

K  

---

T382



НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

# ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

---

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БАХ А. Н., БУХАРИН Н. И., ВИЛЬЯМС В. Р., ГЕНДЛЕР Е. С.,  
ГУВКИН И. М., ДОЛГОВ А. Н., ИОФФЕ А. Ф., КЕРЖЕНЦЕВ П. М.,  
КРЖИЖАНОВСКИЙ Г. М., КРИЦМАН Л. Н., **КУЙБЫШЕВ В. В.**,  
ЛАПИРОВ-СКОБЛО М. Я., ЛЕНГНИК Ф. В., ЛИНДЕ В. В.,  
МАРТЕНС Л. К., МЕЩЕРЯКОВ Н. Л., ФЕДОРОВСКИЙ Н. М.,  
ШАТЕЛЕН М. А., ШМИДТ О. Ю., ШПРИНК В. Э.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР  
Л. К. МАРТЕНС

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ТОМ  
АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ—ЯРКОСТЬ



---

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ  
ЭНЦИКЛОПЕДИЙ И СЛОВАРЕЙ  
МОСКВА ◊ ОНТИ НКТП СССР ◊ 1936



ГОС ПУБЛИЧНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА СССР

954/53  
59

РЕДАКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ

К  
Т389

Дополнительный том сдан в производство 10 августа 1935 г.  
Подписан к печати 16 июня 1936 г.

Набор текста и верстка, печать, брошюровочно-переплетные работы выполнялись в 4-й типографии ОНТИ НКТП СССР «Красный Печатник» под общим наблюдением директора типографии Савинова К. И., технического директора Андруева А. М. и его помощника Иванова П. А. Набор и верстка произведены под руководством Филиппова Б. А. и Земскова А. В. Верстка: Голтадов Н. Ф. и Тимофеев С. И. Печатью руководили Трейдоб Г. А. и Портофей Э. В. Брошюровочно-переплетные работы выполнялись под общим наблюдением Егоровой З. Ф. Тиснением руководил Гражинский П. М.

*В дополнительном томе ТЭ помещено 1360 иллюстраций в тексте и 6 вкладок к статьям: «Аммиак»—1, «Небоскребы»—1, «Перекрытие зданий»—1, «Этеткика»—1 и «Электрофильтры»—2.*

Адрес Редакция Технической Энциклопедии: Москва,  
Метростроевская, 1.

Адрес ОНТИ: Москва, Владимирова пр., 4,  
4-я типография ОНТИ НКТП СССР «Красный Печатник», Ленинград,  
Международный пр., 75а.

Уполномоченный Главлита А-369, СЭ-90-5-5. Заказ № 2725.  
Бумага 72 x 108/16. 39 печ. л. x 108 000 знаков. Тираж 26300 экз.

# РЕДАКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ

## РЕДАКЦИОННОЕ БЮРО

Главный Редактор — проф. Л. К. Мартенс.

Зам. Главн. Редактора — проф. В. Г. Осадчиев; Ученый Секретарь — Н. П. Ракицкий.

## НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ

Армад Н. Е.; Ельцина Н. М.; инж. Знаменский А. А.; Мельников И. И.; инж. Мухомов И. Н.; Никаноров В. М.; инж. Павлушок Л. С.; Ракицкий И. П.; Татариков В. Н.; инж. Фрязиновский И. А.; проф. Шпринг Б. Э.

Зав. библиографией: Таубман С. И.; Зав. Иллюстративным Отделом: Тавастерна В. Я.

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СЕКТОР.

Зав. Производственным Сектором: Кузьминский К. С.; Зам. Зав. Производственным Сектором: Барило Н. Е.; Зав. Технической Редакцией: инж. Сакмаров Н. Г.; Технические Редакторы: Божницкая Л. И.; Люблинский В. В.; Полякова В. М.; Тумаркина Н. А.; Зав. Корректорской Липкина Т. А.

## СОКРАЩЕНИЯ И СИМВОЛИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

### I. Метрические меры.

км	километры (1 000 м).
м	метры.
дм	дециметры (0,1 м).
см	сантиметры (0,01 м).
мм	миллиметры (0,001 м).
μ	микроны (0,001 мм).
mm	миллимикроны (0,001 μ).
μm	микромикроны (0,000001 μ).
к.м. <sup>2</sup>	квадратные километры.
га	гектары (квадратные гектометры).
а	ары (квадр. деkamетры).
м <sup>2</sup>	квадратные метры.
к.м. <sup>3</sup>	кубические метры.
дм <sup>3</sup>	» дециметры.
см <sup>3</sup>	» сантиметры.
мм <sup>3</sup>	» миллиметры.
т	метрич. тонны (1 000 кг).
ц	центнеры (100 кг).
кг	килограммы (1 000 г).
г	граммы.
дг	дециграммы (0,1 г).
сг	санциграммы (0,01 г).
мг	миллиграммы (0,001 г).
мкг	микrogramмы (0,0001 г).
к	караты (200 мг).
кл	килолитры (1 000 л).
дл	децилитры (100 л).
дкл	декалитры (10 л).
л	литры.
дл	децилитры (0,1 л).
сл	сантйлитры (0,01 л).
мл	миллилитры (0,001 л).
тм	тонномеры.
кгм	килограммометры.
т/м <sup>2</sup>	тонны на кв. метр.
кг/см <sup>2</sup>	килограммы на кв. сантиметр.
м/сек	погонные метры.
т. м.	погонные метры.
рег. т	регистрационные тонны.

cos	косинус.
сгг	котангенс.
csc	косеканс.
arc sin	арксинус.
arc lg	арклогарифм.
sh	гиперболический синус.
ch	» косинус.
th	» тангенс.
φ	диаметр.
∑	основание натуральных логарифмов.
lg	логарифм десятичный.
ln	» натуральный.
lim	предел.
Const	постоянная величина.
∑	сумма.
∫	интеграл.
~	приблизительно.
∞	бесконечность.
d	полный дифференциал.
δ	частный »

$t_{ост}$	температура застывания.
$t_{отм}$	» оттаивания.
$t_{крит}$	» критическая.
abh	атмосфера техническая.
Atm	» барометрическая.
I	сила тока.
Q	электрич. заряд, количество электричества.
E	электродвижущая сила.
V, U	напряжение, потенциал.
A	работа.
W	энергия.
N	мощность.
T	период колебания.
f, ν	частота.
ω	угловая скорость, угловая частота.
Ω	боновая частота.
λ	длина волны.
φ	сдвиг фазы.
L	самоиндукция.
C	емкость.
R	сопротивление активное (ваттное).

### III. Международные символы.

а) Единицы.	
A	ампер.
Ah	ампер-час.
W	ватт.
Wh	ватт-час.
W	киловатт.
kWh	киловатт-час.
V	вольт.
mV	милливольт.
VA	вольт-ампер.
kVA	киловольт-ампер.
mA	миллиампер.
Ω	ом.
MΩ	мегом.
μΩ	микроом.
C	кулон.
VC	вольт-кулон.
H	генри.
J	джоуль.
F	фарада.
μF	микрофарада.
A	ангстрем.
D	диана.
Cal	калория большая.
cal	калория малая.
lm	люмен.
lx	люкс.
m	миург.
Hg	герц.

### б) Величины.

$t^{\circ}$	температура обыкновенная.
$T^{\circ}$	» абсолютная.
$t_{кип}$	» кипения.
$t_{пл}$	» плавления.

$\epsilon$	диэлектрич. постоянная.
$\mu$	магнитн. проницаемость.
$e$	удельное сопротивление.
$\sigma$	удельная проводимость.
$\delta$	декремент затухания.
$\Phi$	магнитный поток.
$H_{Br}$	твердость по Бринеллю.
$A_{c1}, A_{c2}, A_{c3}$	критич. точки
$A_{r1}, A_{r2}, A_{r3}$	железн. сплавов.
g	ускорение силы тяжести.
l	длина.
m	масса.
$D_{11}^0$	уд. вес при $t^{\circ}$ по отношению к воде при $t^{\circ}$ .
$[\alpha]_D^t$	угол вращения плоскости поляризации.
$C_{H^+}$ ; $[H^+]$	концентрация водородных ионов.
pH; $P_H$	водородный показатель.
$1/2N$	нормальный раствор.
$n_D^t$	коэф. преломления.

### II. Математич. обозначения.

°	градус.
'	минута, фут.
''	секунда, дюйм.
'''	терция, линия.
>	больше (< меньше).
≥	не больше (< не меньше).
≈	приблизительно равно.
=	больше или равно.
≠	меньше или равно.
≪	значительно больше.
≻	значительно меньше.
∠	угол, измеряемый дугой.
∥	параллельно.
⊥	перпендикулярно.
от-до	от-до.
sin	синус.
tg	тангенс.
sec	секанс.

### IV. Основные сокращения.

фт.	—футы.
дм.	—дюймы.
л. с.	—лошадиная сила.
св.	—свеча.
об/м.	—обороты в минуту.
п-с.	—пуловарсты.
п-фт.	—пудофуты.
фт/сек.	—футы в секунду.
чв-д.	—человекочасы.
долл.	—доллары.
мар.	—марки.
фв. ст.	—фунты стерлингов.

фр.—Франки.  
швилл.—шиллинг.  
млн.—миллионы.  
млрд.—миллиарды.  
ч.—часы.  
м., мин.—минуты.  
сек.—секунды.  
°В.—градусы Воле.  
°Э.—градусы Энглера.  
Градусы температурных шкал:  
°К.—Кельвина.  
°С.—°Ц.—Цельсия (100°-ной).  
°Р.—Реомира.  
°Ф.—Фаренгейта.  
°—тем-ра по 100°-ной шкале (С).  
° F.—температура по Реомюру.  
° F.—температура по Фаренгейту.  
абс. ед.—абсолютная единица.  
ат. в.—атомный вес.  
Auff.—Aullage.  
В.—Band, Bände.  
v.—volume, volumes.  
вкл.—включительно.  
гр.—годы, города.  
д.—деревня, долготы.  
д. б.—должно быть.  
н. д., н. д.—железная дорога, же-  
лезнодорожный.  
з.-европ.—западноевропейский.  
з-д.—завод.  
зд.—здание.  
ин-т.—институт.  
Jg.—Jahrgang.  
коэф.—коэффициент полезного дей-  
ствия.

н-рый—который.  
н-та—кислота.  
Lfg.—Lieferung.  
м.—мста (хим.).  
м. б.—монет быть.  
м. г.—минувшего года.  
меш (mesh)—число отверстий в ситах  
на лян. дюйм.  
мн-к—многоугольник.  
мол. в.—молекулярный вес.  
нем-рый—некоторый.  
о—орто (хим.).  
об-во—общество.  
о-в—остров.  
п—пара (хим.).  
р.—pagina, paginae (лат.—страница,  
страницы).  
пром-сть—промышленность.  
проф.—профессор.  
SK—зегеревские нонуса.  
С., Ю., В., З.—север, юг, восток,  
запад.  
с.-з., ю.-в.—северо-западный, юго-  
восточный.  
стр.—страницы.  
т.—том, томы.  
т.—tome, tomes.  
Т.—Teil, Teile.  
тв.—твердость.  
т-во—товарищество.  
тем-ра—температура.  
т. н.—так называемый.  
тр-ч.—треугольник.  
уд.—удельный.  
уд. в.—удельный вес.

ур-ие—уравнение.  
У. П.—Уточное положение.  
и. П.—und folgende.  
ф-ия—Фуанция.  
ф-ла—Фабрика.  
Ф-ла—Формула.  
П.—Heft, Hefte.  
хим. сост.—химический состав.  
ц. т.—центр тяжести.  
Ztg.—Zeitung.  
Ztghl.—Zentralblatt.  
Ztschr.—Zeitschrift.  
ш.—широта.  
вдс.—электродвижущая сила.  
эфф.—эффективный.  
Ан. П.—английский патент.  
Ам. П.—американский \*  
Р. П.—германский \*  
Р. П.—русский \*  
Сов. П.—советский \*  
С. П.—французский \*  
В.—Berlin.  
Brschw.—Braunschweig.  
L.—London.  
Lpz.—Leipzig.  
Mch.—München.  
N. Y.—New York.  
P.—Paris.  
Stg.—Stuttgart.  
W.—Wien.  
Wsh.—Washington.  
Д.—Ленинград.  
М.—Москва.  
П.—Петроград.  
СПБ—Петербург.



**АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ.** Развитие и усовершенствование А. д. непрерывно продолжается в направлении выполнения требований: 1) легкости веса мотора с запасом топлива, воды и масла, 2) компактности (малые габаритные размеры), 3) уравновешенности. Наравне с указанными требованиями еще д. б. поставлены две: 4) надежность работы, 5) высота, т. е. способность двигателя развивать требуемую мощность на заданной высоте (см. *Авиационные двигатели*, т. 1).

Единственным массовым двигателем, удовлетворяющим запросам авиации и до настоящего момента, остается четырехтактный бензиновый мотор внутреннего сгорания, но в то же время можно наблюдать постепенное проникновение в авиацию и двигателей тяжелого топлива — авиадизелей. Газовая и паровая турбины еще не имеют практич. применения, хотя технич. мысль усиленно работает над этим вопросом. Опыт полета с паровой машиной был произведен в США в 1933 г. Самолет, снабженный паровой машиной двойного расширения с двумя цилиндрами двойного действия, летал на аэродроме в Окленде. Размер цилиндров высокого давления  $3' \times 3''$  и низкого  $5\frac{1}{2}' \times 3''$ . Стремление ввести в эксплуатацию на самолете двигатели тяжелого топлива объясняется тем, что они менее опасны в пожарном отношении, чем бензиновые, и кроме того более экономичны. По уд. в. двигателя тяжелого топлива тяжелее бензиновых моторов по причине меньшего числа оборотов, меньшего среднего эффективного давления и большего максимального давления в цилиндре двигателя. Меньший расход топлива авиадизелей до

известной степени компенсирует избыток уд. веса. Так, бензиновый двигатель расходует на полной мощности не менее  $0,24-0,25$  кг/л. с. час, двигатель тяжелого топлива расходует  $0,17-0,18$  кг/л. с. час, и на каждый час полета получается экономия в  $50-80$  г/л. с. При десятичасовом полете эксплуатация двигателей тяжелого топлива даст выигрыш в нагрузке самолета  $0,5-0,8$  кг на каждую л. с. двигателя или позволит поставить мотор большого уд. в. Главнейшие характеристики нек-рых А. д. тяжелого топлива даны в табл. 1. Указанные двигатели прошли испытания и ставились на самолеты. Испытания показали, что двигатель Паккарда не может длительно работать на  $225$  л. с., т. ч. данные уд. в. в  $1,05$  преуменьшены, и правильнее было бы за мощность этого двигателя принять  $180-190$  л. с. и тогда уд. в. двигателя будет ок.  $1,2$ . Двигатель Бристоль «Феникс» (Phoenix), наоборот, мог бы маркироваться мощностью несколько выше  $350$  л. с.; т. о. уд. веса современных А. д. тяжелого топлива близки к  $1,2$  кг/л. с.

На фиг. 1 показан двигатель Паккарда, поставленный на самолет в 1930 г. Двигатель имеет только один клапан, служащий как для выхлопа, так и для всасывания воздуха. На фиг. 2 и 23 представлен двигатель Юнкера Юмо-4 (JUMO-4) с двумя коленчатыми валами и противоположно движущимися поршнями. Продувка двигателя осуществляется центробежным насосом. Двигатель Юнкера отличается очень малым расходом топлива, что особенно замечательно для двухтактной машины. Топливом для А. д. тяжелого топлива служит обычный газойль (отгон нефти между керосином и соляровым маслом). Широ-

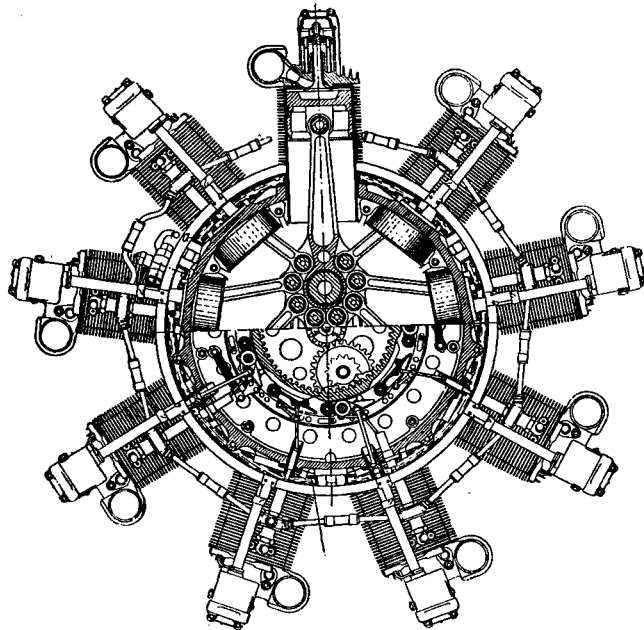
Табл. 1. — Характеристики А. д. тяжелого топлива.

Название мотора	Расположение и число цилиндров	Число тактов	Мощность в л. с.	Число об/м.	Диам. цилиндра в мм	Уд. полн. в мм	Степень сжатия	Среднее эффектив. давление в атм	Относит. вес мотора	Расход топлива в г/л. с. час	Расход масла в г/л. с. час	Тип форсунок и способ распыл. топлива
Водяное охлаждение												
Юнкерс JUMO-4 . . . .	Верт., 6	2	650	1 710	120	$2 \times 210$	16	6	1,2	168	11	Открыт. непосред. распыл.
Воздушное охлаждение												
Паккард DR 930 . . . .	Звезд., 9	4	225	1 950	122,2	152,4	15	6,44	1,05	222	27	Открыт. непосред. распыл.
Бристоль «Phoenix» (1933)	Звезд., 9	4	350	1 900	—	—	—	5,8	1,29	180	—	—

кого распространения в авиации дизели еще не получили, но будущее для них открыто (подробнее см. ниже А. д. тяжелого топлива). Бензиновые А. д., работающие по четырехтактному циклу, являются, как было сказано, основ-

тактным двигателем Хорнет фирмы Прайт и Витней в 1932 году, показали возможность применения этого способа, хотя затруднения с регулировкой мощности двигателя еще не получили окончательного разрешения.

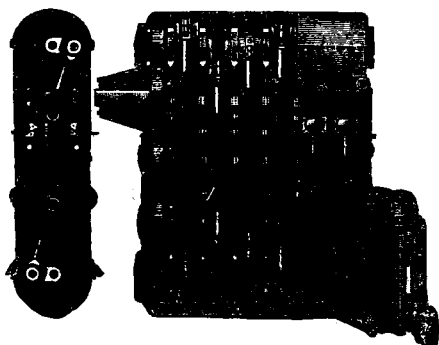
Обращаясь к четырехтактным бензиновым А. д., рассмотрим требования надежности и высотности, к-рые теперь всегда предъявляют к мотору. Надежность А. д. обычно определяется проверкой работы двигателя на испытательном стенке, этапами по 5 ч. каждый. В течение каждого пятнадцатого испытания мотор должен работать 5 мин. на максимально допустимой для него мощности  $\frac{1}{2}$  ч. или 1 ч. на номинальной мощности (т. е. на той мощности, к-рой маркирован данный мотор) и остальное время на мощности не ниже 90% от номинальной. Срок работы мотора без дефектов и определяет надежность. В настоящее время во всех странах продолжительность работы на стенке установлена для А. д. не ниже 100 ч. Некоторые образцы А. д. имеют надежность на стенке 300 ч. и даже более (до 500). Требование надежности ограничивает возможности облегчения веса мотора и заставляет вести производство и сборку А. д. с чрезвычайной тщательностью. Особо строго контролируются и уничтожаются перекосы в главных деталях, передающих нагрузку, и на трущихся поверхностях. Монтажные зазоры устанавливаются в очень узких пределах и строго соблюдаются при сборке. На фиг. 3 показан способ проверки параллельности осей верхней и нижней головок прицепного шатуна А. д., а в табл. 2 даны некоторые монтажные зазоры звездообразного мотора воздушного охлаждения.



Фиг. 1.

ным типом двигателей, применяющимся в авиации. Двухтактные бензиновые машины не нашли еще применения, хотя время от времени появляются опытные образцы небольшой мощности. При диаметре цилиндра 150—160 мм литровая мощность двухтактного двигателя не получается больше, чем у четырехтактного, из-за потери в рабочем ходе на продувочные окна и благодаря затрате мощности на продувочный насос, а т. к. литровые веса примерно одинаковы, то уд. в. двухтактного мотора получается такой же, как и у четырехтактного, или даже больший. Расход же топлива всегда у двухтактного двигателя будет больше, если даже не считать потери топлива во время продувки карбюраторной смеси, т. к. мощность, затраченная на продувочный насос у быстроходного двигателя, не окупается улучшением механич. КПД, как у тяжелых дизелей. Сохранение высотности у двухтактного мотора сложнее и требует большей затраты мощности на нагнетатель благодаря тому, что расход воздуха на л. с. у двухтактного мотора больше, чем у четырехтактного. Вполне возможно, что двухтактные моторы с небольшим размером цилиндров, диаметром до 100—110 мм, найдут применение, особенно в связи с заменой карбюратора бензина непосредственным его впрыском в цилиндр с последующим зажиганием от электрической свечи, чем будет избегнута потеря топлива во время продувки. Опыты по непосредственному впрыску бензина форсункой в цилиндр двигателя, проведенные с четырех-

тактным двигателем Хорнет фирмы Прайт и Витней в 1932 году, показали возможность применения этого способа, хотя затруднения с регулировкой мощности двигателя еще не получили окончательного разрешения.



Фиг. 2.

Несмотря на всю тщательность сборки и производства, благодаря большой напряженности деталей в работе срок работы А. д. в эксплуатации невелик, а средняя продолжительность от ремонта до ремонта лишь в 2—3 раза превышает

Табл. 2. — Монтажные зазоры (в мм).

Название деталей	Направление	Зазор (+) или ватяг (-)		
		миним.	макс.	норм.
Поршневые кольца				
Верхн. кольцо в наванке . . . . .	Боковой	+0,2	0,25	0,2
Среднее кольцо в наванке . . . . .	*	+0,15	0,20	0,15
Масляное кольцо в наванке . . . . .	*	+0,1	0,14	0,1
Зазор в стыке кольца, вставленного в цилиндр . . . . .	*	+0,7	0,8	0,7
Палец поршня				
Палец поршня в головке шатуна . . . . .	Диаметр.	+0,03	0,04	0,03
Палец поршня в бошке поршня . . . . .	*	+0,0	0,02	0,01
Главный шатун				
Мотылевая шейка в подшипнике шатуна	*	+0,06	0,07	0,065
Шатунная головка на валу . . . . .	Боковой	+0,15	0,18	0,16
Прицепной шатун				
Палец прицепного шатуна во втулке головки шатуна . . . . .	Диаметр.	+0,03	0,04	0,035
Клапаны				
Клапан в направляющей . . . . .	*	+0,09	0,1	0,09
Направляющая в литые головки . . . . .	*	-0,03	0,04	0,035
Вал				
Коленчатый вал и упорный шариковый подшипник . . . . .	*	0	0	0
Коленчатый вал и шестерня распред.	*	+0,015	0,025	0,02

продолжительность работы на станке при определении надежности. В таблице 3 приведены сведения об эксплуатации мотора Юпитер IV фирмы Гном и Рон на гражданской воздушной линии.

Табл. 3. — Данные эксплуатации мотора Юпитер IV.

Число моторов . . . . .	30
Период времени, годы . . . . .	3
Общее число часов работы моторов . . . . .	25 000
Макс. число часов, наработанных одним мотором . . . . .	1 880
Макс. число часов работы мотора в год . . . . .	735
Стоимость одного часа работы мотора, шилл. . . . .	17,5

Данные продолжительности работы отдельных деталей в часах

Коленчатый вал . . . . .	1060
Клапан выпуска . . . . .	1000
Клапан выпуска . . . . .	650
Клапанная пружина . . . . .	1500
Направляющая клапана выпуска . . . . .	615
Направляющая клапана выпуска . . . . .	650
Поршень . . . . .	230
Поршневое кольцо . . . . .	270
Масляное кольцо . . . . .	270
Цилиндр . . . . .	1500
Картер . . . . .	1500
Главный роликовый подшипник . . . . .	890
Главный шатун . . . . .	750
Прицепной шатун . . . . .	1500
Поршневой палец . . . . .	360

Как видно, через 5—6 ремонтов почти все детали мотора д. б. заменены на новые. Если бы не было требования надежности, авиационный двигатель мог бы быть сделан со значительно меньшим удельным весом. Двигатели, предназначенные для гонок и рассчитанные на надеж-

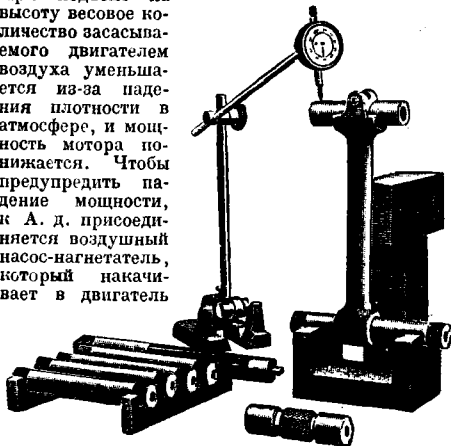
ность в 5—10 ч., указаны отдельно в таблице 4 и, как видно, имеют значительно меньший вес, чем нормальные образцы.

Высотность А. д. определяется высотой, на которой двигатель еще способен развить мощность, равную его номинальной мощности на земле. У обычного двигателя при условии постоянства числа его оборотов мощность падает по мере подъема на высоту по урню

$$N_{ch} = N_{co} \left[ 1,1 \frac{p_h}{p_0} \sqrt{\frac{T_0}{T_h}} - 0,11 \right],$$

где  $N_e$  — эффективная мощность в л. с.,  $p$  — давление в окружающей атмосфере,  $T$  — абсолютная  $^{\circ}$ , индекс  $h$  означает на высоте и 0 — на земле. Для работы двигателя необходим воздух, и можно считать, что на одну индикаторную л. с./ч А. д. требует 2,65—2,8 кг воздуха.

При подъеме на высоту весовое количество засасываемого двигателем воздуха уменьшается из-за падения плотности в атмосфере, и мощность мотора понижается. Чтобы предупредить падение мощности, к А. д. присоединяется воздушный насос-нагнетатель, который накачивает в двигатель



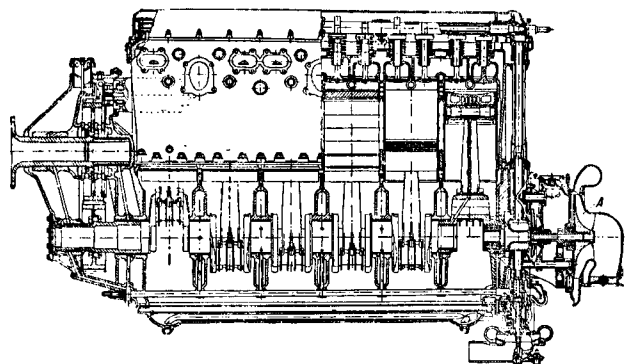
Фиг. 3.

нужное количество воздуха и позволяет тем самым двигателю давать на высоте потребную нам мощность. Очевидно, что вполне возможно и при работе двигателя на земле накачивать в него воздух в количестве большем, чем он может сам засосать непосредственно, и тем самым увеличить мощность, развиваемую данным мотором. Указанный способ действительно применяется и называется *наддувом* (см.) двигателя. Почти все современные мощные А. д., особенно предназначенные для военных целей, работают с наддувом и имеют высотность. На фиг. 4 представлен двигатель Испано-Суиза 860 л. с. типа 12 Ybrs, снабженный центробежным нагнетателем А, который установлен сзади двигателя.

Наддувать высотный двигатель необходимо для сохранения достаточной мощности его в полете, причем повышению мощности за счет наддува должно перекрывать расход ее на вращение нагнетателя. Степень наддува определяется отношением давления во всасывающем трубопроводе мотора или в нагнетательной трубе насоса ( $p_1$ ) к давлению атмосферы на земле ( $p_0$ ). В современных двигателях отношение  $\frac{p_1}{p_0}$  колеблется в пределах 1,05—1,23. Наддув контролируется манометром, показывающим давление во всасывающей трубе. При подъеме на высоту обыкновенно количество нагнетаемого воздуха регулируется так,



что давление на всасывании сохраняется постоянным. Изменение мощности с высотой при различных числах оборотов мотора представлено на фиг. 5 для мотора Кертисс-Конкверор, снаб-



Фиг. 4.

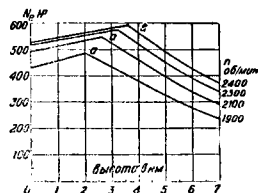
женного центробежным нагнетателем  $\frac{P_k}{P_0} = 1,09$ .

До высот, отмеченных точками *a*, компрессор способен поддерживать  $P_k = \text{Const}$ , для больших высот мощность падает, как у обычного мотора. На фиг. 6 изображен двигатель Райт «Циклон» (Cyclone) воздушного охлаждения с нагнетателем, удобно расположенным в задней крышке картера мотора. А. д., снабженные нагнетателем и работающие с наддувом, имеют расход топлива больший, чем двигатели без нагнетателей, так как часть мощности тратится на вращение нагнетателя, и кроме того при наддуве двигатель обычно работает с недостатком воздуха 10—15% ( $\alpha = 0,85 \div 0,9$ ). Современные расходы топлива у таких двигателей порядка 0,26—0,28 кг/л. с. час. Чем больше высота, до которой нагнетатель может дать постоянное значение  $P_k$ , и чем больше само  $P_k$ , тем большую мощность надо затратить на вращение нагнетателя и тем труднее восстановить ее за счет наддува. Различный предел наддува определяется надежностью двигателя и для гоночных машин (Рольс-Ройс R, табл. 4) он был

доведен до  $\frac{P_k}{P_0} = 2,32$ . Для А. д., предназначенных для постоянной эксплуатации, наддув не превосходит 1,2; подогрев воздуха в насосе до  $1^\circ$  выше  $120^\circ$  и повышение давлений в цилиндре затрудняют и без того напряженную работу А. д. При высоте 4 000—5 000 м еще возможно иметь у мотора с нагнетателем такую же номинальную мощность на земле, как и без нагнетателя; при большей высоте потеря мощности на нагнетатель не м. б. компенсирована наддувом, и номинальная мощность мотора начинает падать по сравнению с мотором без нагнетателя. Высокая  $1^\circ$  воздуха, подаваемого насосом в дви-

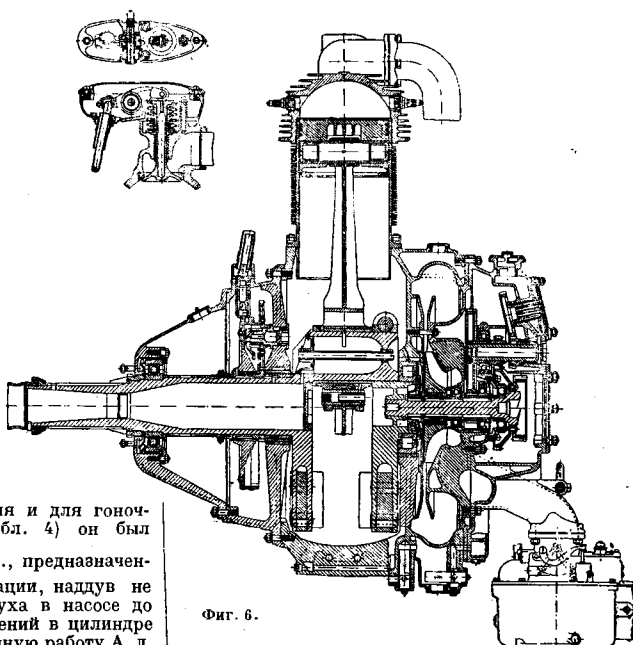
гатель, заставляет ставить охладитель воздуха между мотором и компрессором, что влечет за собой увеличение веса и сопротивления в полете. При работе авиационных двигателей вблизи уровня земли возникает необходимость отключать нагнетатель от мотора.

Разрешение проблемы высотности является одной из задач сегодняшнего дня; авиация требует не только моторов с высот-



Фиг. 5.

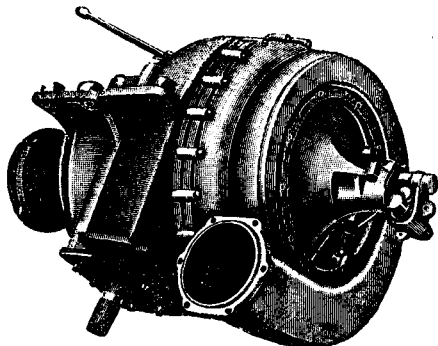
ностью 4 000—5 000 м, но также и стратосферных моторов с высотой 12 000—15 000 м и уд. весом 1,2—1,5 кг/л. с. Одноступенчатый центробежный, невыключающийся нагнетатель, подобный указанному на фиг. 4 и 6, не может удовлетворить



Фиг. 6.

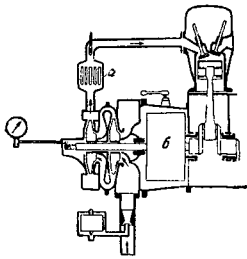
большей высоте, и тогда делают многоступенчатые, выключающиеся нагнетатели. Двуступенчатый нагнетатель Рато-Фарман показан на фиг. 7, а на фиг. 8 дана схема его установки на двигателе. На схеме показан холодильник воздуха *a* и сцепление с мотором *б*. Дополнительный вес одноступенчатого центробежного нагне-

тателя составляет ок. 0,03 до 0,045 кг/л. с. мотора. Чрезвычайная легкость центробежных нагнетателей послужила причиной их широкого рас-



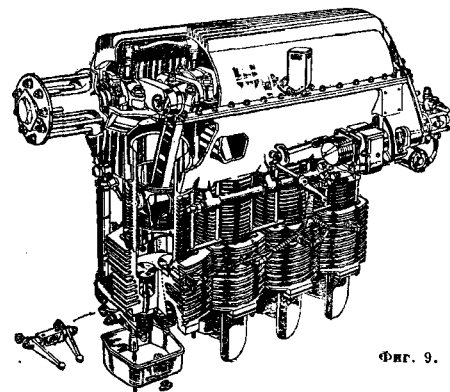
Фиг. 7.

пространения в А. д. О других типах нагнетателей см. *Авиационные двигатели*, т. I. Были попытки применения для авиационных двигателей



Фиг. 8.

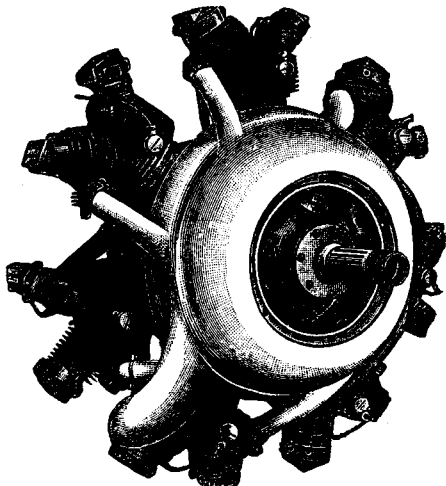
поршневых нагнетателей, но последние еще находятся в стадии опытов. Несмотря на повышение надежности и высотности уд. веса А. д. уменьшаются за счет наддува и увеличения числа оборотов, что стало возможным по мере приобретения опыта в производстве и развития технологии. Замена баббита на подшипниках свинцовой бронзой позволила



Фиг. 9.

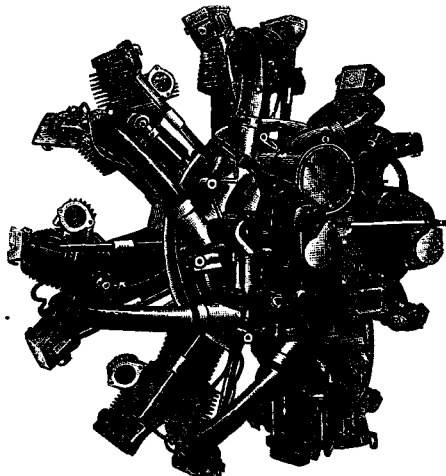
увеличить напряжение в работе трущихся частей. (Американская бронза обычно имеет состав Cu — 53%, Pb — 45%, Ni — 2%.) Цементация зуб-

наддув и повышение числа оборотов двигателя. В настоящий момент число об/м. для мощных звездообразных двигателей надо считать 2 000—2 400 об/м., для V-образных 2 000—2 600 об/м. С повышением числа оборотов растут скорости относительного движения трущихся частей и уве-



Фиг. 10a.

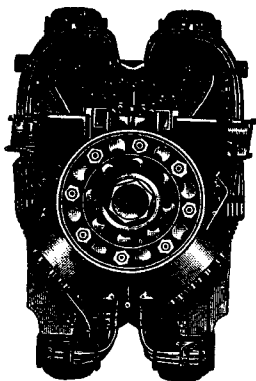
личиваются силы инерции движущихся деталей, в результате чего напряженность рабочих поверхностей увеличивается, и увеличивается износ; при неправильном выполнении незначительные перекосы под нагрузкой или при тепло-



Фиг. 10b.

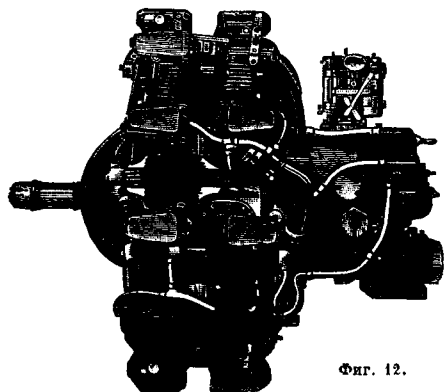
вом расширении приводят к перегреву, заеданию и порче деталей. Переход на более высокие числа оборотов без достаточных технологических или конструктивных усовершенствований как правило требует одновременного уменьшения размеров цилиндра в такой мере, что мощность, которая снимается с одного цилиндра и

со всего двигателя, обычно уменьшается. Поэтому мощные двигатели лишь постепенно из года в год увеличивают число оборотов, т. е. при этом требуется одновременно повысить и общую мощность двигателя. Повышению наддува препятствует увеличение напряженности работы двигателя, вызываемое увеличением давлений и  $i^{\circ}$  при наддуве. Кроме того при наддуве встает очень важный вопрос о том, какое топливо надо применять в А. д. Явление детонации (см.) требует применения лишь особых сортов топлива, препятствуя тем самым широкому распространению высокого наддува в эксплуатации.



Фиг. 11.

В табл. 4 приведены характеристики некоторых современных моторов, а на фиг. 9 представлен современный двигатель — рядный перевернутый мотор воздушного охлаждения Цирус «Гермес» (Hermes) 120—130 л. с., имеющий большое применение для установки на двухмоторные самолеты спортивного назначения. На фиг. 10 изображен звездообразный мотор воздушного охлаждения Райт «Уайрвинд» (Whirlwind) 250 л. с. со сборником для выхлопных газов, весьма распространенный для почтовых и гражданских самолетов. На фиг. 11 представлен H-образный 16-цилиндровый мотор воздушного охлаждения оригина-



Фиг. 12.

льшой формы, выбранной для получения малой лобовой поверхности, Непир «Репир» (Rapier) 365—360 л. с. (фиг. 6). Нормальный современный мотор воздушного охлаждения с нагнетателем и редуктором мощностью 600—700 л. с. употребляется как в гражданской, так и в военной авиации. Для военных машин высота мотора увеличивается путем увеличения передаточного числа от мотора к нагнетателю. На фиг. 12 дан двухрядный звездообразный мотор воздушного охлаждения Гном и Рон 700 л. с. с 14 цилиндрами. Этот тип мотора — наиболее употребляемый из самых мощных моторов воздушного охлаждения

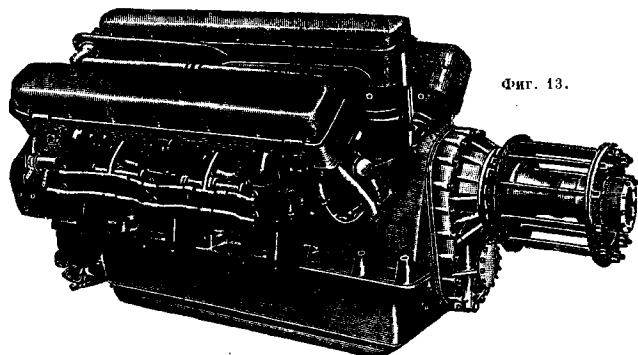
Табл. 4. — Характеристики авиационных двигателей легкого топлива.

Название мотора	Расположение и число цилиндров	Степень сжатия	Диаметр цилиндра в мм	Ход поршня в мм	Номен. мощн. и число об/м. у земли		Мощность и число об/м. на высоте		Расход топлива в г/л. с. час	Расход масла в г/л. с. час	Вес двигателя в кг	Уд. в. двигателя	Степень сжатия	Примечание	
					мощн. в л. с.	число об/м.	мощн. в л. с.	число об/м.							
Воздушн. охладж. *1															
Побой Р (Pobjoy R)	Звезд., 7 ц.	5,7	77	87	3 000	—	—	—	250—240	6—8	59	0,79	2,13	Без нагнет.	
Цирус «Гермес» IV (Hermes)	Рядн. перевер., 4 ц.	5	120	140	2 000	130	—	—	240	4—5	136	1,13	1	С нагнет.	
Райт «Уайрвинд» R-160 E	Звезд., 7 ц.	5	127	140	2 000	—	—	—	250	10—12	222,5	0,9	2,56	С нагнет.	
Непир «Репир»	Н-обр., 16 ц.	6	89	89	—	—	3 000	305/360	3 500/3 900	—	322	—	1	С нагнет.	
Райт «Сулоне» SR-1850-F-43	Звезд., 9 ц.	6,4	155,6	174	—	—	3 300	603	1 900	250—270	412	0,68	1	С нагнет.	
Гном и Рон «Мистраль-Мажор» 14 К	Двойн. звезд., 14 ц.	5,5	146	165	—	90	—	4 000	900	2 450	547	0,61	3/2	С нагнет.	
Вольное охладж. *1															
Ролкс-Рокс «Кетрел»	У-обр., 12 ц. 60°	5,1	127	139,6	—	—	3 000	525	2 500	330—240	5—6	418	0,8	1,8	С нагнет.
Керрис «Супер-Конкордо»	V-обр., 12 ц. 60°	6,25	130	159	—	750	—	3 600	600	10—11	465	0,58	3/2	С нагнет.	
Испано-Сува 12 Yhrs.	V-обр., 12 ц. 60°	5,8	150	170	2 400	2 400	—	860	2 400	8—10	430	0,58	2	С нагнет.	
Испано-Сува 18 Sbr.	W-обр., 18 ц. 80°	6,2	150	170	1 000	1 125	—	4 000	860	250—270	8—9	615	0,615	2	Без нагнет.
Головное воленого охладж. *1															
Ролкс-Рокс R	V-обр., 12 ц. 60°	6	152	167	—	2 300	—	—	—	—	741	0,323	—	С нагнет.	
Флат А. S. 6	V-обр., 24 ц. 60°	7	—	—	—	2 800	—	—	—	—	839	0,333	—	С нагнет.	

\*1 Численность \*2 Степень редукции ест. отношение числа оборотов мотора к числу оборотов винта.



(табл. 4). На фиг. 4 представлен нормальный V-образный тип современного мощного мотора водяного охлаждения с редуктором и нагнетателем Испано-Суиза 12 Ubrs. На фиг. 13 изо-

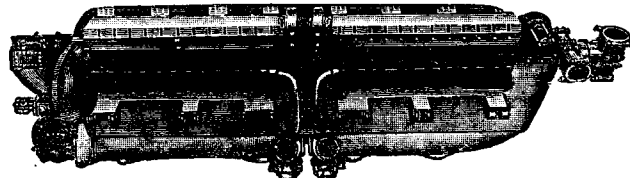


Фиг. 13.

бражен общий вид 18-цилиндрового мотора водяного охлаждения 900 л. с. Изотта Фраскини. На фиг. 14 изображен гоночный мотор Рольс-Ройс R 2 300 л. с., победивший в 1933 г. на скоростных гонках на кубок Шнейдера. Мотор имеет нагнетатель, дающий наддув  $\frac{P_k}{P_0} = 2,32$ , и является

самым легким по уд. в. мотором. На фиг. 15 и 15а изображен гоночный мотор Фиат 2800 л. с., предназначенный для гонок на кубок Шнейдера, но не участвовавший в них. Мотор оригинальной конструкции, состоящий из двух спаренных редукторных моторов, причем редукторный вал одного мотора проходит сквозь вал другого, вращаясь в разные стороны. На этом моторе был поставлен рекорд скорости.

Уд. в. и высота мотора еще не характеризуют качества А. д. В связи со все повышающимися скоростями полета самолетов вопрос о габарите мотора, об удобстве его капотирования, вообще вопрос о дополнительном аэродинамич. сопротивлении, вызываемом постановкой



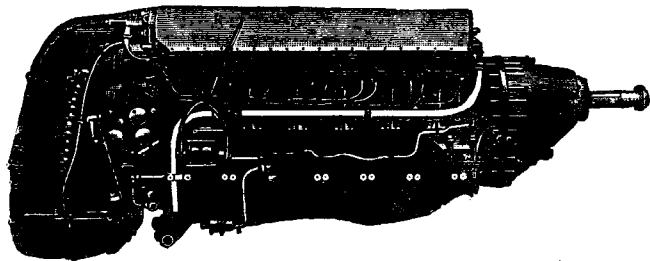
Фиг. 15.

мотора на самолет, приобретает все большее значение. В этом направлении характерна борьба мощных моторов водяного и воздушного охлаждения. Уд. вес мотора водяного охлаждения без воды и радиаторов меньше, чем мотора воздушного охлаждения, габариты мотора водяного охлаждения также меньше, но если принять во внимание вес воды и радиаторов и учесть сопротивление, вызываемое постановкой радиаторов,

то вопрос о преимуществе становится сомнительным. На средних (ниже 500 л. с.) и малых (ниже 250 л. с.) мощностях применяется почти исключительно воздушное охлаждение. У

нормальных мощных моторов (600—850 л. с.) идет упорная борьба, и при мощностях 1 000 л. с. и более имеет применение только водяное охлаждение. В моторах воздушного охлаждения принимаются меры к уменьшению вызываемого ими сопротивления путем постановки особых капотов-колец вокруг мотора, как показано на фиг. 16, или путем перехода на рядные моторы для малых мощностей (фиг. 9 и 11). При наличии кольцевого обтекателя вокруг мотора воздух проходит между ним и фюзеляжем самолета, охлаждая головку мотора как наиболее нагретую часть; поверхности

охлаждения мотора приходится при этом несколько увеличить (см. *Самолестроение*). В моторах водяного охлаждения стремятся уменьшить сопротивление, вызываемое радиатором, или путем включения поверхности радиатора в по-



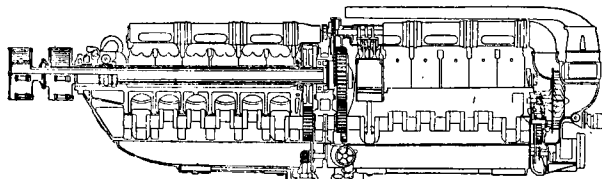
Фиг. 14.

верхность крыльев или путем уменьшения площади радиаторов за счет повышения  $t^{\circ}$  жидкости, охлаждающей мотор. Чтобы получить  $t^{\circ}$  жидкости в радиаторе выше  $100^{\circ}$ , для охлаждения применяют не воду, а смесь из воды и этилен-гликоля  $C_2H_4(OH)_2$  с  $t^{\circ}_{кип.}$  ок.  $170^{\circ}$  (см. *Радиаторы*).

Вместо водяного охлаждения употребляют также пароводяное, при к-ром в радиатор попадает только пар, что опять-таки позволяет сократить площадь радиатора и уменьшить вызываемое им сопротивление. Схема пароводяного охлаждения показана на фиг. 17, где а — радиатор, б — центробежный аппарат, в — насос, г — сообщение с воздухом, д — пар, е — спуск конденсата, жс — вода, з — пар и вода. Наряду с мощными моторами развиваются также и А. д. мощностью порядка 100—250 л. с. для гражданских самолетов индивидуального пользования и для тренировочных машин. Развитие их идет гл. обр. в направлении надежности, простоты ухода в эксплуатации и дешевизны. Моторы эти исключительно воздушного охлаждения — рядные или звездообразные (фиг. 9 и 11 и табл. 4).

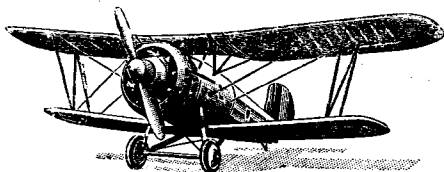
Лит.: Авиационные двигатели, под ред. А. Зайкина и др. Общий курс, книга 1, М.—Л., 1932, книга 2, М.—Л., 1933; Островский А., Курс конструирования и расчетов авиационных моторов, ч. 1, М., 1932; Нейман И., Динамика и расчет на прочность авиационных моторов, ч. 1, М.—Л., 1933, ч. 2, М.—Л., 1934; Дельвиль Р., Двигатели внутреннего сгорания, пер. с французского, 2 издание, Москва—Ленинград, 1931; «Техника воздушного флота», Москва; Judge A., Automobile and Aircraft Engines, London, 1924; Ricardo H., The Internal-Combustion Engine, v. 2, London, 1923. В. Стечкин.

**Авиационные двигатели** тяжелого топлива в настоящее время известны только двигатели с высоким сжатием, поэтому обычно



Фиг. 15а.

А. д. тяжелого топлива называют также авиационными. Тяжелыми топливами называют жидкие топлива, имеющие при обычных температурах низкое давление паров и поэтому не могущие быть непосредственно использованными в двигателях с карбюраторами обычного типа. Под названием «дизель» принято понимать двигатель внутреннего сгорания со сжатием одного воздуха, с подачей топлива в пространство сгорания в конце хода сжатия и с воспламенением топлива от тепла сжатия без применения источников пламени (свечи) и накаливых поверх-



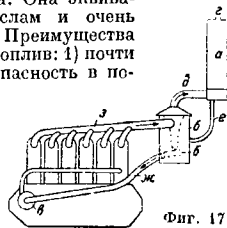
Фиг. 16.

ностей (см. *Двигатель Дизеля*). В качестве топлив для быстроходных дизелей, в том числе и А. д. тяжелого топлива, применяются погонны нефти, начиная с тяжелых керосинов, гл. обр. газойли и легкие смазочные масла (солярковые). Сырая нефть и мазуты не могут быть надлежащим образом использованы в быстроходных дизелях в виду большой неоднородности состава, присутствия асфальтенов и смол, загрязняющих двигатель и требующих особых условий для полного сгорания. Для применения в авиации надо считать обязательным на дистилляты, выкипающие почти начисто в приборе Энглера газойли и легкие солярковые масла (солярки). Кроме ряда физических свойств, определяющих технологич. и торговые качества топлива, в настоящее время входят в употребление измерители, определяющие легкость воспламенения дизельных топлив в цилиндре (воспламеняемость качества см. ниже). Проектом стандарта на дизельные топлива, составленным Америк. об-вом испытания материалов, предусматриваются 5 сортов. Для первого из них, предназначенного для быстроходных дизелей с числом оборотов в мин.

свыше 1 000 и требующих мало вязких топлив, качества топлива приведены в табл. 5.

Для авиационного топлива фирма Юнкерс указывает температуру застывания  $-35^{\circ}$ . Требование низкой температуры застывания является тяжелым и противоречащим требованиям хорошей воспламеняемости, обусловливаемой составными частями топлива парафинового ряда. Разогрев же топлива на самолете неубоен. Движущий индекс есть произведение из авиационной точки в  $^{\circ}\text{F}$  на уд. вес в градусах А. Р. I., разделенное на 100. Авиационная точка — низшая темп-ра, при которой равные по объему части свежеперегнанного анилина и топлива полностью смешиваются и дают прозрачную смесь. Цетеновое число определяется на двигателе измерением продолжительности запаздывания воспламенения в градусах поворота вала при работе на данном топливе. Если эталонное условное топливо, состоящее из смеси цетена ( $\text{C}_{16}\text{H}_{32}$ ), прекрасно сгорающего, и альфа-метилнафталина ( $\text{C}_{10}\text{H}_{18}$ ), обычно не горящего

в дизелях, дает тоже запаздывание воспламенения, то испытуемому образцу приписывается цетеновое число, равное %-ному содержанию цетена в эталонном топливе. В самое последнее время предложен измеритель — вязкостно-весовой константа, вычисляемая по кинематической вязкости и уд. весу топлива. Она эквивалентна цетеновым числам и очень просто определяется. Преимущества применения тяжелых топлив: 1) почти полная пожарная безопасность в полете и при авариях; 2) более простое транспортирование, хранение и уменьшение потерь; 3) более широкий диапазон пригодных фракций топлива прямойгонки из нефти; 4) более дешевая цена. В январе 1935 г. в США цена авиабензина составляла 5 центов за галлон, а цена газойля — 2 цента за галлон. Однако следует ожидать, что по мере распространения быстроходных двигателей тяжелого топлива разница в ценах на бензин и газойль будет уменьшаться. Есть попытки применить тяжелое топливо в авиадвигателях невысокого сжатия с обычным зажиганием от свечи (Гессельман), впрыскивая топливо в цилиндр; все же двигатели эти пока менее экономичны, чем карбюраторные. Топливо в А. д., впрыскиваемое под давлением 200 и более  $\text{кг}/\text{см}^2$  в пространстве сгорания цилиндра в конце хода сжатия, раздробляется в мельчайшие капли (диаметр 0,005—0,01 мм) с целью увеличить реагирующую и испаряющую поверхность топлива и для лучшего распределения в содержимом пространстве сгорания. Последнее достигается также подачей топлива из нескольких отверстий и организацией движения заряда в пространстве сгорания с целью образования возможно более однородной смеси. Организация движения заряда достигается направлением движением воздуха, главным образом при наполнении цилиндра, что осуществляется боковым экранированием всасывающих клапанов, постановкой направляющих в патрубки перед клапанами, наклонном продувочных окон и пр. Воздух, входя, получает



Фиг. 17.

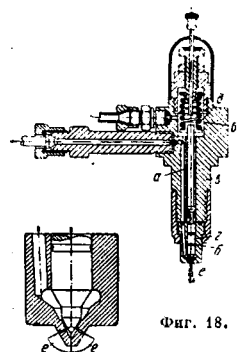
прашательное движение в цилиндре, сохраняющееся к моменту воспламенения топлива и способствующее энергичному перемешиванию капле-льи вырскиваемого топлива с воздухом. Задачи подбора числа, размеров и расположения вырскивающих топливо отверстий, давления вырскиваемого топлива и организации движений воздуха в пространстве сгорания являются основными в авиационном строении. Их правильное решение обеспечивает надлежащее протекание сгорания, а через него — экономичность и мощность двигателя при заданных оборотах и степени сжатия. Топливо воспламеняется в цилиндре

Табл. 5.—Проект стандарта топлива для быстроходных двигателей (Америк. общества испытания материалов).

Марка топлива	° вспышки		Вода и осадки в %	Вязкость по Сабболту при 100° F		Коксов. остаток в %	Зола по весу в %	t'заст.			Воспл. качества			
	С	F		мм.	макс.			С	F	A	B	C		
1-D	46°	115°	0,05	32	50	≤ 0,2	0,01	1,65	35	45	50	81		

А — дизельный индекс минимальный; В — цетановое число минимальное; С — критическая степень сжатия.

спустя некоторое время (0,0003—0,003 сек. или 3—20° поворота кривошипа в зависимости от оборотов), и это запаздывание воспламенения зависит от плотности заряда цилиндра и свойств топлива, т. е. от его химич. структуры и условий перехода тепла от воздуха к топливу. Существуют две теории воспламенения топлива: первая, принадлежащая Гауссу, Шульце и Зассу, — теория воспламенения через распад нестабильных перекисей, предварительно накапливающихся в цилиндре за период запаздывания воспламенения. Распад сопровождается значительным и быстрым выделением тепла, обеспечивающим

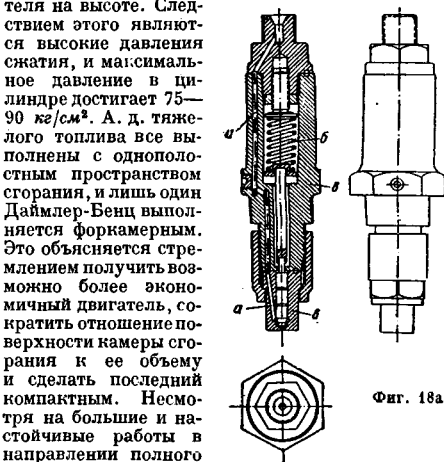


Фиг. 18.

не в цилиндр, подвергается разложению — крекингу. Продукты распада даже небольшого числа молекул топлива непосредственно реагируют с кислородом, причем в отдельных точках выделяется достаточно тепла, чтобы ускорить и закончить реакцию. Прямое соединение с кислородом возможно в дизеле только тогда, когда связи в молекуле топлива разрушены или достаточно ослаблены термич. воздействием. Образование паров и разложение топлива в дизеле имеют существенное значение. Т. о. частично поддерживается теория Риппеля, к-рый в 1907 г. указывал на необходимость предварительного испарения и газообразования. Индикаторные диаграммы быстроходных дизелей, снятые по времени, показывают, что за периодом запаздывания воспламенения, от момента начала подачи топлива в цилиндр до момента начала заметного возрастания давления в цилиндре, следует период резкого возрастания давления, во многих случаях сопровождающегося сильным стуком в

цилиндре. Чем раньше воспламеняется топливо, тем меньше период запаздывания воспламенения, тем меньше успевает накопиться в цилиндре негоревшего топлива, тем плавнее идет нарастающее давление и тем слабее стук. Повышение степени сжатия, или наддув, делает сгорание более плавным и способствует уничтожению стука двигателя; понижение степени сжатия, так же как дросселирование, наоборот, делает работу авиационных двигателей более жесткой и неспокойной, вызывающей стук. Для сокращения периода запаздывания воспламенения и подавления стуков в А. д. тяжелого топлива применяют выс-

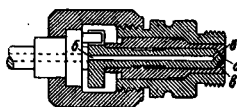
шие степени сжатия. К этому же мероприятию приходится прибегать для обеспечения надежности воспламенения и возможности работы двига-



Фиг. 18а.

тelle на высоте. Следствием этого являются высокие давления сжатия, и максимальное давление в цилиндре достигает 75—90 кг/см<sup>2</sup>. А. д. тяжелого топлива все выполнены с однополостным пространством сгорания, и лишь один Даймлер-Бенц выполнен форкамерным. Это объясняется стремлением получить возможно более экономичный двигатель, сократить отношение поверхности камеры сгорания к ее объему и сделать последний компактным. Несмотря на большие и настоящие работы в направлении полного использования воздуха

в цилиндре сгорания в А. д. не удается проводить при малых избытках воздуха. Обычно, начиная со значений коэффициента избытка воздуха  $\alpha = 1,6—1,4$ , начинается дымление двигателя, усиливающееся по мере уменьшения избытка воздуха. Существующие А. д. как правило работают с указанными избытками воздуха, что приводит к получению индикаторных давлений меньших, чем в карбюраторных двигателях. Отношение максимального давления к среднему индикаторному получается порядка 9,5—11,5, тогда как для карбюраторных двигателей оно лежит в пределах 4,5—5,5. Это указывает на неизбежность получения бо-



Фиг. 19.



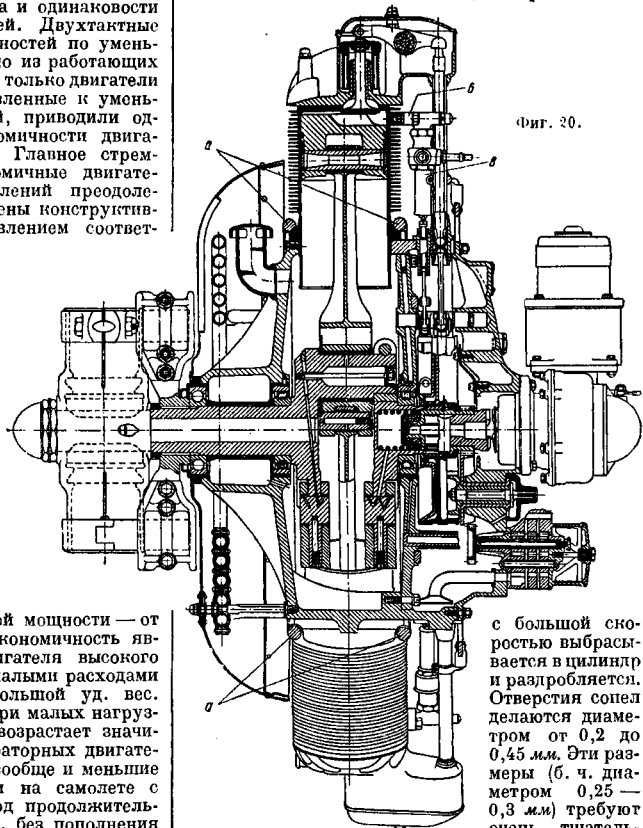
лее тяжелых весов на 1 л. с. для А. д. тяжелого топлива против карбюраторных двигателей при равных уровнях производственных возможностей конструкторского искусства и одинаковости конструктивных схем двигателей. Двухтактные двигатели обещают ряд возможностей по уменьшению веса двигателя на л. с., но из работающих двухтактных А. д. пока известны только двигатели Юнкера. Мероприятия, направленные к уменьшению максимальных давлений, приводили одновременно к снижению экономичности двигателя и повидимому оставлены. Главное стремление — получить высокоэкономичные двигатели. Последствия высоких давлений преодолеваются и должны быть преодолены конструктивными мероприятиями и составлением соответствующих схем двигателя. В первые годы развития быстрходных дизелей было принято, что большие обороты свойственны двигателю с впрыскиванием топлива в цилиндр вследствие медленности сгорания. В настоящее время можно считать, что в процессе приготовления заряда к сгоранию и в самом сгорании нет ограничений в достижении таких же чисел оборотов, как у карбюраторных двигателей. Экономичность А. д. может быть достигнута весьма высокая. Двигатель Юнкера Юмо-4 имеет минимальный расход 148 г/л. с. в час. или  $\eta_i = 42\%$  при теплотворной способности топлива 10 200 cal. Расходы при полной мощности — от 165 — 178 г/л. с. час. Такая экономичность является главным качеством двигателя высокого сжатия. В длительных полетах малыми расходами с избытком компенсируется большой уд. вес. А. д. отличается еще тем, что при малых нагрузках расход топлива на л. с./час возрастает значительно медленнее, чем у карбюраторных двигателей. Меньший расход на силу вообще и меньшие недогрузки двигателя позволили на самолете с А. д. Наккард поставить рекорд продолжительности полета 25—28 мая 1931 г. без пополнения горючим в 84 ч. 32 м. Это до сих пор не достигнуто ни одним самолетом с моторами легкого топлива. В 1934 г. имелись следующие соотношения (табл. 6).

Табл. 6. — Расход топлива у дизелей и карбюраторных двигателей.

Двигатели	Мощность на 1 л в %		Расход топлива, г/л. с. в час	Полетный вес на 1 л. с. при продолжительности		
	при подъеме	в полете		2 ч.	6 ч.	10 ч.
Дизели . . . . .	190	100	175	1,87	2,7	3,5
Карбюраторные.	165	174	320	1,75	2,75	3,7

А. д. тяжелого топлива начинает быть выгоден примерно через  $5\frac{1}{2}$  ч. полета. Типичными и наиболее применяемыми насосами для подачи топлива в цилиндр являются насосы Бош (см. т. XIV, *Насосы*, фиг. 96 и 97). Типичная закрытая (игла *e*) форсунка (Бош) изображена на фиг. 18 и 18а. Топливо проходит по каналу *a* держателя форсунки *b* к собственно форсунке *e* и производит давление на поверхность конуса иглы *g*, нагруженной пружиной *d*. При достижении

давления определенной величины, превышающей силу (втяжку) пружины, игла приподнимается и пропускает топливо к соплам *e*, из к-рых топливо

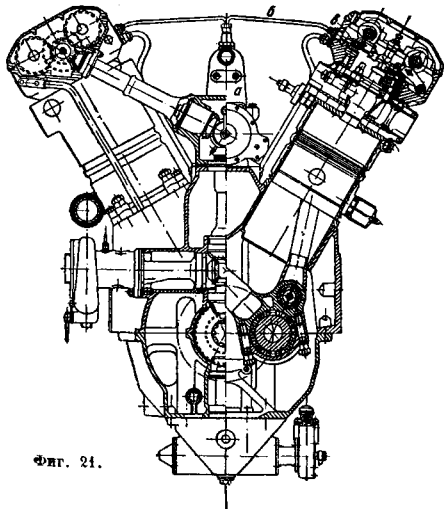


Фиг. 20.

с большой скоростью выбрасывается в цилиндр и раздробляется. Отверстия сопел делаются диаметром от 0,2 до 0,45 мм. Эти размеры (б. ч. диаметр 0,25 — 0,3 мм) требуют очень тщательной фильтрации

топлива во избежание засорений. Для получения распыливания надлежащего качества и избежания подтекания топлива из форсунки требуются резкое начало и прекращение подачи топлива. Для этого между прочим служат отсека в насосе — перекрытие плунжером отверстия *b* — и игла, нагруженная пружиной в форсунке. Работа топливной системы (насос, трубка, форсунка) является очень сложной с точки зрения механики, так как сжимаемость топлива и упругость стенок трубки вызывают появление волн давления, которые могут сильно сказываться на отчетливости подачи топлива в цилиндр. Число, расположение и диаметр отверстий в форсунке подбираются обычно длительными опытами. Открытая форсунка применяется в настоящее время только в двигателе Юнкера (фиг. 19). К соплу форсунки *a* топливо подходит через сверление *b* по прорезам *e—e*. Струйки, вытекающие из них, стальнойваются и образуют струю в виде плоского веера. Подробнее о форсунках см. *Форсунки*. Каждый цилиндр двигателя обслуживается своим насосом, причем насосы могут быть как отдельные, так и выполненные в одном блоке.

Кроме преимуществ применения тяжелого топлива и большой экономичности А. д. тяжелого топлива, особенно при недогрузках, есть еще ряд особенностей, заставляющих стремиться к внедрению дизеля в эксплуатацию в воздушном флоте. Главнейшие из них следующие: 1) Увеличение надежности работы, так как топливная система А. д. значительно более надежна, чем системы зажигания и карбюрации. Порча одного насоса или форсунки не приостанавливает работы двигателя, выводя из работы один цилиндр. 2) Меньшие радиаторы, хотя % отдачи тепла в стенки А. д. тяжелого топлива больше, чем в карбюраторных двигателях, но вследствие малых расходов топлива количество тепла на 1 л. с. оказывается меньше. 3) Устранение влияния магнета на радиосвязь. 4) Широкие возможности применения двухтактности. К недостаткам А. д. надо отнести кроме высоких давлений сжатия и сгорания и меньшего против карбюраторных двигателей среднего индикаторного давления, вызывающих больший вес на силу, также следующие. 1) Большой потребный литраж при тех же оборотах, что вызывает, несмотря на уменьшение высоты цилиндров, вследствие высокой степени сжатия, увеличение габарита двигателя. 2) Трудный пуск — требуются мощные пусковые средства. А. д. надо не только провернуть для получения искры, поджигающей готовую смесь, но раскрутить для получения достаточной  $t^{\circ}$  сжимаемого в цилиндре воздуха для обеспечения вспышки. 3) Большая стоимость вследствие большого веса и большей степени тщательности в изготовлении, вызываемой высокими давлениями. 4) А. д. тяжелого топлива требуют более тщательного и аккуратного обращения и более высокой квалификации персонала (текущее обслуживание по видимому будет проще). 5) При частичном засорении отверстий в некоторых форсунках или подтекании трубопрово-

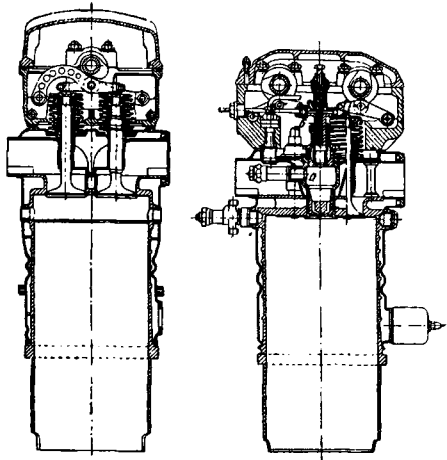


Фиг. 21.

дов падение мощности компенсируется увеличением подачи топлива в двигатель, при этом одни цилиндры будут недогружены, а другие перегружены. Необходимо наблюдение за  $t^{\circ}$  выхлопа и их одинаковостью. 6) В эксплуатации дизель склонен к дыму, топливо не высыхает, как бен-

зин, и на пятнах от него садится пыль, поддержание самолета в чистоте труднее.

Наибольшая высота, достигнутая дизельмотором, 9 000 м («Феникс», 1934 г.). В табл. 7 приведены данные основных современных (1934 г.) типов А. д. тяжелого топлива. На фиг. 20 и 1 изображены разрезы двигателя Паккард, первого из А. д. тяжелого топлива, поднявшегося в воздух на самолете. Характерной особенностью



Фиг. 22.

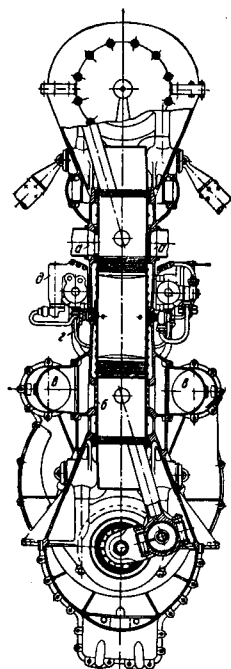
конструкции является крепление цилиндров при помощи составных колец — хомутов *a*, стягиваемых гайками с правой и левой резьбой. Насос *в* и форсунка *б* выполнены в одном корпусе. Двигатель имеет единственный на цилиндр клапан, через который происходит и выхлоп и всасывание. Подвод к клапану воздуха организован так, что приводит последний в интенсивное движение. Очень хорошо сконструированный и выполненный двигатель не вошел в практику вследствие несовершенства сжигания топлива, вызывавшего аварии поршней. На фиг. 21 представлен поперечный разрез двигателя Даймлер-Бенц. Между цилиндрами видны топливный насос *a* и от него нагревательные трубки *б* к форсункам *в*. На фиг. 22 даны цилиндры бензинового 1 и А. д. тяжелого топлива 2 той же фирмы. Видна форкамера *a* и форсунка *б*. Фиг. 23 и 2 изображают поперечный и продольный разрез двигателя Юнкерс Юмо-4. В этом двухтактном двигателе в относительно очень длинном цилиндре ходят 2 поршня в разные стороны. Движение поршней передается на коленчатые валы, вращающиеся в одну сторону и связанные между собой системой шестерен. Один вал установлен с нек-рой фазой относительно другого, вследствие чего сначала открываются выхлопные окна *a*, и после открываются продувочные отверстия *б*. Продувочный воздух, подаваемый вентилятором, приводимым в действие от нижнего вала, направляется в цилиндр через трубы *в* и большое количество мелких отверстий *б*, соответственно направленных для получения вращательного движения воздуха в цилиндре. При ходе сжатия продувочные и выхлопные отверстия закрываются одновременно, и начинается сжатие. Впрыскивание топлива производится из четырех форсунок *г*. Топливо в каждый

Табл. 7.— Характеристики А. д. тяжелого топлива.

Страна и фирма	Год	Название или марка	Число и расположение цилиндров	Охлаждение	Диам. в мм.	Ход в мм.	Степень сжатия	Степень редукции	Число оборотов	Мощность в л. с.			Вес в кг			Регулир. нагр.	Расход на 1 л. с./ч	
										ном.	макс.	литр.	общ.	литр.	удельн.		топл. <sub>2</sub>	масло <sub>2</sub>
Англия																		
Бристоль . . . . .	1933—34	Феникс	9, звезд.	Возд.	146	190,5	14	—	1 900 2 000	415 430	470	14,45 16,4	494	17,25	1,19 1,05	Р. Н.	—	—
Рольс-Ройс . . . . .	1931	Кондор 3В	12, V—60°	Водян.	140	190	12,5	0,477	1 900 2 000	480 500	—	13,6 14,2	682	19,4	1,42 1,36	Р.	192	—
Непир . . . . .	1934	Кельверин 2-тактн.	6-рядн. 2-поршн.	Водян.	120,5	210×2	—	0,6931	1 700	720	—	25,1	810	23,3	1,125	Р. Н.	167 Лицензия Юнкерс	10,4
Франция																		
Испано-Сунва . . . . .	1933—34	Сист. Клерже 14-U	14, звезд.	Возд.	140	170	16	0,842	1 900	600	$\frac{640}{2 200}$	13,65	510	13,9	1,02	Р. Н.	—	—
Лилльск. комп. моторов . . . . .	1932—34	Лилль 6R-5	6-рядн. 2-поршн.	Водян.	105	160×2	17	0,614	2 500	550	—	33	—	—	—	Р. Н.	Лицензия Юнкерс	—
Сальмсон . . . . .	1934	Сист. Шилловского SH-18	18, звезд., цилиндры один за другим	Возд.	118	150	16	—	1 600	600	—	20,3	567	19,2	0,945	—	—	—
Германия																		
Даймлер-Бенц . . . . .	1931	F-02	12, V—60°	Водян.	165	210	—	0,588	1 675	700	—	13	950	17,6	1,355	Р.	—	—
Юнкерс . . . . .	1931	Юмо-4	6-рядн. 2-поршн.	Водян.	120	210×2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Р. Н.	166—150	—
» . . . . .	1932—34	Юмо-5	6-рядн. 2-поршн.	»	105	160×2	17	0,715	2 500	550	—	33	505	30,4	0,918	Р. Н.	—	—
США																		
Паннард . . . . .	1931	DR-990	9, звезд.	Возд.	122	152	15	—	1 950	225	—	13,9	237*	14,7	—	—	210—190	—
Лемберг К <sup>о</sup> . . . . .	1934	Сист. Дешамп	12, V—30°	Водян.	153	228	16	—	1 600	1 000	1 200	20	1 090	21,3	1,09	Н.	182	6,8

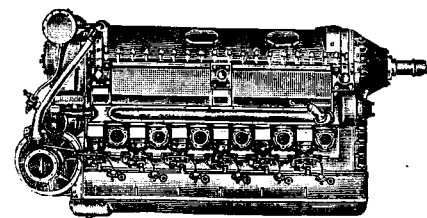
\* Без стартера и динамо.

цилиндр подается двумя насосами  $\delta$ , обслуживающими 2 форсунки каждый. В процессе создания этого двигателя между прочим было много неполадок с поршнями и кольцами. В настоящей модели поршни снабжены рабочим днищем из стали и верхним неразрезным кольцом — обтуратором. Очевидно днища имеют в работе очень высокую температуру, что вместе с высокой степенью сжатия обеспечивает быстрое воспламенение и сгорание топлива. Очень хорошая форма камеры сгорания с малым отношением отводящей тепло поверхности к объему, быстро и полно проводимое сжигание обеспечивают этому двигателю высокие кпд. Двигатель Юмо-5 отличается от Юмо-4 главным образом размерами. На фиг. 24 приведен общий вид двигателя Дешамп.



Фиг. 23.

Данные об испытаниях этого двигателя не опубликованы. Двигатель перевернутый. Выхлоп происходит через окна, продувка — через клапаны в головке. В настоящее время можно считать, что условия эффективного сжигания топлива в цилиндре А. д. тяжелого топлива достаточно выяснены. Надо найти конструктив-

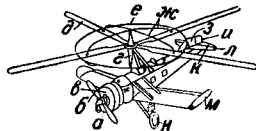


Фиг. 24.

ные схемы и особенности, которые позволили бы получить малые веса конструкции и соответствующие конструктивные формы как для самих двигателей, так и для насосов и форсунок, обеспечивающие предельную высоту, экономичность А. д. тяжелого топлива, надежность и по возможности малый уд. вес.

Лит.: Авиационные двигатели тяжелого топлива, сб. статей под ред. А. Чаромского, М.—Л., 1932; Чаромский А., Великий Л., Испытания, исследование и расчет авиационного дизеля Панкард, там же, 1934; Власов В., Быстроходные транспортные дизели, Л., 1934; Засс Ф., Бескомпрессорные двигатели Дизеля, пер. с нем., М.—Л., 1935; Рикардо Г., Быстроходные двигатели внутреннего сгорания, пер. с англ., М.—Л., 1932; J u d g e A., High Speed Diesel Engines, London, 1933. И. Ворогушин.

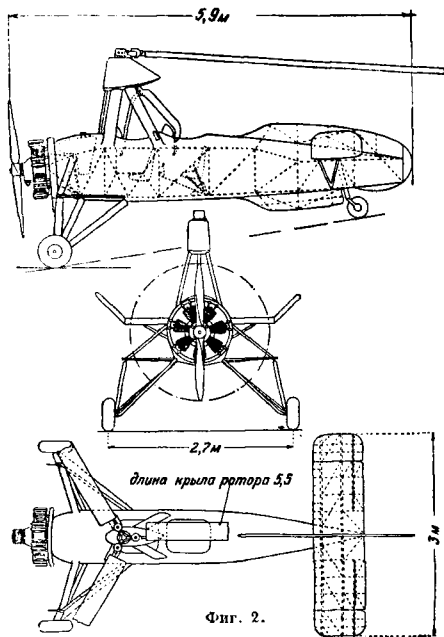
**АВТОЖИР**, летательный аппарат тяжелее воздуха, в котором в отличие от самолета подъемная сила создается с помощью вращающегося на вертикальной оси винта-ротора. За все время полета ротор вращается свободно от встречного потока воздуха. Поступательное перемещение получается с помощью мотора с обычным для самолета пропеллером. Основные части А. за исключением ротора, т. е. его фюзеляж, шасси, оперение и управление, мало чем отличаются от самолетных. На фиг. 1 дана схема А. А-4, где  $a$  — мотор,  $b$  — винт,  $\epsilon$  — механический запуск ротора,  $\delta$  — втулка ротора,  $\delta$  — лопасти ротора,  $e$  — междулопастные расчалки,  $ж$  — поддерживающие расчалки,  $з$  — киль,  $и$  — руль поворота,  $к$  — руль высоты,  $л$  — стабилизатор,  $м$  — крыло с элероном,  $н$  — шасси. При кривой обдувке винта окружная скорость лопасти, идущей по движению, складывается со скоростью полета, а скорость лопасти, идущей против движения, равняется разности этих скоростей. Благодаря возникающей при этом разнице в подъемных силах лопастей, находящихся в различных угловых положениях, появляется поперечный момент, стремящийся опрокинуть винт. Этот момент возникает на всех винтах, имеющих жесткое крепление лопастей ко втулке (большинство helicopterных винтов). У А. для ликвидации этого момента лопасти ротора прикреплены ко втулке шарнирно т. о., что они могут под действием внешних сил свободно взмахивать вверх и вниз около шарнира с горизонтальной осью. Для уничтожения напряжений в лонжероне лопасти от изгиба в плоскости вращения в крепление лопасти ко втулке введен еще шарнир с вертикальной осью, относительно которого лопасть может свободно поворачиваться в плоскости вращения. В каждый данный момент при полете лопасти устанавливаются по равнодействующей подъемных и центробежных сил. Шарнирное крепление лопастей исключает также возникновение на роторе жирокопических моментов. Небольшое крыло А. берет на себя на малых скоростях 7—8%, а на больших до 30% общей подъемной силы. Основным его назначением является нести на себе элероны, с помощью которых осуществляется поперечное управление аппаратом. Новейшие А., у которых в отличие от изображенного на фиг. 1 управление осуществляется не обычными для самолета органами, а наклоном в продольном и поперечном направлениях оси вращения ротора (т. н. непосредственное управление), совсем не имеют крыла.



Фиг. 1.

История А. был изобретен испанским виж. Жуаном де-ла Сиерра в 1910 г. Основной идеей изобретателя было создать летательный аппарат, для которого не была бы страшен потеря скорости и следствием за ней штопор. Им было построено несколько неудачных аппаратов, роторы к-рых имели разное число лопастей и конструкций, пока в 1923 г. не было введено шарнирное крепление лопастей ротора ко втулке, обеспечившее успешные полеты А. Построен еще ряд А., Сиерра в 1928 г. на А. С-8 совершил перелет из Парижа в Лондон и круговой перелет по Англии. В конце 1928 г. компания Сиерра в Париже построила А. С-19 М-1, имевший приспособление для раскрывания ротора перед полетом, требовавшийся в предыдущих конструкциях длительной руденции перед разгоном. Это приспособление состояло в особом устройстве билпанного хвостового оперения. При отклонении вверх руля и стабилизатора образуется коробка — «дефлектор», отражающая отбрасываемую винтом струю вверх на лопасти ротора. Следующая машина С-19 М-IV имеет уже механич. запуск ротора перед взле-

том от мотора, в дальнейшем целиком вытеснивший депекторный. К 1933 г., т. е. за 10 лет существования, было построено 130 А., к-рые налетали ок. 30 000 час., перевезя десятки тыс. пассажиров и почты более 4 000 000 км. В 1933 г. компания Сперра построила и испытала бескрылый двухмоторный А. с непосредственным управлением С-30, который в 1934 году строился заводом де-Хавиланд (Англия) серийно под маркой С-30Р (фиг. 2). В Со-



ветском Союзе первый А. был построен в 1929 г. инженерами Н. И. Камоным и Н. К. Сиряжиным на средства Особнякима. Этот аппарат с мотором «Титан» 230 л. с. совершил ряд удачных полетов, показав скорость до 110 км/ч на высоте 450 м.

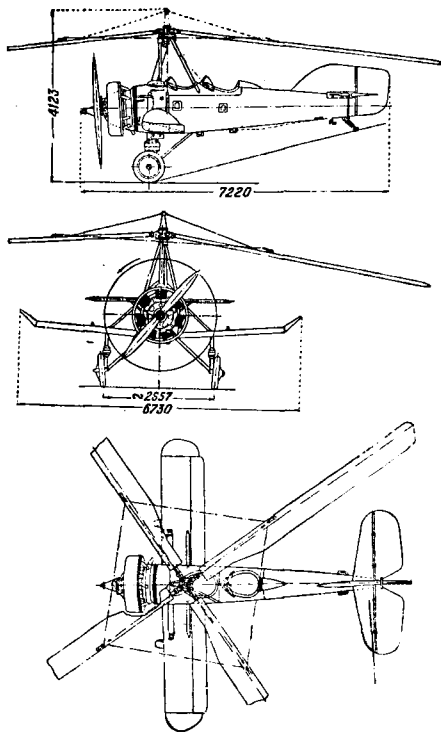
После ряда теоретич. и экспериментальных работ в 1931 г. ЦАГИ был построен А. 2-ЭА, показавший данные, не уступающие zahraniчным: максимальная скорость 160 км/ч, минимальная — 55 км/ч, потолок 4 200 м. В конце 1932 г. Отделом особых конструкций ЦАГИ был выпущен двухмоторный А. А-4 с мотором М-26 300 л. с., к-рый в 1933 г. выпускался небольшой серией (фиг. 3). В том же году был выпущен двухмоторный А. А-6 с мотором 100 л. с., имеющий свободноевисящий 3-лопастный ротор. А. А-6 очень портативен, крылья его и ротор легко складываются (фиг. 4). Этот А., как и А-4, снабжен механич. запуском и тормозом ротора. В 1933 г. выпущены А. А-7 с мотором 100 л. с. и А-8 — экспериментальный аппарат с мотором 100 л. с., имеющий кроме обычных органов управления еще и управление с помощью наклона головки ротора. Ниже мы приводим конструктивные данные наиболее характерных А. (см. таблицу).

Конструкция А. На фиг. 5, А, Б, В даны основные детали А. С-30; на фиг. 5, А дан вид А., где а — вал запуска, б — бензиновый бак, е — муфта и редуктор, г — дроссель, д — совместное выключение запуска и тормозного колеса, е — замок ручки управления, жс и з — регулировка поперечной и продольной управлений, и — колесный тормоз, включение и тормоз ротора, к — регулировка угла заклинивания; на фиг. 5, Б изображена управляемая втулка, где а и б — вертикальный и горизонтальный шарниры лопасти, в — ручка управления, г и д — пружины продольной и поперечной регулировки, е — зубчатое колесо, жс — управление тормозом, з — поперечный шарнир, и — втулка механич. запуска, к — валик механич. запуска, л — фрикционный демпфер;

#### Конструктивные данные некоторых А.

Страна, фирма и марка аппарата	Год выпуска	Назначение	Число мест	Марна и мощность мотора, л. с.	Полетн. вес, кг	Полезная нагрузка, кг	Диам. ротора, м	Кэфф. загрузки, к	Площадь крыла, м <sup>2</sup>	Скорость, км/ч		Поголов. практич. Н, л	Длина разбег, м	Управление
										максим.	посадочн.			
США Центр ТОК-2	1931	Туризм	3	Райт 300	1 362	412	13,7	0,1003	8,17	190	40	5 400	—	Обычное, самолетного типа
США Питтерн РА-19	1933	Пассажирский	5	Х орлет 420	1 833	618	15,45	0,085	11,25	193	—	—	82	Обычное, но с пропеллерным наклонным ротором репульс. в полете
СССР ЦАГИ А-4	1932	Связь	2	М-26 300	1 350	330	13	0,1055	6,5	173	50	4 200	80	Обычное
СССР ЦАГИ А-8	1934	Эксперим.	2	М-11 100	820	233	11	0,087	6,0	141	50	2 500	70	Обычное и кроме того непосредственное
Англия Сперра С-30Р	1934	Различное	2	Джонс Младше 140	817	263	11,5	0,05	нет	177	24	5 180	25,11	Непосредственное
Англия Вейр	1934	Спортивн.	1	Пуллин 50	275	—	—	—	нет	152	—	—	—	Непосредственное

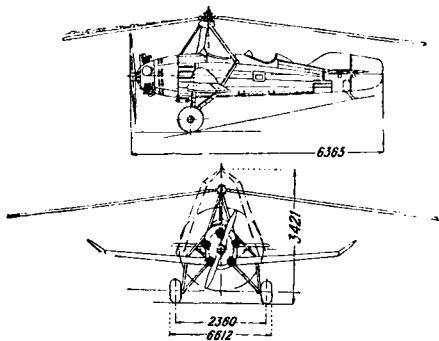
на фиг. 5, В показаны: муфта включения *a*, редуктор *b*, включающий валик *e*, пружина включения *e* и рычаг включения *d*. Лопасти ротора (фиг. 5, А) имеют обычно трубчатый лонжерон из хромомолибденовой закаленной стали с надежными на него деревянными или металлич. нервюрами. Передняя кромка обшита фанерой или



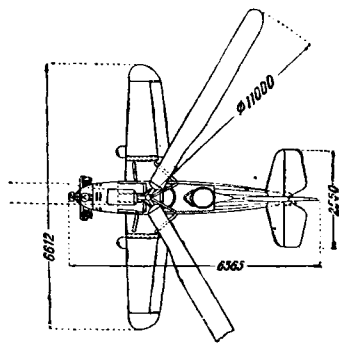
Фиг. 3.

дюралем, задняя образуется металлич. стрингером. Сверху лопасти обшиваются полотном и лакируются. В Англии делают также лопасти сплошные из легкого дерева «бальза», причем лонжероны остаются в виде трубы. Лопасти расчлененного ротора (фиг. 4) поддерживаются при стоянке на земле с помощью тросов, крепящихся к пилону, установленному на втулке, имея при этом угол свеса вниз 5—7°. Между собой они связаны «межлопастными тросами», включающими в себя резиновые амортизаторы и прикрепленными к лопастям с помощью фрикционных демпферов. Межлопастные тросы имеют назначение обеспечить равномерную раздачу крутящего момента на все лопасти при механич. запуске и других неустановившихся режимах работы. В отличие от расчлененного ротора свободнонесущий ротор (фиг. 5) [напр. А-6 (фиг. 4), С-30 Р (фиг. 2)] не имеет поддерживающих тросов, которые заменены ограничителем у корня лопасти, а также межлопастных тросов, замененных фрикционными *л* или иными демпферами у вертикального шарнира *a*, ограничивающими и смягчающими движения лопастей в плоскости вращения (фиг. 5, Б). Надлежащая работа этих демпферов, а также положение вертикального шар-

нира относительно оси вращения играют очень большую роль в обеспечении плавной работы ротора. Благодаря шарнирному креплению основной действующей на лопасть является центробежная сила (примерно в 10 раз превышающая подъемную силу лопасти), которая и является расчетной для нервюр и стрингеров. Расчетным для лонжеронов лопасти является случай изгиба при падении и ударе об ограничитель после случая ного поддува ветром на земле и случай кручения от инерционных сил в полете. Недостаточная жесткость лопасти на кручение кроме нежелательного увеличения угла закручивания вызывает вибрации и биение ротора в полете. Для обеспечения плавной работы ротора необходимо соблюдение полного подобия в расположении массы не только вдоль, но и поперек лопастей. Втулка ротора, вращающаяся на прикрепленной к кабану оси, имеет уши с шариковыми или обычными подшипниками, куда вставляются пальцы горизонтальных шарниров наконечников лопастей. Втулка имеет обычно два радиальных и один опорный подшипник, несущие на себе всю нагрузку. Материал втулки — высококачественная сталь. На фиг. 6 изображена втулка советского А. А-7, а на фиг. 5, В — управляемая втулка А. С-30Р. Последняя имеет 2 взаимно перпендикулярных шарнира *a* и *b*, относи-



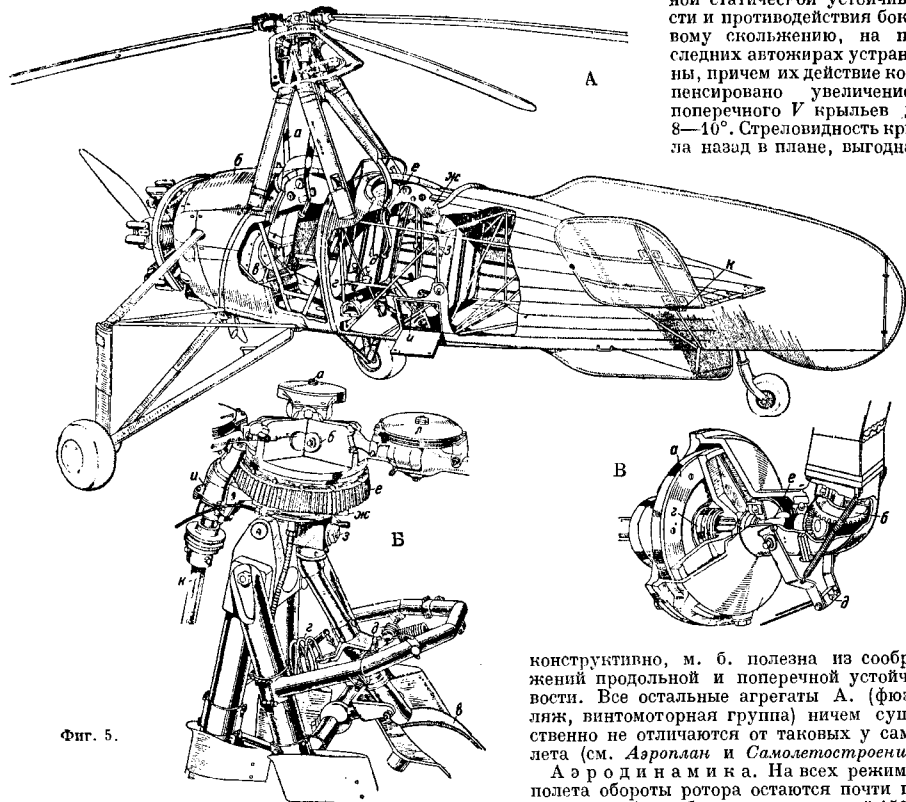
Фиг. 4.



тельно к-рых она может поворачиваться. Положение втулки при нейтральном положении ручки управления *e* регулируется специальными пружинами *g* и *o*, к-рые также облегчают и упрощают управление аппаратом. Схема управления показана на фиг. 7.

Ща с с и имеют широкую колею для придания аппарату большей устойчивости против поддува боковым ветром при посадке. Применяются масляная амортизация с большим ходом (120—150 мм) и баллонные колеса (см. *Самолестроение*). Угол выноса шасси, особенно у А. с непосред-

должна превосходить 0,8 от действительной площади лопастей. В целях обеспечения надлежащей продольной устойчивости А. крыло должно иметь центровку в пределах 25—35% средней аэродинамич. хорды. Отгибы на концах крыльев (фиг. 1), служившие для увеличения поперечной статической устойчивости и противодействия боковому скольжению, на последних автожирах устранены, причем их действие компенсировано увеличением поперечного  $V$  крыльев до  $8-10^\circ$ . Стреловидность крыла назад в плане, выгодная



Фиг. 5.

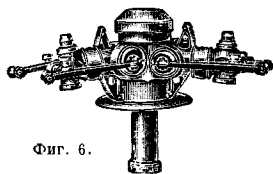
ственным управлением, очень велик (до  $30^\circ$ ). Посадочный угол желателен не меньше  $13^\circ$ . Костыль, воспринимающий при крутой посадке большие нагрузки, выполняется обычно в виде колеса на стойке с масляной амортизацией. Для улучшения маневренности на земле, что важно в условиях неподготовленных посадочных площадок, он делается управляемым.

**Оперение.** Благодаря наличию ротора вертикальное оперение А. имеет малую высоту, а вместе с тем и небольшую эффективность в смысле устойчивости пути. Этот вопрос решается часто постановкой маленьких боковых килей на стабилизатор или же установкой бипланного вертикального оперения. Горизонтальное оперение А. отличается от самолетного лишь процентным соотношением между рулями и общей площадью оперения. Для А. этот процент доходит до 55. У бескрылого А. общая площадь горизонтального оперения несколько больше для создания достаточной поперечной статической устойчивости.

**Крыло.** Площадь его подбирается из условий постоянства оборотов ротора в полете и не

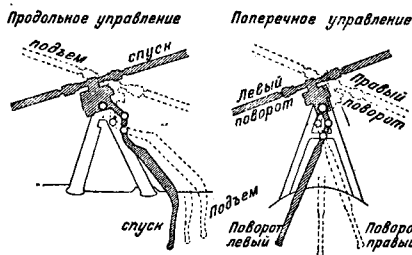
конструктивно, м. б. полезна из соображений продольной и поперечной устойчивости. Все остальные агрегаты А. (фюзеляж, винтомоторная группа) ничем существенно не отличаются от таковых у самолета (см. *Аэроплан и Самолестроение*).

**Аэродинамика.** На всех режимах полета обороты ротора остаются почти постоянными (для обычных конструкций 150—160 об/мин.). Благодаря вращению ротора даже при больших углах атаки его, измеряемых между потоком и плоскостью, перпендикулярной к оси вращения, сечения лопастей работают на малых углах атаки. Отношение поступательной скорости к окружной скорости конца лопасти  $\lambda$  меняется от 0 при вертикальном спуске до значения 0,5—0,7 при максимальных скоростях. Так обр. даже при максимальной скорости полета внешняя половина лопасти, движущаяся назад, находится в условиях нормального обтекания. Устанавливаясь в каждый данный момент по равнодействующей всех сил, лопасти совершают маховое движение относительно оси горизонтального шарнира. Описываемый лопастями конус, так наз. «ступльпан», симметричен лишь при вертикальном спуске. При поступательном



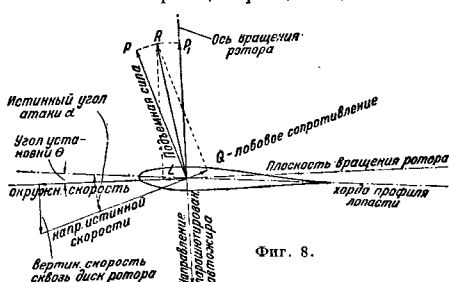
Фиг. 6.

движении А. несимметрия скоростей в плоскости вращения (у лопасти, к-рая идет по движению аппарата, относительная скорость больше, чем у идущей против движения) вызывает несимметрию сил. Ось конуса наклоняется назад и в сто-



Фиг. 7.

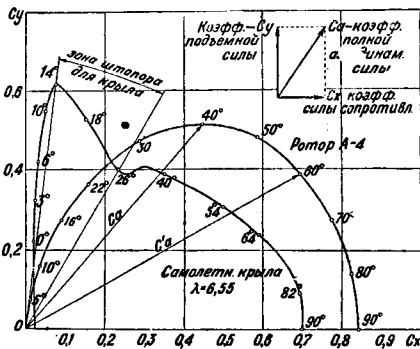
рону. Т. о. полная аэродинамич. реакция ротора имеет 3 компонента: тягу, направленную по оси вращения, продольную силу, перпендикулярную к ней и лежащую в направлении движения, и боковую силу, направленную в сторону лопасти, идущей вперед. Для компенсации этой последней в конструкциях А. ось ротора наклоняется несколько в прогибоположную сторону (на 1—2,5°). Для выяснения причины авторотации ротора рассмотрим силы, действующие на элемент лопасти (фиг. 8) при вертикальном спуске А. Истинная скорость, подходящая к элементу под углом атаки  $\alpha$ , является равнодействующей окружной скорости и скорости протекания воздуха сквозь диск ротора. Полная аэродинамическая реакция R, как известно, будет отклонена назад от перпендикуляра к истинной скорости на угол  $\gamma = \arcs \operatorname{tg} \frac{Q}{P}$ , т. е. на угол обратного качества профиля. Как видим из фиг. 8, сила R при проектировании на ось вращения дает силу  $P_1$  — элементарную тягу, а в плоскости вращения — силу L, к-рая вызывает вращение лопасти носком вперед. Установившееся вращение имеется тогда, когда сила R направлена по оси вращения. Однако при установившейся авторотации ротора это положение



Фиг. 8.

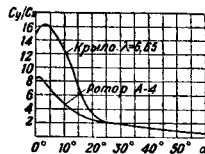
имеется только в одном сечении лопасти, находящемся примерно на  $\frac{2}{3} R$ . На сечениях внутренней части лопасти равнодействующая наклонена вперед и создает крутящий момент, к-рый поглощается внешней частью лопасти, где равнодействующая отклонена назад. Если находящийся в состоянии установившейся авторотации элемент притормозить, то благодаря уменьшению окружной скорости угол атаки возрастает, равнодействующая наклонится вперед, и возник-

ает компонент, восстанавливающий вращение. Точно так же при ускорении вращения возникает затормаживающая сила, восстанавливающая состояние установившейся авторотации. Угол установки лопасти определяет собой угол атаки данного профиля для условий установившейся авторотации. Авторотация возможна лишь при узком диапазоне положительных углов установившейся лопасти, верхнее теретич. значение к-рого для профиля Геттинген 429  $\theta = 7^\circ$ . На фиг. 9 изображена аэродинамическая характеристика ротора; для сравнения нанесена характеристика крыла. Все коэф-ты для ротора отнесены не к действительной площади лопастей, а к площади ометаемого ими диска. Между тем мы видим, что максимальное значение коэф-та подъемной силы  $C_y$  ротора близко к таковому для крыла. Если же  $C_y$  отнесем к действительной площади лопастей, то его максимальное значение будет в 8—10 раз больше, чем таковое у крыла. Ротор не имеет режима срыва, наступающего у крыла при углах атаки 15—17° и обуславливающего штопор. Коэф. суммарной силы ротора с увеличением угла атаки постоянно возрастает.



Фиг. 9.

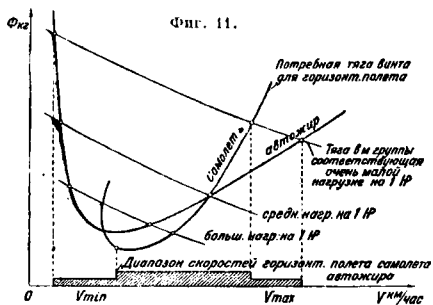
Переходя на большие углы атаки (20—30°), А. спокойно переходит в крутое снижение с малой скоростью. Максимальное качество ротора около 8—10 (в зависимости от угла установки и коэф-та заполнения  $k$ , т. е. отношения действительной площади лопастей к ометаемой площади), причем качество прямо пропорционально первому и обратно пропорционально второму. Максимальное качество приходится на малые углы атаки, а следовательно и на малые значения  $C_y$ , т. е. на условия максимальной скорости (фиг. 10). При размахе крыла, равном диаметру ротора, мощности, затрачиваемые на преодоление индуктивного сопротивления того и другого, а также на вредное сопротивление А. и самолета, могут считаться равными. Мощность же, затрачиваемая на преодоление профильного сопротивления крыла, как известно, пропорциональна кубу скорости ( $N_p = C_{p0} S V^3$ ), а на преодоление профильного сопротивления ротора благодаря почти полному постоянству числа его оборотов на всех скоростях — только первой степени скорости. Т. о. надо полагать, что при небольшой нагрузке на лошадиную силу мотора, т. е. при скоростном



Фиг. 10.



аппарате, А. при равном весе и мощности мотора будет иметь большую максимальную скорость, чем самолет. Это положение иллюстрируют приведенные на фиг. 11 кривые Пэно А. и самолета (см. *Аэродинамика*).



Летные характеристики А. вытекают из его аэродинамических характеристик: высокий коэф. подъемной силы делает возможным горизонтальный полет с очень малыми скоростями порядка 30—40 км/ч; в то же время А. при небольшой нагрузке на 1 л. с. не уступает самолету в максимальной скорости. Диапазон скоростей А. достигает значений 5—6 вместо 2,5—3 для самолета. Возможна очень крутая траектория снижения вплоть до вертикального спуска, скорость которого, замеренная в летных испытаниях, составляет 10 м/сек. Кроме того А. имеет возможность планировать полого, по-самолетному. При соответствующей раскрутке ротора перед стартом А. имеет очень короткий разбег (порядка 25—40 м и меньше), разбег А. С-30 с непосредственным управлением равен 11 м. Это условие вместе с возможностью посадки без пробега чрезвычайно сокращает размеры потребного аэродрома, позволяя А. работать в условиях неподготовленных посадочных площадок. Так как качество ротора ниже качества крыла, А. обладает худшей (примерно на 15%) скороподъемностью и более низким потолком, чем самолет. Однако в угле залета он не уступает, а иногда и превосходит самолет, т. к. у А. скорость по траектории значительно меньше. Безопасность А. характеризуется гл. обр. невозможностью штопора, отсутствием явления потери скорости, нулевой посадочной скоростью. В неспокойном воздухе он более устойчив, чем самолет, благодаря инерции вращающихся лопастей. Управление А. проще управления самолета; это качество особенно ярко проявляется у бескрылого А. с непосредственным управлением. Хорошая маневренность А. определяется гл. образом широким диапазоном скоростей, более плавной передачей перегрузки на корпус и малым моментом инерции аппарата относительно вертикальной оси. Необходимо отметить, что все стенифические характеристики А. нашли свое наиболее яркое выражение в автожире с непосредственным управлением. Этот последний имеет: более короткий разбег за счет увеличения угла атаки ротора при подрыве; большую безопасность от опрокидывания боковым ветром при посадке благодаря возможности быстро погасить подъемную силу ротора, соответственно наклонив его; полную управляемость на малых скоростях, где обычное самолетное управление мало эффективно; возможность чисто вертикаль-

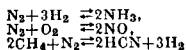
ного спуска, достижимого обычному А. далеко не при всякой центровке, и целый ряд других преимуществ. Именно этому типу А. принадлежит будущее.

Применение. Не конкурируя с самолетом во всех областях применения, А. найдет себе целый ряд новых областей, недоступных обыкновенному самолету. Широкий диапазон скоростей и исключительные взлетно-посадочные качества позволяют А. хорошо работать в условиях сильно пересеченной местности. Возможность посадки на пахоту, залета с небольшой дужки, простота в управлении делают его ценным аппаратом для аэрокосмической авиации. Для аэрофотосъемки А. открывает новые перспективы благодаря возможности полета на малых скоростях. Он м. б. также с успехом использован для засева и борьбы с вредителями с х-ва. В США А. используются для борьбы с лесными пожарами, для туризма и для несения полицейской службы. Военное применение А. также имеет весьма широкие перспективы: замена А. змейковых аэростатов для наблюдения и корректировки стрельбы, для целей сопровождения самолетов и ближней разведки, для сопровождения военных судов и борьбы с подводными лодками. Помимо этого имеется вероятная возможность применения А. как скоростной и маневренной машины в роли истребителя.

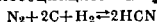
Лит.: Братухин И., Автожиры, М.—Л., 1934; е р о ж е, Теория ротора автожире, «Техник. воздушного флота», М., 1933, 7; е р о ж е, Аэродинамический расчет автожире, там же, 1934, 3; Миль М., О разбеге автожире, там же, 1934, 5; е р о ж е, Продолная баластировка и устойчивость автожире, «Техника воздушного флота», 1934, 8; Кузнецов В. и Миль М., Экспериментальный аппарат ЦАГИ «Эдвина автожир», там же, 1933, 6; G. A. Genet, Theory of the Autogyro, Rep. A. Mem., Wash., 1111; Lock, Further Development of Autogyro Theory, *ibid.*, 1127; Glauret, Lift A. Torque of an Autogyro on the Autogyro, *ibid.*, 1133; Bennett J., Über den Flug eines Autogyro mit grosser Geschwindigkeit, «ZFM», 1933, 17; Bennett J., Über den senkrechten Abstieg eines Autogyro, *ibid.*, 1932, 6; Schenk M., Die aerodynamischen Grundlagen der Tratschrau, *ibid.*, 1933, 15, 16, 17; Larsen, Engineering Aspects of the Modern Autogyro, «Journal of the Society of Automotive Engineers», N. Y., 1932, v. 30, 6; Lock A. Towend, Wind Tunnel Experiments on a Model Autogyro at Small Angles of Incidence, «Rep. A. Mem., Wash., 1154, «Technical Report NACA», Wash., 427 (реферат В. Кузнецова, Испытания американского автожире, «Техника воздушного флота», М., 1933, 7); Whalley J., Wing Pressure Distribution a Rotor Blade Motion of an Autogyro as Determined in Flight, «Technical Report NACA», Wash., 475. Конструкция и эксплуатация: Скржинский Н., Автожир А-4 ЦАГИ, Москва—Ленинград, 1934; Brie R., The Autogyro and How to Fly it, London, 1933; «Aeronautical Engineering», 1932, v. 4, 4; Скржинский Н. и Миль М., Опытный автожир А-4 конструкции ЦАГИ, «Техника воздушного флота», Москва, 1933, 10; Три коммерческих автожире, «Aviation», New York, 1931; Autogyro, «The Aeroplane», London, 1934, 5. М. Миль.

**АЗОТ.** Реакция фиксации элементарного азота. Несмотря на то, что известно весьма большое количество соединений А., имеющих первостепенное значение в природных процессах и жизни человека, элементарный А. является весьма инертным газом, с трудом вступающим в химич. реакции. Основной проблемой химии А. является т. о. вопрос о методах фиксации элементарного А. с образованием того или иного соединения, из которого м. б. получены прочие азотсодержащие продукты. В природе связывание А. осуществляется в результате образования окислов азота при грозовых разрядах в атмосфере и в результате жизнедеятельности бактерий, обладающих способностью переводить атмосферный А. в белковые соединения. Акад. А. Н. Баку [1] удалось выделить из бактерий *Azotobacter* эзим, при помощи к-рого

процесс связывания А. может происходить и вне организма бактерий (in vitro). Роль энцима сводится повидимому к катализированию сопряженного процесса окисления сахара и образования гл. обр. аммиачных соединений. Подобные сопряженные процессы известны у бактерий и для других случаев. Напр. за счет реакции окисления аммиака в нитриты и нитритов в нитраты — «нитрифицирующие» бактерии имеют возможность утилизировать углерод из углекислоты (соответствующий энцим не выделен). Наиболее важными реакциями, могущими служить для целей технич. связывания А., являются следующие:



(с частичной диссоциацией  $\text{CH}_4$  и  $\text{HCN}$ ),



(HCN в дальнейшем может подвергаться омылению по у-рино  $\text{HCN} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HCOOH}$ ). Первая из этих реакций была изучена Габером. Она является экзотермич. процессом, протекающим при участии катализаторов. В настоящее время технич. способ фиксации А. (аммиачный синтез) осуществляется посредством этой реакции. Остальные реакции хотя и реализованы в лабораторных условиях, но представляют затруднения для технологич. использования в смысле энергетич. затрат, так как являются процессами эндотермическими и требуют для своего осуществления подвода энергии извне (тепловой либо электрической). При реакциях в вольтовой дуге электроэнергия является лишь источником нагрева; эти способы следует отличать от реакций образования окислов А. (Габер, 1910 г.) и синильной к-ты (Франц Фишер, 1927 г.) [2, 3] в холодных (тлеющих) разрядах. Таблица [4] показывает объемные и энергетические выходы связанного А. при эндотермических реакциях фиксации А.

Исходные реакции	2 000°		3 000°		3 500°	
	*1	*2	*1	*2	*1	*2
$0,5\text{N}_2 + 0,5\text{O}_2$ (стехиометрич. смесь) . . .	0,0075	$5 \cdot 10^{-3}$	4,52	—	7,23	2,1
$0,5\text{N}_2 + 0,5\text{O}_2$ (воздух)	0,0063	$3,3 \cdot 10^{-3}$	3,47	—	5,5	1,7
$0,5\text{N}_2 + \text{CH}_4$ . . . . .	2,37	0,87	20	4,37	24,12	3,4
$0,5\text{N}_2 + \text{C} + 0,5\text{H}_2$ . . .	2,78	1,1	29,4	5,6	37	5,4

\*1 Объемный процент. \*2 Выход связанного азота в граммах на 1 kWh энергии.

расход энергии на фиксацию А. при различных темп-рах эндотермич. реакций и достижимые при этих условиях равновесные концентрации. Трудность использования этих процессов для технологич. целей заключается в трудности «заморозить» равновесие, устанавливающееся при высоких темп-рах. Экспериментально удается получить лишь значительно более низкие концентрации продуктов, чем это соответствует расчету для темп-р реакции. Соответственно этому энергетич. выходы оказываются значительно меньшими, чем это следует из расчета. Функционирование [5] до изобретения аммиачного синтеза технич. установок для получения окислов азота давали не более 1 грамма тона связанного А. на 1 kWh расходуемой энергии при концентрации окислов 2—2,5% (способы Виркеланда и Эйде, Паулинга) из воздуха и не более 1,43 грамма тона связанного А. на 1 kWh — из стехиометрич. смеси А. и кислорода (метод «Нитрум»).

То же можно сказать и о термич. способах получения синильной к-ты. Экспериментально не удавалось получать больше 2,76% при реакции с углеродом и больше 7,7% при реакции с метаном. При фиксации А. в тлеющих разрядах [\*, †] устанавливающиеся стационарные состояния легко замораживаются. Габер получал (при большом удельном расходе энергии на разряд) объемные выходы окиси азота: до 8—10% из воздуха и до 14% — из стехиометрич. смеси А. и кислорода. Франц Фишер получал выход более 10% HCN в тлеющем разряде [2], несмотря на то, что темп-ра тлеющего разряда не превышает 700—1 000°. Различия между способами термическими и электрохимическими заключается в способе передачи энергии, идущей на возбуждение (активацию) молекул. При термическом процессе в реакционной зоне господствует закон распределения Максвелла-Больцмана, в результате чего активируется лишь небольшая часть общего числа молекул. При чисто электрич. возбуждении процесса энергия имеет определенную направленность и характер возбуждения совершенно иной. Однако произведенные в 1910 г. Габером работы по фиксации А. дали недостаточные для технологич. рентабельности процесса результаты. Габеру не удавалось получать более 1—1,3 грамма тона связанного А. на 1 kWh затрачиваемой энергии, т. ч. практически он имел те же выходы, что и при термич. способе. Это и заставило его обратиться к изысканию способа связывания А. через аммиак. Для получения азотной к-ты аммиачный синтез несомненно представляет весьма обходный путь, т. к. для синтеза аммиака требуется получение водорода, а при окислении аммиака в азотную к-ту водород аммиака окисляется в воду. Несомненно, что в будущем аммиачный синтез должен уступить место непосредственному способу связывания А. (окисление). Теоретически можно ожидать от тлеющих и вообще от всех холодных разрядов значительно большей эффективности, чем это было достигнуто Габером в 1910 г. и чем это достигнуто при термич. способе, т. к. направление энергии в этих разрядах поддается вариации в значительно более широких пределах, чем при термической активации процесса.

Энергетические уровни А. [7, 8]. В связи с проблемой воздействия электроэнергии на элементарный А. приобретает особый интерес вопрос об энергетич. уровнях А. и об особой модификации А. — «активном азоте». Порядковый номер А.—7. В состав его атомного ядра входит водород (протон). Это доказано опытами Резерфорда, при к-рых ядро азота бомбардировалось  $\alpha$ -частицами. Высказано предположение, что взамен выбитого из ядра А. водорода (протона) внутрь ядра входит  $\alpha$ -частица, в результате чего образуется новый элемент с порядковым номером 8 и атомным весом 17 — изотоп кислорода. В последнее время была доказана возможность разложения атома А. нейтронами. Расположение орбитальных электронов в атоме А. следующее: 2 электрона находятся на К-оболочке (1S), 5 электронов на L-оболочке, из них два — в состоянии 2S и 3 — в состоянии 2p. Нормальное состояние  $4S^2_{1/2}$ . Для атома А. известны два метастабильных состояния, соответствующие 2,37 V и 3,56 V [1].

Молекулярный А. обладает квадрупольным моментом  $3,86 \cdot 10^{-26}$ . Молекулярный диам., вычисленный различными авторами, имеет значение порядка  $(1,3—2,8—3,4) \cdot 10^{-8}$  см. Распределение электронных термов молекулярного азота

изображено на фигуре, на которой величина уронеи выражена в V. Энергия выражается в вольтгах по следующим соображениям. Электрон, движущийся в электрич. поле, набирает кинетич. энергию, к-рую он передает в момент соударений; она производит возбуждение или ионизацию атома или молекулы; кинетич. энергия, необходимая для этого, будет

$$\frac{mv^2}{2} = eV$$

( $e$  — заряд электрона,  $m$  — его масса). Поэтому можно условно выражать энергию в виде потенциала, при котором проходящий в поле электрон получает необходимую для ионизации или возбуждения энергию. Спустя некоторое время (порядка  $10^{-8}$  сек. для метастабильных состояний) полученная энергия возбуждения излучается в виде света определенной длины волны. Расчет длины излучаемой волны производится по формуле

$$eV = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

откуда

$$\lambda = \frac{hc}{eV} \cdot 300 = \frac{12348}{V} \text{ \AA}$$

причем  $V$  есть разность энергий состояния перехода, выраженная в вольтах.

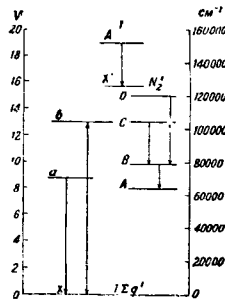
Состояния  $a$  и  $b$  соответствуют возбужденному A. Переход с этих уровней в нормальное состояние связан с излучением волн, дающих спектральные полосы в ультрафиолетовой части. Кроме состояний возбуждения  $a, b$  существуют состояния возбуждения A, B, C, D. Уровень возбуждения A, соответствующий 8,2 V, является метастабильным; переход от этого состояния к нормальному возможен гл. обр. за счет передачи энергии путем ударов второго рода. Переход с возбужденных состояний B, C, D совершается только на метастабильный уровень A, но не на нормальный уровень. Переход B→A соответствует излучению волн красно-синей видимой области спектра. Эта группа полос получила название «1-й положительной группы» A. Переход C→B соответствует излучению волн сине-фиолетовой области, — это так нав. «2-я положительная группа». Переход D→B соответствует излучению ультрафиолетовых волн, — это т. н. «4-я положительная группа» A. Состояние X<sup>1</sup> соответствует ионизированному азоту, состояние A<sup>1</sup> — возбужденному ионизированному состоянию. На фигуре видно, что потенциал ионизации равен ~15,8 V. Переход A<sup>1</sup>→X<sup>1</sup> соответствует излучению группы полос сине-ультрафиолетовой области спектра. Эта группа полос получила название «отрицательной группы» A. «Третья положительная группа» полос, ранее приписывавшаяся A., оказалась принадлежащей окиси A.

Найдены также следующие уровни молекулярного A. (не изображенные на фигуре). При ударе электронов о молекулу A. найден уровень, соответствующий первому колебательному уровню молекулы A.—0,29 V. Передача энергии от электрона молекуле с трансформацией этой энергии в энергию колебания была объяснена Франком как результат возмущающего действия электрона, приближающегося к молекуле, в резуль-

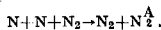
тате чего оказывается возможной подобная передача, которая с первого взгляда кажется противоречащей принципу Франка-Кондона. Найдены также уровни 29,9; 27,7; 40 и 47 V. Возбуждение последних двух уровней соответствует усиленному образованию ионов атомарного азота. Образование ионов происходит и при ударах электронов в 22,7 V по уравнению  $N_2 \rightarrow N^+ + N^-$ .

Что касается химич. реакционной способности перечисленных форм A., то в этом отношении не имеется еще окончательных данных. Ряд работ указывает, что при реакциях в электрич. разряде реакционноспособной формой является ионизированный A. (помимо «активного A.», о к-ром см. ниже); это соответствует тому факту, что потенциал реакции при образовании NO и NH<sub>3</sub> в азотонных трубках оказывался близким к 15,8 V, т. е. к потенциалу ионизации. Однако это не может считаться окончательно доказанным, т. к. некоторые исследователи (Гопф-фельд) допускают существование возбужденного уровня, весьма близкого к потенциалу ионизации (переход с этого уровня в нормальное состояние соответствует излучению волн крайней ультрафиолетовой области порядка 750—650 Å). С этой точки зрения интересны недавно найденные данные, что при облучении A. пучком электронов в пределах 90÷2 000 V максимальной вероятностью возбуждения обладает уровень, соответствующий 13 V (уровень C). Возможно, что при реакции в разряде реакционноспособной формой является именно этот возбужденный уровень. На это указывает и ряд других спектроскопич. наблюдений. Возможно конечно, что реакционноспособной формой при разряде является также атомарный азот. Энергия диссоциации элементарного A.—8,2 V (по некоторым данным 9÷9,5 V).

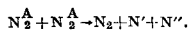
Активный A. [7]. При разряде под уменьшенным давлением (1—2 мм ртутного столба) была обнаружена особая форма A. — «активный азот». Характерным свойством активного A. является продолжающееся после гашения разряда свечение, т. н. «послесвечение». Продолжительность послесвечения при «конденсированных разрядах» достигает 15 мин. Впервые систематич. изучением активного A. занимались Э. Варбург и П. Льюис (1900 г.) и Р. Стрётт (1911—18 гг.). Спектроскопич. изучение послесвечения показывает, что из всей области молекулярного спектра A. в спектре послесвечения присутствуют только отдельные полосы из первой положительной группы, именно по 3 или 4 соседние полосы в зеленой, желтой и красной части и в ближайшей инфракрасной с очень большой интенсивностью, в то время как другие группы и атомарный спектр совершенно отсутствуют. Суждение об энергии, необходимой для получения светящейся формы активного A., можно получить на основании опытов передачи энергии от активного A. другим веществам; напр. если к активному A. примешать парь воды, то получается заметный ионизационный ток, что соответствует передаче энергии возбуждения активного A. (ударами второго рода) молекулам воды и их ионизации. Аналогичные опыты с парами ртути дали отрицательные результаты. Т. к. ионизационный потенциал вода 10,1 V (с точностью до 0,55), а ионизационный потенциал ртути 10,4 V, то можно думать, что источником свечения активного A. является возбужденная молекула с энергетич. уровнем, относящимся к терму B с энергией возбуждения между 10 и 10,5 V. Наряду со светящейся формой в



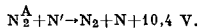
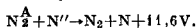
активным А. присутствует и несветящаяся модификация. Целый ряд фактов (см. ниже) указывает на то, что эта несветящаяся форма активного А. есть А. атомарный. В настоящее время (теория Карю и Каплана) объясняют след. образом появление спектра послесвечения. Исходным элементом активного А. являются атомы А. Два атома рекомбинируют (соединяются) друг с другом, причем выделяется энергия диссоциации, равная 8,2 (9,6) В. Для того чтобы эта освобождающаяся при рекомбинации двух атомов энергия могла быть отдана, необходимо соударение с третьим телом. При столкновении с нормальной молекулой А. происходит отдача энергии рекомбинации двух атомов, причем отданная энергия идет на возбуждение метастабильного состояния А. Другими словами, осуществляется процесс:



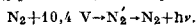
Метастабильная молекула может существовать весьма долгое время. При столкновении двух метастабильных молекул выделяющаяся энергия (16 В) идет на диссоциацию одной из них с образованием метастабильных атомов:



Выделяющаяся энергия при этом столкновении (16—8,2=7,8 В) вполне достаточна для возбуждения двух метастабильных состояний атомов по 3,56 В или 2,37 В. Излучение послесвечения происходит за счет энергии при столкновении метастабильной молекулы  $N_2^A$  и атомов  $N'$  и  $N''$ :

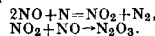


Выделяющаяся энергия вполне достаточна для возбуждения (уровня В) спектра послесвечения:



Эта гипотеза благодаря своей сложности объясняет почти всю сумму фактов, известных для активного А. (Существуют и другие теории активного А., напр. что активным атомом является молекула  $N_2^A$ .) В частности продолжительность послесвечения объясняется существованием метастабильных молекул, передающих свою энергию лишь при редких (в силу малой концентрации) столкновениях с метастабильными атомами. Существование несветящейся модификации активного азота, представляющей собой атомарный А., доказывается след. образом. Если нагреть трубку, в которой течет светящийся А., то свечение пропадает в месте нагрева и возникает в холодных частях. Тушение послесвечения обусловлено тем, что под влиянием теплового движения метастабильная молекула  $N_2^A$  получает дополнительную энергию перехода в состояние  $N_2^A$ , из к-рого возможен переход в нормальное состояние. Теряя способность к свечению, активный А. не теряет своей «активности»: несветящаяся форма обладает способностью возбуждать люминесценцию фосфора, паров натрия и т. д. Если предоставить возможность активному А. попадать на металлическую сетку, то эта сетка начинает разогреваться. Разогревание обусловлено выделением энергии рекомбинации двух атомов. Измерением выделяющегося тепла можно определять концентрацию активного А. Оказывается, что эта концентрация в широких пределах не зависит от интенсивности послесвечения. Существование атомарной формы активного А. доказывается также изучением спектра активного А. при безэлек-

тродном разряде: в активном А. обнаружены дуговые и искровые линии атомарного А., которые никогда не наблюдались в А. неактивном. В отличие от нормального А. активный А. обладает большей способностью к химическому взаимодействию. Перечислим главнейшие из известных его реакций: 1. Реакции соединения. С парами металлов (Na, Mg, K, Zn, Cd, Al, Ti, Sn, Pb) А. дает нитриды, обнаруживаемые спектроскопически. А. реагирует с твердым Са и жидкой ртутью, давая нитриды. Соединение происходит и с С, В, As, S. Образование оксидов А. доказано лишь спектрографически; азот соединяется с водородом, давая аммиак; промежуточным продуктом при этом является радикал  $NH^{\cdot}$ . 2. Реакции разложения.  $HBr$ ,  $HJ$  разлагаются активным А. Разложение молекулярной формы самого активного А. наблюдается на всех известных катализаторах. 3. Реакции обмена.  $CS_2$  реагирует с активным А., давая  $NS + CS$ . Реакция  $S_2Cl_2$  с А. дает  $N_2S$ ; тот же продукт образуется и при взаимодействии с  $H_2S$  и S. Реакция между  $NO$  и активным А. по видимому протекает по следующей схеме:



4. Реакции с органическими соединениями. Ацетилен, бензол, пентан, гексан, метилбромид, этилхлорид, хлороформ, иодоформ, этилен, этилендихлорид, этиловый эфир дают с активным А.  $HCN$ . С метаном активный А. не реагирует, что указывает на то, что для получения  $HCN$  в электроразряде необходима активация метана — перевод его в состояние свободных радикалов  $CH$ . Индигго обезцвечивается активным А. 5. Передача энергии посторонним телам проявляется либо в способности возбуждать и ионизировать (см. выше), либо в переводе белой модификации фосфора в красную, либо в тушении люминесценции при соударении с поверхностью металлов. Вопрос, какую роль может играть активный азот при окислении азота в электроразряде, в настоящее время еще не выяснен.

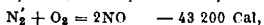
Лит.: 1) Вах А., Ермолова З., Степанян И. М., Связывание атмосферного азота при обыкновенной температуре и давлении при посредстве бактерий, извлеченных из азот. бактерий, Доклады Академии наук СССР 1934, стр. 1—3, J. 1, 1934; 2) Haber, K. o. u. P. l. a. n. o., Über die Bildung von Stickoxyd im Hochspannungsbogen, «Ztschr. f. Elektrochemie», 1910, В. 16, 29; 3) Fischer, Darstellung d. Cyanäure aus technischen Gasen, «Brennstoffchemie»; 4) Кобозев Н., Васильев С., Казарновский Я., Термодинамика эндотермических процессов фиксации азота. Сборн. Связанный азот, под ред. Кертиса; 5) Mellor J. W., Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry, v. 8, L., 1933 (подробная библиография); 6) Игава И. и др., «Изучение и ее теоретические измерения», 2 изд., J. 1, 1934; 7) Гергер Т., Активный азот, «Успехи физических наук», М., 1931, т. 11, вып. 6; 8) Penning, Anregung von Quantenspringen, Hndb. der Physik, hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, В. 23, Т. 1, В., 1933; 9) Steiner, «Ztschr. f. Elektrochemie», 1930, В. 36. С. Васильев.

**АЗОТНАЯ КИСЛОТА.** Физические и химические свойства А. к. см. Азотная кислота, т. I.

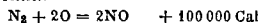
Производство А. к. Основными источниками для производства А. к. являются аммиак, атмосферный воздух и ископаемые нитраты (чилийская селитра). Использование селитры потеряло присущий ему когда-то характер гегемонии и идет на убыль. Среди новейших изысканий по азотным проблемам весьма многообещающим является синтез А. к. из воздуха в высокочастотном разряде. Эта задача, являющаяся задачей энергетического выхода, еще ждет своего разрешения, но в случае успеха целесообразными окажутся такие процессы, как:

гидрирование окиси азота с целью получения аммиака или параллельный синтез А. к. и аммиака из элементов.

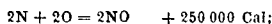
Еще несколько лет назад единственным источником производства А. к. в большом масштабе была натриевая селитра  $\text{NaNO}_2$  (см. *Азотная кислота*, т. I). На смену естественному нитрату были выдвинуты методы фиксации азота в электрич. дуге. Однако это производство захирело, и сейчас даже в Норвегии, стране с весьма дешевой гидроэнергией, заводы окисления азота кислородом воздуха перестроены почти целиком и в-ды синтеза аммиака. Причина заключается в высоком расходе энергии на реакцию



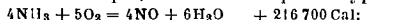
к-рая, будучи весьма эндотермической даже при  $t^\circ$  вольтовой дуги, дает лишь 2—3% выхода NO из воздуха. В тихих разрядах высокой частоты ионизация и активизация молекул приводят к реакциям типа:



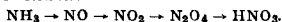
и



$t^\circ$  реакции снижается до нескольких сот градусов, а выход возрастает до 10% и выше. Условия этих реакций еще изучаются и в промышленности не применены. Война 1914—18 гг. поставила государство перед лицом необходимости эманипации производства А. к. Мобилизация изобретательской мысли привела к разработке и развитию метода окисления аммиака в окись азота с последующим превращением в А. к. Химизм этого процесса м. б. изображен ур-ем



он был известен еще в 1800 г. (Фуркруа) и изучался в 1839 г. Кюльманом, впервые получившим А. к. из аммиака. Но до войны 1914—18 гг. во всем мире были построены лишь две небольшие установки, работавшие по способу Оствальда. В способе Оствальда было дано в простом виде основное технич. решение проблемы; дальнейшее усовершенствование касались изменений состава катализатора, давления и  $t^\circ$  отдельных стадий производства, но схема процесса осталась неизменной:

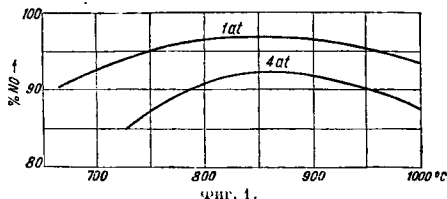


Исходные вещества — аммиак, воздух, вода. В действительности помимо обратимого характера всех реакций при этом процессе переплетаются главные реакции с побочными, ведущими к образованию отбросных или первичных продуктов ( $\text{N}_2$ , NO), и вследствие этого подбор оптимума времени конверсии,  $t^\circ$ , давления теоретически довольно сложен. Интересно отметить, что в настоящее время термин «синтетическая А. к.» предлагается исключительно к кислоте, полученной окислением аммиака, тогда как продукт, полученный путем фиксации азота в вольтовой дуге, называется «дуговой» к-той. Уд. в трех основных способов получения А. к. — дугового процесса, окисления аммиака, разложения селитры — весьма различны; способ окисления аммиака асимптотически завоевывает 100%. Расход энергии на 1 т 100%-ной  $\text{HNO}_3$  в т условного топлива: в дуговом процессе 14,2 м (ок. 18 000 kWh), синтез аммиака (0,7—1,1) плюс окисление аммиака (0,35—0,08) плюс концентрация к-ты (0,1—0,15) = 1,0—1,5 м (ок. 1 250 kWh). Этапы производства синтетич. А. к. таковы: 1) собственно окисление аммиака, или конверсия, 2) превращение NO в  $\text{NO}_2$ , 3) растворение  $\text{NO}_2$  и его полимера  $\text{N}_2\text{O}_4$  в воде с образованием А. к., 4) абсорбция хвостовых газов, 5) концентра-

ция полученной к-ты до необходимой крепости. В соответствии со специфичностью операций на в-дах обычно выделяют 1-й и 5-й этапы в самостоятельные цехи, а 2-й, 3-й, 4-й объединяют.

Окисление аммиака. В цехе конверсии происходит сжигание аммиака и приготовление смеси аммиака с воздухом или кислородом. Для технич. скорости реакции сжигание аммиака требует катализатора. Для этой цели изучались железные и платиновые контакты как в чистом виде, так и с добавками: к железу — марганца, меди, тория, висмута и других, к платине — родия, иридия. Неудобства железных катализаторов коренятся в небольшом диапазоне  $t^\circ$ , в к-ром они обеспечивают достаточный % превращения  $\text{NH}_3$ , хотя напр. Fe дает 90% контактирования  $\text{NH}_3$  при  $t^\circ$  ок. 650° и в сравнительно малых объемных скоростях (время контактирования в несколько десятков раз больше, чем на платиновом катализаторе). В настоящее время лишь один завод в Германии (Оппау) продолжает повидимому работать на активированной окиси железа. Платина применяется либо в сплаве с 10% родия либо без него. Наиболее распространенная форма платинового катализатора — сетка с числом отверстий 1 000 — 3 600 на 1 см<sup>2</sup> и толщиной нити — 0,04 — 0,09 мм; кое-где применяется фольга (способ УДЭ). Сетки обычно делают плоскими, но есть системы с цилиндрич. сетками, соединяющимися не платиновым (Ni) дном. Применение сеток и установка их в виде цилиндра объясняется желанием развить большую поверхность соприкосновения с газами в данном объеме. Применение фольги исходит из иных целей: уменьшить потери платины вследствие уноса ее с газовой смесью; присутствие родия, не улучшая химич. качеств платины, также увеличивает ее долговечность. Действующая поверхность сеток на 1 см<sup>2</sup> для платения с нитью  $\varnothing$  0,065 мм и 1 024 отв./см<sup>2</sup> составляет 1,43 см<sup>2</sup>, для платения с нитью  $\varnothing$  0,080 мм и 3 600 отв./см<sup>2</sup> — 2,06 см<sup>2</sup>. Вес 1 м<sup>2</sup> сетки равен в первом случае 525 г, во втором — 580 г. Потери платины составляют на 1 т 100%-ной  $\text{HNO}_3$  для фольги 40 мг, для сетки при атмосферном давлении 70 мг, для сетки при давлении 7—8 atm 250 ÷ 400 мг (не учитывая удавливания).

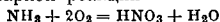
Роль давления при сжигании аммиака на платине показана на фиг. 1. Давление в цехе кон-



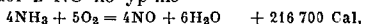
Фиг. 1.

версии применяется не вследствие улучшения выходов окисления, а вследствие сравнительно небольшого их снижения при давлениях порядка 5—8 atm; ползва давления очевидна лишь для процессов окисления NO в  $\text{NO}_2$  и абсорбции; поскольку же технич. до последнего времени было затруднительно изготовлять безупречные компрессоры для сжатия смеси после конвертера (т. к. они д. б. либо кислотоупорными либо должны работать при высокой  $t^\circ$ ), то и было предложено подавать аммиак и воздух в контактный аппарат уже предварительно сжатыми. Дозировка аммиака и кислорода имеет огромное зна-

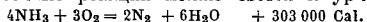
чение для ведения процесса. Во-первых, это влияет на реакционные объемы (надо сказать, что до последнего времени в виду сравнительной дороговизны чистого кислорода и даже обогащенного воздуха в качестве окислителя применялся воздух), во-вторых, аммиак образует с воздухом и кислородом взрывчатые смеси при определенных соотношениях. Границы взрывчатости: сухих аммиачно-воздушных смесей 16,1—26,5% при 20°, 14,0—30,4% при 250° и ходе газа вверх; сухих аммиачно-кислородных смесей 15,3—79,0% при 20° и распространении пламени вверх. Повышение давления до 10 atm понижает нижний предел взрывчатости на 1—1,5%. Очевидно, что работать с той дозировкой кислорода, которая целесообразна для осуществления суммарной реакции



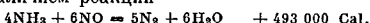
(часть ее протекает в конверсии, конечные фазы — в абсорбции), в обычных условиях нельзя. Лишь за последние годы появились опытные полувзводские установки, разрешившие задачу сжигания аммиака в чистом кислороде с целью непосредственного (без концентрации) получения крепкой к-ты. Так, Зедерберг разработал схему, в к-рой, контактная зона помещается под слоем охлаждающей жидкости — азотной к-ты. Присутствие водяных паров действует антидетонирующе; в этом же направлении влияет конструкция контактной плиты с капиллярами. Значительная часть абсорбции происходит в слое циркулирующей кислоты в конвертере, часть абсорбции осуществляется в специальных отдельно стоящих абсорберах. Процесс идет спокойно при 25—28%  $\text{NH}_3$  в смеси с 98%  $\text{O}_2$ . Существуют предложения пропускать через конвертер совместно  $\text{NH}_3$ , кислород и водяной пар. Надо сказать, что имеется возможность избежать концентрации и другим путем: посредством выделения  $\text{N}_2\text{O}_4$  после конверсии в жидком виде, напр. конденсирова воду без давления, а первую порцию кислоты уже под давлением. Дозировка воздуха или кислорода одновременно с обеспечением объемных соотношений в конверсии и абсорбции является средством регулировки  $t^\circ$  в зоне сжигания аммиака. Упрощая химич. процессы при контактировании, удобно полагать, что аммиак сгорает в NO по ур-ю



а побочные реакции можно свести к ур-ю

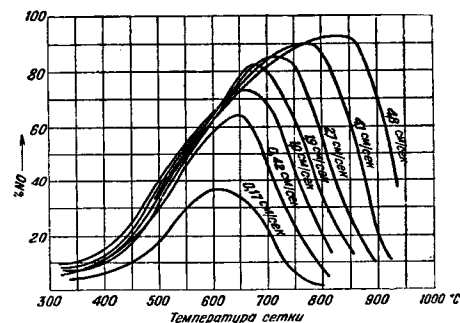


В действительности явление осложняется диссоциацией аммиака на элементы (к-рая однако протекает в ничтожной степени при том времени соприкосновения с катализатором, к-рое применяется в технике окисления  $\text{NH}_3$ ), диссоциацией NO в зоне контакта (практически незначительна по тем же причинам, что и диссоциация аммиака) и наличию реакции



Практически удается вести процесс конверсии с выходом NO в 90—95% по объему от аммиака. Остальная часть аммиака теряется вследствие окисления его до молекулярного азота. Ряд исследователей разрабатывал различные схемы истинного процесса сжигания  $\text{NH}_3$ , причем в качестве промежуточных продуктов реакции предполагались  $\text{N}_2\text{H}_2$  (Рашиг), HNO (Андрусон), но ни одно из этих соединений обнаружено не было. Повышение  $t^\circ$  за счет теплового эффекта реакций над катализатором достигает 700°, при содержании 9%  $\text{NH}_3$  в аммиачно-воздушной смеси, что обеспечивает количество кислорода, необходимое для

превращения NO в к-ту (т. е.  $\text{NH}_3 : \text{O}_2 = 1 : 2$ ). Такая  $t^\circ$  достаточна для реакции, но повышение ее позволяет применять большие скорости газа (фиг. 2, кривые одинаковой скорости газа)



Фиг. 2.

и этим достигают большей производительности контактных аппаратов. Замечательно, что с повышением скорости газа уменьшается влияние побочных реакций (диссоциации  $\text{NH}_3$  и взаимодействия  $\text{NH}_3$  с NO). В результате современная техника остановилась на скоростях в 20—10 раз больших, чем применявшиеся еще несколько лет назад. Классические исследования Неймана и Роуе дали для  $t^\circ 500^\circ$  оптимальное время соприкосновения  $8 \cdot 10^{-4}$  сек.; Парсонс, работая при  $900^\circ$ , нашел  $1 \cdot 10^{-4}$  сек. и Парли для  $1\,025^\circ$  —  $0,5 \cdot 10^{-4}$  сек. Явление удовлетворительно выражается ф-лой

$$T = -282 \lg Z,$$

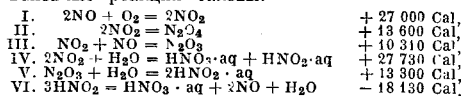
где  $T$  — темп-ра реакции и  $Z$  — время соприкосновения. Один кг платиновой сетки сжигает 70—100 кг/час  $\text{NH}_3$  при  $t^\circ 600^\circ$  (о загрузке сеток можно судить напр. по производительности агрегата БАМАГ около 3,5 м/сутки  $\text{NH}_3$ ); 1 кг сетки сжигает 80—120 кг/час  $\text{NH}_3$  при  $t^\circ 1\,000^\circ$  (под атмосферным давлением, производительность агрегата Парсонса ~ 2 м/сутки), в зависимости от формы плетения; повышение давления позволяет при неизменном времени соприкосновения увеличить количество пропускаемого газа; под давлением напр. 7 atm 1 кг сетки при  $900^\circ$  —  $1\,000^\circ$  сжигает до 250—350 кг/час  $\text{NH}_3$  (производительность агрегата Дюпона ~ 4—6 м/сутки). Необходимая  $t^\circ$  м. б. обесечена 1) предварительным нагревом газов, 2) обогащением смеси кислородом, 3) нагреванием зоны контакта. Последний способ неудобен, т. к. сокращает срок службы катализатора и вызывает расход энергии.

При работе без добавок кислорода обычно производится подогрев или воздуха или аммиачно-воздушной смеси за счет тепла газов, покидающих конвертер (иногда после использования части их тепла для обогрева дымогарного парового котла). Пуск конвертера производится водородным пламенем, спиртовым факелом, специальной электрической спиралью. Коммуникация, через которую проходит горячий аммиак, не должна содержать металлов кроме алюминия и никеля; прочие вызывают диссоциацию  $\text{NH}_3$ . Конвертер выполняется в виде цилиндра или двух конусов, сложенных основаниями, с алюминиевыми (для  $t^\circ$  около  $600^\circ$  и ниже) или футерованными стенками. Ход газа в целях сокращения взрывоопасного диапазона обычно

устраивается снизу вверх, нижняя часть конвертера имеет насадку для регенерации тепла (напр. керамиковый бой). При наличии на комбинате дешевого кислорода, например при соседстве с цехами ректификации воздуха, применяется дозировка кислорода как средство регулирования  $t^\circ$  напр. в количестве ок. 4% в смеси (рабочая  $t^\circ$  800°, Фаузер). Такое количество кислорода в смеси практически не отражается на концентрации кислоты, и следовательно  $O_2$  здесь применяется исключительно как средство увязки теплового баланса. Газовая смесь составляется путем смешения газообразных аммиака и воздуха, прошедших фильтры, или например продувкой воздуха через аммиачный раствор; в последнем случае дозировка проводится изменением  $t^\circ$  раствора и давления воздуха. При конверсии под давлением аммиак можно испарять при условиях, обеспечивающих давление аммиака не ниже, чем в системе (соответствующая  $t^\circ$  пара); воздух сжимают отдельно. Чистота газовой смеси имеет огромное значение: 1) присутствие в газе 0,38%  $C_2H_2$  или 0,02%  $H_2S$  или 0,00002%  $PH_3$  вместо 94% выхода  $NO$  от  $NH_3$  дает через 8 ч. выход 70%. Смазочное масло, попадая на контакт, действует, как  $C_2H_2$ , но слабее. 2) Железо, попадая на платину, аннулирует в этом месте ее каталитич. действие. Платина, улетучиваясь с контакта, оседает на стенках конвертера в виде платиновой черни и увеличивает % образования азота. Все эти явления, равно как и постепенное понижение активности платины при работе с чистым газом, приводит к необходимости ее смены или регенерации после 2 000—4 000 час. работы без давления; при работе под давлением срок службы без регенерации уменьшается почти в 10 раз. Регенерация производится промывкой в крепкой соляной к-те (из раствора выделяют платиновый шлак, который удаётся улавливать в размере ~ 4% от веса уноса). Изменения состава газа в конвертере иллюстрируется следующим примером (в %):

	$NH_3$	$O_2$	N	$H_2O$	$NO$
До контакта . . . . .	9,5	18,9	71,6	—	—
После контакта . . . . .	—	7,06	71,0	13,69	8,25

Переработка окиси азота в А. к. Основные реакции таковы:



Как видно из сопоставления (IV) и (VI) реакций,  $1/3 NO_2$  вновь превращается в  $NO$  параллельно с образованием А. к. Кроме того азотистый ангидрид  $N_2O_3$  также выделяет  $NO$  (после протекания (V) и (VI) реакций) в количестве, составляющем  $2/3$  исходного объема. Т. о. в условиях абсорбции д. б. обеспечено непрерывное при различных концентрациях в газовой фазе окисление  $NO$ ; окисление  $NO$  и растворение  $NO_2$  требуют б. или м. продолжительного времени. Поскольку  $NO_2$  и  $N_2O_3$  образуют с водой А. к. и азотистую к-ту согласно правой части урия (IV) лишь с различным тепловым эффектом, процесс полимеризации двуокиси азота в четырехокись особенного внимания не привлекает. Можно отметить, что при  $t^\circ$  выше 60° и парциальном давлении  $NO_2$  вплоть до 0,1 atm степень полимеризации не превышает 0,1; при этом же давлении при  $t^\circ 0^\circ$  степень полимеризации достигает уже 0,8. Степень полимеризации  $NO_2$  следует учитывать при различных тепловых расчетах.  $N_2O_3$  образуется лишь при недостаточном окислении

$NO$  в  $NO_2$  в соответствии с оставшимся количеством окиси азота ( $NO + NO_2 = N_2O_3$ ). Понижение  $t^\circ$  благоприятствует всему циклу абсорбции: реакции (I—V) сдвигаются направо, а (VI) налево. Но замечательно, что и скорость окисления  $NO$  в  $NO_2$  тоже благоприятно изменяется, увеличиваясь с понижением  $t^\circ$  (в химии известно лишь несколько подобных примеров). Температурный коэф.  $K$  скорости реакции, отражающий изменение скорости при увеличении  $t^\circ$  на 10°, для температурного интервала 0—10° равен 0,912:

$$K = \frac{W_{t+10}}{W_t} = 0,912.$$

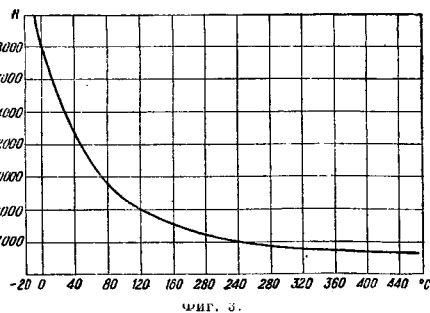
С повышением температуры температурный коэф. увеличивается, приближаясь к единице, и например для  $t^\circ = 300^\circ K = 0,997$ . Данные константы равновесия реакции  $NO \rightarrow NO_2$  позволяют вычислить для парциального давления  $NO$  в 0,1 atm степень окисления: 0,05 для 670°, 0,95 для 230°. Практически при  $t^\circ$  свыше 600° в газе оказываются лишь следы  $NO_2$ . Но кинетика реакции требует для достижения значительной степени окисления гораздо более высокой  $t^\circ$ , что указывается равновесным состоянием. Полагая реакцию тримолекулярной, имеем

$$\frac{dx}{dt} = Ka^2(1-x)^2(b-ax),$$

где 2a — начальная концентрация  $NO$  в моль/л, b — начальная концентрация  $O_2$ , x — степени окисления в долях единицы, t — время окисления, a(1-x) — половина молей  $NO$ , ax — половина молей  $NO_2$ , (b-ax) — концентрация кислорода. В результате получим

$$t = \frac{2,303}{K(b-a)^2} \left[ \frac{x(b-a)}{2,303a(1-x)} + \lg \frac{1-x}{1-\frac{ax}{b}} \right].$$

Здесь  $K = f(t)$  — коэф. скорости прямой реакции (фиг. 3, константа скорости реакции).



Фиг. 3.

Эта ф-ла дает близкие к действительности цифры (табл. 1) и применима в промышленности окисления  $SO_2$  в  $SO_3$  (камерным или башенным способом).

Табл. 1. — Время окисления  $NO$  (в сек.) в зависимости от давления ( $t^\circ = 90^\circ$  и  $NO : O_2 = 1 : 0,9$ ).

$P_{NO}, atm$	Степень окисления		
	0,3	0,9	0,95
0,09	97	258	601
0,45	4	11	24

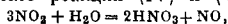
Боденштейн полагает, что отрицательный температурный коэф. скорости объясняется меньшей вероятностью тройного удара молекул с повышением кинетич. энергии; Гаше и Патрик утверж-

дают, что реакция окисления NO протекает в несколько фаз, напр. через  $N_2O_4$  и др., и соотношение скоростей отдельных различных реакций таково, что для более низких  $t^\circ$  NO образуется в конечном счете быстрее. В технич. практике малая скорость окисления NO приводит к тому, что определенную долю газа оказывается невыгодным улавливать в виде А. к. Действительно, для средней  $t^\circ$  в  $20^\circ$  зависимость объема абсорбции (в  $m^3$  на 1 т аммиака в сутки) от степени абсорбции оказывается следующей:

% абсорбции . . . . .	95	93	90	85	80	70	60
Объем абсорбции . . .	230	130	100	70	60	50	40

Условие процесса: атмосферное давление, аммиачно-воздушная смесь. Повышение давления до 7 атм уменьшает объем реакционного пространства в 20—25 раз. Обогащение кислородом при NO:  $O_2 = 1 : 1,6$  и 17% азота в газе (93%-ный кислород как источник  $O_2$ ) уменьшает объем в 3 раза. Пастонези сообщает, что пущен а-д, на к-ром окисление NO ведет в присутствии силикагеля как катализатора. Повышение давления при абсорбции, помимо снижения капиталовложений, позволяет получать более концентрированную к-ту, т. к. соответственно сдвигается равновесие и увеличивается скорость реакции (IV). Системы под атмосферным давлением дают кислоту 40—50%-ную, под давлением 3—7 атм 55—62%-ную. Теоретич. предельная концентрация без отвода воды 77%; стремиться к ней нецелесообразно, т. к. с приближением к равновесию в реакциях (I) и (IV) необходимо время соприкосновения чрезвычайно увеличивается, и вместо секунд требуются часы. Степень достижения равновесия в реакции (IV) уменьшается с увеличением концентрации к-ты, уменьшением парциального давления окислов азота и увеличением скорости газового потока.

В результате реакции (IV) и (VI) имеем

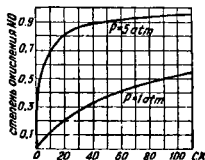


откуда

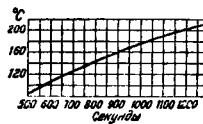
$$K_p = \frac{P_{NO} \cdot P_{HNO_3}^2}{P_{NO_2}^3 \cdot P_{H_2O}},$$

где  $P$  — соответственные парциальные давления, а  $K_p$  — константа равновесия. Однако теоретич. подсчет не дает достаточно надежных цифр. Обычно предел водной абсорбции составляет 92—97% от NO после конверсии, а остаток NO поглощается вместе с  $NO_2$  (в виде газа с 0,1—0,5% NO +  $NO_2$ , 4—5%  $O_2$ , прочее  $N_2$ ) в шелоках (едких, углекислых) или серной к-те, образуя соответственно нитрит-нитраты и нитрозу. Нитрит-нитраты подвергаются инверсии продуктовой воздухом и в виде нитрата калия или натрия после выпарки выпускаются как товары. Нитрозу наиболее предпочтительно использовать в качестве обезвоживающего компонента при концентрации слабей А. к. При малых количествах хвостовых газов изредка применяют известь в качестве поглотителя вследствие неприятных свойств ее суспензии. Интересна сравнительная оценка понижения  $t^\circ$  и повышения давления как средств увеличения скорости окисления NO (фиг. 4 и 5 — степень и время окисления): охлаждение газа с 30 до  $0^\circ$  уменьшает время окисления NO (при  $P_{NO} = 0,1$  атм,  $x = 0,9$ ,  $\Sigma P = 1,0$  атм) с 300 до 140 сек.; эта затрата энергии при применении искусственного охлаждения, напр. аммиачных машин, эквивалентна сжатию до 1,8 атм; такое сжатие сокращает время окисления до 80 сек. Следовательно компримирование примерно в 2 раза выгодно охлаждению. Для характеристики состояния техники А. к. интересно отметить,

что еще недавно строились установки с абсорбцией под вакуумом на выходе вплоть до 250 мм Hg. Предел давления определяется сравнительной стоимостью энергии и металла; работают системы от 2 до 8 атм абс. Предел охлаждения определяется высшей точкой плавления гидратов  $HNO_3$ , именно  $HNO_3 \cdot 3H_2O$  с  $t_{пл.}^\circ = -18,5^\circ$ . Обычно охлаждение не ведут ниже  $-10^\circ$ . Боль-



Фиг. 4.



Фиг. 5.

шинство установок интенсивного типа базируется на давлении, а не на охлаждении. Охлаждение водой конечно является одним из существенных элементов установок. Горячие нитрозные газы  $t^\circ 1000 - 600^\circ$  охлаждаются в дымогарных трубках паровых котлов и затем с  $t^\circ 500 - 300^\circ$  поступают в теплообменники. Иногда устанавливают лишь одно из этих двух холодильных устройств. В водяных холодильниках  $t^\circ$  газа опускается до  $60 - 80^\circ$ . Здесь получается некое количество к-ты (5—10% в установках без давления, слабей; 30—60% в установках под давлением, крепкой); атом газ проходит или окислительные башни (полые пространства которых обеспечивают малые линейные скорости газа и следовательно предоставляют ему время для окисления) и поступает в абсорберы с насадкой для увеличения поверхности соприкосновения, орошаемые противотоком кислоты, или непосредственно поступает в абсорберы, сверху к-рых предусмотрено пространство для окисления NO, оставшегося от предыдущих стадий процесса и образовавшегося в самом абсорбере. Общий объем абсорберов определяется как величиной, обратная времени окисления. Объем каждого отдельного абсорбера определяется конструктивными соображениями и выбором материала. А. к. требует применения ферросилицида или специальных хромовых (18—14% Cr) и хромоникелевых (8% Cr, 18% Ni) сталей или кислотоупора (керамики, гранита). Например для абсорберов применяется в США сталь: 15% Cr, 0,5% C, 1% Si, остальное Fe. Хромоникелевая сталь легче обрабатывается, но хромовая сталь дешевле. (Нитрозные газы с парами воды не корродируют обычно железо и сталь.) Абсорберы обычно устанавливают последовательно, с индивидуальными холодильниками, так как процесс поглощения  $NO_2$  экзотермичен, а повышение  $t^\circ$  нежелательно. Наибольшее неудобство гранита и алдита в том, что отвод тепла приходится производить лишь вне башен и в металлических холодильниках. Крупные отдельные абсорберы и башни из гранита выгодны.

Охлаждение м. б. или орошением снаружи (Фаузер), или посредством холодильников, включенных неоднократно по ходу газа и к-ты в абсорбере (Дюпон), или путем охлаждения вытекающей из абсорбера к-ты и выходящего газа (прочие системы). Повышение  $t^\circ$  в абсорбере между холодильниками смотря по его размерам достигает 5—40°. Подобные схемы абсорбции в зависимости от исходных нитрозных газов или от ассортимента продукции можно значительно варьировать. Напр. отходящие газы установки денитрации



серной к-ты, остаточные газы нитрования могут дать ценные автосодержащие продукты в кислой или щелочной абсорбции. Устанавливая щелочное поглощение не в хвосте, а в начале системы, для горячих газов получаем почти чистый нитрит ( $520-670 \text{ г/м NaNO}_2$ ,  $30 \text{ г/м NaNO}_3$ ), потребляемый на заводах красителей и др. Наконец были попытки заменить водную абсорбцию поглощением аммиачной водой, однако при этом вместо реакций IV и VI текут реакции



Последняя реакция приводит к тому, что выход в абсорбции снижается до 60—70%. Можно также комбинировать окисление NO с другими производствами — серной к-ты, антрахинона; но эти процессы еще не вошли в производство.

Характеристики наиболее распространенных систем производства А. к. приведены в табл. 2.

Табл. 2.—Примерные характеристики.

Основная характеристика	Под давлением 7 атм	Конверсия без давления, абсорбция 4 атм	Без давления	
Характер катализатора	$D=200 \text{ мм}^*1$ Pt + 10% Rh 20—16 плоских сеток	$D=140^*2 \text{ мм}^*2$ Pt 2 плоские сетки	Длина=30 мм*3 Ширина=10 мм Толщина=0,02 мм Pt (фольга)	$D=1500 \text{ мм}^*4$ Pt 2 плоские сетки
Питание конвертера	Подогрев теплообменном	4% свободного кислорода	Подогрев теплообменом	Подогрев электричеством или теплообменом
Темп-ра контакта	950°	800°	700°	600°
Производительность агрегата в конверсии в т NH <sub>3</sub> (в сутки)	5	3	0,12	4
Выход в конверсии (%)	96	96	94	96
Выход в кислой абсорбции (%)	98	98	92	94
Расход энергии kWh на 1 т HNO <sub>3</sub>	410	380	65	90
Расход пара на 1 т HNO <sub>3</sub> (в т)	—	0,6	0,9	0,6
Расход воды	140—350	150	145	145
Объем м <sup>3</sup> абсорбции на 1 т NH <sub>3</sub> (в сутки)	4,5	30	125	125
Щелочное поглощение (%)	—	—	7	4
Материал абсорберов	Хромовая сталь	Нинельхромовая сталь	Гранит	Нинельхромовая сталь
Крепость к-ты	57—62	55—60	50	45—50
Фирмы: *1 Дюпон. *2 Фаузер. *3 УДЭ. *4 ВАМАГ.				

Расход энергии в таблице указан без учета рекуперации. Уже работает несколько заводов, к-рые используют энергию расширения хвостовых газов в качестве привода; рекуперация достигает 40—50%. Хвостовые газы перед рекуперацией подогреваются в теплообменнике до 230—270° для увеличения отдачи, нитровые же газы в комбинированном способе, наоборот, следует охлаж-

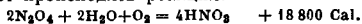
дать для уменьшения объема у всаса компрессора; но если желательно избежать применения специальной стали, вся компрессия должна вестись выше точки росы А. к., т. е. выше 150°. С физико-химич. точки зрения наиболее совершенна схема, сочетающая конверсию без давления с абсорбцией под давлением, в металлург. сосудах с интенсивным охлаждением. Лишь недавно металлургия и машиностроение позволили добиться такой схемы; она является схемой с наибольшими шансами на распространение. При тщательном подборе условий конверсии и небольших давлениях с ней в некой степени может конкурировать процесс, подобный допонускому, в особенности при организации улавливания уноса платины.

Как пример огромного абсорбера можно привести сконструированную фирмой УДЭ башню диам. 20 м и высотой 20 м, разделенную внутри на секторы. Абсорберы бывают и с тарельчатой пасадкой (Дюпон например диам. 1,5 м, высота 10 м) и в виде лежащих цилиндров (Фаузер, диам. 3,5 м, длина 12 м).

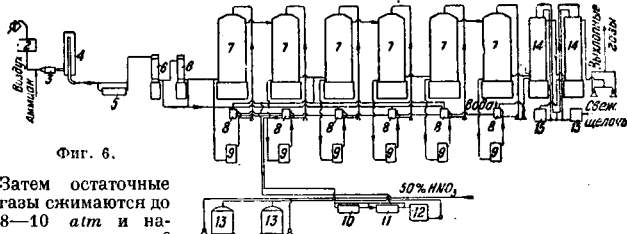
В системе м. б. один абсорбер (Дюпон) или ряд их в зависимости от давления и % абсорбции. Пример установок без давления — фиг. 6: 1 и 2 — фильтры, 3 — смеситель, 4 — контактный аппарат, 5 — паровой котел, 6 — газовые холодильники, 7 — абсорбционные гранитные башни, 8 — приемники, 9 — холодильники, 10 — подогреватель, 11 — аппарат для удаления азота, 12 — резервуар, 13 — хранилище готовой А. к., 14 — щелочные башни, 15 — сборники. Пример установки под давлением — фиг. 7: 1 — воздушный резервуар, 2 — воздушный фильтр, 3 — теплообменник, 4 — смеситель, 5 — хранилище для жидкого NH<sub>3</sub>, 6 — весовой танк, 7 — аммиачный насос, 8 — испаритель, 9 — аммиачный фильтр, 10 — конвертер, 11 — конденсатор, 12 — абсорбционная колонна, 13 — газовые холодильники, 14 — кислотные холодильники.

Концентрирование А. к. Все описанные методы дают к-ту, непригодную для ряда важнейших целей: для нитрации требуется гораздо более высоко концентрированная к-та. Как уже отмечалось выше, существуют способы окисления NH<sub>3</sub> в кислоте в стадии опытной установки, и совсем недавно успешно начал работать завод Фаузера, дающий путем умелой комбинации основных факторов конверсии и абсорбции 98%-ную к-ту. В обычных условиях абсорбции NO<sub>2</sub> помимо реакции частично растворится в к-те, которую даже приходится отбеливать продувочной воздухом; при этом часть NO<sub>2</sub> превращается в к-ту,

часть улетучивается. Медленно, под давлением может происходить реакция:



Для обеспечения этих материальных соотношений конверсию проводят с воздухом под атмосферным давлением, быстро охлаждают газ, чтобы дать минимуму  $\text{NO}$  окислиться, и отводят конденсирующуюся воду в виде 3%-ной к-ты.



Фиг. 6.

Затем остаточные газы сжимаются до 8—10 atm и направляются при  $t^\circ -10^\circ$  в абсорбер, орошаемый 60%-ной А. к. (отсюда газы идут на обычную абсорбцию). Раствор  $\text{NO}_2$  в А. к. направляются в автоклав, куда входят кислород, и при  $t^\circ 70^\circ$  под давлением 50 atm через 4 часа образуется 98%-ная к-та. Учитывая рекулерационную энергию, Фаузер сообщает, что ему удалось добиться расхода энергии лишь в 130 kWh на 1 т  $\text{HNO}_3$ . Прежние попытки осуществить подобную схему вследствие низкого давления  $\text{NO}_2$  в нитрозных газах из аммиачно-воздушной смеси приводили к выпадению его в твердом виде при вымораживании, что чрезвычайно осложняло работу, или требовали конверсии с чистым кислородом. Обычные схемы требуют концентрации кислоты в случае ее назначения в качестве нитрующего средства. А. к. с водой образует постоянно кипящие смеси с максимальным давлением; для атмосферного давления температура такой точки равна  $121,9^\circ$ , в смеси 68,4%  $\text{HNO}_3$ . При нагревании водных растворов азотной кислоты крепостью выше 68,4% с повышением точки кипения в газовой фазе происходит обеднение кислотой, что видно из табл. 3.

Табл. 3. — Процентное содержание  $\text{HNO}_3$  в водных растворах при температуре кипения.

$t^\circ \text{кип.}$	$85,5^\circ$	$112^\circ$	$121,9^\circ$	$112^\circ$	$106,5^\circ$
Жидкая фаза	86,0	80,0	68,4	33,0	24,2
Газовая фаза	89,9	87,0	68,4	5,9	2,16

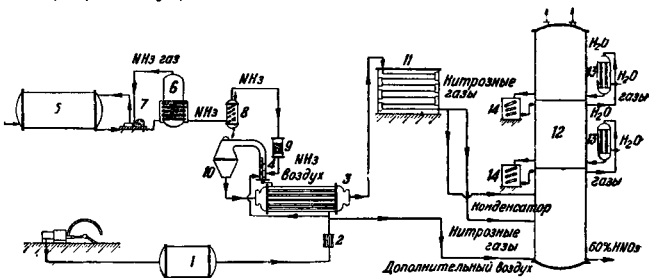
Для производства к-ты крепостью выше 68,4% необходима перегонка с водонитрающими средствами; обычно для этой цели применяется крепкая серная к-та. Процесс идет в дистилляционных колоннах с тарельчатой или сплошной насадкой; сверху подается смесь для обработки; пары крепкой А. к. (95—96%) выходят также сверху, направляясь на конденсацию; внизу вытекает разбавленная во время операции до 73% серная к-та со следами А. к. Расход 96%-ной серной кислоты на 1 т 100%-ной  $\text{HNO}_3$  состав-

ляет 4,5—6,0 т при исходной концентрации 45—50%  $\text{HNO}_3$ . В случае предварительной концентрации к-ты выпариванием до 60% расход серной к-ты уменьшается до 3,5 т. При предварительной концентрации и применении глухого пара взамен острого в концентрационных колоннах расход серной к-ты можно свести до 1,75 т. Интересно отметить, что в ряде случаев

реторты для производства А. к. по способу Валентинера используются как перегонные кубы для концентрации слабой синтетич. к-ты. Если на комбинате отсутствует самостоятельное сернокислотное хозяйство, то установке концентрации А. к. сопутствует установка реконцентрации серной к-ты. Применяются установки различных типов от широко известных аппаратов Кесслера до недавно появившихся барабанных концентраторов Реми-

ко (см. *Серная кислота*) и установок концентрации под вакуумом.

Применение А. к. и статистические данные. Не являясь предметом широкого потребления, А. к. играет колоссальную роль в качестве сырья для производства удобрений,



Фиг. 7.

взрывчатых и красящих веществ. Статистич. данные по производству А. к. и связывания азота воздуха см. Аммиак.

Лит.: Эпштейн Д., Синтетическая азотная кислота, М.—Л., 1933; Торсуев, «ЖХП», 1930, 324; Либмансон, там же, 1931, 432; Малаяревский, Папков, там же, 1928, 682; Waeser W., Die Luft-tickstoffindustrie, Lpz., 1932; Curtis H., Fixed Nitrogen, N. Y., 1932; Pascal P., Syntheses et catalyses industrielles, P., 1924; Webb H., Absorption of Nitrous Gases, L., 1928; Таутор «Ind. Eng. Chem.», 1934, P. 850; Фишер, «Chemical & Metallurgical Engineering», N. Y., 1930, 604; 1928, 474; 1932, 430; Pastonesi, «Giornale di chimica industriale ed applicata», Milano, 1933, 13; OST 5374, 5375.

Ю. Севастьянов

**АМАЛГАМАЦИЯ**, процесс извлечения золота (в некоторых случаях платины и серебра) из измельченных руд или песков путем избирательного смачивания металлич. частиц ртутью. Частицы пустой породы ртутью не смачиваются и в амальгаму не переходят. В первой стадии извлечения (смачивание частиц золота ртутью) имеет большое значение состояние поверхности частицы извлекаемого металла: деформация поверхности (смятие, проколы, разрывы) и затирание ее (вспрессование частиц минеральной пыли) вызывают значительное понижение извлечения. В виду этого, а также во избежание переизмельчения все современные амальгамационные аппараты (шлюзы, амальгаматоры) включаются в цикл измельчения для извлечения металла из оборотных песков или из пульпы, выходящей на

мельницы. Помимо этого на поверхности металлов образуется пассивирующий оксидный фильм, который может быть снят активацией при выделении водорода (активная амальгамация).

Улавливание частиц металла ртутью во многом зависит также и от свойств последней, вернее, — от свойств жидкой фазы амальгамы, в которую быстро превращается первоначально чистая ртуть, употребляемая для А. Роль примесей, содержащихся в жидкой фазе амальгамы, становится яснее с точки зрения современной теории смачивания и электрокапиллярных явлений. Особенности процесса А., состоящие во введении ряда компонентов в состав жидкой фазы амальгамы, объясняются понижением поверхностного натяжения ртути. Как показано работой Плаксона и Кожуховой, условия амальгамации легко м. б. представлены величиной косинуса краевого угла смачивания ртутью. Присутствие в ртути некоего количества благородных металлов и небольшого (0,1%) количества тяжелых металлов улучшает смачивание поверхности золотых частиц вследствие понижения поверхностного натяжения ртути и увеличения косинуса краевого угла. Кроме того следует отметить исследования Липмана, которыми показано, что поляризация поверхности ртути уменьшает ее поверхностное натяжение, и максимум электрокапиллярной кривой получается при нулевом потенциале поверхности ртути. Подведение к ртути (или к золоту) отрицательного полюса увеличивает косинус краевого угла и ускоряет смачивание. На смещение максимума электрокапиллярной кривой для фазы, представленной в рассматриваемом случае ртутью, указывают работы акад. А. Фрумкина. В связи с указанным необходимо отметить давно известные практические наблюдения: 1) химически чистая ртуть слабее амальгирует, чем ртуть, содержащая золото и серебро; в этом направлении влияют: а) небольшое количество благородных металлов, растворенное в ртути, определяющее гл. обр. условия смачивания и в меньшей мере диффузию ртути к центру частицы; б) плотность распределения частиц металла в жидкой фазе, создающая условия для поглощения смачиваемых ртутью частиц (выше некоего предела она повышает поглощение амальгамой частиц металла); 2) весьма малые количества цинка, меди и свинца способствуют (по данным работы Аура) А. При содержании выше 0,1% эти металлы делают ртуть мало пригодной для А. Золото с ртутью образует твердый раствор (до 16% Hg) и два химич. соединения. Последнее рентгеновское исследование Стенбека указывает на существование при обычной  $\rho$  шести фаз, но отсутствие рентгеновского исследования при высоких  $\rho$  не дает возможности отождествить некоторые из них с фазами, установленными для диаграммы системы, данной исследованием Плаксона. Растворимость золота в ртути при обыкновенной  $\rho$  А. (10—25°) находится в пределах 0,15—0,17%. Ау.

По своей структуре амальгамы, получаемые при извлечении золота на ф-ках, представляют полидисперсные системы, в к-рых твердая фаза состоит из частиц золота, пропитанных ртутью или поверхностно амальгамированных. Жидкая фаза состоит из ртути, содержащей небольшое количество растворенного золота или другого металла. Т. о. следует категорически отвергнуть мнение о «растворении» золота в процессе извлечения А. Ртуть, насыщенная золотом в весьма

невысокой концентрации, поступает обратно в производство после процесса отжимки. То, что твердая (или пластичная) часть амальгамы остается в процессе отжимки на фильтре, наглядно доказывает, что она не растворена в избыточном количестве ртути, а в совокупности с последней образует гетерогенную систему с двумя фазами: 1) твердая или пластичная часть амальгамы, к-рая представляет целиком или в периферич. слое частиц химич. соединения ( $Au_2Hg_3$ ), и 2) избыточное количество жидкой ртути, в которой золото растворено в весьма невысокой концентрации. Структура амальгам серебра во многом сходна с амальгамами золота, но условия улавливания его при А. отличаются от таковых для золота вследствие более медленного смачивания серебра ртутью. А., основанная на улавливании путем смачивания металлических зерен, почти не употребляется для извлечения серебра. Ряд процессов, применявшихся ранее для извлечения серебра, осуществлялся или в чанах с растирателями или во вращающихся бочках в присутствии специальных добавок химич. реагентов. Избирательное извлечение золота с небольшим количеством серебра в обычных условиях А. указывает на связь последнего с двумя категориями минеральных вкраплений: к первой относятся частицы серебристого золота, а ко второй — частицы самородного или золотистого серебра и его химические соединения (серебряный блеск, роговое серебро и др.). По исследованию Таммана и Стассфурта серебро образует с ртутью одно химич. соединение, отвечающее ф-ле  $Ag_2Hg_4$ . Количественный состав твердой фазы амальгам, получаемых в заводской практике, в значительной степени зависит от размера частиц амальгируемого металла; обычно отношение золота к ртути близко 1 : 2; между тем в случае мелкого золота ртуть содержится больше, а в случае крупного — меньше.

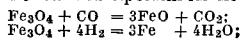
Извлечение платины А. основано на смачивании ее поверхности ртутью после предварительной подготовки путем воздействия химич. реагентов. При А. цинковой амальгамой в растворе серной кислоты основной реакцией является восстановление водорода на поверхности платиновых частиц, активизирующего ее и удаляющего пленку адсорбированного кислорода и окислов. В случае железистой платины целесообразна предварительная обработка ее слабым (0,5%) раствором серной кислоты для удаления пленок окислов железа. Наряду с действием водорода на поверхности частиц в случае присутствия медного купороса образуется пленка свежестановленной меди. В результате активации водорода и восстановления меди поверхность платиновых частиц легко смачивается ртутью. Другим методом амальгамации является предварительная обработка измельченной руды или концентрата раствором хлора и соляной к-ты с последующей А. цинковой амальгамой. Наряду с активацией водородом поверхности частиц возможно образование пленки хлористой платины  $PtCl_2$ , к-рая в воде мало растворима, а при восстановлении дает слой, легко смачиваемый ртутью.

Переход в амальгаму меди и железа возможен в ненормальных условиях А. золотых руд, когда в воде, поступающей в амальгамационные аппараты, содержатся растворимые соли меди. При восстановлении ионов последней до металлич. меди образуется медная амальгама, в состав к-рой увлекаются частицы измельченного железа. Данный процесс не происходит в воде, имеющей щелочную реакцию.

Лит.: П л а к с и И., *Металлургия золота, серебра и платины*, ч. I, Физико-химические основы, вып. 1935; его же, *Система золото-ртуть*, «Прот. РФХО», 1927, «Иср. 1929, стр. 521; его же, *Исследование состава и структуры амальгам*, «Сборник Моск. горной академии», М., 1930; его же, *К теории амальгамации и цианирования*, М., 1936; П л а к с и И. и К о м у х о в а М., *Физико-химические условия амальгамации*, Изв. ЮНХ Ан. н., сект. платины и др. благородных металлов, вып. 43; П л а к с и И. и Ш т а м о в а С., *Амальгам, проба на платину*, «Известия Плат.-ин-та Академии наук», 1933; A n d e r s o n, *Solubility of Gold in Mercury*, «J. of Phys. Chem.», 1932, p. 2145; S t e n S t e n b e e k, *Röntgenanalyse d. Legierungen v. Hg mit Ag, Au u. Sn*, «Ztschr. f. anorg. u. allgem. Chemie», 1933, В. 214, Н. 1; T a m m a n u. S t a s s f u r t, «Ztschr. f. anorg. Chemie», Лpz., 1925, В. 143, p. 357. И. Плавский.

**АММИАК синтетический.** Синтез А. из элементов в настоящее время является основным способом связывания атмосферного азота. Сырьем для этого процесса служит смесь азота и водорода в соотношении, б. или м. близко отвечающему составу  $N_2 + 3H_2$ . Помимо методов, применяющихся независимо от синтеза аммиака для производства азота и водорода, существуют специфич. методы производства такой азото-водородной смеси. Источником азота для синтеза А. является воздух, иногда даже после использования его кислородной части (дымовые газы, хвостовые нитрозные газы азотнокислотных установок). Источником водорода для установок большого масштаба является вода и некоторые водородсодержащие соединения в топливе, используемом для получения технологического газа. Процесс синтеза А. в заводском осуществлении состоит из следующих трех стадий: 1) производство первичного, или технологического, газа, 2) производство азото-водородной смеси, 3) синтез А. из элементов. Первые два этапа определяют собой около 75 % общей стоимости А., причем 60 % от общей стоимости падает в среднем на долю водорода. Таким образом выбор схемы производства водорода обычно решает вопрос о себестоимости продукции на заводе синтеза аммиака.

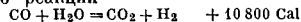
Получение первичного газа и азото-водородной смеси. Хотя сырьем для водорода в значительном количестве служит вода, но превращение ее в водород требует обработки, связанной со значительным, б. ч. бросовым, расходом энергии в виде топлива или гидравлич. энергии; иногда носители энергии одновременно выступают как составная часть сырья; поэтому заводы синтеза аммиака географически располагаются обычно вблизи залежей ископаемого горючего, или источников нефти, или мощных водных потоков. Производство первичного газа может давать азот и водород в раздельном состоянии (что также пригодно для целей синтеза) или в виде определенной смеси, обычно с балластными и подлежащими удалению примесями. В первом случае в о д о р о д может получаться: 1) электролизом воды, 2) разложением воды на железном катализаторе по обратной реакции:  $3Fe + 4H_2O = Fe_3O_4 + 4H_2$ ; для реакции регенерации применяется водяной газ, получаемый газификацией кокса или крекингом метана:



3) в результате кислородной газификации угля или крекинга метана (азот присутствует в ничтожном количестве). Азот соответственно может получаться из воздуха или дымовых или нитрозных газов: 1) низкотемпературной обработкой, ректификацией жидкого воздуха или азото-кислородной смеси после абсорбции высококипящих компонентов, 2) высокотемпературной обработкой, «выжиганием» кислорода и окиси азота

в водороде, после абсорбции в случае необходимости таких составных частей, как  $CO_2$ . Окись азота раскисляется водородом на воду и азот. Газификация кокса или угля и крекинг метансодержащих газов м. б. проведены так, что получающаяся газовая смесь после очистки представляет собой газ состава:  $3H_2 : 1N_2$ . Для этой цели в газогенераторном цехе подбирается режим пароводяного дутья т. о., чтобы из генераторов выходил газ примерного состава 37%  $H_2$ , 37%  $CO$ , 22%  $N_2$ , прочее  $CO_2$ ,  $H_2S$ , либо перед газгольдером соответственно смешиваясь водяной и воздушный газы обычно в пропорции 2,3 : 1 (при парокислородном дутье под уголь средней состав газовой смеси:  $H_2$  40%,  $CO$  28%,  $N_2$  4%,  $CH_4$  1,5%,  $CO_2$  21%). Аналогично при конверсии метана согласно реакции  $CH_4 + H_2O = CO + 3H_2$  часть газа, которую необходимо сжигать в конвертере для поддержания баланса тепла, не выбрасывается в атмосферу, а дозвугается в качестве добавки к основному технологическому газу. В результате получается состав газа с необходимым содержанием азота (52%  $H_2$ , 22%  $CO$ , 24%  $N_2$ ). Подобный газ однако представляет собой лишь первичный газ для синтеза А. Он подлежит переработке с целью удаления соединений, являющихся ядами или балластом для реакции синтеза аммиака из элементов; в качестве ядов особого внимания требуют кислородные ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NO$ ) соединения и сам кислород, сернистые ( $H_2S$ ,  $CS_2$ ,  $COS$ ) и некоторые высокомолекулярные органические соединения ( $C_{10}H_8$ ,  $C_6H_6$ ); эти соединения или непосредственно выделяются из газовой смеси или перерабатываются в полезные продукты; в качестве балласта т. н. инертных газов фигурируют метан, аргон. Они могут присутствовать при реакции синтеза аммиака в значительно большем количестве, чем яды, но эффект разбавления реагентов скажется на реакции также отрицательно. Содержание кислородных соединений в 5-10-процентном газе в ряде методов достигает цифры 5-10-проц. е. 0,0005% [1].

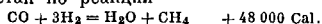
Переработка  $CO$  производится обыкновенно согласно реакции



на железном катализаторе с хромовым активатором при  $t^\circ$  ок. 500°. Смесь водяного и воздушного газов превращается напр. в газ состава 51%  $H_2$ , 17%  $N_2$ , 30%  $CO_2$ , 2%  $CO$ . Этот процесс проводят в промышленности при обычном давлении и под давлением до 30 *atm*; ведутся опыты по конверсии  $CO$  водой в жидкой фазе в условиях, близких к критическому состоянию воды. (В настоящее время ведутся опыты доломитной конверсии и с низкотемпературным катализатором, например кобальтом.) Очистка газа от сероводорода обычно происходит в процессе специальной предварительной очистки, абсорбирующей  $H_2S$  железно-содовым раствором (метод Феррокс), содово- или аммиачно-мышьяковокислым (метод Тайлокс) или же железорудным отвалом  $Fe_2O_3$  (сухой метод) с последующим полным (Тайлокс) или частичным использованием серы сероводорода, выделяемой в элементарном состоянии. Следы сероводорода поглощаются в следующих ступенях очистки, состоящих из промывания газа водой под давлением (удаление  $CO_2$ ,  $H_2S$ ), раствором щелочи, примерно 10%-ным (следы  $CO_2$ ), раствором А. под давлением ( $CO_2$ ,  $H_2S$ ), аммиачно-медным раствором уксусной или муравьиной к-ты ( $CO$ ,  $O_2$ ). Давление, в весьма значительной степени увеличивая эффективность процесса, легко достижимо, поскольку синтез

требует давления 100—1 000 атм, а очистка водой 12—30 атм; такое же давление достаточно для А. и щелочи; купро-аммониевый комплекс требует 100—200 атм. Очистка водой м. б. заменена очисткой аммиачным раствором и, наоборот, в зависимости от водных ресурсов места постройки завода и целесообразности устройства оборота в водном хозяйстве. Современные масштабы синтеза А. вызывают огромные расходы проточной воды, что позволяет применять такую схему лишь у полноводных рек. Например завод производительностью 30 000 т NH<sub>3</sub> в год (мощности, ниже к-рой не советуют итти немцы экономисты) потребляет в час летом ок. 3 500 т воды, а вся Москва ок. 20 000 м<sup>3</sup>/ч. При некоторых условиях, например при наличии в комбинате завода сульфата аммония по гипсовому методу, целесообразно даже включать последовательно водную и аммиачную промывки в соответствующей пропорции. Помимо метода очистки абсорбирующей широко распространены т. наз. метод глубокого охлаждения, состоящий в разделении компонентов газовых смесей путем фракционированной конденсации. В газовой фазе в конечном счете остается Н<sub>2</sub> и небольшое количество азота, а также следы СО. Подобным образом можно конечно изготовить и чистый водород, причем происхождение первич-

синтеза вырабатывается метанол из остаточного СО и избыточного Н<sub>2</sub> по реакции:  $CO + 2H_2 = CH_3OH + 53\ 000\ Cal$  в присутствии хромовоциникового катализатора. В большинстве случаев на современных в-дах, учитывая незначительное содержание СО в газе перед синтезом (0,01—0,061%), упрощают процесс, превращая СО в метан по реакции



Этот процесс м. б. совмещен с производством А. и производится в идентичных аппаратах в присутствии идентичных катализаторов при условии обеспечения термич. режима, т. е. некоего подвода тепла во время реакции. В таких случаях подобный предварительный катализатор, т. н. форконттакт, естественно довольно быстро теряет активность, подвергаясь отравлению в первую очередь; срок его жизни, т. е. продолжительность действия, зависит от содержания каталитических ядов в газе (кислородные, сернистые, фосфорные соединения); зато введением форконтакта обеспечивается плавная и более длительная работа основных агрегатов синтеза.

Среди не получивших еще широкого промышленного развития, но многообещающих процессов можно отметить: 1) форконттакт селективного характера, превращающий СО в присутствии Н<sub>2</sub>

Табл. 1. — Характеристика способов производства азото-водородной смеси.

Способ производства	Энергия в кВт	Вода (+15°) в т	Пар в т	Конс в т	Конс. газ в м <sup>3</sup>	Еср. газ в м <sup>3</sup>	Аппарат в т	Отход бо-газа в м <sup>3</sup>
1. Электролиз воды + перегонка воздуха . . . . .	12 840	120	—	—	—	—	—	—
2. Глуб. охл. конверсия газа + перегонка воздуха . . . . .	2 070	810	0,2	—	4 650	—	—	2 510
3. Водной газ + конверсия СО	627	730	10,0	2,1	—	—	—	—
4. Крекинг азот. газ + конверсия СО . . . . .	757	730	10,0	—	—	1 345	—	—
5. Железопаровой процесс + перегонка воздуха . . . . .	1 330	310	11,1	—	—	—	2,9	—

ного газа м. б. весьма различным: обычный кондовый газ, водяной газ, отходящий газ лиролиза нефти, газ парокислородной газификации угля после конверсии и т. п., при изготовлении чистого водорода требуется большая теплообменная поверхность и следовательно большие металлозатраты, поскольку здесь к эффекту специального хладагента не присоединяется полезный эффект расширения сжатого (дозированного для смеси 3Н<sub>2</sub> : 1N<sub>2</sub>) азота. Обычно при подобном способе выделения водорода азот получается ректификацией жидкого воздуха, но непосредственной технологической зависимости между обоими процессами нет. Ректификация воздуха целесообразна например при одновременном использовании кислорода в дутье под генератор. Преимущество метода «вымораживания» (глубокого охлаждения) заключается в обеспечении удаления метана из газовой смеси, чего в техническом масштабе путем абсорбции достигнуть пока не удается. Кроме абсорбции и конденсации иногда приходится прибегать еще к очистке газа методом конверсии. Замысел этого метода заключается в превращении вредных соединений в инертные, безвредные для катализатора примеси или в побочные продукты (та же идея по существу заложена в конверсии СО в Н<sub>2</sub>O и СО<sub>2</sub>, но размеры ее заставляют выделить эту операцию в специфич. процесс). Так напр., по патенту Клода между цехом глубокого охлаждения и цехом

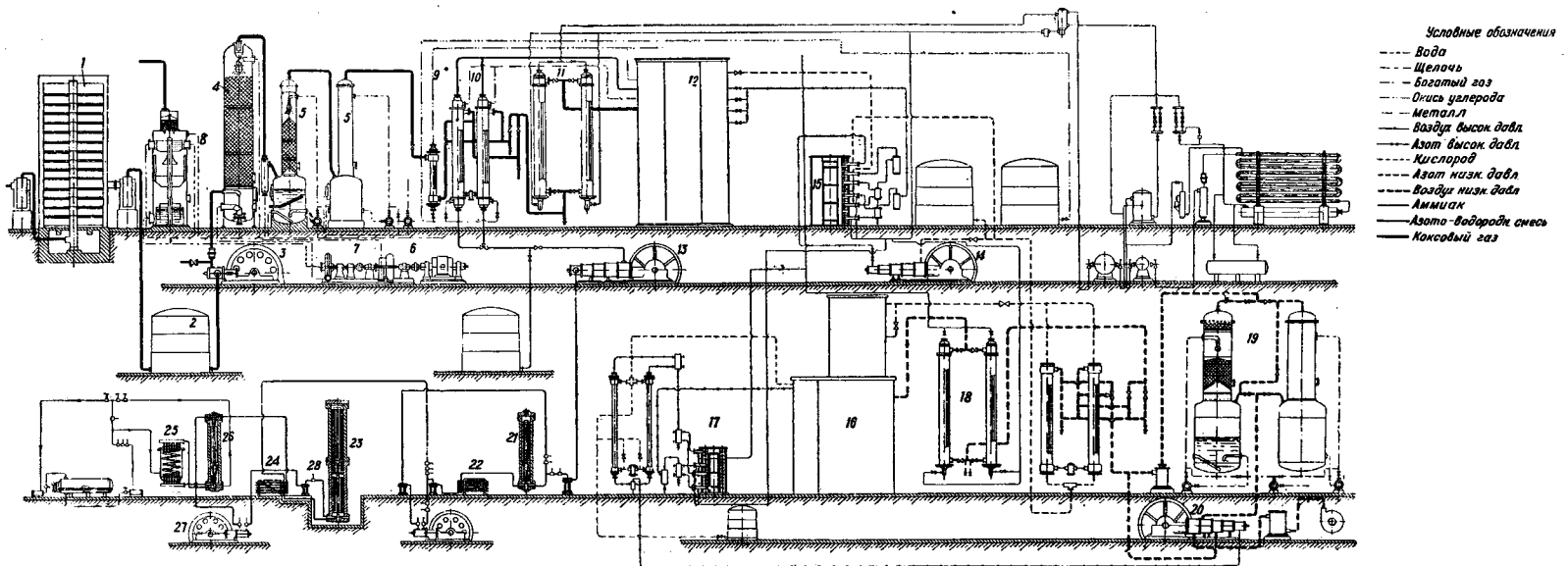
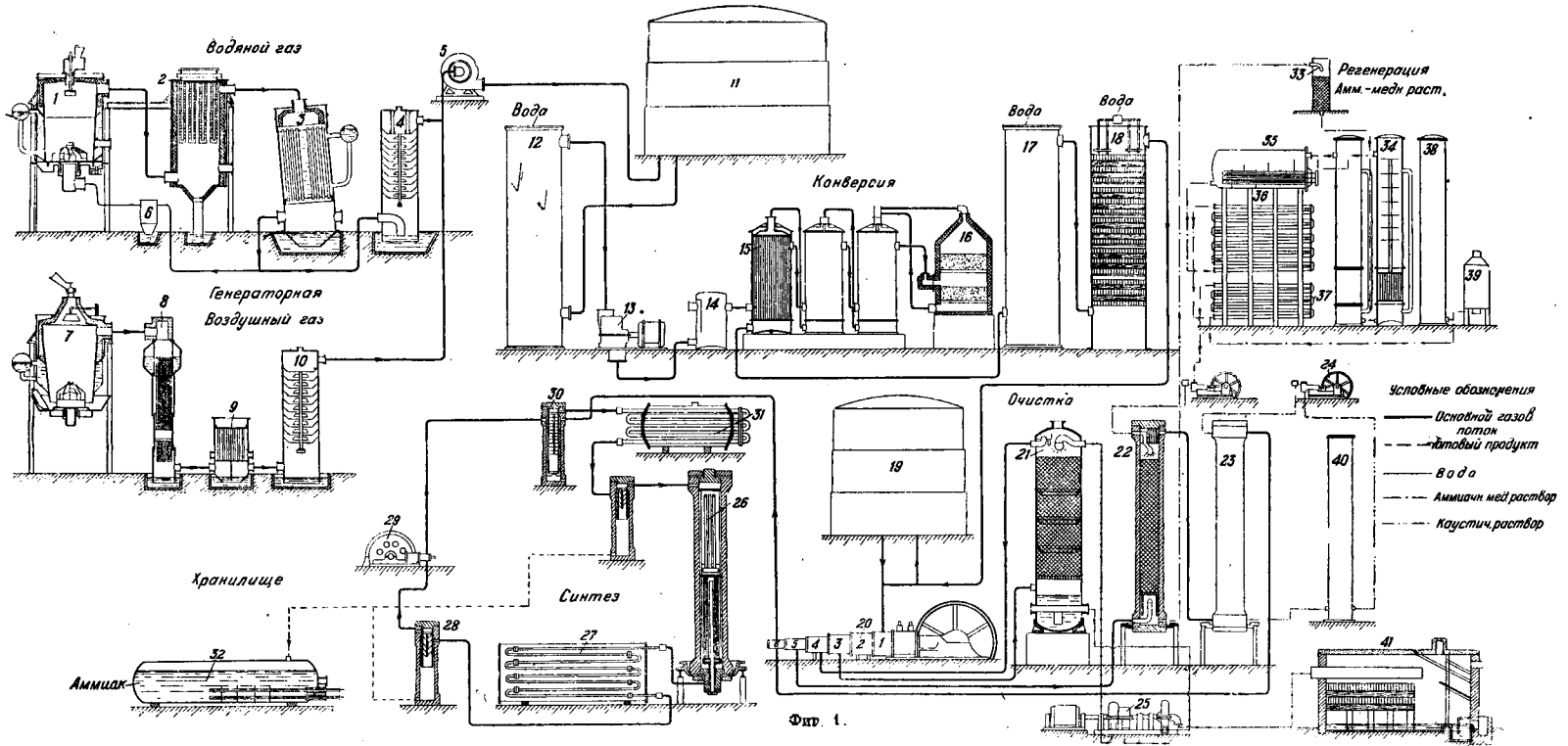
маловодных местностей с паром высокой стоимости, делающей невыгодной диссоциацию карбоната аммония на А., замена обычной промывки от СО<sub>2</sub> на этаноламиную промывку (см. *Этаноламин*), 3) абсорбция метана бензином при —35°, что обещает значительно сократить расход энергии сравнительно с методом глубокого охлаждения. Наконец уже осуществлены в форме опытных агрегатов: а) парокислородное дутье под низкосортный уголь, исключаяющее процесс коксования из хозяйства синтеза и уменьшающее потребление в коксе в стране, газификация лигнитов во взвешенном состоянии [2], б) конверсия СО непосредственно в домне или получение первичного газа для синтеза А. в домне и др. Ниже показано распределение методов производства водорода для азото-водородной смеси на земном шаре на 1934 г. [в %] [8, 9]:

Электролиз воды . . . . .	13,9
Глубокое охлаждение консов. газа . . . . .	24,0
Водяной газ . . . . .	58,8
Крекинг природных газов . . . . .	0,8
Прочие методы (железопаровой способ, газы брожения и др.) . . . . .	2,5

Азот за исключением нескольких небольших установок (Мерано в Италии — крекинг нитрозных газов; Слейскил в Голландии — ректификация смеси воздуха и топочных газов; Найа-гора Фолкс в США — выигнание кислорода воздуха водородом) готовится разгонной жидкого воздуха. Характеристика различных способов производства азото-водородной смеси по фактическим расходам на 1 т NH<sub>3</sub> (2 850 м<sup>3</sup> 3Н<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>) приведена в табл. 1.

Эквиваленты: 1 кВт = 0,80 кг У. Т. (условное топливо); тепловой эквивалент 1 кг У. Т. — 7 000 Cal; для получения 1 кВт электроэнергии на современных электростанциях тратится 0,8 кг У. Т. (полагаем кпд электростанций 15%), 1 т пара среднего давления — 120 кг

# АММИАК



У. Т., 1 000 м<sup>3</sup> воды в комбинате — 100 кг У. Т., 1 м<sup>3</sup> коксового газа 3 820 Cal, 1 м<sup>3</sup> естественного газа 7 400 Cal, 1 м<sup>3</sup> богатого газа 4 900 Cal [2]. Расчет дан для 2 850 м<sup>3</sup> 3Н<sub>2</sub> + N<sub>2</sub> (при нормальных условиях), сжатых до 300 атм. В способах 2, 3, 4 очистка от СО<sub>2</sub> принята водная, в способах 3, 4 — паровой привод в компрессии. Ниже дана энергетич. характеристика различных способов получения азото-водородной смеси (в кг У. Т. на 1 т NH<sub>3</sub>).

Способы	Энергия в виде тона	Воды	Пара	Горючего	Отход	Сумма
1.	10 300	12	—	—	—	10 312
2.	1 640	91	34	2 540	1 755	2 530
3.	580	86	1 200	1 720	—	3 586
4.	530	73	1 200	1 420	—	3 223
5.	1 060	31	1 450	2 708	—	5 249

Соотношение между азотом и водородом иллюстрируется таблицей 2.

Табл. 2. — Соотношение между азотом и водородом при различных способах производства.

Способ производства азота	Энергия в kWh *1	Вода в м <sup>3</sup> *1	Водород в м <sup>3</sup>
Ректификация воздуха	420	45	—
Крекинг газификационных газов	236	63	51,5**

\*1 На 1 т NH<sub>3</sub> (700 м<sup>3</sup> N<sub>2</sub> при нормальных условиях сжатых до 300 атм). \*\* При переводе водорода на энергию эквивалентный расход энергии достигает 513 kWh.

Очищенная азото-водородная смесь поступает в цех синтеза. В производстве приготовление этой смеси и синтез аммиака являются неразрывными по существу звеньями единого комплекса, хотя и комбинируются в различных сочетаниях. Номенклатура заводов синтеза привилась следующая: Линде-Фаузер, Клод-Клод и др. Здесь первое имя относится к автору схемы производства водорода, второе — к автору метода синтеза А. из элементов. Если встречается лишь одно слово, напр. «Найтрожден», «Казале», то это значит, что обе стадии производства разработаны одним изобретателем или принадлежат одной фирме (фиг. 1 и 2).

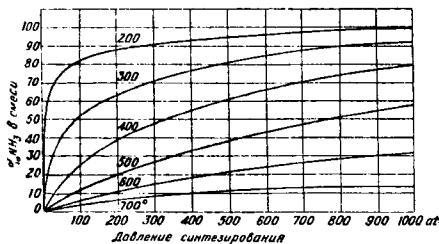
На фиг. 1 показана примерная схема производства А. Производство первичного технологического газа: в генераторе 1 при дутье водяного пара получается водяной газ, к-рый проходит рекуператор с насадкой 2 и котел-утилизатор 3, где, охлаждаясь, производит пар, далее газ поступает в промыватель 4 и газодувку 5; перед газодувкой в водяном газу добавляется воздушный газ, полученный из специального генератора 7, охлажденный в котле-утилизаторе 8, теплообменник 9 и скруббере 10. Шаль оседает в пыльнике 6. Получение азото-водородной смеси из первичного газа. Из газодувки 11 газ поступает в сатуратор 12, где насыщается водяным паром при помощи 85 посредством охладителя водяной водой. Затем в газодувку 13, в паросетиель 14 и, пройдя теплообменник 15, в конвертер окиси углерода 16. Обогащенный водородом, газ проходит теплообменник в обратном порядке, затем охлаждается дальше в водонагревателем и конденсационном скрубберах 17 и 18. Горючая вода из скруббера 17 вместе с конденсатом избыточного пара поступает в сатуратор 12, чем экономится расход свежего пара. Конвертированный охлажденный газ направляется в газодувку 19 или поступает в компрессор 20, откуда направляется на очистку от углекислоты 21 в окиси углерода 22 и в контрольный скруббер со щелочью 23. Чистый газ дожимается до конечного давления и подается в агрегаты синтеза (применяется давление от 100 до 1 000 атм; предпочтительно 800—1 000 атм). На фиг. 1 показан цикл воды для очистки газа от углекислоты: насос 25, спаренный с турбиной, регенерирующей часть энергии воды, в экспансер 41, где выделяется после дросселирования основная часть растворившихся газов. Также показан цикл очистительной жидкости

для вымывания окиси углерода: холодный раствор из дросселируется, поступает в редукторы 34, затем в рекуператоры 35, где охлаждается до 64° для промывки окиси углерода, выделяется и отправляется в цех конверсии СО для использования; утолщенный его раствор улавливается в водных абсорберах 33. Регенерированный раствор охлаждается в водных 36 и аммиачных 37 холодильниках, снова снимается в специальных насосах 24 и снова поступает на орошение скрубберов высокого (120 атм) давления. Установка имеет 64 для приготовления и хранения 38 активного раствора. Получаемого погружением меди в уксусную к-ту. Щелочь для орошения скруббера 23 хранится в бачке 40 и подается на скруббер 23 с помощью насоса 24 с давлением 120 атм. С и т е з А. из элементов. Основная реакция происходит в колонне синтеза 26, имеющей сверху катализаторную зону и внизу теплообменник; горячий газ по выходе из колонны охлаждается в водном конденсаторе 27 (выделившийся А. сепаруется в 28), проходит циркуляционную помпу 29, масляный фильтр 30, конденсатор 31, охлаждаемый кипильем А., сепаратор к нему и снова возвращается в колонну. Свежий газ подается перед фильтром. Из сепараторов жидкий аммиак отправляется в сборник 32.

На фиг. 2 показана другая примерная схема производства А. горячий газ по выходе из колонны охлаждается в в. а. Первичный технологич. газ, коксовый газ, получается с коксовальными после удаления основной массы бензола, нафталина, аммиака и смол. 2. По луче н и е азото-водородной смеси. Коксовый газ освобождается от серы в башне 1, загрязненной железной рудой, и поступает в газгольдер 2, откуда направляется в компрессор 3 с давлением волокна 12 атм. Сжатый газ промывается водой в скруббере 4, затем целочью в 5 и направляется в «блон разделения» коксового газа. Вода подается насосом 6; ее энергия рекуперуется водяной турбиной 7. Газы, растворенные в воде, выделяются в экспансере 8. Фракционная конденсация начинается в теплообменниках предварительного охлаждения 9 и 10, затем газ проходит аммиачные холодильники 11, откуда с темп-рой —45° поступает в камеры глубокого охлаждения 12, где при темп-ре —190° газ промывается жидким азотом, растворяющим окиси углерода. Из кабин выходит почти чистая смесь 3Н<sub>2</sub> + 1N<sub>2</sub> со следами окиси углерода; эта смесь проходит в обратном коксовому газу порядке 11, 10 и 9 и идет в компрессор 13, где снимается до давления синтеза А. (800—300 атм). Источником холода служит расширение азота, к-рый снимается в специальном компрессоре 14 до 200 атм, затем охлаждается в камерах глубокого охлаждения 15, обеспечивая получение темп-ры (—190°), при которой под давлением 12 атм не сжимается лишь водород. Часть азота расходуется на растворение окиси углерода, часть поступает, пройдя специальных газгольдер, снова в азотный компрессор. До кабин глубокого охлаждения газ разделяется на метал и богатый (назорийный) газ, после чего получается азото-водородная смесь и смесь N<sub>2</sub> + СО т. и бедный газ). Чистый азот может получаться различными путями; обычно его получают вместе с кислородом ректификацией жидкого воздуха в установке, состоящей из ректификационной колонны 16, предварительного охлаждения воздуха высокого и низкого давлений 17, 18, целочных скрубберов 19 и воздушного компрессора 20. 3. С и т е з А. из элементов. В форнахтате 21 следы СО гидрируются в метан и воду; вода выделяется в холодильнике 22; свежий газ смешивается с горячим газом из колонны синтеза (пройдя ее внутренний теплообмен) 23 и идет на конденсацию в конденсаторах водяном 24 и аммиачном 25 и холодообменнике 26; в последнем происходит сепарация; затем газ проходит циркуляционную помпу 27, маслоотделитель 28 и снова идет в колонну синтеза 23.

Синтез А. из элементов. Единой чертой для всех производственных процессов синтеза аммиака из элементов является сочетание следующих условий: 1) давление в аппарате синтеза в пределах 100—1 000 атм [6], причем в технике синтеза давления до 200 атм считаются низкими, до 600 — средними и лишь выше 600 атм — высокими. Давление создается многоступенчатыми поршневыми компрессорами, причем иногда последние одна или две ступени (при отношении компрессии, равной 3—2,5) выделяются в отдельный т. и. г и п е р к о м п р е с с о р по соображениям конструкции и обслуживания; 2) наличие катализатора в агрегате синтеза, в настоящее время в основе своей повсюду состоящий (до загрузки) из Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, с различными активирующими добавками в количестве 1—4%; активаторами служат щелочные или щелочно-земельные окислы (K, Ca) плюс амфотерные

окислы (Al, Cr). Промышленную скорость процесса синтеза подобные катализаторы обеспечивают лишь при  $t^\circ$  450—650°, что для реакции  $N_2 + 3H_2 = 2NH_3 + 24\ 000\ \text{Cal}$  приводит к равновесным выходам (фиг. 3).



Фиг. 3.

Промышленную скорость синтеза соответствует 10 000—50 000 объема газа в час при нормальных условиях на 1 объем (брутто) катализатора, причем выход достигает 80—70% от равновесных величин, приведенных в табл. 3 (см. также фиг. 4).

Табл. 3. — Содержание А. в газовой смеси в % при равновесии.

Температура в °С	Давление в атм				
	1	100	300	600	1 000
0	9,60	98,90	98,95	99,59	99,64
500	0,13	10,40	23,10	42,15	57,50
600	0,05	4,50	11,50	23,10	31,43
700	0,02	2,18	7,28	12,60	12,87

В современных конвертерах загружается от 0,5 до 2,5 м³ катализатора. Производительность его зависит от средней  $t^\circ$ , которая в свою очередь определяется конструкцией колонны синтеза.

Ведутся опыты, направленные к понижению рабочей  $t^\circ$  для катализатора (применение нитрида лития и т. п.). Железный катализатор изготавливается из стали в кислородном пламени или перелавкой естественного магнетита с добавками ( $KNO_3$ ,  $Al_2O_3$  и др.). 3) Устройство системы синтеза, состоящей из ряда последовательно расположенных контактных аппаратов (Клод) или образующей замкнутой т. наз. цикл синтеза (прочие системы), вызвано сравнительно малой степенью конверсии, т. е. неполным превращением исходной смеси в А. за один проход аппарата. Обязательными элементами цикла синтеза являются: а) конвертер, б) выделение А., которое раньше производилось вымыванием водой, сейчас же — исключительно путем конденсации А. в один или несколько приемов с применением естественного и искусственного охлаждения, в) циркуляционный насос для проталкивания смеси в цикле; функции насоса может исполнять инжектор, работающий от компрессора, восполняющий потерю давления в аппаратах, поскольку сам синтез идет под постоянным

давлением, г) подвод свежей смеси и д) отвод продувки. Продувка является средством отвода из цикла балластных примесей (Ar,  $CH_4$ ), не успешных раствориться в жидком А. Эти примеси влияют на процесс синтеза согласно ф-ле

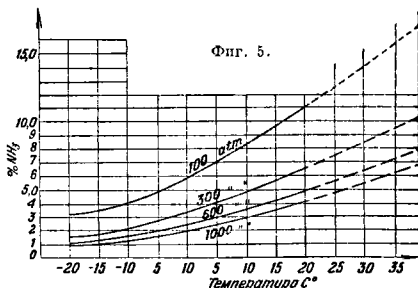
$$\frac{a}{(1-a)^2} = K_p \frac{r^{1,5}}{(1+r)^2} (1-i)^2 \cdot P$$

( $a$  — доля  $NH_3$  в равновесии,  $K_p$  — константа равновесия,  $r = \frac{H_2}{N_2}$ ;  $i$  — доля инертных веществ,  $P$  — общее давление), т. е. примеси понижают рабочее давление пропорционально квадрату содержания инертных веществ. Циркуляция и продувка в системе Клода отпадают.

Производительность конвертера  $\Pi$  легко вычислить по следующей общей формуле, справедливой при различных схемах цикла

$$\Pi = V \frac{K_1 - K_2}{100 + K_1} \text{ м}^3,$$

где  $V$  — объем (в м³) циркулирующего газа, входящего в колонну;  $K_1 = f(P, T_{\text{катализа}})$  — % (объемный)  $NH_3$  на выходе из колонны;  $K_2 = f(P, T_{\text{конденсаци}})$  — % (объемный)  $NH_3$  на входе в колонну. Для пуска колонны синтеза необходим подогрев внешней или внутренней; при установившемся режиме процесса в хороших конструкциях работа колонны автотермична; в некоторых старых аппаратах приходится непрерывно подогревать входящую смесь (обычно электрич. сопротивлением). Обычные газовые показатели, как у-ие состояния, закон Дальтона,  $C_p$ ,  $K_p$ , практически при высоких давлениях неприменимы. Теория дает весьма громоздкие ф-лы для этого случая, и в конечном счете предпочтительно пользоваться графиками, построенными на основе эмпирич. данных. Безызвестно лишь указать общий вид этих ф-л: 1) Взамен у-ия Клапейрона следует применять выражение  $\beta PV = RT$ , где  $\beta$  — коэф. сжимаемости, являющийся ф-ией давления и темп-ры (фиг. 6).



Фиг. 5.

Для сравнения коэф-тов различных веществ ( $N_2$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$ ) на оси абсцисс (фиг. 6) отложено приведенное давление, т. е. отношение давления к критич. давлению. 2) Парциальное давление насыщенных паров как ф-ция  $t^\circ$  в условиях высокого давления и динамич. потока значительно выше обычных цифр. Так, для давления 300 атм поправочный коэф. равен 2—2,5 (фиг. 5). Кроме того закон Дальтона, основанный на аддитивности объемов и давлений, здесь недействителен и должен быть заменен соотношениями, выраженными формулой [8]

$$P = RT [f_1(P_1, V_1, X_1) + f_2(P_2, V_2, X_2) + \dots],$$

где  $X$  — мольные фракции компонентов. Для смеси  $3H_2 + N_2$  поправка достигает +1,5% при



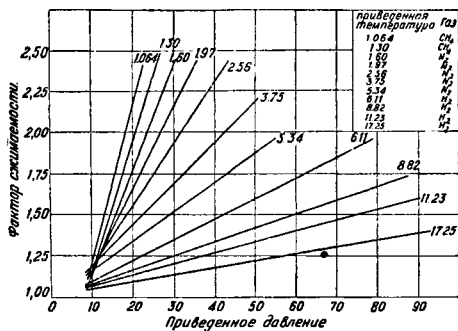
0°, уменьшаясь с повышением  $t^\circ$ . 3) Теплоемкость  $C_p$  можно вычислить по ур-ию

$$C_p = C_{p0} + T \int_{P_0}^P \frac{d^2V}{dT^2} PdP,$$

но вычисления по ур-иям состояния настолько хлопотливы, напр. по Кнйсу

$$P = \frac{RT}{V - \left(\frac{\beta}{V}\right) - \frac{a}{V}} - \frac{A}{(V-1)^2},$$

что хотя они до 200 atm дают ошибку лишь ~0,5% при применении опытных постоянных,



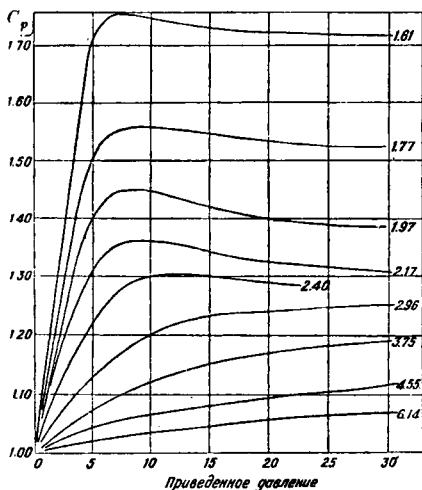
Фиг. 6.

удобнее пользоваться графиком (фиг. 7). Последним надо пользоваться с осторожностью при вычислении  $C_p$  смеси. Напр. смесь  $3H_2 + N_2$  при давлении 300 atm имеет  $C_p$  около 1,0; если же полагать теплоемкость смеси величиной аддитивной, то из значений  $C_p$  для  $N_2$  и  $H_2$  для смеси получается значение  $C_p \sim 0,85$ . 4)  $K_p$  для газовых смесей под давлением для соблюдения точности следует избирать  $K_{p0} = K_p - f(P, T)$ , но отклонение составляет менее 1% от значения константы, поэтому им можно пренебречь. 5) В присутствии инертных веществ в практич. условиях оптимум реакции лежит при соотношении

$$\frac{H_2}{N_2} = 3.$$

Поведение металла в условиях давления и в атмосфере водорода изучалось с различных точек зрения, но в стройную концепцию все еще не объединено. Простая углеродистая сталь разрушается в условиях синтеза с образованием пузырьков метана. Надо различать условия работы корпуса конвертера, испытывающего высокое внутреннее давление и  $t^\circ$  порядка 0—100° (изредка 300°), и условия для внутренних частей конвертера, выполняющих функцию теплообменника и носителя катализатора; для внутренних

частей здесь перепад давления составляет около 2—20 atm, но  $t^\circ$  достигает 500—600°. Кожух делают из хромованадиевой или хромоникелевой стали, допускающей рабочие напряжения до



Фиг. 7.

1 080 кг/см<sup>2</sup> (Найтродржен) или до 2 200 кг/см<sup>2</sup> (Казале). Внутренние части становятся хрупкими и разрушаются в течение нескольких месяцев, даже изготовленные из специальной стали; поэтому их иногда конструируют из простой углеродистой стали. В табл. 4 приводятся

Табл. 4.— Сравнительные примерные характеристики различных систем синтеза А.

Показатели	Клод	Казале	Фаузер	Габер-Бош (Найтродржен)	УДЭ
Давление в atm. Схема . . . . .	950—1 050 Открытая цепь; в новых установках замыкается, превращается в цикл	550—850 Свежий газ → помпа → колонна; конденсатор → отдувочка	200—300 Помпа → колонна; свежий газ → конденсатор → отдувочка (фиг. 1)	300—300 Свежий газ → помпа → конденсатор → колонна; конденсатор → отдувочка (фиг. 2)	90—120 Свежий газ → помпа → колонна → конденсатор
Агрегат . . . . .	Блок 5 колонн с конденсаторами дает 60 т NH <sub>3</sub> в сутки	1 колонна до 80 т	1 колонна 30—50 т	1 колонна до 80 т	2 колонны по 25 т
Диаметр (внутр.) единицы в мм	2 380—3 240	400—600	850	700—1 000	1 000
Состав газа (% NH <sub>3</sub> ): на выходе из колонны . . . . . на входе . . . . .	25,0 В блок 0; на входе в прочие 3,0—0,5	20—25 2—8	10 2	15—18 2—4	10—8 0,5
Объемная скорость в аппарате	До 50 000	30 000—45 000	15 000—20 000	12 000—25 000	3 500—5 000
Расход энергии: а) без сжатия б) со сжатием	— 1 550	280 1 610	212 1 124	100 1 100	400 1 300
Распростран. в % на земном шаре на 1934 г.	9,3	16,7	10,7	45,6+8,2	8,0

сравнение распространенных систем синтеза по основным показателям (продукция: жидкий А. 98—99%, прочее—вода и растворенные газы). Расход энергии на сжатие вычислен для очищенной

авото-водородной смеси. В тех случаях, когда данный метод синтеза комбинируется со способами, очищающими газ при 12 атми или 16,0 (например Найтроджен), расход энергии несколько выше, соответственно составу газа и способу очистки. Наибольшие перспективы на будущее имеет схема высокого давления порядка 800 атм с аммиачным охлаждением во вторичной конденсации с высоким рабочим напряжением в стенках кожуха и высокой скоростью газового потока. Подобная схема особенно целесообразна при высокой ценности специального металла и сравнительной дешевизне энергии в виде электрического тока. Низкие давления возникли в обход патента BASF (Габер-Бош), закреплявшего за этой фирмой все давления свыше 100 атм. Низкие давления в настоящее время никаких

ной к-ты в дуге 64; 3) синтез А. через цианамид 13; 4) синтез А. через нитрид алюминия 5.

Азотнокислотная пром-сть, являясь необходимой звеном в производстве средств обороны, в то же время служит источником получения азотистых удобрений. Эта особенность азотных установок позволяет балансировать производство удобрений и обслуживание военных нужд почти на неизменных капиталовложениях. Экономически неизбежным этапом современной азотной техники является синтез аммиака из элементов. Что касается вспомогательных и перерабатывающих цехов, то существует ряд возможностей производственного их комбинирования. Например при основном целевом назначении 3-да—производстве туков—весь А. может идти в переработку на сульфат или хлорид аммония; при необходимости поставлять нитрующее средства требуется в составе в-да наличие цеха окисления А. в окис азота, к-рый теперь также экономически неизбежен при переработке А. в азотную к-ту. 3-ды синтеза А. как правило строятся вблизи энергетич. базы. Источником азота является воздух (прямо или косвенно); источником же водорода в зависимости от характера энергетич. базы служат вода, уголь или нефтепродукты. Многообразие способов производства азото-водородной смеси, в значительной степени отражающее естественные условия установок, в конце-концов завершается процессом синтеза из элементов, все модификации которого в технологическом масштабе по существу весьма сходны.

Табл. 5.—Производство и потребление азотистых соединений в капиталистических странах (в тыс. т). \*

Показатели	1913	1928/29	1929/30	1930/31	1931/32	1932/33	1933/34
<b>I. Производство</b>							
Синтетич. аммиак . . . . .	7	495	442	349	522	560	540
Цианамид кальция . . . . .	38	192	254	201	135	168	192
Норвежская селитра . . . . .	15	188	131	111	79	118	106
Прочие виды синтетич. азота . . . . .	—	434	479	424	378	502	557
<b>Всего синтетич. азота . . . . .</b>	<b>60</b>	<b>1 247</b>	<b>1 316</b>	<b>1 095</b>	<b>1 114</b>	<b>1 348</b>	<b>1 395</b>
Аммиак коксовых и газовых заводов . . . . .	284	376	424	360	302	258	306
Чилийская селитра . . . . .	430	490	464	250	170	71	85
<b>Всего азотистых соединений</b>	<b>774</b>	<b>2 113</b>	<b>2 204</b>	<b>1 694</b>	<b>1 585</b>	<b>1 677</b>	<b>1 786</b>
<b>II. Уд. в. основных способов производства (в%)</b>							
Синтетич. азот . . . . .	70,7	59,0	59,7	63,1	70,2	80,4	78,1
Аммиак коксовых и газовых заводов . . . . .	36,7	17,8	19,2	21,3	19,1	15,4	17,1
Чилийская селитра . . . . .	55,6	23,2	21,1	14,8	10,7	4,2	4,8
<b>III. Потребление</b>							
Синтетич. азот и аммиак коксов. и газовых заводов . . . . .	—	1 453	1 587	1 377	1 417	1 620	1 701
Чилийская селитра . . . . .	—	419	364	244	138	127	161
<b>Всего потреблено . . . . .</b>	<b>—</b>	<b>1 872</b>	<b>1 951</b>	<b>1 621</b>	<b>1 555</b>	<b>1 747</b>	<b>1 862</b>
<b>В том числе в сельском хозяйстве</b>	<b>—</b>	<b>1 684</b>	<b>1 750</b>	<b>1 455</b>	<b>1 412</b>	<b>1 586</b>	<b>1 683</b>

\* Сельскохозяйственные годы (с 1/VIII по 31/VII); 1913 г. — календарный год.

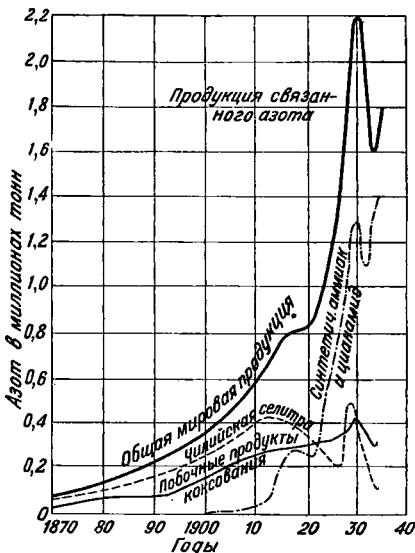
преимущество перед высокими и средними с искусственным охлаждением не имеют. Сверхвысокие давления (5 000 атм) обещают 97% NH<sub>3</sub> за один проход катализатора, но они еще не вышли из лабораторной стадии.

Применение А. играет колоссальную роль в качестве сырья для получения азотной к-ты и ряда азотсодержащих туков. Проблема А. является частным случаем решения проблемы азота. В настоящее время в промышленном масштабе связывание атмосферного азота и переработка его на взрывчатые вещества и удобрения происходят наиболее экономичным путем с помощью синтеза А. из элементов. Причина преимущественного развития синтеза А. из элементов коренится в след. сопоставлении: на 1 т связанного азота требуется энергии в виде тока или топлива в единицах У. Т.: 1) синтез А. из элементов 3—13 (в зависимости от метода производства азото-водородной смеси); 2) синтез азот-

ние второй пятилетки. В 1932 г. производство синтетич. А. базировалось на получении водорода путем конверсии водяного газа в размере 25% и по железопаровому методу в размере 75%. В 1937 г. уд. в. производства по конверсионному методу составил 44,8%, по методу глубокого охлаждения — 35,6%, по паракислородному методу — 7%, по электролитическому — 8% и на долю устаревшего и дорогого стоящего железопарового метода придется лишь 4,6% от всего количества производимого синтетич. А.

Необходимо отметить, что ряд народнохозяйственных проблем следует решать в комплексе с производством аммиака синтезом из элементов. Сюда относятся: полное использование ароматич. углеводородов коксового газа с заменой цикла бензин-вымораживанием, получение серы при регенерации адсорбентов сероводорода, синтез метанола и высших спиртов на базе водяного газа и водорода (конверсионного или из другого

источника), получение нашатыря как побочного продукта производства соды и пр. Наоборот, аммиак может получаться как побочный продукт на базе коалесцирующих газов доменного процесса с кислородным дутьем и т. п. Долгое время метод синтеза А. через нитрид алюминия считался неудобным для осуществления, но сейчас вновь разрабатывается. Этот метод в основном является процессом получения окиси алюминия, необходимой для выработки металла. алюминия. Сырьем для него служат кокс, боксит и азот.

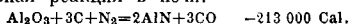


Фиг. 8.

Технич. трудности процесса — гл. обр. в конструкции печи, которая должна обеспечивать равномерную  $t^{\circ}$  (ок.  $1600^{\circ}$ ). Перспективы этого способа м. б. выяснены из следующего сравнения: расход энергии в кг У. Т. на  $1 \text{ м NH}_3$  и на  $1,6 \text{ т Al}$  (в виде  $3 \text{ т Al}_2\text{O}_3$ ) составляет:

По нитрида алюминиевому способу, считая в печи кпд 30% . . . . .	5 000
При изготовлении А. и окиси алюминия поровым . . . . .	23 000
а) аммиак синтезом (в среднем) . . . . .	3 000
б) окись алюминия (по Кузнецову-Зуковскому) . . . . .	20 000

Основная реакция в печи:



Соотношения А. и алюминия взяты согласно реакции омыления нитрида



поскольку выход А. здесь практически количественный.

Цианамидный процесс хотя и вырос за годы войны, но с тех пор не получил дальнейшего развития. Ни энергетический выход ни качество даваемого им А. не стимулируют в настоящее время его роста. Использование А. из газа коксовых печей в абсолютных цифрах увеличивается, поскольку этот процесс представляет собой один из элементов рационального баланса коксования. Новые коксовые установки в содействующих им химич. заводах обычно снабжаются скрубберами, улавливающими бензол и А., а

равно и дистилляционными колоннами для укрепления аммиачной воды с 3 до 17%, если абсорбция  $\text{NH}_3$  идет не в кислой среде. Однако этот процесс потерял ведущую роль для снабжения народного хозяйства азотными продуктами внутреннего происхождения, хотя выход аммиака ( $1,2-1,5\%$  от веса угля) и раньше не позволял рассматривать коксование иначе как способ, дающий аммиак в качестве побочного продукта.

Лит.: 1) E m m e t t, В r u n a c e r, «J. Am. Chem. Soc.», 1930, 7, p. 2682; 2) B o r s e, «Ind. Chemistry», 1934, 4, p. 872; 3) K a l i s h, Ch. Markets, XII, 1931; 4) F a u s e r, «Giorn. Ch. Ind. Appl.», 1931, 8; 5) D o d g e, «Ind. Eng. Ch.», 1932, 12, p. 1353. — Ф о к и н Л., Синтез аммиака, Л., 1932; Г о л о в а н о в и М а л а р е с к и й, Синтез аммиака, Харьков, 1929; E r n s t, Fixed Nitrogen, L., 1928; C u r r i s, Fixed Nitrogen, N. Y., 1933; W a e s e r, «Ind. Ust. Industrielle», Lpz., 1932; T o n g u e, The Design a. Construction of High-pressure Chemical Plant, L., 1934; W a e s e r, «Metallbörse», 1930, 9, p. 229; B o r e l l i, «Ch. Met. Eng.», 1932, p. 126; T o n i o l o, G i a m m a r c o, «Giorn. Ch. Ind. Appl.», 1933, p. 219; G i l l e s p i e, B e a t t i e, «J. Am. Chem. Soc.», 1930, p. 4239; S c h o l y i n e, «Chem. Met. Eng.», 1931, p. 87; C l a u d e, «Z. anorg. Chemie», 1930, p. 17; C h e m. W e t. Eng., 1929, 8, p. 481; F i r m i n, «Industrie chimica», 1924, v. 11, p. 200, 440; 1925, v. 12, p. 11, 208, 255, 446; 1926, v. 13, p. 8, 154, 251; O C T 3753 и 3754. Ю. Севастьянов.

**АТОМ.** Общие понятия. А. называются частицы, из к-рых состоят материальные тела, представляющие объект изучения физики и химии. Представление об А. возникло у античных греческих и индийских философов, причём это представление явилось продуктом философской спекуляции, а не систематич. опытного исследования. Роберт Бойль (1661 г.) впервые отчетливо сформулировал понятие о химич. элементе как о совокупности одинаковых А. в отличие от химич. соединения, состоящего из А. разных сортов. При этом Бойль отверг представление о неразрушимости А. В начале 19 в. Д. Дальтон развил атомистич. теорию в той форме, в к-рой она и до сих пор служит основой химии. Признавая, что материальные тела состоят из А. и что главной характеристикой каждого сорта А. является вес, Дальтон категорически отрицал возможность разложения элементов и их превращение друг в друга. Важнейшим аргументом в пользу А. у Дальтона был открытый им «закон простых кратных отношений»: количества химич. элемента А, вступающие в химическое соединение с одним и тем же количеством химич. элемента В, относятся друг к другу, как небольшие целые числа. Дальтон (1808 г.) насчитывал 20 сортов А. Дальнейший прогресс химии в 19 в. сопровождался открытием большого количества новых химич. элементов и измерением их ат. веса. Гипотеза В. Праута (1815 г.) о том, что веса всех А., измеренные по отношению к весу атома водорода, являются целыми числами, была опровергнута И. Берцелиусом, к-рый стал первым определять точные ат. в.; однако тот факт, что ат. в. большинства легких элементов близки к целым числам, не мог быть объяснен одной лишь случайностью. Это побуждало многих химиков к поискам связей между химич. элементами и к установлению естественной классификации А. (Доберейнер, Петенкофер, Олинг, Гладстон, Бегюэ де-Шанкуртуа, Ньюлендс). Завершением этих работ является открытие *периодической системы элементов* (см.), сделанное ок. 1869 года Д. И. Менделеевым и Лотаром Мейером и сыгравшее огромную роль в развитии атомистической теории.

В последней четверти 19 в. атомистич. теория подверглась нападкам со стороны философов и идеалистически философствующих физиков

(Мах, Оствальд, Дюгем и др.). Исходным пунктом для этих нападок была кажущаяся невозможность определения абсолютного веса атома. Однако в то же время атомистическая гипотеза получила сильное подтверждение в том, что применение ньютоновской механики к движению отдельных атомов позволило объяснить тепловые явления (Гельмгольц, Больцман и Гиббс). Спор о реальном существовании А. был разрешен благодаря экспериментальным открытиям, которые подтвердили реальность атома, вместе с тем опровергнув их элементарную природу, неразложимость и непревращаемость. К этим открытиям привело изучение прохождения электрич. тока через разреженные газы (катодные лучи, 1869 г.). В 1874 году В. Крукс впервые высказал гипотезу о том, что катодные лучи состоят из частиц, которые входят в состав А. материальных тел. Дж. Дж. Томсон (1897 г.) произвел первое измерение отношения заряда  $e$  к массе  $m$  для частиц катодных лучей и обнаружил, что это отношение  $\frac{e}{m}$  во много раз больше,

чем аналогичное отношение для водородного иона, непосредственно находимое из опытов электролиза. Так возникло учение об *электроне* (см.) — отрицательно заряженной частице, входящей в состав А. Более точные измерения отношения  $\frac{e}{m}$  для электронов, выделяющихся из А. при самых разнообразных физич. явлениях, показали, что масса электрона в 1 840 раз меньше массы самого легкого А. — водородного. Непосредственное измерение заряда электрона (Милликен) позволяет определить и массу водородного А. ( $m_H = 1,662 \cdot 10^{-24} \text{ г}$ ), а это дает базис для определения абсолютного веса всех А. вообще. Совершенно независимый от этого способ определения веса А. дает теория *броуновского движения* (см.), развитая Эйнштейном (1905 г.). Измерения среднего квадрата перемещения взвешенной в жидкости микроскопической частицы, подвергающейся ударам со стороны молекул жидкости, позволили Ж. Перрену вычислить на основе теории Эйнштейна число атомов в грамме (число Авогадро), и это привело к абсолютным весам А., совпадающим с теми, которые были вычислены другими способами. К таким же значениям атомных масс приводят и другие пути, основанные на физич. теории (теория равновесного излучения, развитая Планком, теория спектральных линий по Бору и т. д.). Совпадение результатов, полученных столь разнообразными методами, является убедительным доказательством реальности А. Но вместе с этим доказательством было получено и доказательство того, что А. являются сложными системами, из которых сравнительно легко м. б. выделены электроны, впрочем без изменения химич. индивидуальности А.: при таком отделении или прибавлении электронов А. данного химич. элемента превращается в ион того же самого элемента (т. е. в заряженный А.).

Дальнейшим шагом было открытие *радиоактивности* (см.) в 1896 г. Изучение сложных соотношений, имеющих место в явлениях радиоактивности, привело Резерфорда и Содди (1903 г.) к гипотезе трансмутации элементов: отдавая  $\alpha$ - или  $\beta$ -частицы, А. радиоактивного химич. элемента превращается в А. какого-нибудь другого (радиоактивного или нерадиоактивного) элемента. Эта гипотеза была уточнена в «правиле сдвига» Фаянса и Содди: испускание  $\alpha$ -частицы уменьшает ат. в. на 4 и перемещает элемент на 2 места ближе к началу периодич. системы;

испускание  $\beta$ -частицы не меняет ат. в. и отодвигает элемент на одно место дальше от начала системы. Одновременно с этим (1907—1913 гг.) Содди ввел понятие об *изотопах* (см.), к-рые сперва определялись как разновидности одного и того же химич. элемента, занимающие одно и то же место в периодич. системе и неотделимые друг от друга химич. методами несмотря на различие в ат. в. Изотопы были сперва обнаружены только среди радиоактивных элементов, но в 1912 г. Дж. Дж. Томсон обнаружил при анализе пучков положительных ионов в разрядной трубке, что неон (ат. в. 20,18) является смесью двух изотопов с ат. в. 20 и 22. Ф. В. Астон продолжил исследование Томсона, и в настоящее время уже изучена изотопич. структура очень большого количества нерадиоактивных элементов. Разработан также ряд способов отделения изотопов друг от друга, основанных на различной величине массы А. (различие в массе А. двух изотопов одного и того же элемента приводит к различной скорости диффузии, испарения и т. д.). Однако для огромного большинства изотопов это различие в массе так невелико (относительно), что практически оказывается возможным только частичное разделение. Исключение составляет открытый в 1932 г. изотоп водорода, масса А. к-рого в два раза больше, чем масса А. обыкновенного водорода. Этот изотоп, называемый  $d$  и  $p$  л о г е н о м, сравнительно легко отделяется от обыкновенного водорода, причем такое разделение м. б. произведено и химическими, а не только физическими способами (естественно, что между «химическими» и «физическими» методами разделения изотопов невозможно провести строгого разграничения). В настоящее время под химич. элементом понимают совокупность А., занимающих одно и то же место в периодич. системе (независимо от прочих возможных различий этих А. и от возможности отделить их друг от друга). Под изотопами понимают разновидности одного и того же элемента. Большинство изотопов не имеет специальных названий, и их отличают друг от друга только массой, которая всегда оказывается (в единицах, в к-рых вес наиболее распространенного кислородного изотопа принят за 16) близкой к какому-нибудь целому числу. Это целое число называют *массовым номером* данного сорта А. и обозначают буквой  $M$ . Точную массу А. в тех же единицах обозначают буквой  $A$ ; порядковый (атомный) номер элемента в периодич. системе — буквой  $Z$  (о точном смысле этого числа см. ниже). Числа  $M$  и  $Z$  — целые,  $A$  может быть дробным числом, к-рое сравнительно мало отличается от  $M$ . Обыкновенные изотопы обозначаются прибавлением числа  $M$  к символу химич. элемента: напр. изотопы лития обозначаются  $Li^7$  и  $Li^6$ , изотопы кислорода —  $O^{16}$ ,  $O^{18}$ ,  $O^{17}$  и т. д. В нек-рых случаях по практич. соображениям обозначают изотопы специальными символами, напр.  $AcX$ ,  $ThX$  и  $MsTh$ , все являются изотопами элемента Ra; «диплоген»  $D$  является изотопом элемента H; в этих случаях сам элемент обозначается так же, как наиболее распространенный или (в случае радиоактивных элементов) как наиболее медленно распадающийся изотоп. Изотопы одного и того же элемента всегда обладают одинаковым  $Z$  (по определению), но они могут обладать и одинаковым  $M$  (напр.  $U^Z$  и  $U^X$ , оба имеют  $M=234$ ,  $Z=91$  и отличаются друг от друга только быстротой  $\beta$ -распада).

Тот факт, что точный вес А. любого А. (в названных единицах) всегда близок к целому числу

М, по существу является подтверждением гипотезы Праута (см. выше); отступления химич. ат. в. от целочисленности сводятся к тому, что простые тела, с к-рыми имеет дело химич., являются смесями еще более простых тел — изотопов — и для этих изотопов подтверждается гипотеза Праута, к-рая оказалась неверной для химич. элементов. Целочисленность ат. в. изотопов наводит на мысль, что все А. построены из весьма небольшого количества сортов структурных элементов (...«все атомы состоят из атомов водорода», — как думал Праут). Следует заметить, что неточная целочисленность ат. веса изотопов не является возражением против этой мысли, т. к. при соединении друг с другом элементарных частиц, образующих А., небольшая часть общей массы м. б. потеряна на излучение. Однако в настоящее время окончательные структурные элементы, из к-рых построены А. всех веществ, еще не м. б. названы, несмотря на огромные успехи, достигнутые в изучении структуры атома.

**Строение А. (общий обзор).** Представление о том, что в состав А. входят электроны, к-рые м. б. сравнительно легко отделяемы от А. и прибавляемы к нему вновь, возникло в начале последней четверти 19 в. (Крукс, см. выше). В 1881 г. Гельмгольд обосновал это представление, указав на то, что ионы, выделяющиеся при электролизе, являются А., потерявшими или присоединившими к себе один или несколько А. электричества (электронов). Вскоре возникло представление, что именно электроны, а не что-либо другое, ответственны за испускание атомом спектральных линий. К этому представлению привело открытие явления Зеемана (1896 г.), объясненное Лоренцом: известно, что магнитное поле  $H$  действует на заряд  $e$ , движущийся со скоростью  $v$ , с силой  $e [vH]$  (если  $e$  измерено в электромагнитных единицах). Известно также из механики, что в системе отсчета, вращающейся с угловой скоростью  $a$ , действует сила Кориолиса, равная  $2m[va]$ , где  $m$  — масса частицы. Отсюда видно, что магнитное поле  $H$  в известном смысле эквивалентно вращению  $a = \frac{e}{2m} H$ .

Поэтому если без магнитного поля электрон двигался в А. с частотой  $\omega$  (частотой мы называем число периодов в  $2\pi$  ск.), то теперь к этой частоте прибавляется или отнимается (в зависимости от первоначального направления вращения) частота  $\frac{e}{2m} H$ , где  $H$  — величина магнитного поля; наряду со спектральной линией с частотой  $\omega$  теперь можно наблюдать и частоты  $\omega \pm \frac{e}{2m} H$ . Таково данное Лоренцом объяснение дублетов и триплетов явления Зеемана. Сравнение ф-лы Лоренца с опытом позволило вычислить отношение  $\frac{e}{m}$  для частицы, движение которой в А. вызывает испускание спектральной линии, и это вычисление дало то же самое значение  $\frac{e}{m}$ , какое получил Томсон для электронов катодных лучей. Это было подтверждением идеи Крукса и вместе с тем триумфом классич. электродинамики. Дальнейшее развитие однако не оправдало надежд на успешное применение электродинамики к задаче строения А. Не говоря уже о том, что в явлении Зеемана во многих случаях вместо предсказываемых теорией Лоренца дублетов и триплетов появляются мультиплеты, само существование устойчивых А., обладающих определенными физич. и химич. свойствами и в част-

ности испускающих определенные спектральные линии, противоречит классической электродинамике, согласно которой движение электронов в пределах А. неминуемо должно сопровождаться непрерывным уменьшением энергии А. вследствие излучения и следовательно, вообще говоря, столь же непрерывным изменением свойств А. Столь же непонятным представлялось и то обстоятельство, что при подсчете числа степеней свободы макроскопических тел необходимо было игнорировать существование электронов внутри атомов и даже существование электронов проводимости, для того чтобы получить на основе классической статистики правильные значения теплоемкостей этих тел. Все это с ясностью показывает, что классич. механика и классич. электродинамика неприменимы к вопросам атомной структуры.

Решающий успех в этом направлении был достигнут только в 1911 г. благодаря опытам Резерфорда и его учеников. Резерфорд показал, что при прохождении быстрых  $\alpha$ -частиц через тонкие слои разных веществ иногда наблюдаются весьма резкие отклонения движущейся  $\alpha$ -частицы от первоначального направления движения, которые м. б. объяснены только тем, что  $\alpha$ -частица попадает внутри А. в электрич. поле чрезвычайно большой силы. Существование внутри А. таких электрических полей Резерфорд объяснил тем, что весь положительный заряд А. сосредоточен в ядре А., обладающем весьма небольшими размерами (по сравнению с размерами А.); отрицательно заряженные электроны находятся вне ядра, образуя электронную оболочку А. Эта модель А., предложенная Резерфордом (нуклеарная, или ядерная, модель), явилась основой для всего дальнейшего развития учения о строении А. Представление о том, что А. состоит из  $Z$  отрицательных электронов и из ядра, обладающего зарядом  $+Ze$ , приводит к закону рассеяния  $\alpha$ -частиц, к-рый действительно был подтвержден опытами Резерфорда, и это дало возможность измерить (приблизительно) число  $Z$  для многих химических элементов. В 1913 году ван-дер-Брук (van der Broek) на основании этих измерений высказал ту гипотезу, что число  $Z$  совпадает с номером элемента в периодич. системе. Эта гипотеза была полностью подтверждена всем дальнейшим развитием атомной теории. Заметим, что для всех химических элементов и их изотопов (если не считать водорода, а также нескольких открытых в 1934 г. неустойчивых элементов) выполняется неравенство  $M \geq 2Z$ . В частности оно приводит к тому, что масса всех электронов, вместе взятых, составляет не больше, чем 0,0003 всей массы А. В ядре следовательно сосредоточена почти вся масса А. Подтверждением гипотезы ван-дер-Брука явилось прежде всего «правильное сдвиг» Фляна и Содди (см. выше). Его можно трактовать в том смысле, что  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы, выделяющиеся при радиоактивном распаде, вылетают из атомного ядра: т. к.  $\alpha$ -частица, как показывают непосредственные измерения, обладает зарядом  $+2e$  и массой в 4 единицы ат. в., то при  $\alpha$ -распаде свойства ядра должны измениться по схеме  $Z - Z - 2$ ,  $M - M - 4$ ; при вылете же из ядра электрона ( $\beta$ -частицы) д. б.  $Z - Z + 1$ ,  $M - M$  (последнее потому, что массой электрона можно пренебречь). Кроме того  $\alpha$ -частица должна ничем не отличаться от ядра А. гелия, у которого ат. в. равен 4 и порядковый номер 2. Это подтверждается непосредственными опытами: спектр эманации радия, помещенной в закрытый сосуд, постепенно превращается в спектр гелия.

Радиоактивные явления следовательно сводятся к распаду атомных ядер. Это указывает на то, что ядра А. состоят из протонов и электронов: ядро, характеристиками к-рого являются числа  $M$  и  $Z$ , состоят из  $M$  протонов и  $M - Z$  электронов. Эта простая гипотеза, к-рая удерживалась в такой простой форме вплоть до 1932 г., побуждала к экспериментальному исследованию структуры ядер прежде всего путем попытки искусственно заставить нерадиоактивные ядра распадаться на части (см. ниже). Энергии, выделяемые или поглощаемые в процессах, связанных с изменением структуры ядер, настолько велики по сравнению с энергиями соответственных процессов в электронной оболочке, что все явления, происходящие с электронными оболочками, не оказывают практически никакого влияния на ядра. В частности это значит, что обыкновенные химич. процессы не м. б. связаны с изменением заряда ядра  $Z$  и следовательно с изменением химич. индивидуальности А. Этим резко ограничивается та область явлений, к-рой применима точка зрения Дальтона на химический А.; развитие физики не разрушило эту точку зрения, а только указало ей ее естественные границы применения. Тем самым и вопрос о строении А. достаточно резко распадается на две части: вопрос о строении электронной оболочки и вопрос о строении ядра.

Строение электронной оболочки. Важнейшим основанием для наших познаний о строении электронной оболочки А. служит тот огромный материал, к-рый был собран при изучении атомных спектров. В 1908 г. В. Ритц сформулировал т. н. комбинационные принципы, к-рый гласит, что в о л н о в ы е ч и с л а (т. е. числа, обратные длине волны) всех спектральных линий данного А. могут быть получены в результате попарного вычитания друг из друга т. н. т е р м о в; для каждого сорта А. существует свой определенный набор таких термов. Простейшим случаем является случай атомного спектра водорода; как показал Бальмер (в последней четверти 19 в.), термы водородного А. могут быть представлены в виде  $-\frac{R}{n^2}$ , где  $n$  — целое число ( $n=1, 2, 3, \dots$ ), а  $R$  —

т. н. постоянная Ридберга ( $R=109\,677,7 \text{ см}^{-1}$ ). Комбинаторный принцип Ритца получил простое физическое толкование благодаря тому, что в 1900 г. Планк ввел представление о *квантах* (см.), впоследствии (1905 г.) развитие Эйнштейном: атомная система обладает в противоречии с классической механикой и электродинамикой определенным дискретным рядом «дозволенных» значений энергии; переход от одного такого значения энергии к другому, меньшему, происходит с излучением кванта энергии  $h\nu = h\nu_0$ , где  $\omega = 2\pi\nu$  — частота (число периодов в  $2\pi$  сек.) спектральной линии,  $h = \frac{h}{2\pi}$  — т. наз. квантовая постоянная, равная  $1,04 \cdot 10^{-27}$  эрг. сек.,  $h$  — постоянная Планка. В 1913 г. это представление о дискретных дозволенных значениях энергии получило непосредственное подтверждение в опытах Франка и Герца: поток электронов определенной энергии пытался через пространство, наполненное парами ртути. Пока энергия электронов была меньше, чем 4,9 электрон-вольт, поглощение пучка электронов было очень невелико. При увеличении энергии электронов поглощение увеличивалось скачком, как только энергия переходила за значение 4,9 электрон-вольт, причем в то же время пары ртути начина-

ли испускать линию  $\lambda = 2\,537 \text{ \AA}$ . Это значение длины волны в точности соответствует энергии 4,9 электрон-вольт, если пересчитать по ф-ле  $h\nu$ .

Введение кванта действия в атомную механику является заслугой Нильса Бора. В 1913 г. он опубликовал теорию водородного спектра, в которой сделал попытку ввести квант действия в механику посредством т. н. п р а в и л а к в а н т о в а н и я: электрон водородного А. ( $Z=1$ ) движется по кругу так, что момент количества движения  $mvr$  оказывается равным целому числу постоянных  $h$ . Итак,  $mvr = nh$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ ). Механика дает кроме того

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{r^2}$$

Из обеих ф-л получаем

$$v = \frac{e^2}{nh},$$

откуда кинетич. энергия равна

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{m}{2} \frac{e^4}{n^2 h^2}.$$

Имеем кроме того

$$r = \frac{n^2 h^2}{m e^2},$$

откуда потенциальная энергия равна

$$-\frac{e^2}{r} = -\frac{m e^4}{n^2 h^2}.$$

Полная энергия равна  $-\frac{1}{2} \frac{m e^4}{n^2 h^2}$ , откуда для терма получается значение  $-\frac{1}{2} \frac{m e^4}{n^2 h^2}$  и следовательно подтверждается формула Бальмера при условии, что  $R = \frac{m e^4}{4\pi h^3 c}$ . Подставляя сюда  $m = 9,03 \cdot 10^{-28} \text{ г}$ ,  $e = 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ CGSE}$ ,  $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/сек}$ ,  $h = 1,04 \cdot 10^{-27} \text{ эрг. сек.}$ , получаем  $R = 1,09 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$ , т. е. реконструируем постоянную Ридберга с помощью основных постоянных атомной теории. Дальнейшим успехом теории Бора было объяснение спектра водородоподобных А. (напр. гелиевого иона), т. е. ионов, у к-рых всего лишь один электрон находится в поле ядра с зарядом  $+Ze$ . Для терма получается значение  $-\frac{Z^2 R}{n^2}$  ( $R$  — та же постоянная Ридберга),  $n$  — квантовое число. Более точная теория дает для постоянной Ридберга значение, в к-ром вместо  $m$  стоит «эффективная» масса электрона  $\frac{mM}{m+M}$ , где  $M$  — масса ядра. Поэтому для спектра гелиевого иона постоянная Ридберга несколько отличается от постоянной Ридберга для водородного спектра. Это отличие было количественно подтверждено опытом.

Теория Бора знаменует собой целую эпоху в развитии атомной теории (1913—1925 гг.). Она была развита Зоммерфельдом и др. Целый ряд следствий теории Бора прекрасно оправдывается на опыте. В частности она предсказывает правильные размеры А. (порядка  $\frac{h^2}{m e^2} \approx 10^{-8} \text{ см}$ ). Зоммерфельд разработал правила квантования для более широкого класса случаев, чем это было первоначально сделано Бором (эллиптические орбиты). Опыты Штерна и Герца (1921 г.) подтвердили предсказанные теорией Бора значения магнитных моментов А. Зоммерфельд сумел также ввести в теорию Бора релятивистские поправки (поправки, связанные с теорией относительности) и объяснить с помощью этих поправок «тонкую структуру» спектральных линий водорода и ионизованного гелия. Спектры А. с одним валентным электроном (А. щелочных металлов) также получили естествен-

ное качественное объяснение. То же относится и к рентгеновским спектрам тяжелых атомов: теория, развитая Мозли (Moseley, 1914 г.), дает для термов волновых чисел спектральных линий рентгеновских  $K$ -,  $L$ - и т. д. серий (см. *Рентгеновы лучи*) приближенное выражение

$$\frac{RZ_{\text{eff}}^2}{n^2}, \text{ где } Z_{\text{eff}} \text{ (эффективный порядковый номер)}$$

меняется для каждой данной серии приблизительно на 1 при переходе от каждого химич. элемента к следующему за ним в таблице. Теория Мозли сыграла огромную роль для атомной теории, т. к. она дала физикам возможность непосредственного определения порядкового номера данного химич. элемента по его рентгеновским сериям. Целый ряд химич. элементов был обнаружен по их рентгеновским спектрам. Среди других важных успехов теории Бора упомянем и объяснение явлений Зеэмана (расщепление спектральных линий в магнитном поле, см. *Магнетоника*) и Штарка (расщепление линий в электрич. поле).

Особенно важным является данное Бором объяснение периодич. системы элементов. Согласно теории Бора орбита электрона определяется квантовыми числами  $n$ ,  $l$  и  $m$ , причем  $0 \leq l < n$ ,  $|m| \leq l$ . Каждому «главному» квантовому числу  $n$  соответствует определенный энергетич. слой в  $A$ :  $n=1$  соответствует  $K$ -слою,  $n=2$  —  $L$ -слою,  $n=3$  —  $M$ -слою и т. д. Бор постулировал, что в каждом слое не м. б. больше, чем  $2n^2$  электронов, где  $n$  — главное квантовое число, т. е. не больше 2 электронов в  $K$ -слое, не больше 8 — в  $L$ -слое, не больше 18 — в  $M$ -слое, не больше 32 — в  $N$ -слое и т. д. Если мы будем все время увеличивать  $Z$  на 1, то сперва получим  $A$ . водород ( $Z=1$ , один электрон в  $K$ -слое), затем  $A$ . гелия ( $Z=2$ , два электрона в  $K$ -слое), затем при  $Z=3$  придется посадить третий электрон в  $L$ -слой, т. к.  $K$ -слой уже заполнен. Получается  $A$ . лития ( $Z=3$ ) с одним валентным электроном в  $L$ -слое, затем  $A$ . бериллия ( $Z=4$ ) с двумя такими электронами и т. д. вплоть до неона ( $Z=10$ ) с восемью электронами в  $L$ -слое. Т. о.  $L$ -слой уже заполнен, и следующий  $A$ . ( $Z=11$ ) должен вновь оказаться щелочным металлом с одним валентным электроном в наружном слое ( $M$ -слое). Так и оказывается (натрий,  $Z=11$ ). Дальше должен идти элемент с двумя электронами в  $M$ -слое ( $Z=12$ , магний), аналогичный элементу с 2 электронами в  $L$ -слое ( $Z=4$ , бериллий) и т. д. Когда в  $M$ -слое оказывается 8 электронов ( $Z=18$ , аргон), получается благородный газ, вполне аналогичный неону ( $Z=10$ ), и хотя  $M$ -слой еще не вполне окончен (он может еще принять 18 — 8 = 10 электронов), тем не менее следующий электрон в  $A$ . ( $Z=19$ ) идет в наружную  $N$ -оболочку, так как система из 8 электронов, сидящая в  $M$ -слое, обладает высокой степенью устойчивости и неохотно принимает к себе еще электроны. Получается щелочной металл калий ( $Z=19$ ). Дальше снова идет щелочноземельный металл кальций ( $Z=20$ ) с двумя валентными электронами, но при дальнейшем прибавлении электронов постепенно заполняется и оставшийся незаполненный  $M$ -слой. Поэтому в конце-концов мы приходим к элементу  $Z=36$ , в котором  $K$ -,  $L$ - и  $M$ -слои заполнены целиком, и в  $N$ -слое имеется 8 электронов. Этот элемент д. б. тоже благородным газом, как и элемент  $Z=18$ . После криптона ( $Z=36$ ) идет щелочной металл рубидий ( $Z=37$ ) с одним валентным электроном в  $O$ -слое, затем щелочноземельный металл стронций и т. д.

Потом электроны снова начинают садиться в незаполненный слой и заполняют его до тех пор, пока не получится в нем устойчивая конфигурация из 18 электронов (после этого он еще может принять в себя 32 — 18 = 14 электронов).  $A$ . серебра ( $Z=47$ ) состоит из вполне законченных  $K$ -,  $L$ - и  $M$ -слоев, из полузаконченного  $N$ -слоя и одного электрона в  $O$ -слое. Это вполне соответствует химич. поведению серебра (одновалентность). Дальнейшие прибавленные электроны тоже садятся в  $O$ -слой, пока не получится благородный газ ксенон ( $Z=54$ ). Затем один прибавленный электрон садится в  $P$ -слой (щелочной металл цезий,  $Z=55$ ), после него идет двухвалентный барий ( $Z=56$ ), а за ним лантан ( $Z=57$ ), у которого добавленный электрон садится в  $O$ -слой и который поэтому аналогичен элементу  $Z=39$ , следующему за щелочноземельным стронцием. Дальнейшие прибавленные электроны садятся в  $N$ -слой, пока он не будет окончен. Пока идет эта достройка  $N$ -слоя, поведение самых наружных (валентных) электронов меняется очень мало, а поэтому получается группа химически близких друг к другу элементов (т. н. редких земель). Число редких земель должно равняться 14, откуда вытекает, что последней редкой землей д. б. элемент  $Z=71$  и что элемент  $Z=72$  должен оказаться аналогичным элементу  $Z=40$  (цирконий). Т. к. элемент  $Z=72$  (гафний) в момент опубликования боровской теории периодич. системы еще не был известен, то Хевеши и Костер в 1923 г. стали искать его в минералах, содержащих цирконий, и действительно обнаружили его с помощью его рентгеновского спектра, подтвердив тем самым правильность теории Бора. Элемент  $Z=73$  оказывается аналогичным элементу  $Z=41$  и т. д.; элемент  $Z=79$  (золото) д. б. аналогичен серебру ( $Z=47$ ). Элемент  $Z=86$  д. б. благородным газом (законченные  $K$ -,  $L$ -,  $M$ -,  $N$ -слои, 18 электронов в  $O$ -слое и 8 в  $P$ -слое). Таким газом и оказывается радон. После него идет обычная последовательность: щелочной металл  $Z=87$  (на открытие такого элемента претендует Ф. Эллисон, к-рый назвал его виргинием), щелочноземельный металл радий ( $Z=88$ ) и следующая за ним элементы, у к-рых происходит достройка  $P$ -слоя. Так как наибольший известный порядковый номер есть 92 (уран), то описание структуры электронной оболочки на этом оканчивается.

Перечисленные факты рисуют плодотворность теории Бора, объяснившей в удовлетворительном согласии с опытом целый ряд явлений, в которых структура электронной оболочки играет роль, — как явлений, связанных с периферич. областями оболочки и поэтому обнаруживающих периодичность (например атомный объем, химич. свойства), так и явлений, обусловленных внутренними частями оболочки и не обнаруживающих периодичности (рентгеновские спектры). Но следует подчеркнуть, что в целом ряде случаев теория Бора не приводила к количественному согласию с опытом (например она привела к неправильному значению ионизационного потенциала гелия, не сумела как следует разобраться в строении спектральных мультиплетов и т. д.). В нек-рых случаях теория Бора приводила и к резким качественным противоречиям с опытом. Так напр., хотя она хорошо объясняла гетерополярные молекулы, исходя из того, что элементы, следующие за благородными газами, охотно отдают свои валентные электроны, а элементы, предшествующие благородным газам, охотно их приобретают, превращаясь в ионы,

у которых наружные слои приобретают «благоприятный» характер, тем не менее эта же теория не сумела хотя бы качественно объяснить существование гомеополарных молекул, не состоящих из ионов. Все это привело к тому, что в теории наступил (ок. 1923 г.) кризис и некоторое время продолжался застой. Отдельные немногочисленные успехи (к их числу принадлежат введение Гаудсмитом и Юленбеком представления о вращающемся электроне) не могли вывести теорию из тупика. Наконец критика теории Бора привела к тому, что взамен искусственного введения «квантовых условий» в классич. механику, как это делалось в теории Бора, была построена рациональная механика, содержащая понятие о кванте действия и представляющая обобщение классической механики — волновая механика.

В вопросе о строении электронной оболочки волновая механика сыграла решающую роль. В настоящее время благодаря волновой механике все принципиальные вопросы, связанные с электронной оболочкой А., уже решены. Волновая механика устранила наглядные модели, связанные с электронными орбитами (понятие орбиты электрона противоречит принципу неопределенности Гейзенберга), и отменила представление об атоме как о миниатюрной планетной системе. Зато она ликвидировала все противоречия с опытом и все внутренние несообразности прежней теории Бора, сумела вычислить энергетич. уровни, моменты количества движения, магнитные моменты А., интенсивности и поляризации спектральных линий и т. д. Она сумела объяснить и взаимодействие А. друг с другом. Во всех этих успехах волновой механики важную роль сыграли понятие о сп и л электрона и принцип Паули.

Для волновой механики А. весьма важна задача об электроне, находящемся во внешнем поле, обладающем шаровой симметрией. Простейшим примером такого поля является поле, в к-ром находится электрон в А. водорода: это кулоновское поле ядра. В А. элементов большего порядкового номера  $Z$  можно считать хотя бы приближенно, что каждый электрон находится в поле, обладающем шаровой симметрией и исходящем от ядра и остальных электронов. Волновая механика позволяет определенным образом классифицировать стационарные состояния электрона, находящегося в таком поле с шаровой симметрией. Каждое состояние характеризуется заданном четырех величин: 1) энергии, 2) орбитального момента количества движения, 3) проекции этого момента количества движения на некоторую выбранную в пространстве ось и 4) проекции на ту же ось «спинового» момента количества движения. Эти четыре величины зависят от четырех целых т. н. квантовых чисел. Проекция спинового момента количества движения на какую-то ось (ось  $z$ -ов) может равняться или  $+1/2\hbar$  или  $-1/2\hbar$ , где  $\hbar$  — квантовая постоянная. Поэтому говорят, что эта проекция равна  $1/2\sigma_z$ , где  $\sigma_z$  — целое число, способное принимать только два значения:  $+1$  и  $-1$  (спиновое квантовое число). Что касается проекции орбитального момента количества движения на ту же ось  $z$ -ов, то она равняется  $m\hbar$ , где  $m$  может быть каким угодно целым числом (магнитное квантовое число). Величина орбитального момента количества движения равняется

$$\hbar \sqrt{l(l+1)},$$

где  $l$  — целое число, к-рое никогда не м. б. меньше абсолютной величины  $m$  (азимутальное кванто-

вое число); отсюда видно, что  $l$  может принимать только целые положительные значения или значение нуль. В зависимости от значения  $l$  состояние электрона получает различные, употребляемые спектроскопистами названия:  $s$ -состояние ( $l=0$ ),  $p$ -состояние ( $l=1$ ),  $d$ -состояние ( $l=2$ ) и т. д. Наконец последняя из четырех рассмотренных величин — энергия — зависит от азимутального числа  $l$  и еще от целого числа  $n$ , к-рое д. б. обязательно больше, чем  $l$  (главное квантовое число); оно может поэтому принимать только значения 1, 2, 3, ... Заметим, что в случае водородного А. волновая механика приводит к заключению, что энергия зависит только от  $n$  (зависимость от  $l$  в этом частном случае отпадает), причем зависимость от  $l$  такая же самая, какая получалась и в теории Бора (через постоянную Ридберга). Т. о. получается и в волновой механике объяснение спектральной ф-лы Балмера. Однако не все следствия волновой механики даже и в частном случае водородного А. совпадают со следствиями теории Бора. Так напр., в нормальном состоянии водородного А. (т. е. в состоянии с наименьшей энергией, когда  $n=1$ ) число  $l$  должно равняться нулю, т. к. оно всегда меньше  $n$  и не м. б. отрицательным. Отсюда следует, что в этом нормальном состоянии момент количества движения должен равняться нулю (если речь идет только об «орбитальном» моменте), и это находится в связи с тем обстоятельством, которое находит себе подтверждение также и в опыте, что в  $s$ -состоянии ( $l=0$ ) волновая функция электрона должна обладать шаровой симметрией. Весь момент количества движения электрона в  $s$ -состоянии связан исключительно с его спином. Этот спиновый момент количества движения  $\frac{\hbar}{2}$  приводит по свойствам электронного спина к такому же самому магнитному моменту, какой предсказывала для  $s$ -состояния теория Бора, исходившая из неверного предположения о том, что в  $s$ -состоянии имеется орбитальный момент количества движения. Таким образом впервые волновая механика сумела притти к правильному истолкованию опытов Штерна и Герлаха (см. выше). Для остальных атомных свойств волновая механика также приводит к правильным результатам, удовлетворительно объясняя спектральные линии с их мультиплетной структурой, ионизационные потенциалы, электрические и магнитные свойства А.

Особенно простым является объяснение периодической системы, основанное на принципе Паули, который в применении к данному случаю может быть сформулирован так: в каждом стационарном состоянии может находиться только один электрон. Объяснение периодической системы в принципе не отличается от того, к-рое дала и теория Бора (см. выше), с тем лишь существенным дополнением, что принцип Паули позволяет не просто постулировать, но и объяснить, почему в  $K$ -слое ( $n=1$ ) не может содержаться больше 2 электронов, в  $L$ -слое ( $n=2$ ) не больше 8, в  $M$ -слое ( $n=3$ ) не больше 18 и т. д. Объяснение таково: если главное квантовое число равно  $n$ , то азимутальное может принимать значение  $l=0, 1, 2, \dots, n-1$ . Каждому азимутальному числу  $l$  соответствует  $2l+1$  возможных значений для магнитного квантового числа  $m$  [а именно  $m=-l, -(l-1), \dots, -1, 0, 1, \dots, (l-1), l$ ], а т. к. каждое из них еще может комбинироваться с двумя значениями спинового квантового числа, то при данном  $n$  каждому  $l$



соответствует  $2(2l+1)$  состояний. Поэтому каждому  $l$  соответствует  $\sum_{l=0}^{n-1} 2(2l+1)$  состояний. Вы-

числяя эту сумму по правилу арифметич. прогрессии (начальный член 2, разность прогрессий 4, число членов  $n$ ), находим, что она равна  $2n^2$ , чем и объясняются свойства периодической системы (в слое с главным квантовым числом  $n$  не м. б. больше, чем  $2n^2$  электронов, согласно принципу Паули).

Не менее значительных успехов достигла волновая механика и в объяснении химич. свойств А. В отличие от теории Бора она сумела объяснить не только гетерополярные молекулы (состоящие из ионов разного знака), но и гомеополлярные (состоящие из нейтральных А.). Простейшим примером является молекула водорода, теория к-рой была построена Хайтлером и Лондоном. Изучение поведения двух электронов в поле двух водородных ядер указывает на существование таких состояний, в к-рых энергия такой системы двух электронов в поле есть функция расстояния ядер друг от друга, обладающая минимумом. Расстояние, на к-ром энергия минимальна, и есть то расстояние, на к-ром будут находиться друг от друга ядра в равновесии. Аналогичное объяснение получено и для более сложных гомеополлярных молекул. Заметим, что применение волновой механики к проблеме строения электронной оболочки А. встречает только вычислительные, но не принципиальные трудности: в принципиальном отношении все вопросы строения электронной оболочки разрешены, если не считать только нек-рых деталей, связанных с релятивистскими поправками (в случае внутренних электронов тяжелых А.) и с взаимодействием между оболочкой и ядром (впрочем и в этом случае теория Дирака, представляющая нечто вроде предварительного варианта будущей теории, объединяющей теорию квантов с теорией относительности, дает достаточно надежные указания на решение многих вопросов). Заметим, что многие чисто вычислительные трудности, встречающиеся в задаче об электронной оболочке А., успешно разрешаются применением приближенных приемов вычисления. В этом направлении особенно важную роль сыграла приближенная статистическая модель А., предложенная Ферми и Томасом, а также метод «самосогласованного поля», предложенный Хартри и усовершенствованный Фоком и Дираком.

Строение атомного ядра. Важнейшим экспериментальным материалом, на котором основаны наши знания о строении атомного ядра, являются те факты, которые были добыты опытами с искусственным расщеплением ядер. Из явлений радиоактивности было известно только, что в состав ядер входят  $\alpha$ -частицы (ядра гелия) и электроны. В 1919 г. Резерфорд показал, что при обстреле быстрыми ( $2 \cdot 10^8$  см/сек)  $\alpha$ -частицами ядра азота могут быть разбиты на составные части, а именно из них выбиваются протоны (водородные ядра). Эта первая изученная Резерфордом ядерная реакция, происходящая по формуле  $N^{14} + He^4 \rightarrow O^{17} + H^1$ , сопровождается поглощением энергии в  $1,8 \cdot 10^{-6}$  эрга на каждое распавшееся ядро азота (несколько больше 1 млн. электрон-вольт). Дальнейшие исследования показали, что  $\alpha$ -частицами м. б. выбиты протоны также из ядер целого ряда других элементов (бор, фтор, натрий, алюминий, фосфор, неон, магний, кремний, сера, хлор, ар-

гон, калий); некоторые из этих реакций сопровождаются поглощением, другие выделением энергии (напр. реакция  $Al^{27} + He^4 \rightarrow Si^{30} + H^1$ , т. е. расщепление алюминия  $\alpha$ -частицей сопровождается выигранием энергии в 3 млн. электрон-вольт). Лишь очень небольшой процент  $\alpha$ -частиц, столкнувшихся с данными А., может вызвать расщепление их ядер. Это иллюстрируется исследованием элементарных процессов ядерного расщепления, к-рое произвел Блэккет (1925 г.) с помощью наполненной азотом камеры Вильсона (прибора для визуального наблюдения и фотографирования путей отдельных очень быстрых заряженных частиц): из 415 000 путей  $\alpha$ -частиц, заснятых Блэккетом, только 8 соответствовали расщеплению ядер азота. Впрочем число и энергия выбиваемых протонов сильно зависят от энергии применяемых  $\alpha$ -частиц: в азоте при увеличении энергии  $\alpha$ -частиц от 6 до 8,8 млн. электрон-вольт энергия выбиваемых протонов растет от 4,8 до 7,2 млн. электрон-вольт, а число их увеличивается во много раз. В алюминии, как показали опыты Позе (1929 и 1931 гг.), наблюдается явление резонанса: при нек-рых значениях энергии  $\alpha$ -частиц число выбиваемых протонов оказывается особенно большим.

В 1932 г. Чадвик открыл новый вид искусственного расщепления: изучая открытия до него Боте и Бенкром лучи, испускаемые ядрами бериллия при их облучении  $\alpha$ -лучами полония, Чадвик доказал, что эти лучи состоят из частиц, масса которых близка к массе протона, а заряд равен нулю. Эти частицы были названы нейтронами. Нейтроны испускаются при бомбардировке  $\alpha$ -частицами ядер бериллия, бора, лития, фтора, алюминия, натрия, магния. Масса нейтрона еще в точности неизвестна. Чадвик, исходя из реакции  $B^{11} + He^4 \rightarrow N^{14} + n$  (где  $n$  обозначает нейтрон), определил массу нейтрона в 1,0065 (в единицах, в которых вес  $\alpha$ -частицы принят за 4). Возможность определения массы нейтрона основана на соображениях о «эффекте массы» (см. ниже), т. е. на применении теоремы эквивалентности между массой и энергией (см. *Относительности теория*). Наиболее точное значение массы нейтрона, вычисленное до сих пор, основано на изучении реакции расщепления диплона ( $H^2$ ) на протон и нейтрон  $u$ -лучами («ядерный фотоэффект», открытый Чадвиком и Гольдхабером); масса диплона оказывается меньше суммы масс протона и нейтрона на величину, энергетический эквивалент к-рой — 2 млн. электрон-вольт. Т. к. нейтроны не обладают электрич. зарядом, то они почти не взаимодействуют с электронами атомных оболочек и поэтому, проходя через вещество, не производят в нем непосредственно никакой ионизации. Поэтому они м. б. обнаружены только благодаря тому обстоятельству, что, сталкиваясь с А., они иногда сообщают большие количества движения атомным ядрам и следовательно выбивают их из А. и молекул. Эти выбитые нейтронами ядра уже м. б. обнаружены по своим ионизационным и иным действиям. Иногда такое столкновение нейтронов с атомными ядрами приводит к расщеплению этих ядер. Фезер наблюдал с помощью камеры Вильсона расщепление нейтронами ядер азота. Вероятность распада при столкновении с нейтроном значительно превышает вероятность распада при столкновении с заряженными частицами (например с  $\alpha$ -частицами): не обладая зарядом, нейтрон входит в ядро, не успев растерять свою кинетическую энергию на преодолении отталкивания со стороны ядра.

Значительные успехи были достигнуты в искусственном расщеплении ядер при помощи ионов, искусственно разогнанных в сильных электрических полях. Ионами, употребляемыми для расщеплений других ядер, являются обыкновенно ядра водорода (протоны и диплоны), а также ядра гелия. Впервые в 1932 г. расщепление ядер искусственно разогнанными протонами было осуществлено Коккрофтом и Уолтоном, к-рые наблюдали ядерную реакцию  $\text{Li}^7 + \text{H}^1 \rightarrow 2\text{He}^4$  (расщепление ядра лития). Они же наблюдали и расщепление протонами ядер многих других элементов. Сооружение специальных высоковольтных установок, основанных на самых разнообразных принципах, весьма сильно способствовало успехам ядерной физики. Весь экспериментальный материал, полученный с помощью такого рода опытов, позволяет сформулировать ту общепринятую теперь среди физиков гипотезу, согласно которой ядра всех А. состоят из протонов и нейтронов (ядро массы  $M$  и заряда  $Z$  состоит из  $Z$ -протонов и  $M-Z$ -нейтронов),  $\alpha$ -частицы тоже могут считаться сложными ( $\alpha$ -частица равна 2 протонам + 2 нейтронам).

Возбуждает большие споры вопрос о том, нужно ли рассматривать нейтроны и протоны как элементарные частицы или же следует их считать сложными. Наиболее простой гипотезой была бы та, согласно к-рой нейтрон есть сложная частица, состоящая из протона и электрона. К этой гипотезе непосредственно приводит явление  $\beta$ -распада, при к-ром один из нейтронов ядра превращается в протон и вместе с этим из ядра вылетает электрон: простейшая трактовка этого явления гласит, что нейтрон распадается на протон и электрон и последний вылетает из ядра. Однако сделанное в 1932—33 гг. открытие позитронов заставило пересмотреть эту точку зрения. П о з и т р о н а и называются частицы, обладающие массой электрона, но зарядом  $+e$  (а не  $-e$ , как у электрона), открытые Андерсоном, а также Блэккетом и Окниллини среди различных частиц, связанных с космическими лучами (см.). Механизм связи возникновения позитронов с космич. лучами до сих пор неясен. Вслед за открытием позитронов при изучении космич. лучей было показано (Жюлио и др., 1933 г.), что те же самые позитроны возникают и при действии  $\gamma$ -лучей на ядра, а именно, что фотоны (кванты)  $\gamma$ -лучей, уничтожаясь в присутствии ядер, превращаются в т. н. «пары» (каждая «пара» состоит из электрона и позитрона). Было показано также, что, сталкиваясь с электронами, позитроны могут уничтожаться, причем электрон + позитрон превращаются в фотоны  $\gamma$ -лучей. Дальнейшее исследование обнаружилось огромное значение открытия позитронов для всего вопроса о ядерной структуре. В 1934 г. Жюлио обнаружил, что при столкновении  $\alpha$ -частицы с ядром алюминия образуется ядро изотопа фосфора (по ф-ле  $\text{Al}^{27} + \text{He}^4 \rightarrow \text{P}^{30} + \text{n}$ ) и что это неизвестный до сих пор изотоп фосфора (р а д и о ф о с ф о р) распадается с испусканием позитрона, причем соответствующий период полураспада равен 3 мин. 15 с. Таким же образом Жюлио осуществил и некоторые другие случаи такой же «позитронной активности». Заметим, что наряду с искусственно созданной позитронной активностью возможна и естественная электронная активность: так, Ферми создал посредством реакции  $\text{F}^{19} + \text{n} \rightarrow \text{N}^{18} + \text{He}^4$   $\beta$ -активный изотоп азота  $\text{N}^{18}$ . Явление позитронной активности показывает, что наряду с процессами типа «нейтрон—протон+электрон» воз-

можны и процессы типа «протон—нейтрон+позитрон». Первые как будто заставляют считать протон простой частицей, а нейтрон — состоящей из протона и электрона, вторые же заставляют, напротив, считать элементарной частицей нейтрон и трактовать протон как соединение нейтрона с позитроном. Получается своеобразное противоречие, из которого будущая физич. теория вероятно выйдет только ценою отказа от наглядных представлений. С точки зрения существующей физич. теории протоны и нейтроны должны трактоваться как элементарные частицы, хотя эти частицы в нек-рых случаях могут и превращаться друг в друга с испусканием электрона (при превращении нейтрона в протон) или позитрона (при превращении протона в нейтрон).

В настоящее время еще нет удовлетворительной теории атомного ядра. Это связано с тем обстоятельством, что существующая волновая механика применима только к тем случаям, когда скорости движения частиц очень малы по сравнению со скоростью света. Обобщение волновой механики на случай скоростей, сравнимых со скоростью света, еще не достигнуто. Так как тяжелые составные части ядра (протоны и нейтроны) движутся со скоростями, очень малыми по сравнению со скоростью света, то волновая механика м. б. с успехом применена к изучению их движений и вообще всех явлений, в к-рых и протон и нейтрон могут быть рассматриваемы как нечто элементарное и целое, обладающее неизменной структурой. Так например, статистика, которой подчиняется атомное ядро, неизменно оказывается статистикой типа Бозе или Ферми в зависимости от того, является ли полное число частиц (протонов и нейтронов, образующих атом) четным или нечетным числом. Так и должно быть по волновой механике, если считать протоны и нейтроны элементарными частицами, подчиняющимися статистике Ферми. Заметим, что трактовка ядра по волновой механике с той точки зрения, что элементарными частицами являются протоны и электроны, приводит к противоречиям, напр. в случае ядра азота  $\text{N}^{14}$ , к-рое, как показывает опыт, подчиняется статистике Бозе; аналогичные противоречия получаются и с вопросом о механическом моменте ядра. Далее и явление  $\alpha$ -распада м. б. описано с помощью волновой механики: в 1928 г. Гамов, Герней и Кондон вывели с помощью волновой механики связь между вероятностью испускания  $\alpha$ -частицы и ее энергией. Применимость волновой механики к испусканию  $\alpha$ -частиц подтверждается и той связью, которая, как указал Гамов, существует между тонкой структурой  $\alpha$ -спектров и  $\gamma$ -лучами.

Но применение волновой механики к явлениям, в к-рых структура нейтронов и протонов не остается неизменной и поэтому играет существенную роль, оказывается уже невозможным. Это относится в первую очередь к испусканию  $\beta$ -лучей. В этом случае не может помочь делу и релятивистская формулировка волновой механики (предварительная и не решающая еще всех задач будущей «релятивистской теории квантов»), предложенная Дираком. В частности и непрерывный характер спектра  $\beta$ -лучей повидимому противоречит основным положениям волновой механики. В 1927 г. Эллис и Вустер показали, что непрерывный характер  $\beta$ -спектра является первичной чертой  $\beta$ -распада, т. е. что уже в самый момент вылета из ядра  $\beta$ -лучи обладают самыми разнообразными скоростями. Т. к. при  $\beta$ -распаде ядро переходит из некоторого вполне определенного

Таблица элементов и изотопов.

Атомный номер	Название элемента	Символ элемента	Средний атомный вес	Изотопы	Точные веса изотопов
1	Водород . . . .	H	1,0078	1 2 3 4	1,00812 2,01471 — —
2	Гелий . . . . .	He	4,002	4	4,0039
3	Литий . . . . .	Li	6,940	6 7	6,0145 7,0146
4	Бериллий . . . .	Be	9,02	(8) 9	— 9,0155
5	Бор . . . . .	B	10,82	10 11	10,0135 11,0110
6	Углерод . . . . .	C	12,00	12 13	12,0035 13,0039
7	Азот . . . . .	N	14,008	14 15 16	14,008 15,003 16 (по определ.)
8	Кислород . . . .	O	16,000	17 18	— 18,0065
9	Фтор . . . . .	F	19,000	19	19,0000
10	Неон . . . . .	Ne	20,183	20 21 22	19,9967 — 21,9947
11	Натрий . . . . .	Na	22,997	23	—
12	Магний . . . . .	Mg	24,32	24 25 26	— — —
13	Алюминий . . . .	Al	26,97	27	—
14	Кремний . . . . .	Si	28,08	28 29 30	27,982 — —
15	Фосфор . . . . .	P	31,02	31	30,983
16	Сера . . . . .	S	32,06	32 33 34	— — —
17	Хлор . . . . .	Cl	35,457	35 37	34,980 36,978
18	Аргон . . . . .	Ar	39,944	36 38 40	35,976 — 39,971
19	Калий . . . . .	K	39,096	39 40 41	— — —
20	Кальций . . . . .	Ca	40,08	40 42 43 44	— — — —
21	Скандий . . . . .	Sc	45,10	45	—
22	Титан . . . . .	Ti	47,90	46 47 48 49 50	— — — — —
23	Ванадий . . . . .	V	50,95	51	—
24	Хром . . . . .	Cr	52,01	50 52 53 54	51,95 — — —
25	Марганец . . . . .	Mn	54,93	55	—
26	Железо . . . . .	Fe	55,84	54 56 57	— — —
27	Кобальт . . . . .	Co	58,94	59	—
28	Никель . . . . .	Ni	58,69	58 60 (61) 64	57,94 — — —
29	Медь . . . . .	Cu	63,57	63 65	— —
30	Цинк . . . . .	Zn	65,38	64 66 67 68 70	63,94 — — — —

Продолжение

Атомный номер	Название элемента	Символ элемента	Средний атомный вес	Изотопы	Точные веса изотопов
31	Галлий . . . . .	Ga	69,72	69 71	— —
32	Германий . . . .	Ge	72,60	70 72 73 74 76	— — — — —
33	Мышьяк . . . . .	As	74,91	75	74,981
34	Селен . . . . .	Se	78,96	74 77 78 80 82	— — 77,94 79,942 —
35	Бром . . . . .	Br	79,916	79 81	78,929 80,930
36	Криптон . . . . .	Kr	83,7	78 80 82 83 84 86	77,927 81,928 82,928 83,929 85,929
37	Рубидий . . . . .	Rb	85,44	85 87	— —
38	Стронций . . . .	Sr	87,63	86 87 88	— — —
39	Иттрий . . . . .	Y	88,92	89	—
40	Циркон . . . . .	Zr	91,22	90 91 92 94 96	— — — — —
41	Нюбий . . . . .	Nb	92,91	93	92,93
42	Молибден . . . .	Mo	96,0	92 94 95 96 97 98 100	— — — — — 97,85 99,94
43	Мазурий . . . . .	Ma	—	—	—
44	Рутений . . . . .	Ru	101,7	96 (98) 99 100 101 102 104	— — — — — — —
45	Родий . . . . .	Rh	102,91	103	—
46	Палладий . . . .	Pd	106,7	102 105 106 108 110	— — — — —
47	Серебро . . . . .	Ag	107,880	107 109	— —
48	Кадмий . . . . .	Cd	112,41	106 108 110 111 112 113 114 116	— — — — — — — —
49	Индий . . . . .	In	114,76	113 115	— —
50	Олово . . . . .	Sn	118,70	112 114 116 117 118 119 120 122 124	— — — — — — — — — 119,91
51	Сурьма . . . . .	Sb	121,76	121 123	— —

Продолжение

Атомный номер	Название элемента	Символ элемента	Средний атомный вес	Изотопы	Точные веса изотопов
				122	—
				123	—
				124	—
52	Теллур . . . . .	Te	127,61	125	—
				126	125,94
				(127)	—
				128	127,94
				129	—
				130	—
53	Иод . . . . .	J	126,92	127	126,93
				128	—
				129	—
				130	—
54	Ксенон . . . . .	Xe	131,3	130	—
				131	—
				132	—
				134	133,93
				136	—
55	Цезий . . . . .	Cs	132,91	133	132,93
				135	—
56	Барий . . . . .	Ba	137,36	136	—
				137	—
				138	137,92
57	Лантан . . . . .	La	138,92	139	—
58	Церий . . . . .	Ce	140,13	140	—
				142	—
59	Прозердий . . . . .	Pr	140,92	141	—
				142	—
				143	—
				144	—
60	Неодим . . . . .	Nd	144,27	145	—
				148	—
				(148)	—
				(150)	—
61	(Илийний . . . . .	Il)	—	—	—
				144	—
				147	—
				148	—
62	Самарий . . . . .	Sm	150,43	149	—
				150	—
				152	—
				154	—
63	Европий . . . . .	Eu	152,0	151	—
				153	—
				155	—
				156	—
64	Гадолиний . . . . .	Gd	157,3	157	—
				158	—
				160	—
65	Тербий . . . . .	Tb	159,2	159	—
				161	—
66	Диспрозий . . . . .	Dy	162,46	162	—
				163	—
				164	—
67	Гольмий . . . . .	Ho	163,5	165	—
				166	—
				167	—
68	Эрбий . . . . .	Er	167,64	168	—
				170	—
69	Тулий . . . . .	Tu	169,4	169	—
				171	—
70	Иттербий . . . . .	Yb	173,04	172	—
				173	—
				174	—
				176	—
71	Кассиопей . . . . .	Sr	175,0	175	—
				176	—
				177	—
72	Гафний . . . . .	Hf	178,6	178	—
				179	—
				180	—
73	Тантал . . . . .	Ta	180,88	181	180,93
				182	—
74	Вольфрам . . . . .	W	184,0	183	—
				184	184,00
				186	—
75	Рений . . . . .	Re	186,31	185	—
				187	186,98

Продолжение

Атомный номер	Название элемента	Символ элемента	Средний атомный вес	Изотопы	Точные веса изотопов
76	Осмий . . . . .	Os	191,5	—	186
				—	187
				—	188
				—	189
				—	190
				—	191,98
				—	191,98
77	Иридий . . . . .	Ir	193,1	—	191
				—	193
78	Платина . . . . .	Pt	195,23	—	192
				—	194
				—	195
				—	196
				—	198
79	Золото . . . . .	Au	197,2	—	197
				—	196
				—	197
				—	198
				—	199
80	Ртуть . . . . .	Hg	200,61	—	200
				—	201
				—	202
				—	203
				—	204
81	Таллий . . . . .	Tl	204,39	—	203
				—	205
				—	203,04
				—	205,04
82	Свинец . . . . .	Pb	207,22	—	203
				—	204
				—	205
				—	206
				—	207
				—	208
				—	(209)
				—	(210)
83	Висмут . . . . .	Bi	209,00	—	209
84	Полоний . . . . .	Po	—	—	—
85	Астабий . . . . .	Am	—	—	—
86	Радон . . . . .	Rn	—	—	—
87	(Виргиний . . . . .	Vz)	—	—	—
88	Радий . . . . .	Ra	226,05	—	—
89	Актиний . . . . .	Ac	—	—	—
90	Торий . . . . .	Th	232,12	—	232
91	Протактиний . . . . .	Pa	231	—	—
92	Уран . . . . .	U	238,14	—	235
				—	238

начального состояния в некоторое вполне определенное конечное, то по мнению Бора непрерывный характер  $\beta$ -спектра доказывает непрерывность закона сохранения энергии в  $\beta$ -распаде. Из того, что известно о моментах количества движения нейтрона, протона и электрона, вытекает, что в  $\beta$ -распаде как будто неприменим и закон сохранения момента количества движения. Паули указал однако на то, что законы сохранения остаются в силе при допущении, что вместе с  $\beta$ -частицами из ядер вылетают и т. н. н-й-т-р-и-о-гипотетич. незаряженные частицы, обладающие ничтожно малой массой по сравнению с массой обыкновенного нейтрона. До настоящего времени не получено непосредственных доказательств существования нейтрино. Есть однако ряд косвенных фактов, указывающих на вероятность их существования. Вопрос о формах проявления закона сохранения энергии в ядерных процессах, а также и целый ряд других нерешенных вопросов (в частности объяснение измеренного в 1933 г. Штерном магнитного момента протона) может быть решен лишь после того, как будет достигнуто обобщение теории относительности и теории квантов и их слияние в единую релятивистскую теорию квантов.

В таблице приведены сведения об А. химич. элементов: атомный номер, средний атомный вес по химич. измерениям, изотопическая структура

элементов, точные веса изотопов (все сведения об изотопах, помещенные в таблице, взяты из масс-спектрографич. измерений). Все веса относятся к нейтральным атомам и измерены в единицах системы  $O^{16} = 16$ . Менее надежные данные приведены в скобках. Во многих случаях атомные веса могут быть вычислены из ядерных реакций. Приведем табличку таких весов, вычисленную Бете:

$n^1 = 1,0085 \pm 0,0005$	$Be^9 = 9,0135 \pm 0,0007$
$H^1 = 1,0007 \pm 0,00007$	$B^{10} = 10,0146 \pm 0,0010$
$H^2 = 2,01423 \pm 0,00015$	$B^{11} = 11,1111 \pm 0,0011$
$He^3 = 3,01610 \pm 0,00033$	$C^{12} = 12,0037 \pm 0,0007$
$He^4 = 4,00338 \pm 0,00023$	$N^{14} = 14,0076 \pm 0,0004$
$Li^6 = 6,014 \pm 0,0050$	$N^{15} = 15,0053 \pm 0,0005$
$Li^7 = 7,01694 \pm 0,00048$	$O^{16} = 16,0000$ (по определ.)
	$O^{17} = 17,0004 \pm 0,0002$

Это наиболее достоверные из вычисленных до сих пор атомных весов.

Лит.: Рабинович Е. и Тило Э., Периодич. система элементов, пер. с нем., М.—Л., 1933; Кондратьев В., Строение атома и молекулы, Л.—М., 1934; Фриш С., Атомное ядро и спектры, М.—Л., 1934; Теренин А., Введение в спектроскопию, Л., 1933; Зоммерфельд А., Волновая механика, пер. с нем., Л.—М., 1932; Марк А., Основы квантовой механики, пер. с нем., Л.—М., 1933; Гамов Р., Радиоактивность и атомное ядро, М.—Л., 1932; Сборник в серии «Проблемы новейшей физики», Атомное ядро, Л.—М., 1934; Френкель Я., Волновая механика, ч. 1, М.—Л., 1934, ч. 2, М.—Л., 1935.

**АЭРОДИНАМИКА**, часть гидродинамики, изучающая движение сжимаемых жидкостей (газов) и движение тел, погруженных в эти жидкости. А. разделяется на теоретическую (см. *Аэродинамика*, т. 1), опирающуюся на общие законы механики, и экспериментальную, или прикладную, А., основанную на опытных данных и дополняющую общие выводы теоретич. А. Свое технич. приложение А. получает в авиации, где она касается изучения обтекания твердых тел определенных форм и нахождения сил, действующих на эти тела.

**I. Система координат при испытаниях модели в аэродинамических трубах.** При аэродинамич. исследованиях б. ч. приходится производить испытания тел с одной или несколькими плоскостями симметрии (модели крыла, самолета, дирижабля, шара, цилиндра и т. д.). Модель располагается в воздушном потоке обычно так, что ее плоскость симметрии совпадает с направлением потока, причем нулевое или начальное ее положение фиксируется тем или иным способом (напр. для модели крыла или самолета начальное положение определяется совпадением хорды крыла с направлением скорости потока). Система взаимно ортогональных координатных осей, к  $n$ -ым относятся аэродинамич. силы и моменты, построена след. обр. (фиг. 1): ось  $x$  направлена по скорости потока, ось  $y$  лежит в плоскости симметрии модели и направлена перпендикулярно к скорости потока, ось  $z$  направлена перпендикулярно к плоскости симметрии модели, т. е. к плоскости  $xy$ . При испытании крыла начало координат помещается обычно на передней кромке крыла, а при испытании модели самолета — в его ц. т. Если модель симметрична и симметрично расположена относительно потока, то равнодействующая приложенных к модели аэродинамич. сил лежит в плоскости симметрии модели, и для ее определения достаточно знать две ее проекции на оси  $x$  и  $y$  и момент относительно оси  $z$ . Если симметрия так или иначе нару-

шена, напр. путем отклонения элеронов или руля направления или путем поворачивания всей модели относительно осей  $x$  или  $y$ , то аэродинамическая равнодействующая не будет уже лежать в плоскости  $xy$ , и для ее определения необходимо знать все шесть компонентов: проекции равнодействующей на три оси и моменты равнодействующей относительно трех осей.



Фиг. 1.

## II. Обозначения, размерности и определения основных аэродинамических величин.

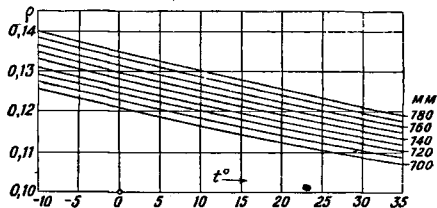
$\alpha^\circ$  [град.] — угол атаки, — угол между направлением скорости потока и плоскостью крыла, проходящей через центральную его хорду (фиг. 1).

$V, v$  [м/сек] — скорость потока.

$\gamma$  [кг/м<sup>3</sup>] — весовая плотность воздуха.

$g$  [м/сек<sup>2</sup>] — ускорение силы тяжести.

$\rho = \frac{\gamma}{g}$  [кг·сек<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>] — плотность воздуха. Зависимость  $q$  от  $t^\circ$  и давления (в мм рт. ст.) представлена на фиг. 2.



Фиг. 2.

$\mu$  [кг·сек/м<sup>2</sup>] — коэф. вязкости воздуха.

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$  [м<sup>2</sup>/сек] — кинематич. коэф. вязкости воздуха. Зависимость  $\nu$  от  $t^\circ$  и давления (в мм рт. ст.) представлена на фиг. 3 (на диаграмме размерность  $\nu$  дана в см<sup>2</sup>/сек).

$q = \frac{\rho v^2}{2}$  [кг/м<sup>2</sup>] — скоростной напор или динамич. давление воздуха.

$p$  [кг/м<sup>2</sup>] — статич. давление воздуха.

$b$  [м] — хорда крыла (фиг. 4). За хорду крыла принимают или линию, касательную к нижней поверхности профиля крыла (касательная  $x$  хорда), или линию, соединяющую носик и хвостик профиля крыла (внутренняя хорда).

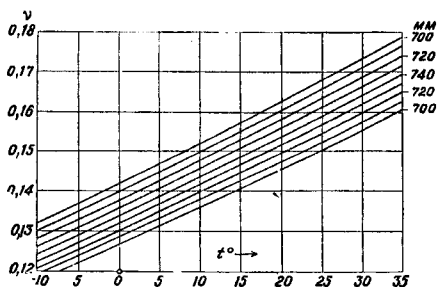
$l$  [м] — размах крыла, — наибольший габаритный размер между концами крыльев.

$s$  — расстояние центра давления (т. е. точки пересечения аэродинамич. равнодействующей с хордой крыла) от носика крыла.

$Q$  [кг] — сила лобового сопротивления, — проекция аэродинамич. равнодействующей на ось  $x$ .

$P$  [кг] — подъемная сила, — проекция аэродинамической равнодействующей на ось  $y$ .

$T$  [кг] — боковая сила, — проекция аэродинамической равнодействующей на ось  $z$ .

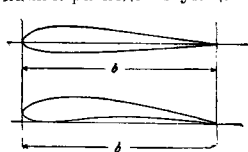


Фиг. 3.

$M_x$  [кг·м] — момент крена, — момент аэродинамической равнодействующей относительно оси  $x$ .

$M_y$  [кг·м] — момент рысканья, — момент аэродинамической равнодействующей относительно оси  $y$ .

$M_z$  [кг·м] — момент тангажа, — момент аэродинамической равнодействующей относительно оси  $z$ .



Фиг. 4.

$S$  [м<sup>2</sup>] — условная площадь, к которой относятся значения аэродинамич. сил и моментов при вычислении безразмерных коэф-тов. Для крыла за  $S$  принимают площадь его проекции на плоскость, проходящую через его центральную хорду перпендикулярно к плоскости симметрии. Для шара  $S$  равно площади его большого круга. Для дирижабля и других обтекаемых тел за  $S$  принимают площадь их миделевого сечения. Для цилиндров и стоек силы, действующие на единицу их длины, относят к площади поперечного сечения.

$L$  [м] — условная длина, к которой относят значения аэродинамич. моментов при вычислении безразмерных коэф-тов. При вычислении коэф-та момента тангажа за длину  $L$  для крыла берут его хорду  $b$ , а для самолета — расстояние между его п. т. и шарнирами руля высоты. При вычислении момента рысканья за  $L$  принимают расстояние между центром тяжести самолета и шарнирами руля направления. При вычислении момента крена за  $L$  принимают размах крыла  $l$ .

$\lambda$  — удлинение крыла. Для крыла произвольной формы в плане  $\lambda = l^2/S$ , для прямоугольного крыла  $\lambda = l/b$ .

$C_x = \frac{Q}{\rho S v^2}$  — безразмерный или абсолютный коэф. лобового сопротивления.

$C_y = \frac{P}{\rho S v^2}$  — безразмерный или абсолютный коэф. подъемной силы.

$C_z = \frac{T}{\rho S v^2}$  — безразмерный или абсолютный коэф. боковой силы.

$C_{mx} = \frac{M_x}{\rho S v^2 L}$  — безразмерный или абсолютный коэф. момента крена.

$C_{my} = \frac{M_y}{\rho S v^2 L}$  — безразмерный или абсолютный коэф. момента рысканья.

$C_{mz} = \frac{M_z}{\rho S v^2 L}$  — безразмерный или абсолютный коэф. момента тангажа.

$K = C_y C_x$  — аэродинамич. качество.

$K_{max}$  — максимальное качество.

$C_{x min}$  — минимальное значение коэф-та лобового сопротивления.

$C_{y max}$  — максимальное значение коэф-та подъемной силы.

$C_{m0}$  — значение коэф-та продольного момента для крыла при  $C_y = 0$ .

$Re = \frac{v \cdot l'}{\nu}$  — число Рейнольдса. За характеристич. длину  $l'$  для крыла берут хорду  $b$ , для шара — его диам.  $d$ .

$Ba = v/c$  — число Бэрстоу, — отношение скорости потока к скорости звука.

Отличия принятых в СССР безразмерных коэф-тов от коэф-тов, принятых в других странах, видно из табл. 1.

Табл. 1.— Безразмерные коэффициенты.

Группа	Страна	Коэф-ты лобового сопротивления	Коэф-ты подъемной силы
I	СССР . . . . . Англия . . . . . США (т. н. инженерные коэф-ты) . . . . .	$C_x$	$C_y$
		$K_x$	$K_y$
		$\frac{Q}{\rho v^2 S}$	$\frac{P}{\rho v^2 S}$
II	США (т. н. абсолютные коэф-ты) Германия . . . . . Франция, Япония и Бельгия . . . . . Польша . . . . .	$C_D$	$C_L$
		$c_w$	$c_a$
		$c_x$	$c_z$
		$c_x$	$c_y$
		$\frac{Q}{\rho v^2 \cdot S}$	$\frac{P}{\rho v^2 \cdot S}$
III	Германия . . . . . Польша . . . . .	$C_w$	$C_a$
		$C_x$	$C_y$
		$\frac{100 Q}{\rho v^2 \cdot S}$	$\frac{100 P}{\rho v^2 \cdot S}$

**III. Закон подобия.** Теоретически и экспериментально установлено, что аэродинамические коэф-ты различных тел зависят от формы тела, от его положения относительно набегающего потока и от ряда безразмерных параметров. Если можно пренебречь весом среды, что при обтекании тел воздухом или каким-либо другим газом вполне допустимо, то основными безразмерными параметрами являются следующие: 1) число Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu},$$

где  $v$  — скорость,  $l$  — линейный размер тела,  $\nu$  — кинематический коэф. вязкости; 2) число Бэрстоу

$$Ba = \frac{v}{c},$$

где  $c$  — скорость распространения звука в данной среде, и 3) начальная турбулентность потока в аэродинамич. трубе. За параметр турбулентности потока большинством авторов принимается отношение

$$\tau = \frac{\sqrt{\Delta v^2}}{v}.$$

Числителем этого отношения является среднее квадратичное уклонение по времени мгновенной скорости в данной точке от средней скорости, знаменатель равен средней скорости. В ядре

течения величина  $\tau$  практически постоянна по всему поперечному сечению его, лишь вблизи стенок аэродинамич. трубы имеет место нарушение ее постоянства [2]. Т. о.  $C_x = f_1$  (форма тела, положение тела,  $Re$ ,  $Ba$ ,  $\tau$ ),  $C_y = f_2$  (форма тела, положение тела,  $Re$ ,  $Ba$ ,  $\tau$ ) и т. д. Отсюда следует, что в общем случае для равенства аэродинамич. коэф-тов двух геометрически подобных тел, помещенных в одинаковые положения по отношению к набегающему на них потоку, необходимо равенство чисел  $Re$ ,  $Ba$  и  $\tau$ , т. е.

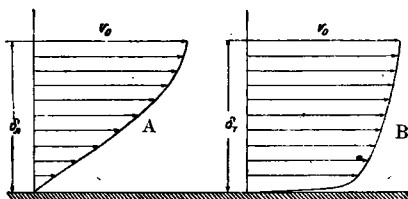
$$\frac{v_1 \cdot l_1}{\nu} = \frac{v_2 \cdot l_2}{\nu}; \quad \frac{v_1}{c_1} = \frac{v_2}{c_2} \quad \text{и} \quad \tau_1 = \tau_2.$$

В частных случаях при  $Ba < 0,5$  необходимо бывает удовлетворять только первому и третьему требованию, так как в указанной области аэродинамич. коэф-ты практически не зависят от числа Барстоу. К сожалению при испытаниях моделей в аэродинамич. трубах как первое, так и третье требование в большинстве случаев не соблюдается, что приводит к расхождениям между аэродинамич. данными модели и натурн. В особо неблагоприятных случаях эти расхождения могут достигать 20—30%, а иногда и больше.

**IV. Трение жидкости и воздуха о плоскую пластинку.** При обтекании плоской пластинки потоком, двигающимся со скоростью  $v_0$ , вблизи пластинки вследствие трения образуется тонкий слой, внутри к-рого скорость  $v < v_0$ . Этот слой носит название пограничного слоя. Строго говоря, пограничный слой должен простираться до бесконечности, однако в действительности уже на небольшом расстоянии от пластинки, которое называется высотой пограничного слоя  $\delta$ , скорость частиц, находящихся внутри слоя потока, достигает скорости  $v_0$  внешнего потока. Внутри пограничного слоя проявляются силы вязкости, вне его поток можно считать потенциальным. Зная закон распределения скорости внутри пограничного слоя, можно подсчитать напряжение трения по формуле:

$$\tau_0 = \mu \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial n} \right)_{n=0} \quad \text{кг/м}^2.$$

Различают два вида пограничного слоя: 1) ламинарный пограничный слой и 2) турбулентный пограничный слой. При ламинарном пограничном слое частицы, находящиеся внутри него, двигаются параллельно поверхности, при турбулентном пограничном слое имеет место дополнительное поперечное движение частиц, сопровождающееся переносом импульсов. При турбулентном пограничном слое можно говорить лишь о распределении средних скоростей. На фиг. 5, А приведено распределение скоростей



Фиг. 5.

внутри ламинарного пограничного слоя, а на фиг. 5, В турбулентного пограничного слоя. При турбулентном пограничном слое в непосредственной близости к поверхности имеется тонкий ламинарный подслой. Если поместить начало коор-

динат в носике пластинки, а ось  $x$  направить вдоль нее, то высота ламинарного пограничного слоя  $m$ . б. найдена по формуле Блазиуса:

$$\delta_x = 4,52 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{R_x}},$$

где

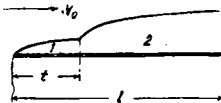
$$R_x = \frac{v_0 \cdot x}{\nu}.$$

Высота турбулентного пограничного слоя в предположении, что вся пластинка покрыта им,  $m$ . б. подсчитана по ф-ле Прандтля и Кармана:

$$\delta_T = 0,37 \cdot x \cdot \frac{1}{\sqrt{R_x}}.$$

При обтекании пластинки сначала образуется ламинарный пограничный слой 1 (фиг. 6) и лишь на некотором расстоянии  $l$  он переходит в турбулентный слой 2. Расстояние  $l$   $m$ . б. определено по формуле

$$l = \frac{R_l \cdot \nu}{v_0}.$$



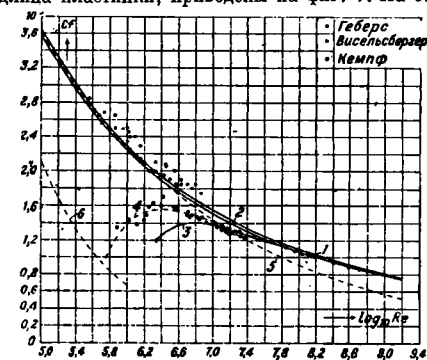
Фиг. 6.

Безразмерное число

$R_l$  определяется сначала опытным путем и зависит от начальной турбулентности, формы носика пластинки и шероховатости. Число  $R_l$  находится в пределах  $90\,000 < R_l < 10^6$ . Полная сила трения о пластинку определяется по ф-ле:

$$Q_T = C_f \cdot \rho \cdot F \cdot v_0^2,$$

где  $F$  — полная поверхность. Значения коэф-та  $C_f$  в зависимости от  $\lg Re$ , где  $Re = \frac{v_0 \cdot l}{\nu}$ , а  $l$  — длина пластинки, приведены на фиг. 7. На этой



Фиг. 7.

же фигуре даны и опытные точки. Кривая 6 соответствует случаю ламинарного пограничного слоя ( $C_f = \frac{0,664}{\sqrt{Re}}$ ) [2]. Кривая 5 соответствует случаю чисто турбулентного пограничного слоя ( $C_f = \frac{0,37}{\sqrt{Re}}$ ) [2]. Более точное решение задачи [3]

приводит к кривой 1, однако наилучшее совпадение с опытом дает кривая 2 ( $C_f = \frac{0,2275}{(\lg Re)^{2,58}}$ ) [3]. Промежуточному случаю, когда часть пластинки обтекается ламинарным слоем, а часть турбулентным слоем, соответствуют кривые 3 и 4 [3]. Полуэмпирич. кривая 4 дает значительно лучшее совпадение с опытами, произведенными Гербсом; соответствующая ф-ла имеет вид

$$C_f = \frac{0,2275}{(\lg Re)^{2,58}} - \frac{850}{Re}.$$

При пользовании этой формулой следует помнить,

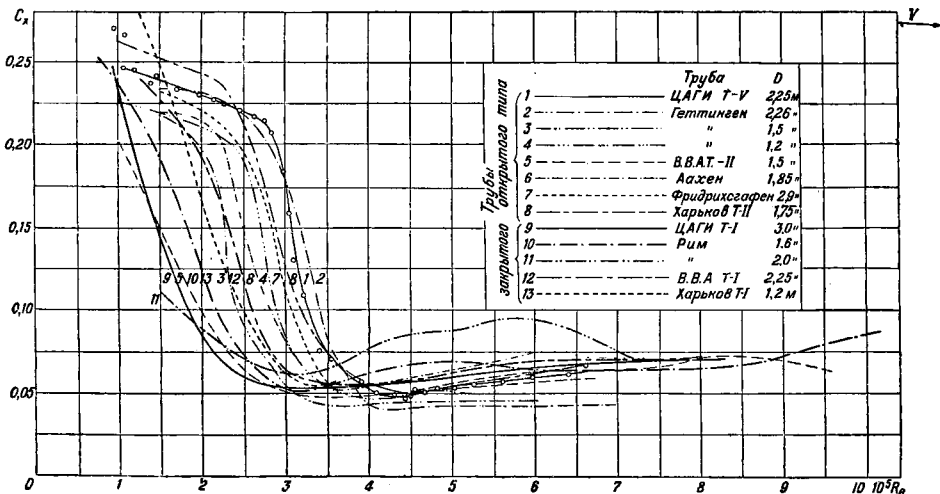
что она получена на основе опытов Геберса, которым для числа  $Re$  было найдено значение  $Re_c = 485\ 000$ . При иных условиях величина  $C_f$  для промежуточного слоя может быть отлична от подсчитываемой по приведенной формуле [2, 3, 4].

**V. Лобовое сопротивление простейших тел.** Полное лобовое сопротивление различных тел складывается из двух сопротивлений: 1) сопротивления трения  $Q_f$  и 2) сопротивления формы  $Q_p$ . Первое обуславливается трением воздуха о поверхность тела и равно

$$Q_f = \int_F \tau_0 \cdot \cos \delta \cdot dF,$$

где  $\tau_0$  — напряжение трения в данной точке поверхности, а  $\delta$  — угол между направлением элементарной силы трения  $\tau_0 dF$  в данной точке

Из диаграммы видно, что кривые не совпадают, это явление объясняется различиями в степени начальной турбулентности в различных трубах. Кроме того видно, что в известной области чисел Рейнольдса наступает весьма резко уменьшение коэф-та сопротивления. Это явление носит название «кризиса». Диаграмма показывает, что кризис наступает в различных трубах при различных числах Рейнольдса. Было установлено, что чем больше начальная турбулентность, тем при меньших числах Рейнольдса наступает кризис, поэтому кривая  $C_x$  шара может до некоторой степени служить для количественного определения степени турбулентности. По предложению Драйдена за критическое число Рейнольдса  $Re_c$  для шара принимается число Рейнольдса при  $C_x = 0,15$  [8]. На фиг. 9 приведена связь между числом  $Re$  и  $\tau$ , найденная Драйденом и Куоттом [8]. Числа  $Re_c$ , приведен-



Фиг. 8.

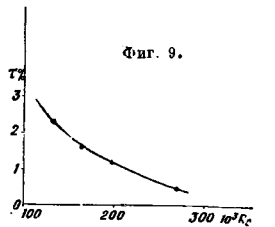
и направлением потока вдали от тела (направлением полета); интеграл берется по всей поверхности тела. Сопротивление формы равно

$$Q_p = \int_F p \cdot \cos \gamma \cdot dF,$$

где  $p$  равно разности давлений между давлением в данной точке тела и статич. давлением в потоке, а  $\gamma$  — угол между нормалью к поверхности в рассматриваемой точке и направлением потока. На *аэродинамических весах* (см.) определяется всегда полное лобовое сопротивление. Сопротивление трения м. б. найдено как разность между полным сопротивлением и сопротивлением формы. Последнее легко определяется графич. интегрированием нормальных давлений, найденных опытным путем. На фиг. 8 приведена диаграмма испытания гладкого алюминиевого шара  $d=0,242$  м ЭАО ЦАГИ в различных аэродинамич. трубах [8]. По оси ординат отложен коэффициент  $C_x = \frac{Q}{\rho \cdot \frac{v^2}{4} \cdot \pi \cdot d^2}$  лобового сопротивле-

ние на диаграмме, получены как средние из критич. чисел для шаров различных диаметров, а именно  $d = 0,1014, 0,127$  и  $0,218$  м. Позднее (по испытаниям в одной трубе) Милликен и Клейн [7] обнаружили слабо выраженную зависимость  $Re_c$  от диаметра шара.

На фиг. 10 приведены результаты испытания шара  $d=0,2$  м в трубе переменной плотности в ее третьем варианте, шара  $d = 0,1143$  м в трубе Калифорнийского технологического института; а с двумя вариантами вентиляторов и шара  $d = 0,15$  м в полете [7]. Диаграмма показывает весьма значительную начальную турбулентность потока в трубе переменной плотности ( $Re_c = 117\ 000$ ) и, наоборот, чрезвычайно ничтожную турбулентность воздуха в условиях полета ( $Re_c = 365\ 000$ ).

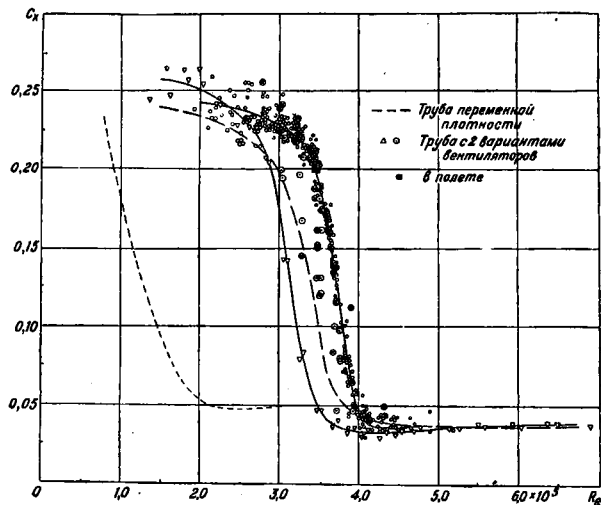


Фиг. 9.

ния, а по оси абсцисс число Рейнольдса  $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$ .



Явление кризиса замечательно еще тем, что не только в несколько раз уменьшается коэф. сопротивления, но наступает даже уменьшение



Фиг. 10.

лобового сопротивления. На фиг. 11 дана зависимость  $Q$  по  $v$  для шара  $d=0,242$  м, испытанного в трубе Т-В ЭАО ЦАГИ. Экспериментально установлено, что чем больше число Рейнольдса, тем центральный угол  $\theta_c$ , определяющий точку образования турбулентного пограничного слоя, больше, поэтому при малых числах Рейнольдса срыв потока с шара происходит до образования турбулентного пограничного слоя. Наоборот, с увеличением числа Рейнольдса наступает момент образования турбулентного пограничного слоя до точки срыва. Турбулентный пограничный слой по сравнению с ламинарным слоем обладает способностью проникать дальше в область нарастающего давления, и следовательно в момент образования турбулентного пограничного слоя обтекание должно улучшиться, а лобовое сопротивление должно упасть, т. е. должен наступить кризис.



Фиг. 12.

На фиг. 12 приведен дымовой спектр обтекания шара, полученный Висельсбергером; снимок этот получен до кризиса. Второй снимок потока (фиг. 13) получен при том же числе Рейнольдса, но после кризиса. Последний был вызван искусственно созданным турбулентным пограничным слоем, что было достигнуто укреплением на передней поверхности шара тонкого

проволочного конца. На фиг. 14 приведено распределение давления по шару  $d=0,242$  м до и после кризиса [9]. По оси ординат отложен коэф.

давления  $\bar{p} = \frac{p}{q}$ , а по оси абсцисс — центральный угол. Диаграмма показывает, что до кризиса имеет место существенная разница между теоретич. распределением давления по шару, обтекаемому потоком идеальной жидкости ( $\bar{p} = 1 - \frac{9}{4} \sin^2 \theta$ ), и действительным давлением; это вызывает большое сопротивление формы. Наоборот, после кризиса действительное распределение давления весьма близко к теоретическому, и сопротивление формы в этом случае невелико.

Лобовое сопротивление шара в вязкой жидкости было теоретически найдено Стоксом и Озееном. Ф-ла Стокса:

$$C_x = \frac{12}{Re};$$

Ф-ла Озеена:

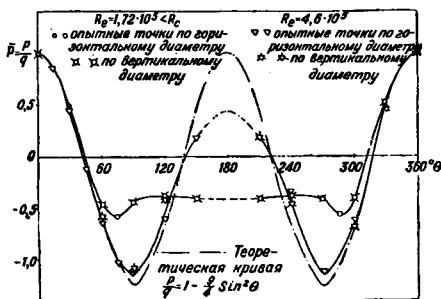
$$C_x = \frac{12}{Re} \left( 1 + \frac{3}{16} Re \right).$$

Эти формулы дают удовлетворительное совпадение с опытом только при  $Re < 1$ , причем Ф-ла Стокса дает преуменьшенные значения, а Ф-ла Озеена — преувеличенные значения. Лобовое сопротивление шара в очень большом диапазоне чисел Рейнольдса было определено в Геттингенской аэродинамич. лаборатории [9].



Фиг. 13.

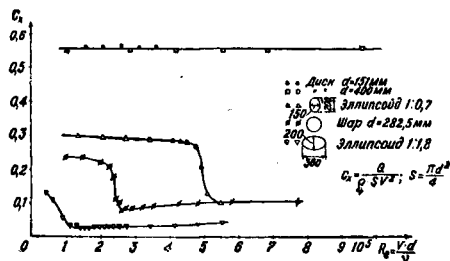
На фиг. 15 приведена зависимость коэф-та  $C_x$  от числа Рейнольдса для диска, шара и двух эллипсоидов [9]. Диаграмма показывает, что со-



Фиг. 14.

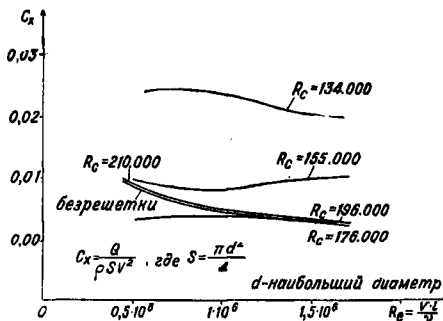
противление круглой плоской пластинки хорошо следует закону квадрата скорости, причем кризис не имеет места. Наоборот, у таких тел, как шар и эллипсоид, имеет место кризис, причем чем тело более обтекаемо, тем при меньших числах Рейнольдса наступает кризис.

На фиг. 16 дана зависимость коэффициента  $C_x$  от числа Рейнольдса для модели дирижабля (фиг. 17) при различных начальных турбулентностях потока [10]. Повышенная турбулентность потока вызывалась проволоочной сеткой, установленной на различных расстояниях от модели. Степень турбулентности определялась по критич. числу Рейнольдса для шара  $d=0,198$  м. Диаграмма показывает на значительное воз-



Фиг. 15 и 16.

кривая распределения давления для случая потока идеальной жидкости ( $p=1-4 \sin^2 \theta$ ). Две опытные кривые распределения давления соответствуют двум числам Рейнольдса, равным 106 000 и 212 000. В первом случае обтекание докритичес-



растание коэф-та сопротивления при увеличении турбулентности. (Кривая, соответствующая  $Re = 176 000$ , по видимому является ошибочной.) Это явление вызывается преждевременным образованием турбулентного пограничного слоя, при наличии которого коэффициент трения

$l=89$  мм  $d=17,8$  мм Объем  $V=0,0128$  м<sup>3</sup>



Фиг. 17.

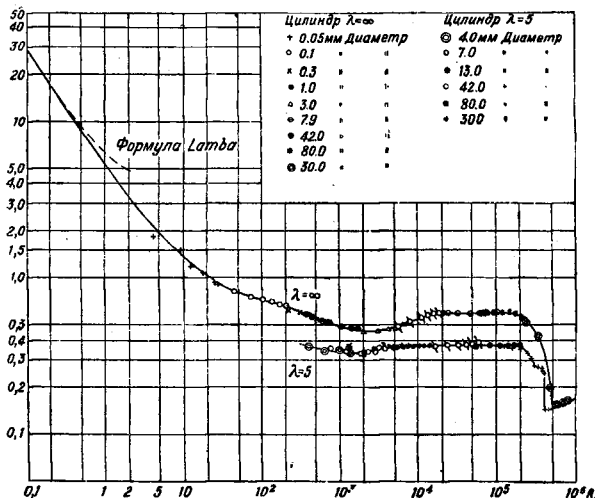
больше, чем при ламинарном пограничном слое. Так как сопротивление хорошо обтекаемых тел главным образом обусловывается трением, то понятна причина отмеченного увеличения лобового сопротивления. При больших числах Рейнольдса влияние начальной турбулентности будет значительно меньше. Влиянием начальной турбулентности объясняются значительные расхождения в результатах испытаний геометрически подобных моделей дирижаблей в различных аэродинамич. трубах при одинаковых числах Рейнольдса.

На фиг. 18 приведены результаты испытаний в большой трубе ( $d=2,26$  м) Геттингенской аэродинамич. лаборатории круглого цилиндра при различных числах Рейнольдса в случае  $\lambda = \frac{l}{d} = \infty$  и  $\lambda=5$  [11]. В области  $200 000 < Re < 500 000$  имеет место кризис, вследствие которого коэф.  $C_x$  уменьшается в четыре раза. Необходимо принимать во внимание, что момент наступления кризиса, как и для шара, зависит от начальной турбулентности. Теоретич. ф-ла Ламба для коэф-та сопротивления цилиндра, обтекаемого потоком вязкой жидкости, имеет вид:

$$C_x = \frac{4\pi}{Re(2,602 - \ln Re)}$$

Эта формула применима лишь при очень малых числах Рейнольдса (фиг. 18). На фиг. 19 дано распределение давления по круглому цилиндру  $d=0,15$  м [12]; кроме того приведена теоретич.

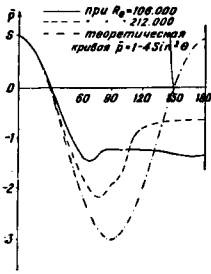
ное. Второй случай соответствует моменту окончания кризиса. Опыты не были доведены до закризисного режима; последнему в данной трубе соответствуют числа  $Re < 280 000$ . На фиг. 20 приведена зависимость коэф-та лобового сопротивления от числа Рейнольдса для двух симметричных профилей. Опыты проводились в трубе переменной плотности при двух начальных турбулентностях [13]. Относительная толщина профилей в процентах от хорды равнялась 6 и 21%. Повышенная турбулентность вызывалась установкой перед моделями сетки из металлических лент. Степень турбулентности определялась по критич. числу  $Re$  для



Фиг. 18.

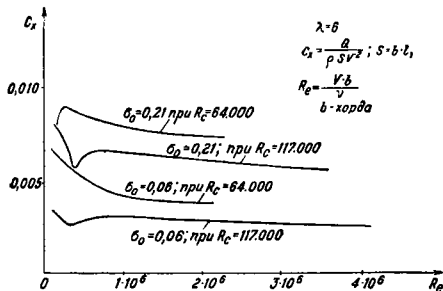
шара. Ярко выраженные минимумы  $C_x$  при испытаниях без сетки соответствуют моменту образования турбулентного пограничного слоя. Величина и закономерность изменения коэф-та  $C_x$  для тонкого профиля при повышенной турбулентности в трубе находятся в хорошем соответствии с величиной и закономерностью изменения коэффициента

трений при чисто турбулентном пограничном слое (фиг. 7). Разница в коэффициентах сопротивления толстого и тонкого профилей обусловливается большим сопротивлением формы толстого профиля.



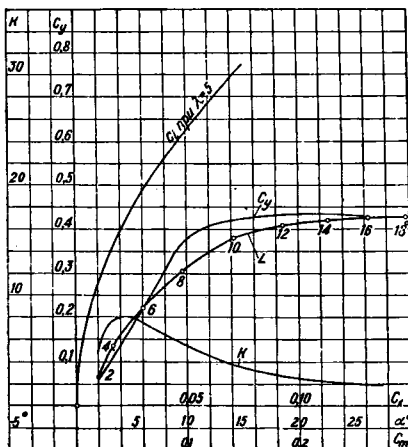
Фиг. 19.

не употребляются вследствие низкого  $C_{y \max}$  и большого профильного сопротивления. Значительно



Фиг. 20.

выгоднее придавать профилю крыла обтекаемую форму. Аэродинамич. характеристики крыла во

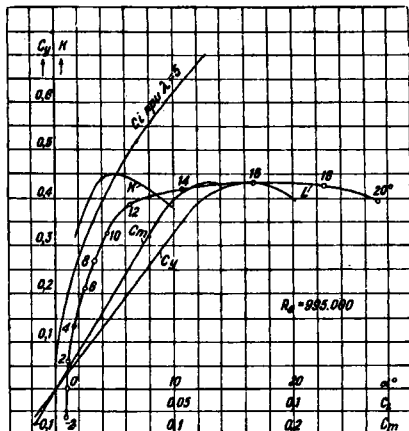


Фиг. 21.

многом зависит от формы его профиля. Для определения аэродинамических свойств профиля в аэродинамич. трубах испытываются прямоуголь-

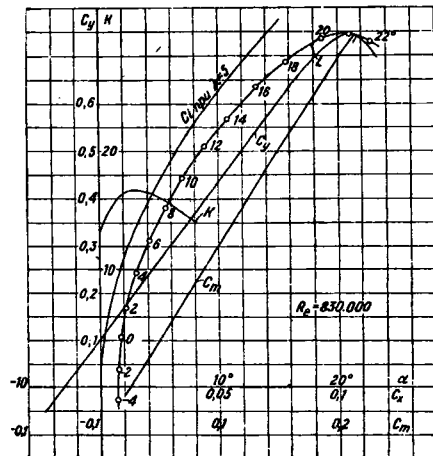
ные незакрученные крылья стандартных удлинений. В Союзе ССР, Германии, Франции и Польше принято удлинение  $\lambda = 5$ , а в США и Англии  $\lambda = 6$ .

На фиг. 22, 23 и 24 приведены результаты испытания в трубе Т-1 ЦАГИ трех прямоугольных крыльев, а в табл. 2 и 3 даны координаты их про-



Фиг. 22.

филей в процентах от хорды и аэродинамич. коэф-ты. Симметричные профили (фиг. 22) характеризуются малым минимальным профильным сопротивлением, малым  $C_{y \max}$  и постоянным центром давления. Крылья с симметричным профилем встречаются очень редко; симметричные профи-



Фиг. 23.

ли употребляются гл. обр. для горизонтального и вертикального оперения самолетов. Профили крыльев почти всех самолетов несимметричные. Результаты испытаний одного из таких профилей приведены на фиг. 23. На фиг. 24 даны результаты испытания профиля В-8 с острой передней

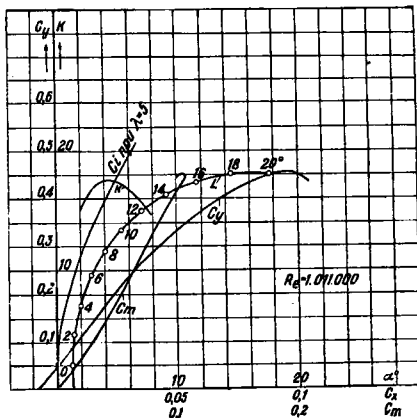
Табл. 2. — Координаты профилей.

Профиль RAF-30																	
x	0,00	1,25	2,5	5,0	7,5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
$y_n$	0,00	1,40	1,96	2,74	3,28	3,70	4,30	4,70	5,00	4,90	4,47	3,78	2,91	1,98	1,03	0,54	0,00
$y_H$	0,00	1,40	1,96	2,74	3,28	3,70	4,30	4,70	5,00	4,90	4,47	3,78	2,91	1,98	1,03	0,54	0,00
Профиль P-II-16																	
x	0,00	1,25	2,5	5,0	7,5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
$y_n$	0,00	3,26	4,7	6,77	8,25	9,40	10,92	11,75	11,94	11,28	10,02	8,34	6,45	4,43	2,27	1,13	0,00
$y_H$	0,00	-1,77	-2,42	-3,02	-3,33	-3,44	-3,78	-3,93	-4,00	-3,77	-3,30	-2,77	-2,15	-1,46	-0,76	-0,39	0,00
Профиль B-S-16																	
x	0,00	1,25	2,5	5,0	7,5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100
$y_n$	0,00	1,36	2,50	4,35	5,75	6,87	8,65	9,80	10,71	10,40	9,37	7,72	5,76	3,72	1,79	0,90	0,00
$y_H$	0,00	-0,85	-1,51	-2,53	-3,21	-3,76	-4,43	-4,86	-5,24	-5,28	-5,23	-4,92	-4,35	-3,41	-1,97	-1,08	0,00

Табл. 3. — Аэродинамические коэффициенты.

Дужки RAF-30														
$\alpha^\circ$	-2°	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°		
$C_y$	-0,058	0,003	0,068	0,135	0,202	0,266	0,327	0,388	0,419	0,432	0,427	0,398		
$C_x$	0,0045	0,0042	0,0050	0,0076	0,0114	0,0160	0,0216	0,0310	0,0525	0,0830	0,1125	0,1355		
$C_{mz}$	-0,014	0,001	0,017	0,033	0,049	0,065	0,081	0,097	0,111	0,127	0,139	—		
Дужки P-II-16														
$\alpha^\circ$	-4°	-2°	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°
$C_y$	-0,028	0,038	0,105	0,173	0,239	0,303	0,373	0,441	0,507	0,571	0,631	0,688	0,733	0,728
$C_x$	0,0070	0,0071	0,0081	0,0105	0,0145	0,0200	0,0265	0,0341	0,0435	0,0540	0,0658	0,0783	0,0930	0,1130
$C_{mz}$	0,018	0,034	0,050	0,066	0,083	0,100	0,117	0,135	0,152	0,169	0,184	0,198	0,212	0,213
Дужки B-S-16														
$\alpha^\circ$	0°	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°	20°			
$C_y$	0,048	0,108	0,173	0,237	0,287	0,330	0,371	0,405	0,430	0,450	0,447			
$C_x$	0,0064	0,0072	0,0099	0,0142	0,0200	0,0267	0,0350	0,0451	0,0579	0,0720	0,0895			
$C_{mz}$	0,014	0,033	0,048	0,062	0,071	0,081	0,089	0,097	0,104	0,108	0,099			

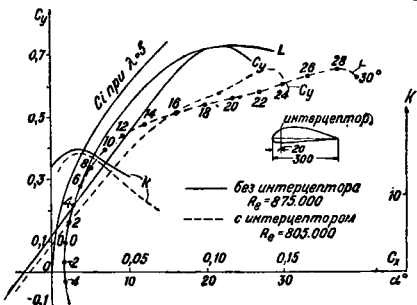
кромкой. Минимальный коэф. профильного сопротивления профиля  $B-S$  не велик, однако не велик и  $C_{y\max}$ . Профиль  $B-S$  характеризуется еще нулевым значением  $C_{m0}$  ( $C_m$  при  $C_y=0$ ); последнее объясняется обратной кривизной хвостовой части профиля. Такая модификация профиля уменьшает его  $C_{y\max}$ , однако достигается постоянство центра давления. Кроме того по мере увеличения обратной кривизны



Фиг. 24.

профиля уменьшается момент, скручивающий крыло. Впервые профили такого типа были предложены Мунком [15].

При испытании моделей крыльев, а также на практике в условиях натуры следует обра-

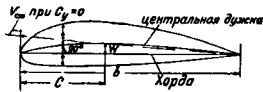


Фиг. 25.

щать внимание на тщательную отделку их поверхности, особенно верхней поверхности. На фиг. 25 приведены результаты испытания в трубе Т-1 ЦАГИ гладкого прямоугольного крыла и результаты испытания этого же крыла с интерцептором высотой 2 мм, укрепленным перпендикулярно к верхней поверхности, как это показано на схеме. Длина интерцептора равнялась 0,2 м при размахе крыла  $l=1,5$  м. Интерцептор был укреплен в середине крыла. Из сравнений кривых видно, что при малых углах атаки полары Лиллиенталя практически совпадают; наоборот, при  $\alpha > 6^\circ$  лобовое сопротивление крыла с интерцептором резко возрастает, а производная  $\frac{dC_y}{d\alpha}$  уменьшается; уменьшается также  $C_{y\max}$ . Это явление вызывается преждевремен-

ным срывом потока с верхней поверхности крыла [16, 17, 18, 19, 21].

Для систематизации результатов испытаний профилей крыльев форму профиля характеризуют рядом его геометрич. параметров, из которых основными являются: толщина, вогнутость, положение максимальной вогнутости и кривизна носика профиля. За параметр толщины принимается относительная толщина  $\sigma_0 = \frac{a}{b}$ , где  $a$  — максимальная толщина, а  $b$  — хорда. За параметр вогнутости принимается относительная вогнутость  $w_0 = \frac{w}{b}$  центральной дуги, где  $w$  — максимальная вогнутость центральной дуги,



Фиг. 26.

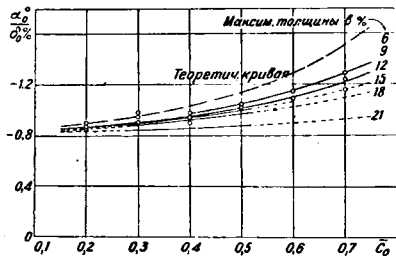
или относительная вогнутость  $\delta_0 = \frac{\delta}{b}$  осевой дуги, где  $\delta$  — ее максимальная вогнутость. Для построения центральной дуги (фиг. 26) к внутренней хорде профиля проводится ряд перпендикуляров до пересечения с контуром профиля. Геометрическое место точек, лежащих посредине этих отрезков, есть центральная дуга. Для построения осевой дуги (фиг.



Фиг. 27.

27) контур профиля пересекается рядом прямых, наклоненных под равными углами к контуру. Геометрическое место точек, лежащих посредине этих отрезков, есть осевая дуга. За параметр положения максимальной вогнутости принимаются величины  $c_0 = \frac{c}{b}$  (фиг. 26) или  $\bar{c}_0 = \frac{\bar{c}}{b}$  (фиг. 27). За параметр кривизны носика принимается относительный радиус кривизны носика, равный  $R_0 = \frac{R}{b}$ , где  $R$  — радиус кривизны носика профиля. Величины  $\sigma_0$ ,  $w_0$ ,  $\delta_0$ ,  $c_0$ ,  $\bar{c}_0$  и  $R_0$  часто даются в процентах от хорды. Прямая, соединяющая точку максимальной вогнутости центральной дуги и хвостик профиля, дает с точностью до  $0,5^\circ$  направление потока, при  $k\text{-ром } C_y=0$  [21, 22].

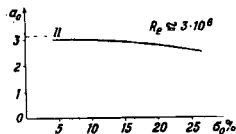
Наиболее полный анализ аэродинамич. свойств профилей в зависимости от их геометрии. параметров провели Jakobs, Ward и Pinkerton [23].



Фиг. 28.

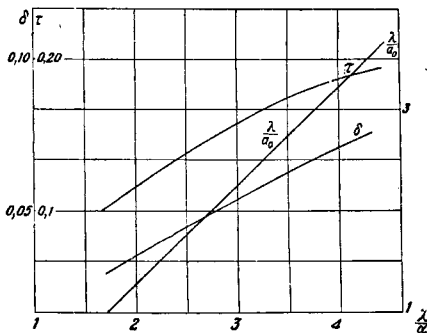
Ими была исследована серия профилей NACA, испытанная в трубе переменной плотности при ее третьем варианте. В этой серии номер профиля одновременно характеризует и геометрич. параметры профиля, а именно: первая цифра

указывает вогнутость  $\delta_0$  в %, вторая цифра — положение вогнутости в десятых долях хорды и две последние — относительную толщину в % от хорды. На фиг. 28 приведен график изменения



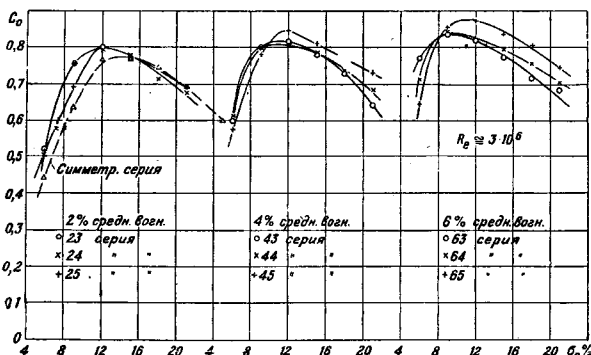
Фиг. 29.

отношения  $\frac{\alpha_0}{\delta_0}$  ( $\alpha_0$  — угол атаки при  $C_y=0$ ) в зависимости от положения вогнутости и максимальной толщины; кроме того приведена кривая, подсчитанная по теории тонкого профиля [23, 24, 25, 26, 27]. На фиг. 29 даны значения  $\alpha_0 = \frac{dC_y}{d\alpha}$  при  $\lambda = \infty$  в зависимости от относительной толщины профиля. Согласно теории тонкого крыла  $\alpha_0 = \pi$  в действительности (фиг. 29) вследствие потерь, вызывае-



Фиг. 30.

мых вязкостью,  $\alpha_0 < \pi$ , причем  $\alpha_0$  убывает при увеличении  $\sigma_0$ . Было обнаружено, что в области  $0,2 < \sigma_0 < 0,4$ , т. е. для наиболее употребляющихся профилей,  $\alpha_0$  от  $\bar{c}_0$  практически не зависит.



Фиг. 31.

Увеличение  $\bar{c}_0$  от 0,4 до 0,7 уменьшает  $\alpha_0$  на 5%. Если величина  $\alpha_0$  известна, то  $\alpha = \frac{dC_y}{d\alpha}$  при конечном и заданном  $\lambda$  находится по фиг. 30 [27]. Скос потока находится по ф-ле

$$\Delta\alpha = \frac{2}{\pi\lambda} (1 + \tau) C_y \cdot 57,3.$$

Значения  $\tau$  ф-ии  $\frac{\lambda}{\alpha}$  приведены на фиг. 30. Зависимость  $C_{y,max}$  от  $\delta_0$ ,  $\bar{c}_0$ ,  $\sigma_0$  и  $R_0$  приведена на фиг. 31, 32 и 33. При пользовании этими графиками следует помнить, что  $C_{y,max}$  в значительной степени зависит от числа Рейнольдса и турбулентности [6, 7, 13, 19, 26, 29]. Было обнаружено [28], что  $C_{y,max}$  профилей с малой вогнутостью ( $\delta_0 < 0,04$ ) растет с увеличением числа Рейнольдса, для профилей с большой вогнутостью ( $\delta_0 > 0,065$ ) найдена обратная зависимость, для профилей средней вогнутости  $C_{y,max}$  приблизительно постоянен. На фиг. 34 приведена зависимость  $C_{y,max}$  от числа Рейнольдса при различных начальных турбулентностях, найденная Милликемом и Клейном [7]



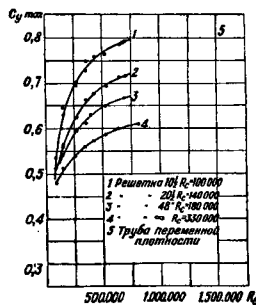
Фиг. 32.

для профиля NASA 2412. Повышенная турбулентность вызывалась проволоочной решеткой, устанавливавшейся на различных расстояниях от модели крыла. Рассмотрение диаграммы показывает на значительное возрастание  $C_{y,max}$  вместе с



Фиг. 33.

увеличением  $Re$  и  $\tau$ . Влиянием турбулентности объясняются наблюдающиеся иногда совпадения в  $C_{y,max}$ , найденных по опытам в аэродинамич. трубе при малых числах Рейнольдса и в полете при больших числах Рейнольдса. Увеличение турбулентности не всегда вызывает увеличение  $C_{y,max}$ ; для профилей с большой



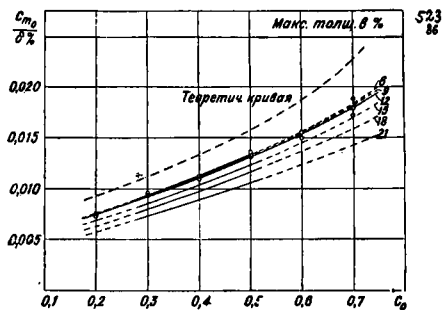
Фиг. 34.

вогнутостью была обнаружена обратная закономерность [13].

Коэф. момента для летных углов атаки приближенно м. б. вычислен по ф-ле

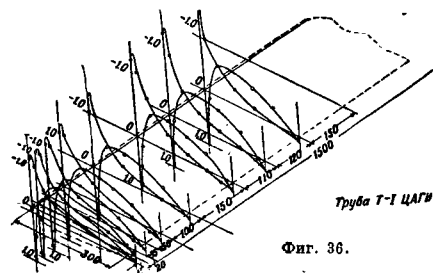
$$C_m = C_{m0} + mC_y,$$

где коэф.  $m$  теоретически равен 0,25. Опытным путем установлено, что этот коэф. для прямоуголь-



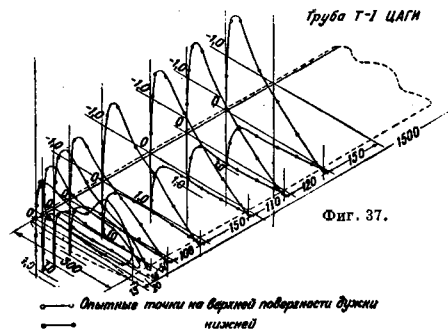
Фиг. 35.

ного крыла в зависимости от формы профиля меняется в очень узких пределах, а именно:



Фиг. 36.

$0,23 \leq m \leq 0,25$ , причем он уменьшается по мере увеличения  $\sigma_0$ ,  $\delta_0$  и  $c_0$ . Расстояние центра дав-



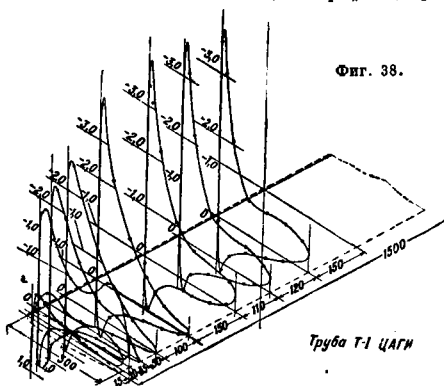
Фиг. 37.

ления от носика в процентах от хорды определяется по ф-ле

$$s = 100 \frac{C_m}{C_n},$$

где  $C_n = C_y \cdot \cos \alpha + C_x \cdot \sin \alpha$ ; при  $-6^\circ < \alpha < 20^\circ$   $C_n \approx C_y$  и поэтому  $s = 100 \frac{C_m}{C_y}$ .

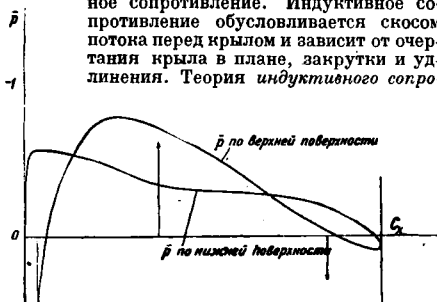
О зависимости коэф-та  $m$  от формы в плане см. [27, 30, 31]. На фиг. 35 приведена зависимость  $\frac{C_{m0}}{\delta_0}$  от положения максимальной вогнутости и от относительной толщины профиля; кро-



Фиг. 38.

ме того дана теоретическая кривая, подсчитанная согласно теории тонкого крыла [23, 24, 25, 26, 27].

Лобовое сопротивление крыла м. б. разложено на 1) индуктивное сопротивление и 2) профильное сопротивление. Индуктивное сопротивление обуславливается скосом потока перед крылом и зависит от очертания крыла в плане, закрутки и удлинения. Теория индуктивного сопро-

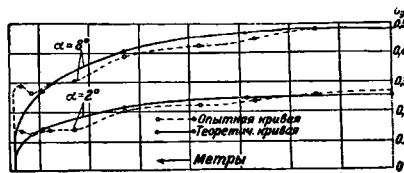


Фиг. 39.

тивления (см.) крыла разработана до практического применения Прандтлем, Бетцем, Мунком, Трэфтцем и Глауэртом [27, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43]. Для прямоугольного крыла коэффициент индуктивного сопротивления определяется по формуле

$$C_i = \frac{2}{\pi \cdot \lambda} \cdot (1 + \delta) \cdot C_y^2;$$

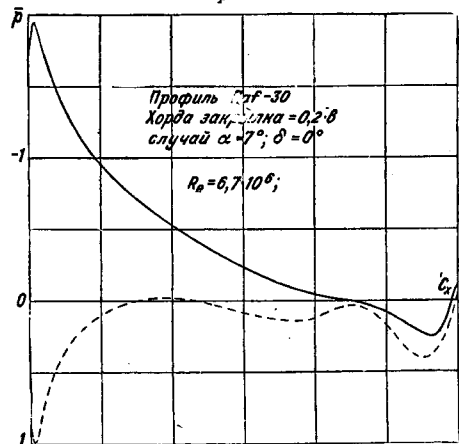
величина  $\delta$  находится по фиг. 30. Профильное сопротивление зависит от формы профиля и со-



Фиг. 40.

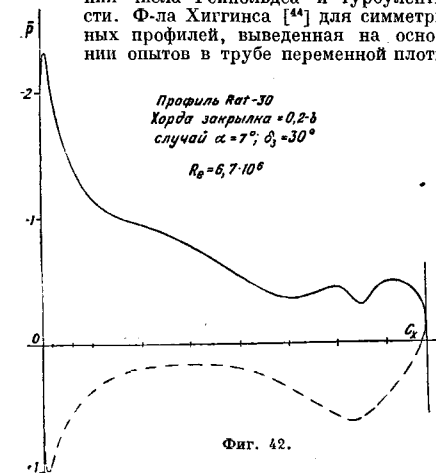
стояния поверхности. Коэффициент профильного сопротивления определяется как разность между

полным коэф-том сопротивления и коэф-том индуктивного сопротивления, т. е.  $C_p = C_x - C_f$ . Анализ испытания различных профилей показывает, что при данном состоянии поверхности минимальная величина  $C_p$  тем больше, чем больше



Фиг. 41.

$\sigma_0$  и  $w_0$  или  $\delta_0$ . Имеется большое количество ф-л для определения коэф-та  $C_p$ , но все ф-лы недостаточно точны, т. к. они не учитывают влияния числа Рейнольдса и турбулентности. Ф-ла Хиггинса [44] для симметричных профилей, выведенная на основании опытов в трубе переменной плотно-



Фиг. 42.

сти ( $Re = 3 \cdot 100 \cdot 000$ ) при ее втором варианте ( $Re = 154 \cdot 000$ ), имеет вид

$$C_{p \text{ min}} = 0,0028 + 0,005 \sigma_0 + 0,05 \delta_0^2.$$

Ф-ла Гласса [16], выведенная по опытам, проведенным в трубе НК-1 МАИ ( $Re = 330 \cdot 000$  и  $Re = 150 \cdot 000$ ), имеет вид

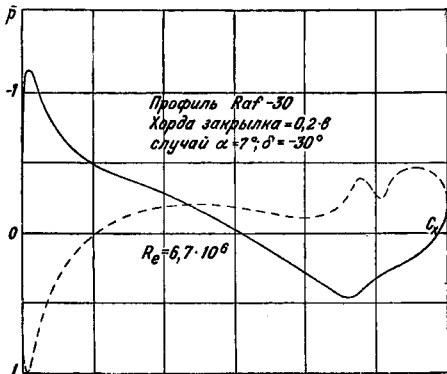
$$C_{p \text{ min}} = \frac{\Pi}{2 \cdot l} \cdot 0,0008 + 0,0375 \sigma_0 + 0,643 \delta_0^2,$$

где  $\Pi$  — периметр профиля. На основании обработки испытаний в трубе Т-1 ЦАГИ ( $Re = 1 \cdot 000 \cdot 000$  и  $Re = 150 \cdot 000$ ) ряда употреблявшихся в настоящее время профилей как симметричных, так и

несимметричных м. б. предложена следующая приближенная ф-ла:

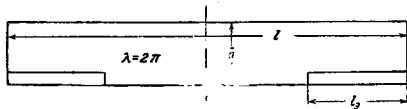
$$C_p = 0,00155 + 0,028 \sigma_0 + 0,0058 C_y - 0,0056 C_y^2 + 0,055 \cdot C_y^3.$$

Ф-ла применима при  $0,1 \leq C_y \leq 0,5$ . Все приведенные ф-лы выведены по данным испытаний полированных крыльев [18, 23, 44, 45, 46]. О влиянии состояния поверхности см. [16, 17, 18, 19, 20].



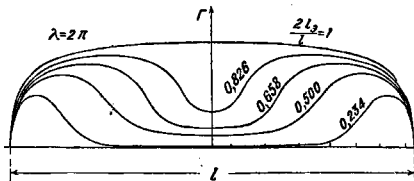
Фиг. 43.

На фиг. 36, 37 и 38 приведено в аксонометрических проекциях распределение давления по полуразмаху прямоугольного крыла ( $\lambda = 5$ ). Как это обычно ради удобства принято, коэф. давления  $p$  отложен не перпендикулярно к поверхности



Фиг. 44.

сти, а перпендикулярно к хорде крыла. Случай  $\alpha = 4^\circ 20'$  соответствует  $C_y = 0$ . Случай  $\alpha = 8^\circ$  (фиг. 37) соответствует летному углу атаки при еще вполне устойчивом оттекании крыла; на это указывает линейный закон изменения давления на верхней поверхности в области положительного градиента давления. На концах крыла обнаруживается нарушение закономерности и пучности разрежения на верхней поверхности. Последнее вызывается присоединившимся в этом месте концевыми вихрями. Случай  $\alpha = 20^\circ$  соответствует максимуму  $C_y$  (фиг. 38). В этом случае



Фиг. 45.

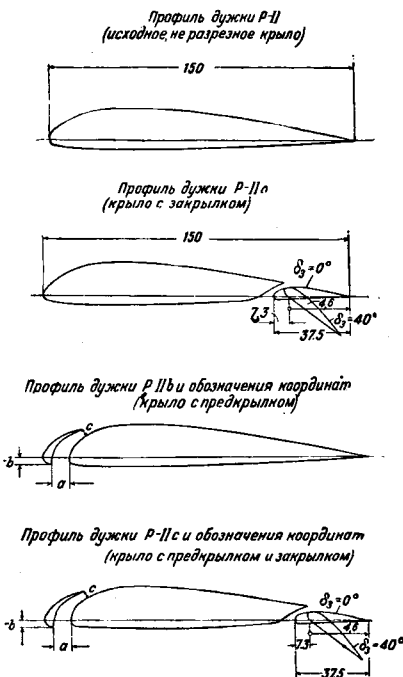
вблизи концов крыла оттекание еще совершается без заметного срыва потока; наоборот, в середине крыла поток уже сорвался с верхней поверхности, что видно из нарушения линейно-



го закона изменения давления. Если нет какой-либо искусственной причины, вызывающей срыв потока, то срыв обычно начинается в середине крыла, а потом уже распространяется по всей поверхности его. На фиг. 39 приведено распределение давления по сечению крыла с профилем В-18 в случае  $C_y = 0$ . Это профиль мунковского типа с обратной кривизной средней линии и  $C_{m0} = 0$ . Сравнение фиг. 36 и 39



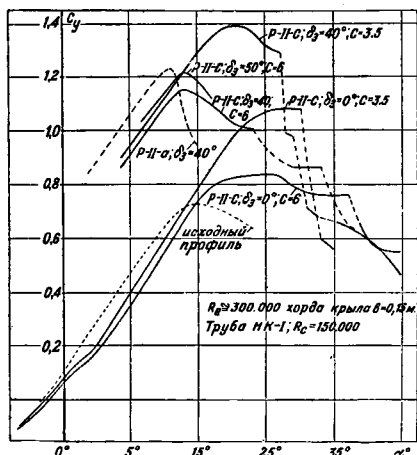
указывает на причину, вызывающую нулевое значение  $C_{m0}$  у профилей мунковского типа. Методы определения теоретического распределения давления по произвольному профилю см. [38, 47, 48, 49].



Фиг. 47

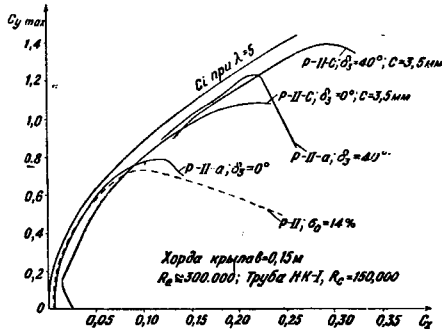
На фиг. 40 дано опытное и теоретич. распределение нагрузки при  $\alpha = 1$ ,  $v = 1$  и  $b = 1$  по полуразмаху прямоугольного крыла. Сравнение кривых показывает на вполне удовлетворительное совпадение за исключением концов крыла. В случае эллиптич. или трапецевидного очерта-

ния крыла в плане совпадение теоретических и опытных кривых много лучше. Совпадение кривых обычно наблюдается до углов атаки, при которых наступает нарушение прямолинейного закона изменения  $C_y$  по  $\alpha$ . Теоретич. распределение нагрузки по размаху м. б. подсчитано согласно теории индуктивного сопротивления крыла [27, 32, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43].



Фиг. 48.

Опытное распределение давления по профилю и размаху крыла и оперению см. [50, 51, 52, 53, 54, 55, 56]. На фиг. 41, 42 и 43 приведено распределение давления по сечению прямоугольного крыла с закрылком по всему размаху согласно опытам, проведенным в трубе переменной плотности [67] при ее втором варианте ( $R_\mu = 154\ 000$ ). Диаграмма показывает характер распределения нагрузки

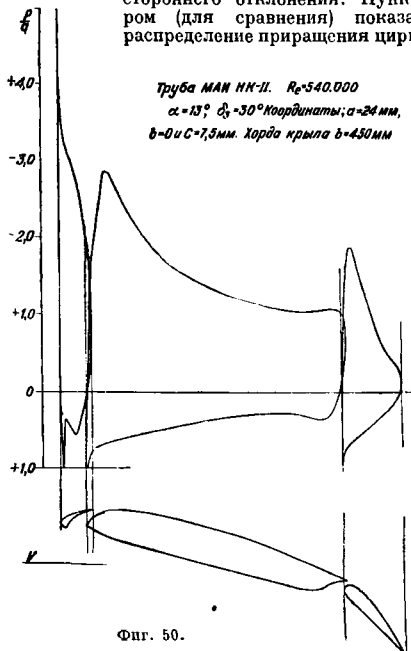


Фиг. 49.

по профилю крыла при неотклоненных элеронах и при отклонении их на угол  $\delta_2 = \pm 30^\circ$  (фиг. 42, 43).

Распределение нагрузки по размаху крыла с элеронами или с закрылками (одностороннее отклонение элеронов) м. б. приближенно найдено теоретически [58, 59]. На фиг. 44 дана схема прямоугольного крыла с элеронами. На фиг. 45 приведено распределение приращения циркуля-

ции по размаху крыла в случае одностороннего отклонения обоих элеронов (случай закрылков). В этом случае, хотя элероны и не достигают середины крыла (за исключением  $\frac{2l_2}{l} = 1$ ) вследствие индуцированного схода потока, в середине крыла возникает подъемная сила. На фиг. 46 приведено распределение приращения циркуляции по крылу с элеронами в случае их разностороннего отклонения. Пунктиром (для сравнения) показано распределение приращения цирку-

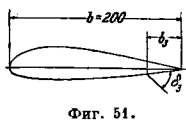


Фиг. 50.

ляции по размаху при  $\frac{2l_2}{l} = 1$  и при одностороннем отклонении элеронов [50, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67].

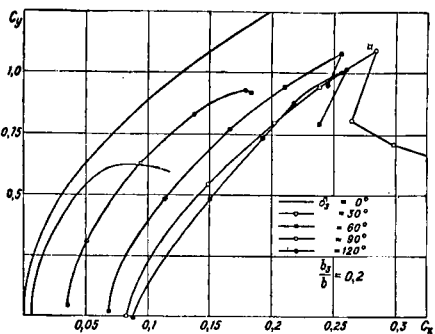
**VII. Способы повышения подъемной силы.**

Для увеличения  $C_{y \max}$  крыльев можно применять разрезные крылья, крылья со щитками или производить отсасывание или сдувание пограничного слоя. Первые два способа нашли широкое применение на практике. Основные виды профилей разрезных крыльев (см.) приведены на фиг. 47; на ней же изображен исходный неразрезной профиль. Кроме указанных основных типов возможен еще целый ряд модификаций, но с принципиальной стороны их работа не отличается от работы приведенных основных трех типов крыльев. На фиг. 48 даны результаты испытания (в трубе НК-I МАИ) на  $C_y$  по а исходного неразрезного крыла и трех упомянутых разрезных крыльев с предкрылками и закрылками, расположенными по всему размаху [68, 69, 70]. Для крыльев Р-II-а и Р-II-с угол  $\delta_2 = 40^\circ$  является оптимальным, дальнейшее увеличение угла отклонения закрылка влечет уменьшение  $C_{y \max}$ . У крыльев с предкрылками следует обра-



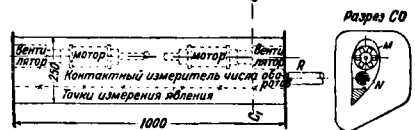
Фиг. 51.

щать внимание на правильный выбор положения предкрылка [71, 72, 73]; особенно большое влия-



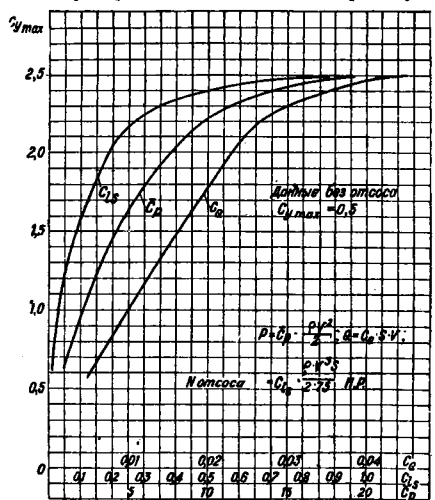
Фиг. 52.

ние оказывает координата с (фиг. 48). На фиг. 49 приведены поляры Лилиентала упомянутых крыльев. Наиболее неудачными в отношении



Фиг. 53.

сопротивления являются крылья с предкрылками (фиг. 47 и 49), поэтому на практике предкрылок обычно делается выдвижным. При малых углах атаки предкрылок бывает плотно примкнут к



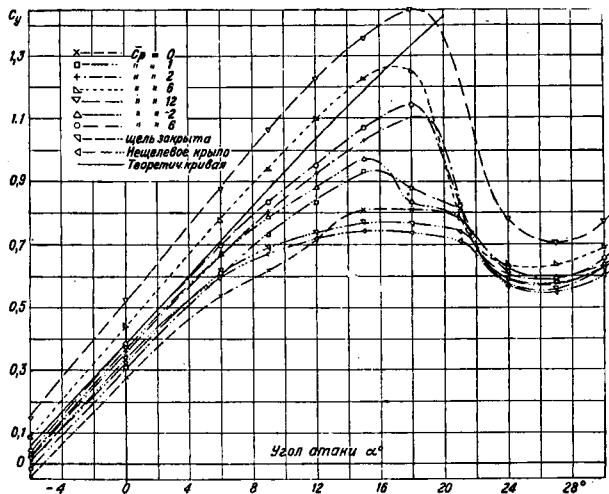
Зависимость  $C_{y \max}$  от коэффициентов  $C_x, C_{l_2}$  и  $C_p$   
Фиг. 54.

основной части крыла, а перед посадкой самолета он выдвигается или летчиком при помощи особого механизма или автоматически под влия-

нием аэродинамич. сил, действующих на предкрылок при больших углах атаки. С физич. стороны работа предкрылка объясняется затягиванием момента срыва потока вследствие скаса потока за предкрылком и увеличения кинетической энергии пограничного слоя на верхней поверхности, а также вследствие собственной подъемной силы предкрылка. Работа закрылки в основном обусловливается увеличением во-

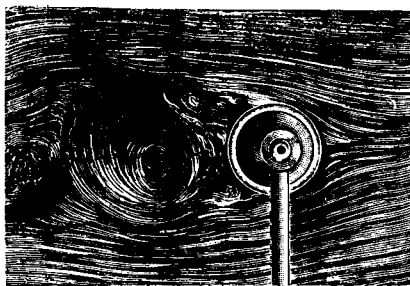
во позволяет увеличить крутизну траектории самолета при посадке в 3—4 раза. В табл. 4 приведены основные данные разрывных крыльев различных типов; при пользовании таблицей следует учесть, что  $C_{y \max} = \frac{C_{L \max}}{2}$  [68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79].

Для предотвращения срыва потока с крыла и увеличения  $C_{y \max}$  можно производить отсасывание



Фиг. 55.

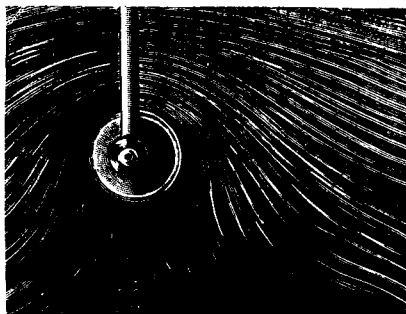
гнутоści профиля. На фиг. 50 приведена диаграмма распределения давления по профилю крыла с предкрылком и закрылком [74]; диаграмма дает соотношение между нагрузками, приходящими



Фиг. 56.

на каждый элемент разрезного крыла при  $C_y$ , близком к максимуму. Разновидностью крыльев с закрылками являются крылья со щитками-закрылками. На фиг. 51 дан профиль крыла с таким закрылком, а на фиг. 52 — полары Лилиенталя при различных углах  $\delta$ , его отклонения при хорде щитка, равной 0,2 [75]. Преимуществами крыла со щитком-закрылком являются: 1) отсутствие увеличения лобового сопротивления при  $\delta = 0$  по сравнению с сопротивлением исходного крыла и 2) увеличение подъемной силы при отклонении закрылки, сопровождающегося значительным увеличением лобового сопротивления (сравни фиг. 49 и 52). Последнее обстоятель-

ствый расход, разрежение в камере и мощность установки в зависимости от  $C_{y \max}$ . На фиг. 55 приведена зависимость  $C_y$  по  $\alpha$  при различных  $C_p$  для случая отсасывания и сдувания пограничного слоя через щель, расположенную на верхней поверхности крыла [82]. Опыты проводились при числе Рейнольдса  $Re = 445\,000$  с крылом,











Фиг. 57.

торцы которого примыкали вплотную к стенкам аэродинамич. трубы. Систематич. обработка этих опытов приводит к следующей ф-ле для определения приращения  $C_{y \max}$  в случае сдувания пограничного слоя

$$\Delta C_{y \max} = 1,37 C_i^{0,4},$$







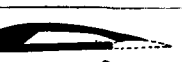
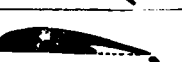
где коэф.  $C_i = \bar{C}_p \cdot C_Q$ . Аналогичная ф-ла, найденная по опытам ЦАГИ и ВВА [82], производив-

Табл. 4. — Повышение подъемной силы. \*1

Основные данные	Эскиз крыла	Угол между вено-гательной костью и исходным профилем в °	Хорда закрылка в % исходного профиля	Максимальный коэф. подъемной силы $C_{l,max}$	Диапазон скоростей $C_{l,max}/C_{0min}$	$L/D$ при максимальной подъемной силе*3	Угол атаки исходного профиля при максимальной подъемной силе в °	% повышения подъемной силы		% увеличения диапазона скоростей		Секция на репорты NACA
								по сравнению с исходным профилем	по сравнению с профилем закрылка	по сравнению с исходным профилем	по сравнению с профилем закрылка	
Исходный профиль *2		—	—	1,291	85,0	7,6	15	—	—	—	—	427
Простой закрылок		45	30	1,950	128,2	4,0	12	51	—	51	—	427
Щелевой закрылок с дополнит. щитком		45	30	1,980	120,5	4,0	12	53	15	42	—	427
Двойная щель с закрылком		45	30	2,442	117,5	4,0	16	59	25	38	—	427
Постоянная передняя щель, вырезанная в исходном профиле		—	—	1,772	73,8	5,3	24	37	—	—	—	427
Вспомогат. неподвижный предкрылок NACA в комбинации с исходным профилем*3		0	145	1,705*4	104,5	~ 3,5	24	32	—	23	—	428
Неподв. предкрылок NACA в оптим. положении *4		—	—	1,648*4	76,4	—	24	27	—	—	—	400
Автом. гнч. предкрылок Хендли-Педри *4		—	—	1,632*4	114,2	—	18	26	—	345	—	400

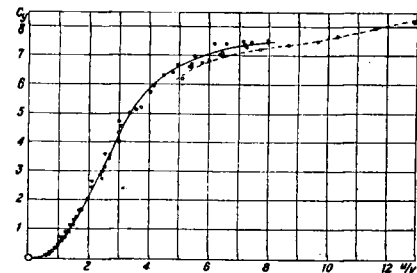
**Опечатка**

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>	<i>По чьей вине</i>
129	5 графа по горизонт.	2,1 2	2,182	Типогр.

Предкрылок и простой закрылок . . . . .		45	30	2,1 2	91,0	3,8	19	69	12	7	—	427
Предкрылок и щелевой закрылок . . . . .		45	30	2,261	93,2	3,8	19	75	16	10	—	427
Предкрылок и закрылок с двойной щелью		45	30	2,600	87,3	3,8	20	101	33	3	—	427
Щиток, отклоняющийся без сдвига назад		50	50	2,160	138,5	4,3	14	70	10,7	63	8	428
Щиток Чапа, при отклонении которого задняя кромка движется по вертикали вниз . . . . .		60	30	2,310	150,8	~ 3,7	13	85	20,5	77	17,5	428
Щиток, отклоняющийся вниз с одновременным движением оси вращения назад до 90% хорды . . . . .		54	40	2,222*3	142,2	3,8	13	75	14	67	11	422
Крыло Толля с закрытой передней щелью		48	34	2,080	138,8	3,8	13	64	6,7	63	81	417
Раздвижное крыло Фаулера (площадь увеличивается ~ на 31% по сравнению с исходной) **		40	40	2,422**4	155,3	4,25	15	90	24,3	83	21	419

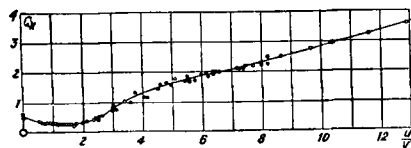
\*1 Сравнение приспособлений, испытывавшихся НАСА на крыле с профилем Кларн-У. Число Рейнольдса при всех испытаниях было 609 000, что соответствует примерно одной трети числа Рейнольдса для обычного небольшого самолета на посадочной скорости. \*2 При сравнении свойств измененных профилей с исходным профилем применявшимся в каждом случае коэф-ты (силы) получены при одинаковых условиях испытания, коэф-ты лобового сопротивления были получены при закрытом предкрылке (в случае, если он подвижной) и при нейтральном положении закрылка. \*3 Малое значение  $\frac{L}{D}$  при максимальной подъемной силе указывает на крутой угол планирования  $\frac{L}{D} = 8$ , соответствует углу планирования примерно в  $7^\circ$ , а  $\frac{L}{D} = 8,5$  — примерно  $16^\circ$ . \*4 Коэф-ты отнесены к полной площади крыла; приспособление для увеличения подъемной силы находится в рабочем положении и проектируется на хорду исходного профиля. В действительности эта площадь является конструктивно необходимой и служит базисом для сравнения с профилем с простым закрылком.

нимся при  $Re = 215\,000$  и  $\lambda = 2,5$ , имеет вид  $\Delta C_{y\max} = 1,225 C_{y0}^4$ . Предел применимости обеих ф-л  $0 \leq C_y \leq 0,15$ . На величину приращения  $C_{y\max}$



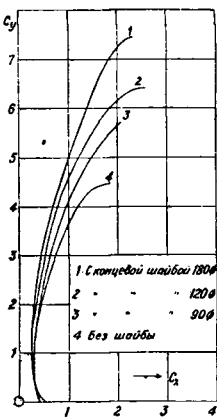
Фиг. 58.

оказывают влияние относительных размах  $\lambda$  и высота конечных шайб. Эта зависимость еще не найдена. При вращении круглого цилиндра



Фиг. 59.

в потоке жидкости или газа возникает сила, перпендикулярная к набегающему потоку (эффект Магнуса). Это явление обуславливается возникновением циркуляции вокруг цилиндра, что видно из рассмотрения фиг. 56 и 57. На фиг. 56 приведен спектр обтекания неврашающегося цилиндра, а на фиг. 57 — спектр обтекания вращающегося цилиндра при  $\frac{u}{v} = 6$ , где  $u$  — окружная скорость вращения цилиндра. На фиг. 58—60 даны результаты опытов, проведенных в Геттингенской лаборатории [85]. Из рассмотрения фиг. 58—60 видно, что подъемная сила и лобовое сопротивление вращающегося цилиндра зависят от отношения скоростей  $u$  и размеров конечных шайб. Значения  $C_{y\max}$  у вращающихся цилиндров весьма велики. Вращающиеся цилиндры еще не нашли практич. применения



Фиг. 60.

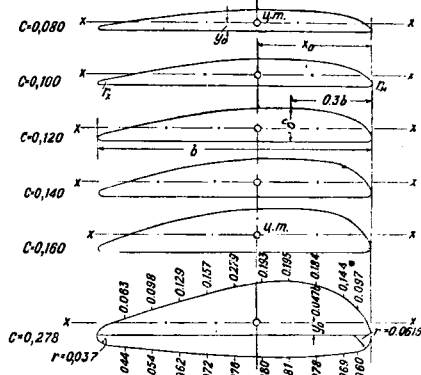
на самолетах вследствие большого лобового сопротивления и опасности аварии при остановке мотора. Были попытки [86] уменьшить лобовое сопротивление путем установки обтекателей, однако в этом случае  $C_{y\max}$  цилиндра уменьшается.

Лит.: 1) Д р у г о в Н. А., К у е т х е А., The Measurement of Fluctuations of Air Speed by the Hot-Wire Anemometer, «Technical Report NASA», Wash., 320; 2) Über den Reibwiderstand strömender Luft, «Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen», Mch.—B., 1927, Lfg. 3; 3) Zur turbulenten Strömung in Röhren und flachen Platten, ibid., 1932, Lfg. 4; 4) K r a m e r A., The Turbulence and Skin Friction, «Journal of the Aeronautical Sciences», 1934, v. 1, 1; 5) К о ж е в н и к о в А., Сравнительные испытания одного и того же металла, крыла и шара в аэродинамич. трубах СССР и за границей, «Труды Первой всесоюзной конференции по аэродинамике», 1931, 1932; 6) Д р у д е н Н. А., К у е т х е А., Effect of Turbulence in Wind Tunnel Measurements, «Technical Report NASA», Wash., 111; 7) K a l l e S., A K l e i n A., The Effect of Turbulence, «Aircraft Engineering», L., 1933, August; 8) F l a c h s b a r t O., Der Widerstand von Kugeln in d. Umgebung der kritischen Reynoldsschen Zahl, «Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen», Mch.—B., 1927, Lfg. 4; 9) Versuche über den Luftwiderstand gerundeter u. kantiger Körper, ibid., 1929, Lfg. 2, 2. Aufl.; 10) H i l l e M., L y o n E., Effect of Turbulence on Drag of Airship Models, «Aeronautical Research Committee, Rep. a. Mem.», 1511; 11) Versuche über den Luftwiderstand gerundeter u. kantiger Körper, «Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen», 2. Aufl., Mch.—B., 1929, Lfg. 2; 12) F a g e A., F a l k n e r V., The Flow around a Circular Cylinder, «Aeronautical Research Committee, Rep. a. Mem.», 1359; 13) S t a c k J., Tests in a Variable-Density Wind Tunnel to Investigate the Effects of Scale a. Turbulence on Airfoil Characteristics, «Technical Note NASA», Wash., 364; 14) Атлас профилей, «Труды ЦАГИ», М., 1931, вып. 99; 15) M u n k M., Determination of the Angles of Attack of Zero Lift a. of Zero Moment, Based on Mink's Integrals, «Technical Note NASA», 122; 16) Г л а с о в Ф., Исследования профилейного сопротивления крыльев, «Техника воздушного флота», М. 1929, 1; 17) Rauigkeitseinflüsse an Tragflügeln, «Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, Mch.—B., 1927, Lfg. 1 u. 3; 18) J a c o b s E., Airfoil Section Characteristic as Affected by Protuberances, «Technical Report NASA», Wash., 446; 19) H o o k e r, The Aerodynamic Characteristics of Airfoils as Affected by Surface Roughness, ibid., 457; 20) S c h e r e k M., Über Profilwiderstandsmessung im Flug nach dem Impulsverfahren, «Deutsche Versuchsanstalt f. Luftfahrt, 102, B.—Adlerhof, 1929; 21) О г л о б и н А., Систематич. исследование крыльев, «Труды ЦАГИ», М., 1933, вып. 145; 22) К р а с и л ь ш и к о в П., О зависимости между некоторыми геометрич. параметрами профиля и его аэродинамич. характеристиками, «Труды ЦАГИ», М., 1932, вып. 139; 23) S c h e r e k M., Über die Eigenschaften der R. The Characteristics of 78 Related Airfoil Sections from Tests in the Variable-Density Wind Tunnel, «Technical Report NASA», Wash., 460; 24) M u n k M., General Theory of Thin Wing Sections, «Technical Report NASA», Wash., 142; 25) G l a u e r t H., A Theory of Thin Airfoils, «Aeronautical Research Committee, Rep. a. Mem.», 970; 26) В и н б а и м Д., Die tragende Wirbelfläche als Hilfsmittel zur Behandlung des ebenen Problems der Flügeltheorie, «Ztschr. f. angew. Mathematik u. Mechanik», B., 1923; 27) Г л а з о в Г., Основы теории крыльев и винта, пер. с англ., М., 1931; 28) Г л а с о в Ф., О влиянии рейнгольдова числа на величину максимальной подъемной силы, «Труды ЦАГИ», М., 1932, вып. 103; 29) J a c o b s E., The Aerodynamic Characteristics of Eight Very Thick Airfoils from Tests in the Variable-Density Wind Tunnel, «Technical Report NASA», Wash., 391; 30) Т а р г С., О влиянии крыла на продольную статич. устойчивость самолета, «Техника воздушного флота», М., 1933, 9; 31) A r s a n d a u L., Étude, calcul et détermination de certaines formes d'ailes évolutives le long de l'envergure, «L'Aéronautique», P., 1928, 106, 107; 32) Г о л о в е в В., Теория крыла аэроплана конечного размаха, «Труды ЦАГИ», М., 1931, вып. 85; 33) Ю г е в В. Б., Индуктивное сопротивление крыльев аэроплана, там же, 1926, вып. 20; 34) О с т о с т а в с к и й И., Новый метод аэродинамич. расчета бипланной коробки, «Техника воздушного флота», М., 1931, 12; 35) S e r m a n A., The Aerodynamic Effects of Wing Cut-outs, «Technical Report NASA», Wash., 1934, 460; 36) Ц е л е н о в А., Построение полярны Дирихле для монопланной крыла произвольной формы, «Труды ЦАГИ», М., 1929, вып. 42; 37) П о б е д о н о с ц е в Ю., График. метод построения циркуляции по размаху, там же, 1929, вып. 42; 38) G a r r i k., Determination of the Theoretical Pressure Distribution for Twenty Airfoils, «Technical Report NASA», Wash., 465; 39) L o t z I., Berechnung d. Auftriebsverteilung beliebig geformter Flügel, «ZfM», 1931, 7; 40) Н и с е в о в В. А., Die aerodynamische Eigenschaften von donutpfeilerförmigen Tragflügeln, ibid., 1933, 9, 10; 41) H e b e r g J., Der verwendete Tragflügel, ibid., 11; 42) P r a n d t l L., Über Tragflügel kleinsten induzierten Widerstandes, ibid., 1933, 11; 43) Б е л я е в В., Аэродинамич. теория закрученного крыла, «Техника воздушного флота», 1933, 2; 44) H i g g i n s G., The Prediction of Airfoil Characteristics, «Technical Report NASA», Wash., 418; 45) M u n k M., Flugel, ibid., 1933, 10; 46) T u s s a i n t A., L'Aviation actuelle, Étude aérodynamique

et essais des avions. «L'Aviation actuelle et la sécurité», P., 1928, 47; 48) Родерсен Т. On the Theory of Wing Sections, with Particular Reference to the Lift Distribution, «Technical Report NACA», Wash., 383; 49) Theodorsen T., Theory of Wing Sections of Arbitrary Shape, ibid., 1931, 411; 50) Theodorsen T. a. G. G. G. J., General Potential Theory of Arbitrary Wing Sections, ibid., 462; 51) Юрьев В. Б. и Лесняков А. Н., Аэродинамические характеристики, «Труды ЦАГИ», М., 1929, 21; 52) Родерсен Т. Устойчивость пути изоэвольвентного крыла. Круговая обдувка крыльев, там же, 1928, вып. 36; 53) Мартынов А., Исследование работы оперения самолета методом распределения давления, там же, М., 1933, вып. 163; 54) Родерсен Т., Распределение давления по крыльям и хвостовому оперению истребителя PW-9 в полете, «Технич. заметки НИИФО ЦАГИ», М., 1933, 5; 55) Messung d. Druckverteilung an drei Eindeckerflächen u. an einem Doppeldecker, «Ergebnisse d. Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen», 2. Aufl., Mch.—B., 1929, Lfg 2; 56) Norton F. a. Bacon D., Pressure Distribution over the Thick Airfoils Model Tests, «Technical Report NACA», Wash., 1922, 150; 57) Jacobs E. a. Pinkerton R., Pressure Distribution over a Symmetrical Airfoil Section with a Leading Edge Flap, ibid., 369; 58) Wieselsberger C., Bestimmung der durch die Querruderwirkung beim Tragflügel erzeugten Luftkräfte u. Momente, «ZFM», 1928, 13; 59) Wieselsberger C., Theoretische Untersuchungen über die Querruderwirkung beim Tragflügel, «Report of the Aeronaut. Research Institute Tokyo Imperial University», 1927, 39; 60) Жуковский К. О подпорных линиях типа вихря, «Труды Отд. физ. наук общества любителей естественных наук», 1911, т. 15, вып. 2; 61) Чаплыгин С. К общей теории крыла моноплана, М., 1922; 62) Голубев В., Теория крыла аэроплана в плоско-параллельном потоке, «Труды ЦАГИ», М., 1927, вып. 29; 63) Aerodynamic Characteristics of Airfoils, «Technical Report NACA», Wash., 93, 124, 182, 244, 297, 313; 64) Jacobs E., Large Scale Aerodynamic Characteristics of Airfoils Tested in the Variable-Density Wind Tunnel, ibid., 1930, 352; 65) Flügelprofiluntersuchungen, «Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen», Mch.—B., 1927—32, Lfg 1, 3, 4; 66) Toussaint A. et Carafoli E., Théorie et Tracés des Profils d'ailes sustentatrices, P., 1928; 67) Carafoli E., Aérodynamique des ailes d'arrières, «Revue Aéronautique», P., 1929, 10; 68) Красильников П., Практич. применения разрезов крыльев, «Техника воздушного флота», М., 1932, 6—6; 69) его же, Исследования по разрезу крыльям с закрылками, «Труды ЦАГИ», М., 1931, вып. 105; 70) его же, Влияние длины закрылка и предкрылка на работу разрезованного крыла, там же, М., 1932, вып. 133; 71) его же, О влиянии на наибольшего положения предкрылка, там же, М., 1933, вып. 161; 72) Townsend H., A Study of Slots, Rings, a Boundary Layer Control by Blowing, «The Journal of the Royal Aeronautical Society», L., 1931, 8; 73) Wenzinger C. a. Shortall J., The Aerodynamic Characteristics of a Slotted Clark-Y Wing as Affected by the Auxiliary Airfoil Position, «Technical Report NACA», Wash., 400; 74) Ушаков Б., Аэродинамика исследования автоматич. предкрылка, «Технич. заметки НИИФО ЦАГИ», М., 1932, вып. 2; 75) Gruschwitz E. u. Schrenk O., Über eine einfache Möglichkeit zur Auftriebsverböschung von Tragflügeln, «ZFM», 1932, 20; 76) Голубев В., Исследования по теории разрезованного крыла, «Труды ЦАГИ», М., 1933, вып. 147; 77) Lachmann G., Control beyond the Stall, «The Journ. of the Royal Aeronautical Society», L., 1932, 256; 78) Ушаков Б., Влияние размеров предкрылка на работу разрезованного крыла, «Технич. заметки НИИФО ЦАГИ», М., 1932, 2; 79) его же, Влияние исходного профиля на работу предкрылка, там же, М., 1932, 22; 80) Schrenk O., Versuche mit einem Absaugeflügel, «ZFM», 1931, 9; 81) Perring W. a. Douglas G., Wind Tunnel Experiments on the Effect of the Maximum Lift of Withdrawing a. Discharging Air from the Upper Surface of an Airfoil, «Aeronaut. Research Committee, Rep. a. Mem., 1100; 82) Millard J. V. a. M. B. B., Wind Tunnel Tests on Airfoil Loundry Control Using a Backward-opening Slot, «Technical Report NACA», Wash., 385; 83) Зак С., Результаты предварительных опытов со сдвиганием пограничного слоя, «Труды 3 Всесоюзной конференции по аэродинамике», М., 1932; 84) Жуковский К. В., Улучшение аэродинам. свойств крыла путем отсасывания и сдувания пограничного слоя, «Технич. заметки НИИФО ЦАГИ», 1932, 6; 85) Messungen an rotierenden Zylindern, Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, Mch.—B., 1932, Lfg 4; 86) Woffe H. en Koning C., Vorgezet onderzoek naar den in-

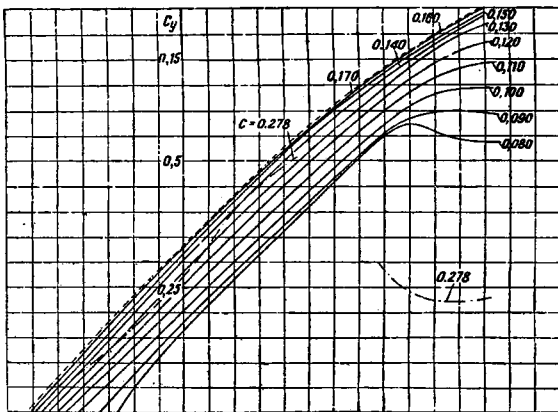
vloed van een draaiende rol, aangebracht in een vleugel-profil. Verh. Rijk Studiedienst v. d. Luchvaart, Amsterdam, 1925, Deel 3, p. 47. П. Красильников.

**VIII. Профили винтов.** а) Профили RAF-6 (английские). Для деревянных винтов одними из лучших являются английские винтовые профили RAF-6. Очертания этих профилей даны на фиг. 61, а ординаты—в табл. 5. Аэродинамич.



Фиг. 61.

характеристики этих профилей, приводимые на фиг. 62, 63 и 64, получены интерполированием данных испытаний серий крыльев относительной толщины  $c=0,086; 0,103; 0,129; 0,168$  и крыла с выгнуткой нижней поверхностью относительной толщины  $c=0,278$ , пересчитанных на бесконечный размах по ф-лам для прямоугольных



Фиг. 62.

крыльях с учетом падения циркуляции к концам за счет большего схода потока у концов и увеличения вследствие этого к концам индуктивного сопротивления. Относительный размах крыльев при испытаниях был равен 6 при хорде 159 мм. Скорость потока равнялась  $\sim 24$  м/сек. В табл. 6 даны ф-лы для определения положения ц. т., площади, моментов инерции и модулей сопротивления профилей. Все перечисленные



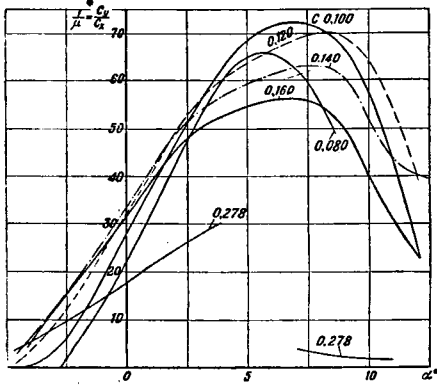
Табл. 5.—Ординаты профилей английских и ВС-2.

Профиль	Расстояние от носика в % хорды		2,5	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Радиусы	
														носика	хвостика
RAF-6*	$v_e$		41,1	59,2	78,6	96,1	100,0	99,1	96,1	87,3	74,7	57,2	36,9	12,0	9,0
ВС-2	Ординаты в % максимальной толщины	$v_e$	18,9	30,4	46,2	65,2	72,6	73,7	70,6	63,3	52,9	40,0	24,2	8,0	8,0
		$v_k$	12,1	16,7	21,9	25,9	25,9	23,5	20,8	18,1	15,4	12,7	10,0		

\* Ординаты двояковыпуклого толстого профиля с относительной толщиной  $c = 0,278$  даны на фиг. 61.

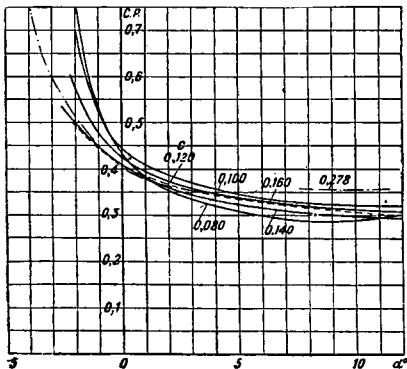
величины выражены в ф-ии толщины профиля  $\delta$  и его хорды  $b$ . На фиг. 65 представлена диаграмма, служащая для подбора сечений лопасти

же фигуре внизу приведены кривые качества профилей  $\frac{1}{\mu} = \frac{C_y}{C_x}$ .



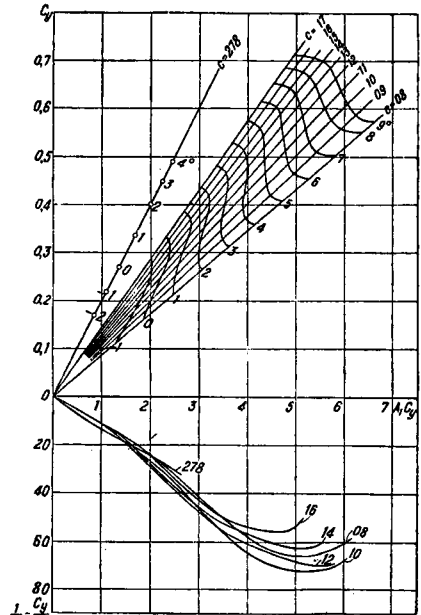
Фиг. 63.

винта, с учетом одновременно условий прочности и условий А.; на этой диаграмме по оси абсцисс отложены произведения коэф-та модуля  $c\alpha$



Фиг. 64.

противления изгибу для растянутых волокон на коэф. подъемной силы профиля  $A_1 C_y$ , а по оси ординат — коэф. подъемной силы  $C_y$ . На этой



Фиг. 65.

б) Профили ВС-2. Для быстроходных винтов (преимущественно металлических) более выгодными являются профили ВС-2 и Clark-Y, мало отличающиеся друг от друга. Очертания профиля ВС-2 даны на фиг. 66, а ординаты в табл. 5. Аэродинамич. характеристики профилей серии ВС-2, полученные путем обработки и пересчета на бесконечный размах результатов испытаний крыльев относительной толщины  $c = 0,09; 0,10; 0,12; 0,15; 0,18; 0,20; 0,21$  и  $0,24$ , представлены на фиг. 67, 68, 69. Относительный размах дужек при испытании был равен 5 при хорде 150 мм. Испытания производились в трубе НК-1 ЦАО

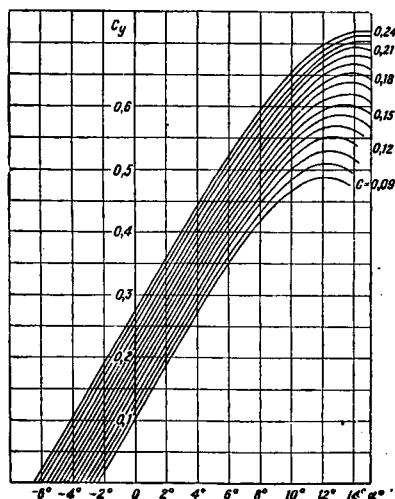


Фиг. 66.

Табл. 6.— Формулы для определения центра тяжести, площади, моментов инерции и модулей сопротивления профилей RAF-8 и ВС-2.

Название величины	Профили	
	RAF-8	BC-2
Хорда	$b$	$b$
Максимальная толщина	$\delta$	$\delta$
Относительная толщина	$c = \frac{\delta}{b}$	$c = \frac{\delta}{b}$
Площадь сечения	$S = 0,75\delta b$	$S = 0,705\delta b$
Расстояние ц. т. от носика	$x_0 = 0,445b$	$x_0 = 0,478b$
Расстояние ц. т. от хорды	$x_c = 0,42\delta$	$x_c = 0,195\delta$
Момент инерции относительно оси, проходящей через ц. т. и параллельной хорде	$I_x = 0,0538\delta b^3$	$I_x = 0,0423\delta b^3$
Момент инерции относительно оси, проходящей через ц. т. и перпендикулярной хорде	$I_y = 0,047\delta b^3$	$I_y = 0,0410\delta b^3$
Центробежный момент инерции относительно осей $x, y$	$I_{xy} = 0,0018\delta b^3$	$I_{xy} = 0,00136\delta b^3$
Угол оси наименьшей жесткости с хордой:		
а) в радианах	$\phi = 0,195c$	$\phi = 0,035c$
б) в градусах	$\phi^\circ = 11,2c$	$\phi^\circ = 2c$
Моменты инерции относительно осей эллипса инерции:		
а) наименьший	$I_\xi = 0,051\delta b^3 = \frac{\delta b^3}{19,6}$	$I_\xi = 0,0423\delta b^3 = \frac{\delta b^3}{23,6}$
б) наибольший	$I_\eta = 0,048\delta b^3 = \frac{\delta b^3}{20,8}$	$I_\eta = 0,0410\delta b^3 = \frac{\delta b^3}{24,4}$
Расстояние до наиболее удаленных от главной оси инерции волокон:		
а) до верхнего сжатого волокна	$\eta_2 = 0,56\delta$	$\eta_2 = 0,545\delta$
б) до нижнего растянутого волокна	$\eta_1 = 0,56\delta$	$\eta_1 = 0,455\delta$
Модули сопротивления на изгиб относительно главной оси инерции:		
а) для верхних сжатых волокон	$W_{\xi_2} = \frac{I_\xi}{\eta_2} = 0,088\delta b^2$	$W_{\xi_2} = \frac{I_\xi}{\eta_2} = 0,0777\delta b^2$
б) для нижних растянутых волокон	$W_{\xi_1} = \frac{I_\xi}{\eta_1} = 0,102\delta b^2$	$W_{\xi_1} = \frac{I_\xi}{\eta_1} = 0,0930\delta b^2$
Кэф-ты модуля сопротивления изгибу относительно главной оси инерции:		
а) для верхних сжатых волокон	$A_2 = \frac{b}{\sqrt{W_{\xi_2}}} = \frac{2,25}{\sqrt{c}}$	$A_2 = \frac{b}{\sqrt{W_{\xi_2}}} = \frac{2,34}{\sqrt{c}}$
б) для нижних растянутых волокон	$A_1 = \frac{b}{\sqrt{W_{\xi_1}}} = \frac{2,14}{\sqrt{c}}$	$A_1 = \frac{b}{\sqrt{W_{\xi_1}}} = \frac{2,21}{\sqrt{c}}$

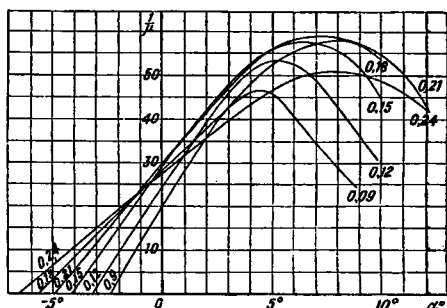
ЦАГИ при скорости потока  $\sim 30$  м/сек. Ф-лы для определения положения ц. т., площади,



Фиг. 67.

моментов инерции и модулей сопротивления профилей для серии ВС-2 представлены в табл. 6. Диаграмма, служащая для подбора сечений

лопастей винта с профилями ВС-2, представлена на фиг. 70. При проектировании винтов с профилями Clark-Y можно приблизительно пользоваться характеристиками профилей ВС-2.

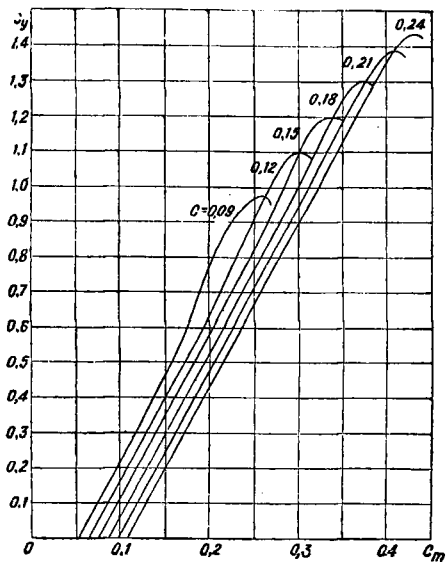


Фиг. 68.

Лит.: Кузьмин Г., Диаграммы для проектирования воздушных винтов, «Труды ЦАГИ», 1929, вып. 38; Кузьмин Г. и Халезов Д., Диаграммы для проектирования воздушных винтов с профилями ВС-2, «Труды ЦАГИ», 1933, вып. 137; Кузьмин Г., Расчет винта по вихревой теории, «Труды ЦАГИ», 1932, вып. 142; Лесникова Н., Графики для расчета гребных винтов, М.—Л., 1932. Д. Халезов.

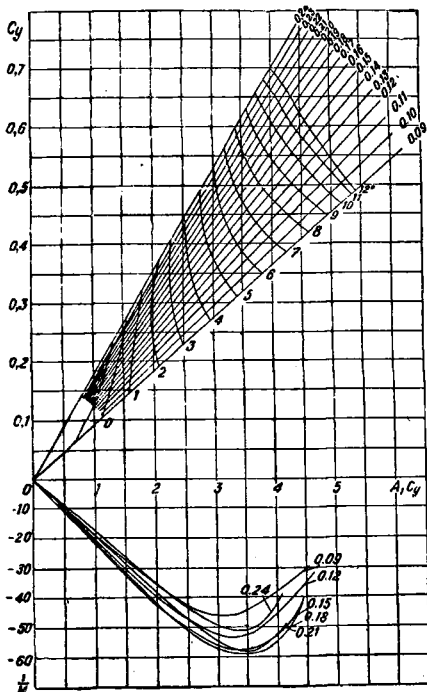
#### IX Локальное сопротивление частей самолета.

1. Аэродинамические характеристики изолированных деталей. а) Аэродинамические харак-



Фиг. 69.

теристики фюзеляжей, моторных гондол, лодок и поплавков. Про-

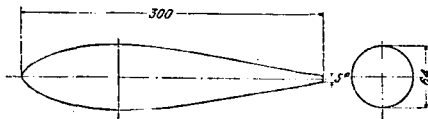


Фиг. 70.

стейшей и наиболее совершенной формой фюзеляжа является форма тела вращения (фиг. 71). В табл. 7 приведены результаты испытаний в Варшавской аэродинамич. лаборатории [1] ряда таких тел, характеризующихся различным отношением  $\frac{l}{d}$ , где  $l$  — длина тела, а  $d$  — диам. Коэф-ты сил  $C_y$  и  $C_x$  отнесены к площади мидела, а коэф-ты момента продольной устойчивости отнесены к площади мидела и к длине тела, т. е.

$$C_x = \frac{Q}{\rho S v^2}, \quad C_y = \frac{P}{\rho S v^2} \quad \text{и} \quad C_{m_x} = \frac{M_x}{\rho S v^2 l}$$

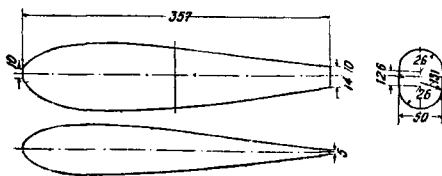
Момент определялся относительно оси  $oz$ , проходящей через носик тела, причем пикирующий момент считался положительным. Такие тела вращения имеют наименьшее лобовое сопроти-



Фиг. 71.

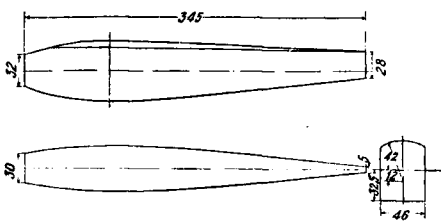
вление, причем оно вследствие весьма обтекаемой формы почти целиком определяется силой трения. Из табл. 7 видно, что по мере увеличения отношения  $\frac{l}{d}$  коэф.  $C_x$  растет; это явление обуславливается возрастанием силы трения за счет увеличения поверхности тела. Наиболее выгоднейшее отношение длины тела к его диаметру с точки зрения минимума лобового сопротивления равно  $\frac{l}{d} \cong 3$ . В зависимости от вида образующей наиболее выгоднейшее отношение  $\frac{l}{d}$  может немного меняться в ту и другую сторону от приведенной средней величины.

Необходимость размещения мотора, кабин летчиков и пассажиров, вооружения и других агрегатов заставляет отступать от наиболее выгоднейшей формы и придавать поперечному сечению фюзеляжа прямоугольную или овальную форму. Как видно из табл. 7, это тотчас приводит к значительному увеличению коэффициента лобового сопротивления. Дальнейшее усложнение формы приводит к еще большему возрастанию коэф-та лобового сопротивления (фиг. 72 — 81). На фиг. 82

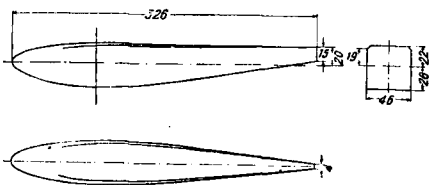


Фиг. 72.

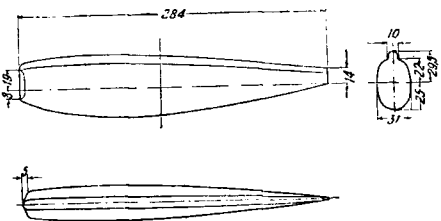
приведена схема поплавка гидросамолета, испытанного в Варшавской аэродинамич. лаборатории, а в табл. 7 даны соответствующие аэродинамич. коэф-ты. Коэф-ты сил отнесены к площади мидела, а коэф-ты момента к площади мидела и к длине поплавка. На фиг. 83 дана схема модели фюзеляжа, испытанного в Аахенской аэродинамич. лаборатории (Германия) [2] с целью изучения влияния на величину лобового сопротивления фюзеляжа козырьков и различных форм



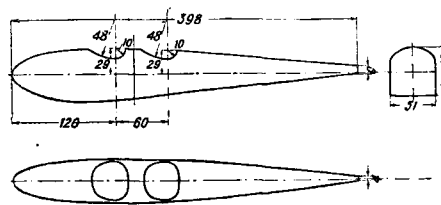
Фиг. 73.



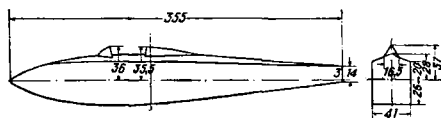
Фиг. 74.



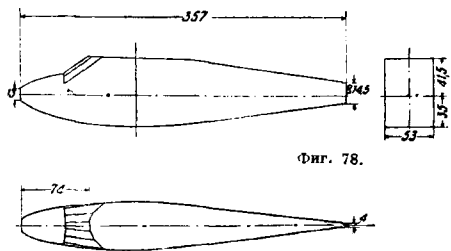
Фиг. 75.



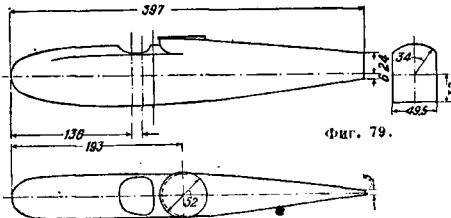
Фиг. 76.



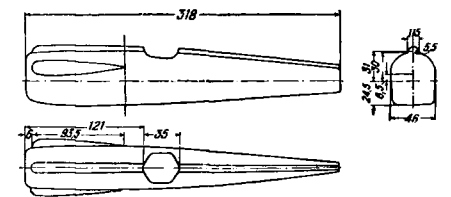
Фиг. 77.



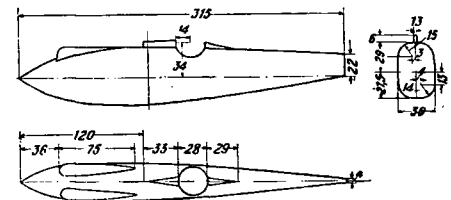
Фиг. 78.



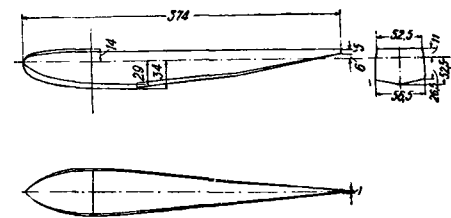
Фиг. 79.



Фиг. 80.



Фиг. 81.

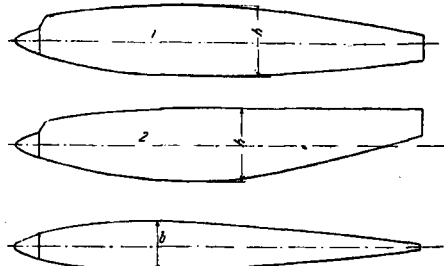


Фиг. 82.

Табл. 7. — Аэродинамические коэффициенты фюзеляжи и подвазов.

Экста	Длина в м	Форма сечения	Размеры в мм	$\alpha = 0^\circ$			$\alpha = 5^\circ$			$\alpha = 10^\circ$			$\alpha = 15^\circ$			$\alpha = 20^\circ$		
				$C_y$	$C_z$	$C_{m_z}$	$C_y$	$C_z$	$C_{m_z}$	$C_y$	$C_z$	$C_{m_z}$	$C_y$	$C_z$	$C_{m_z}$	$C_y$	$C_z$	$C_{m_z}$
Фиг. 71	0,300	круг	диам. 64	0	0,0185	0	0,0170	0,0220	0,016	0,0165	0,0201	0,0235	0,0290	0,1440	0,0720	0,0065		
—	0,405	»	диам. 64	0	0,0210	0	0,0215	0,0265	0,0205	0,0205	0,0230	0,0265	0,0350	0,1910	0,0940	0,0260		
—	0,600	»	диам. 64	0	0,0220	0	0,0215	0,0295	0,0265	0,0270	0,0305	0,0330	0,0420	0,2475	0,1110	0,0210		
—	0,800	»	диам. 64	0	0,0230	0	0,0215	0,0295	0,0265	0,0270	0,0305	0,0330	0,0420	0,2475	0,1110	0,0210		
—	0,400	звезд.	диам. 64	0	0,0315	0	0,0315	0,0330	0,0215	0,0215	0,0225	0,0235	0,0285	0,1015	0,0695	0,0085		
—	0,400	квадрат	56,5 x 56,5	0	0,0315	0	0,0315	0,0330	0,0215	0,0215	0,0225	0,0235	0,0285	0,1015	0,0695	0,0085		
—	0,400	квадрат	56,5 x 56,5	0	0,0295	0	0,0295	0,0355	0,0215	0,0215	0,0225	0,0235	0,0285	0,1015	0,0695	0,0085		
—	0,400	с закругл.	56,5 x 56,5	0	0,0295	0	0,0295	0,0355	0,0215	0,0215	0,0225	0,0235	0,0285	0,1015	0,0695	0,0085		
—	0,400	прямоуг.	64 x 50	0	0,0275	0	0,0245	0,0330	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 72	0,357	углам.	Фиг. 72	0	0,0215	0	0,0215	0,0265	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 73	0,445	Фиг. 73	Фиг. 73	0	0,0215	0	0,0215	0,0265	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 74	0,284	Фиг. 74	Фиг. 74	0	0,0270	0	0,0270	0,0315	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 75	0,384	Фиг. 75	Фиг. 75	0	0,0285	0	0,0285	0,0330	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 76	0,393	Фиг. 76	Фиг. 76	0	0,0285	0	0,0285	0,0330	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 77	0,355	Фиг. 77	Фиг. 77	0	0,0210	0	0,0210	0,0260	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 77	0,357	Фиг. 77	Фиг. 77	0	0,0210	0	0,0210	0,0260	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 78	0,317	Фиг. 78	Фиг. 78	0	0,0195	0	0,0195	0,0240	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 79	0,317	Фиг. 79	Фиг. 79	0	0,0195	0	0,0195	0,0240	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 80	0,198	Фиг. 80	Фиг. 80	0	0,0185	0	0,0185	0,0230	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 81	0,215	Фиг. 81	Фиг. 81	0	0,0185	0	0,0185	0,0230	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		
Фиг. 82	0,314	Фиг. 82	Фиг. 82	0	0,0205	0	0,0205	0,0245	0,0125	0,0125	0,0135	0,0145	0,0190	0,0710	0,1805	0,0440		

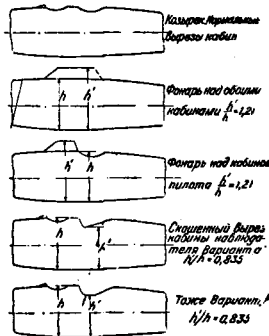
открытых и закрытых кабин (фиг. 84). На фиг. 85 приведены результаты испытаний: на вертикальной оси в зависимости от формы кабин на-



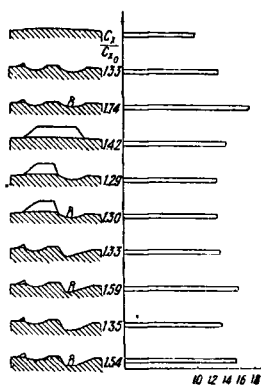
Фиг. 83.

несены соответствующие числовые значения отношения  $\frac{C_x}{C_{x0}}$ , где  $C_{x0}$  — коэф. лобового сопротив-

ления гладкого фюзеляжа, а  $C_x$  — соответствующий коэф. фюзеляжа с кабиной. Параллельно оси абсцисс отложены отрезки, пропорциональные указанному отношению. Значительное возрастание лобового сопротивления, вызываемое вырезами и выступами на фюзеляже, заставляет по возможности избегать нарушения плавных контуров фюзеляжей или заключать выступающие детали в обтекатели. Значительное увеличение лобового сопротивления фюзеляжа вызывает мотор с воздушным охлаждением; в этом случае лобовое сопротивление может возрасти в три раза. Для уменьшения лобового сопротивления применяют обтекатели различной формы, заключающая отдельно каждый цилиндр в индивидуальный обтекатель или же весь мотор вместе с цилиндром закрывают капотом. Последнее мероприятие оказывается наиболее эффективным. В Аэродинамич. лаборатории в Ланглей-



Фиг. 84.



Фиг. 85.

фильде (США) проведены весьма подробные испытания по выбору наилучших форм капотов, причем выработан хороший тип капота, называе-

мый «капотом NASA» (см. *Самолетостроение*). Опыты проводились в аэродинамич. трубе с открытой рабочей частью диам. 6,1 м с фюзеляжем в натуральную величину и с работающим мотором. Последнее позволило выработать капот, удовлетворяющий не только условию значительного уменьшения лобового сопротивления, но и условиям хорошего охлаждения.

Табл. 8. — Сопротивление фюзеляжа с различными капотами на моторе.

№ капотов	Эскиз	Тип капота	Сопротивление в кг при $v = 160$ км/ч	Уменьшение сопротивления в %
—	Фиг. 86	Мотор без капота . . . . .	56,5	0,0
5	Фиг. 87	Капот № 5 без обтекателя на втулке винта . . . . .	53,6	5,1
6	Фиг. 88	» № 6 с обтекателем на втулке винта . . . . .	52,3	7,4
7	Фиг. 89	» № 7 без обтекателя на втулке винта . . . . .	46,4	21,4
7	—	То же, но капот изменен для лучшего охлаждения . . . . .	50,0	11,5
8	Фиг. 90	Капот № 8 с обтекателем на втулке винта . . . . .	45,0	20,4
8	—	То же, но капот изменен для лучшего охлаждения . . . . .	47,7	15,6
10	—	Капот № 0 без обтекателя на втулке винта . . . . .	28,5	49,0
10	Фиг. 91	То же, но капот изменен для лучшего охлаждения . . . . .	33,8	40,2
10	—	То же, но добавлен обтекатель на втулке винта . . . . .	37,8	40,2
—	—	Без мотора, фюзеляж спереди закруглен . . . . .	18,0	68,1

На фиг. 86—91 приведены чертежи фюзеляжа с капотами различной формы, а в табл. 8 приведены результаты испытаний [3]. Наилучшим капотом оказался капот № 10 (фиг. 91); в этом случае уменьшение лобового сопротивления фюзеляжа достигает 40% при хорошем охлаждении. Применение капотов NASA позволяет увеличить максимальную скорость самолета на 5—10%. С физич. точки зрения наличие капота NASA вызывает уменьшение скорости потока в области расположения цилиндров и улучшение обтекания фюзеляжа за цилиндрами (уменьшение и значительное сужение вихревой зоны). Еще больший эффект по сравнению с эффектом уменьшения лобового сопротивления фюзеляжа вызывает капот NASA при установке его на мотор, находящийся в гондоле. На фиг. 92 приведен изолированный мотор Райт «Уирлвинд» в 200 л. с., впоследствии смонтированный в шестиметровой аэродинамич. трубе в Ланглейфильде для определения лобового сопротивления [4]. На фиг. 93 приведен этот мотор в моторной гондоле, а на фиг. 94—мотор в гондоле с капотом NASA. В табл. 9 даны результаты испытаний. Рассмотрение таблицы показывает, что вызванное капотом уменьшение лобового сопротивления достигает 72% от сопротивления гондолы с открытым мотором.

Другой разновидностью обтекателей моторов с воздушным охлаждением являются кольца Тоуненда [5\*] (фиг. 95). На фиг. 96 дан профиль кольца. Уменьшение лобового сопротивления, вызываемое кольцом Тоуненда, объясняется тем, что вследствие схода потока за кольцом вихревая зона, возникшая за цилиндрами, суживается и обтекание в кормовой части фюзеляжа улучшается. В табл. 10 приведены основные характеристики колец, испытанных в ЦАГИ: 1)  $t$  — глубина кольца, 2)  $\alpha_{уст.}$  — угол, составляемый хордой профиля кольца и осью мотора (угол  $\alpha_{уст.}$  считается положительным в том случае, если задний диаметр кольца боль-

ше переднего диам.) и 3)  $\frac{h}{t}$  — вогнутость кольца, где  $h$  — максимальная ордината профиля кольца, отсчитываемая от хорды кольца. Наиболее выгоднейшая глубина кольца равна  $350 \div 450$  мм.

Наивыгоднейшая вогнутость кольца равна  $\frac{1}{8} \div \frac{1}{10}$ .

Наивыгоднейший угол  $\alpha_{уст.}$  близок к  $4^\circ$ , однако

его точное значение зависит как от глубины кольца, так и от формы носовой части фюзеляжа. Наибольшее влияние на лобовое сопротивление

Табл. 9.—Сопротивление мотора и моторной гондолы при скорости  $v = 160$  км/час.

Эскиз	Тип мотора	Лобовое сопротивление в кг	Уменьшение сопротивления в %
Фиг. 92	Изолированный мотор воздушного охлаждения	80,5	0
Фиг. 93	Мотор с моторной гондолой без капота	70,0	13
Фиг. 94	Мотор с моторной гондолой и капотом NASA	19,4	76

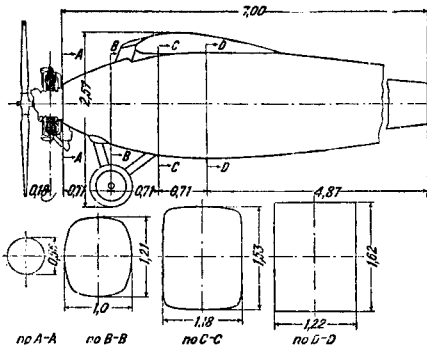
оказывает угол  $\alpha_{уст.}$ , неграмотный выбор его может привести к весьма малому уменьшению лобового сопротивления. Необходимо, чтобы угол

Табл. 10.—Основные характеристики колец Тоуненда и соответствующие значения коэффициента лобового сопротивления фюзеляжа (по опытам ЦАГИ).

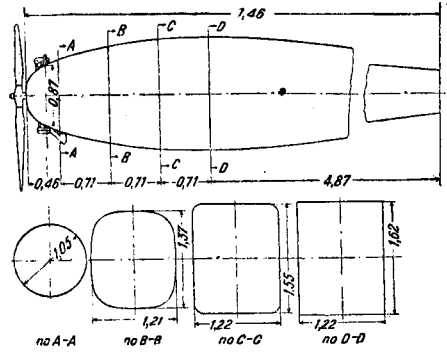
Основные характеристики	Номер варианта						С индивидуальных обтекателями	Без кольца и без обтекателей
	2	3	4	5	6	1а*		
$h$	1	1	1	1	1	1	—	—
$\frac{h}{t}$	10	6	6	6	6	6	—	—
$\alpha_{уст.}$	8	8	4	10	8	6	—	—
$t$ в мм	353	353	353	353	450	353	—	—
$C_x$	0,303	0,265	0,280	0,305	0,303	0,308	0,360	0,380
Уменьшение $C_x$ в %	20,3	22,4	26,4	19,7	20,3	19,0	5,3	0

\* Кольцо 1а имело меньший диаметр п колпачки-обтекатели над клапанными головками цилиндров.

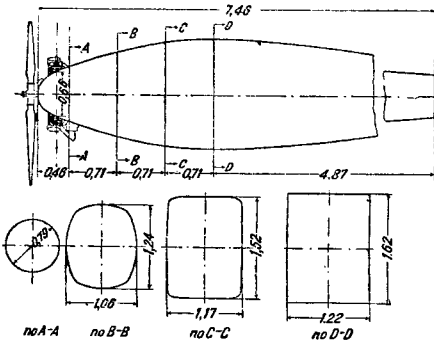
атаки кольца по отношению к местному направлению скорости был близок к критич. углу атаки, соответствующему  $C_{y_{max}}$ , но не превышал бы его. В табл. 10 кроме основных характеристик колец приведены результаты испытаний фюзеляжа с различными кольцами в большой аэродинамич. трубе ЭАО ЦАГИ. Кольца Тоуненда по сравнению с капотами NASA менее эффективны, однако они весьма удобны в эксплуатации, т. е. затрудняют доступа к мотору и



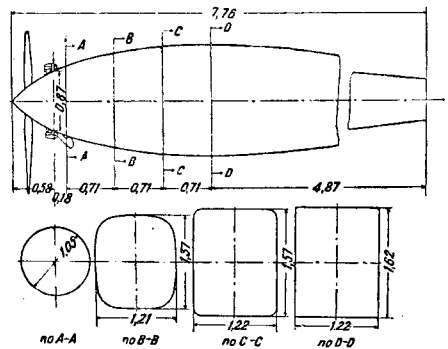
Фиг. 86.



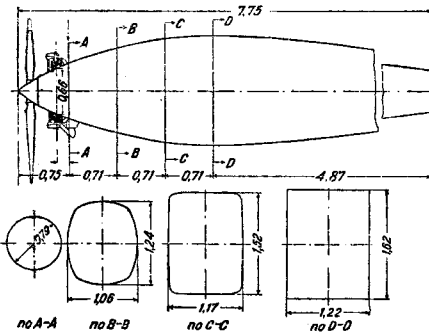
Фиг. 89.



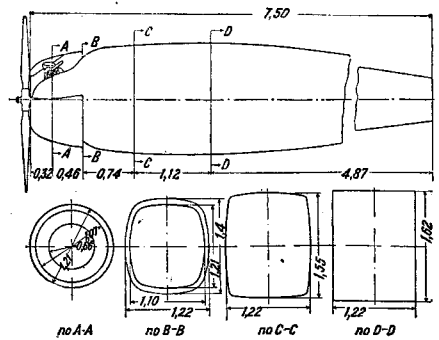
Фиг. 87.



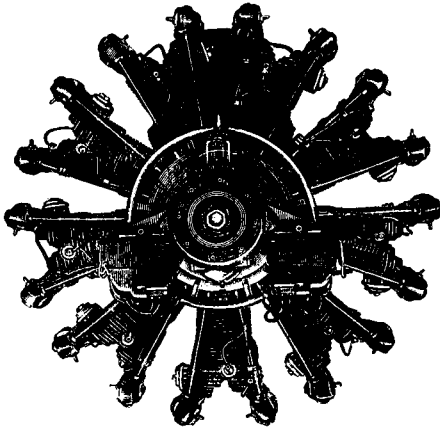
Фиг. 90.



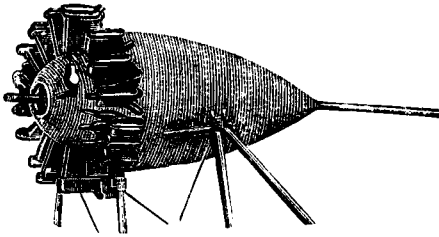
Фиг. 88.



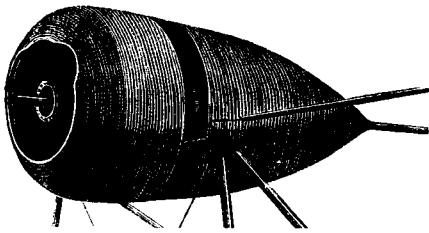
Фиг. 91.



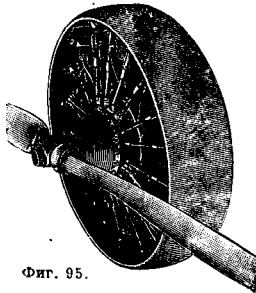
Фиг. 92.



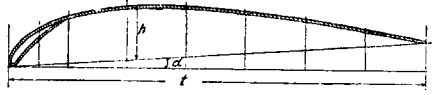
Фиг. 93.



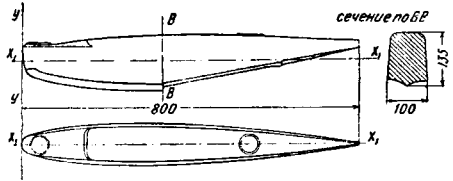
Фиг. 94.



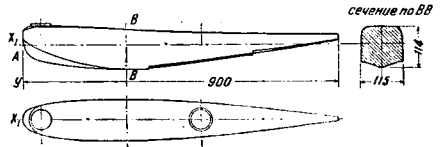
Фиг. 95.



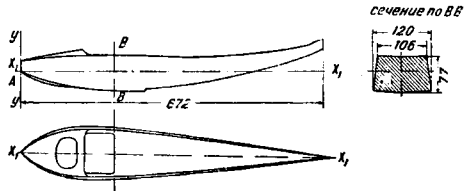
Фиг. 96.



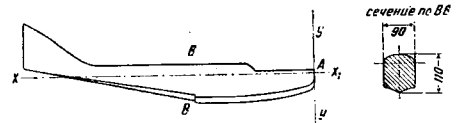
Фиг. 97.



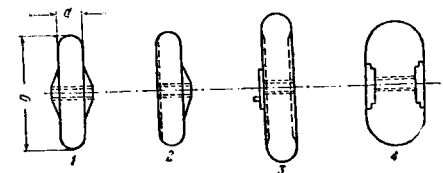
Фиг. 98.



Фиг. 99.



Фиг. 100.



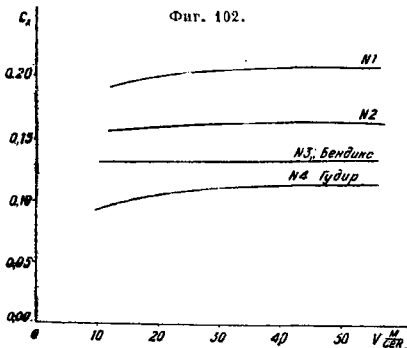
Фиг. 101.



позволяют монтировать их без переделки фюзеляжа на уже готовом самолете.

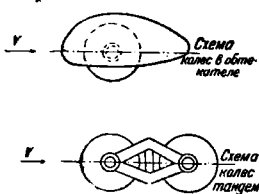
На фиг. 97—100 представлены общие виды моделей лодок, испытанных в трубе Т-III ЭАО ЦАГИ [8], а в табл. 11 приведены значения аэродинамич. коэф-тов  $C_x$  и  $C_y$ , относенных к площади миделя, и значения коэф-та  $C_{m_z}$  момента продольной устойчивости относительно носиков лодок (оси  $A$ ), относенного к площади миделя и к длине лодок. Пикирующий момент считается положительным.

б) Лобовое сопротивление колес, шасси и лыж. На фиг. 101 приведены схемы колес, испытанных в натуральную величину в трубе Т-1 ЭАО ЦАГИ [9]. Основные геометр. характеристики приведены в табл. 12. Спичи колес № 1 и № 2 были обтянуты полотном. Результаты испытаний на  $C_x$  по  $v$  м/сек приведены на фиг. 102. Коэф.  $C_x$  относился к площади, равной произведению  $D \cdot d$  (фиг. 101). Из рассмотрения фиг. 102 видно, что форма колеса оказы-



Фиг. 102.

вает большое влияние на величину коэф-та лобового сопротивления; величина его для испытанных колес колеблется при  $v=50$  м/сек в пределах  $0,115 \div 0,212$ . Лобовое сопротивление колес при  $v=max$  составляет в среднем 8—10% от полного лобового сопротивления самолета. Для уменьшения лобового сопротивления колес их располагают тандем или заключают в обтекатели. На фиг. 103 ланы схемы таких расположений,



Фиг. 103.



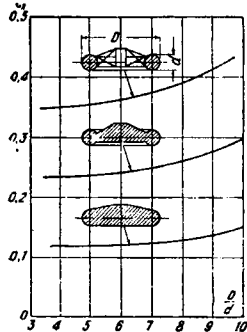
от  $\frac{C}{d}$  для колес с открытыми спицами и для колес с втянутыми спицами [10] (см. Колесное производство, авиационные колеса).

Табл. 11. — Аэродинамические коэффициенты лодок.

Эквив. Длина в м	Размеры в мм	Число Рейнольдса $Re = \frac{vl}{\nu}$	$\alpha = -6^\circ$			$\alpha = 0^\circ$			$\alpha = 6^\circ$			$\alpha = 12^\circ$			$\alpha = 10^\circ$			Число Рейнольдса $Re = \frac{vl}{\nu}$	$C_x$ при $\alpha = 0^\circ$			
			$C_x$	$C_y$	$C_{m_z}$	$C_x$	$C_y$	$C_{m_z}$	$C_x$	$C_y$	$C_{m_z}$	$C_x$	$C_y$	$C_{m_z}$	$C_x$	$C_y$	$C_{m_z}$					
Фиг. 57	0,500	0,01155	1 870 000	-0,038	0,1038	-0,0110	0,019	0,093	0,0770	0,1100	0,014	0,1100	0,0372	0,163	0,0320	0,104	0,0300	0,104	0,0300	0,077	3 600 000	0,097
Фиг. 86	0,500	0,01185	2 100 000	-0,053	0,0946	-0,053	0,036	0,0770	0,0770	0,1100	0,014	0,1100	0,0372	0,163	0,0320	0,104	0,0300	0,104	0,0300	0,077	3 600 000	0,077
Фиг. 89	0,672	0,00874	1 570 000	-0,077	0,1201	-0,0310	0,014	0,096	0,0770	0,1100	0,014	0,1100	0,0372	0,163	0,0320	0,104	0,0300	0,104	0,0300	0,077	3 600 000	0,110
Фиг. 100	0,838	0,008712	1 980 000	-0,053	0,0778	0,0085	0,009	0,0770	0,0770	0,1100	0,014	0,1100	0,0372	0,163	0,0320	0,104	0,0300	0,104	0,0300	0,077	3 600 000	0,077

Лобовое сопротивление шасси обычно принимается равным сумме сопротивлений изолированных колес, стоек и подкосов, однако такое определение вследствие взаимного влияния отдельных элементов шасси может оказаться не совсем верным, и для более точного ответа лучше проводить испытания в аэродинамич. трубе целого шасси. Лобовое сопротивление шасси при  $v = \max$  составляет в среднем 16—20% от полного лобового сопротивления самолета, но оно м. б. значительно уменьшено применением обтекателей. Капотирование шасси с одиночными колесами вызывает уменьшение лобового сопротивления в среднем на 30%. Капотирование шасси тяжелых самолетов (колеса на тележке) вызывает уменьшение лобового сопротивления на 50—75%—в зависимости от формы шасси, формы тележки и обтекателей [8].

На фиг. 105 дан общий вид авиационной лыжи (см. Лыжи), на фиг. 106 приведены результаты ее испытаний в натуральную величину на  $C_x$ ,  $C_y$  и  $C_m$  в трубе Т-1 ЭАО ЦАГИ при скорости потока  $v = 37,3$  м/сек. Коэф-ты сил отнесены к площади опорной поверхности лыжи, а коэф. момента был отнесен к площади опорной поверхности лыжи и к ее длине. Момент определялся относительно оси крепления лыжи: пикирующий момент считался положительным. В среднем минимальный коэффициент  $C_x$  для лыж без обтекателей на кабачке м. б. принят равным 0,014, а в случае обтекателя на кабачке  $C_{x \min}$  в среднем равен



Фиг. 104.

0,008, т. е. обтекатель вызывает снижение сопротивления в среднем на 43%.

с) Лобовое сопротивление стоек, обтекателей труб, проволок, тросов, тендеров и лент. Коэф-ты со-

противления стоек и обтекателей труб относят к площади миделя. Коэф.  $C_x$  лобового сопротивления стоек и обтекателей зависит от числа Рейнольдса, эта зависимость особенно велика

Табл. 12.—Коэффициенты лобового сопротивления авиационных колес.

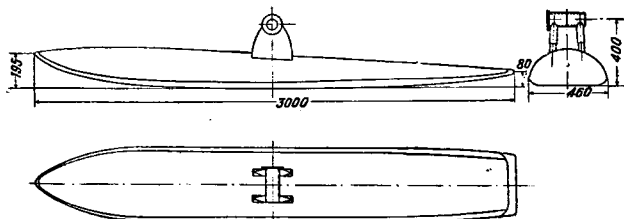
Тип колеса (фиг. 101 и 103)	D в м	d в м	S = D · d в м	$C_x$		% снижения $C_x$
				без обтекателя	с обтекателем	
Колесо № 1 одиночное . Колеса № 1 спаренные (цель между колесами 60 мм) . . . . .	0,70	0,12	0,084	0,212	0,090	57,5
Колесо № 1 тандем . . . . .	0,70	0,12	0,084	0,500	0,208	58,4
Колесо № 2 одиночное . . . . .	0,70	0,12	0,084	0,470	0,195	58,5
Колеса № 2 спаренные (цель между колесами 25 мм) . . . . .	0,75	0,125	0,09375	0,168	0,088	47,6
Колесо № 3 «Бендикс» тормозное одиночное . . . . .	0,75	0,125	0,09375	0,390	—	—
Колесо балонное № 4 «Гудир» одиночное . . . . .	0,90	0,20	0,180	0,135	—	—
Колеса балонные № 4 «Гудир» тандем . . . . .	0,635	0,28	0,1788	0,115	0,075	34,8
Колеса балонные № 4 «Гудир» тандем . . . . .	0,635	0,28	0,1788	0,227	0,133	43,9

при малых числах Рейнольдса. При увеличении числа Рейнольдса коэф.  $C_x$  быстро уменьшается, стремясь асимптотически к некоторому пределу (подробнее о зависимости коэффициента  $C_x$  стоек от числа Рейнольдса и турбулентности см. главу «Лобовое сопротивление простейших тел»).

При числах Рейнольдса  $Re = \frac{v \cdot \sigma}{\nu} > 130\,000$ , где  $\sigma$ —ширина стойки или обтекателя, коэффициент  $C_x$  можно приближенно принять постоянным и

Табл. 13.—Координаты профиля стоек.

Абсцисса в % от хорды	Ординаты в % от хорды		
	№ 1	№ 2	№ 3
0	0,00	0,00	0,00
5	6,60	7,55	8,80
10	9,00	10,28	12,00
20	11,43	13,10	15,30
30	12,35	14,10	16,45
40	14,50	14,28	16,55
50	17,00	13,70	16,00
63	10,78	12,28	15,00
70	9,28	10,53	12,30
80	7,10	8,10	9,45
90	4,25	4,87	5,65
95	2,44	2,79	3,25
100	0,00	0,00	0,00



Фиг. 105.

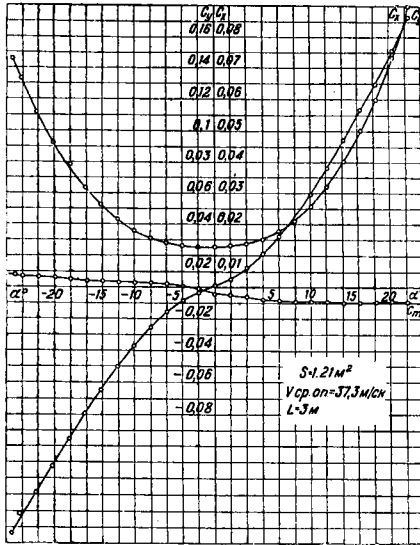
противления стоек и обтекателей труб относят к площади миделя. Коэф.  $C_x$  лобового сопротивления стоек и обтекателей зависит от числа Рейнольдса, эта зависимость особенно велика

не зависящим от числа Рейнольдса. На фиг. 107 приведены три профиля хорошо обтекаемых стоек, характеризующихся различными отношениями  $\frac{b}{\sigma}$ , где  $b$ —глубина стойки.

На этой же фигуре указаны соответствующие коэф-ты лобового сопротивления [10]. В табл. 13 даны координаты стоек в % от хорды. На фиг. 108 приведены схемы различных обтекателей труб и указаны соответствующие коэф-ты  $C_x$ .

Для учета лобового сопротивления концевых креплений стоек и обтекателей за расчетную длину их принимают  $l_{расч.} = l + 0,6$  м. При наклонно расположенных стойках и обтекателях за расчетную длину принимают  $l_{расч.} = l_{пр.} + 0,6$  м.

где  $l_{пр.}$  — длина проекции стойки или обтекателя на плоскость, перпендикулярную к потоку.



Фиг. 106.

Коэф-ты сопротивления тросов и проволок относятся к площади миделя, т. е. к произведению длины на диаметр. В табл. 14 приведены осно-

Табл. 14.—Основные данные тросов двойного плетения, испытанных в ЦАГИ.

Диам. троса d в мм	Число стренг *1	Диам. стренг в мм	Число проволок в стренге	Диам. проволоки в мм	Отношение $\lambda = \frac{l}{d}$ *2
8,10	7	2,6	7	0,8	371
7,09	7	2,2	19	0,4	424
6,39	7	2,0	19	0,3	470
5,03	7	1,6	7	0,5	598
4,00	7	1,2	7	0,3	750
3,01	7	0,9	7	0,2	998
2,01	7	0,5	7	0,1	1437
12,06	7	4,0	10	0,9	249
14,98	7	5,0	20	0,8	201

\*1 У тросов в центре находится одна стренга, а все остальные расположены вокруг центральной в один ряд.  
\*2 l — длина троса.

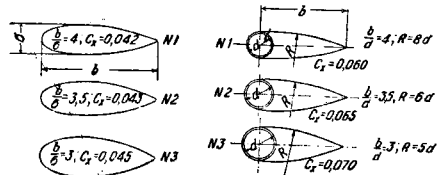
вные данные тросов, испытанных в трубе Т-1 ЭАО ЦАГИ [11], а на фиг. 109 результаты этих испытаний. По оси ординат отложены коэф-ты лобового сопротивления  $C_x$ , а по оси абсцисс числа Рейнольдса. Для сравнения на этой же диаграмме нанесены результаты испытания круглого цилиндра (проволоки). Для учета лобового сопротивления концевых креплений проволочек и тросов за расчетную длину принимают  $l_{расч.} = l + 0,6 м$ . При наклонно расположенных проволоках за расчетную длину принимают: при  $90^\circ > \alpha > 60^\circ$   $l_{расч.} = l \sin \alpha + 0,6 м$ , при  $60^\circ > \alpha > 30^\circ$   $l_{расч.} = l \sin 0,8 \alpha + 0,6 м$ . При наклонно расположенных тросах за расчетную длину принимают  $l_{расч.} = l_{пр.} + 0,6 м$ , где  $l_{пр.}$  — длина проекции троса на плоскость, перпендикулярную к

потоку. Лобовое сопротивление тендеров по опытам ЭАО ЦАГИ [11] м. б. принято равным  $1,7 Q_m$ , где  $Q_m$  — лобовое сопротивление троса длиной, равной длине тендера с двумя заплетками, и диаметром, равным диам. ушка тендера. Коэф. сопротивления лент относится к площади миделя. В табл. 15 приведены основные характеристики авиационных лент, испытанных в трубе Т-1 ЭАО ЦАГИ [11]; значение указанных в табл. 15

Табл. 15.—Основные данные авиационных лент, испытанных в ЦАГИ.

№ ленты	W в мм	T в мм	r1 в мм	r в мм	W/T	$\lambda = \frac{l}{T}$
6	8,30	2,00	12,00	0,44	4,15	1500
10	13,00	3,50	20,68	0,78	3,72	856
12	17,25	4,25	24,90	0,52	4,06	705
16	21,50	5,32	34,32	1,27	4,01	582

характеристик понятно из фиг. 110, на которой дано поперечное сечение ленты. На фиг. 111 приведена зависимость коэф-та лобового сопротивления испытанных лент от числа Рейнольдса  $Re = \frac{v \cdot T}{\nu}$ , где T — толщина ленты. Для учета лобового сопротивления концевых креплений лент за расчетную длину принимают  $l_{расч.} = l + 0,8 м$ . При наклонно расположенных лентах за расчетную длину принимают  $l_{расч.} = l_{пр.} + 0,8 м$ , где  $l_{пр.}$  — длина проекции лент на плоскость, перпендикулярную к потоку.



Фиг. 107.

Фиг. 108.

д) Аэродинамические характеристики горизонтальных оперения. На фиг. 112 дана схема горизонтального оперения, испытанного в трубе НК-1 МАИ при  $v = 32 м/сек$ , а на фиг. 113 приведена зависимость коэф-та нормальной силы от угла атаки оперения при различных углах отклонения рулей высоты [12]. Эффективность рулей зависит от отношения площади рулей и площади оперения, от формы профиля, от формы оперения и от типа компенсации и размеров компенсаторов [12, 13, 14]. Подбор и расчет оперения следует делать с учетом интерференции фюзеляжа и оперения, с учетом схода потока от крыла и с учетом влиния струи винта [15, 16, 17, 18, 19, 20].

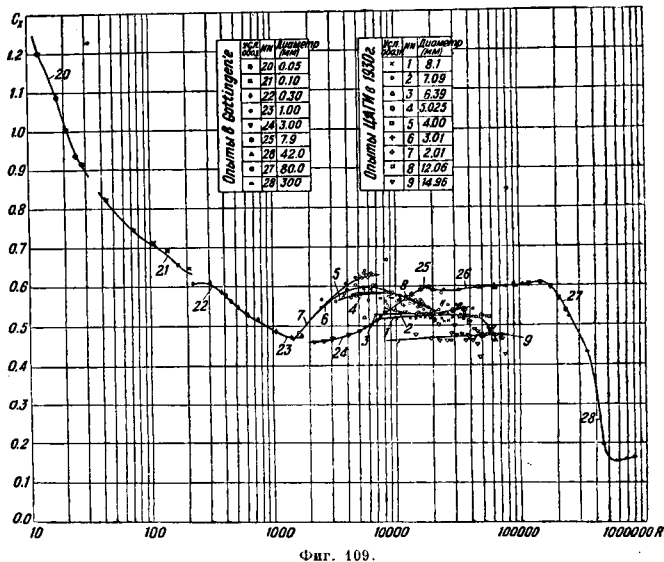
е) Сопротивление турельных пулеметов. На фиг. 114 и 115 даны схемы различных расположенных спаренных пулеметов Льюиса и пулемета Максима с указанием соответствующих коэффициентов  $R_x = \frac{Q}{v^2}$ , где Q — лобовое сопротивление пулемета при нормальных условиях (т. е. при  $p = 760 мм$  и  $t = 15^\circ$ ). При подсчете лобового сопротивления пулеметов в условиях, отличных от нормальных, следует пользоваться ф-лой

$$Q = \Delta \cdot R_x \cdot v^2,$$

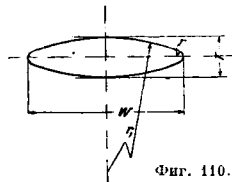
где  $\Delta = \frac{e_2}{e_1}$ . Значения  $\Delta$  в зависимости от высоты над уровнем океана приведены в главе «Международная стандартная атмосфера» (табл. 19).

2. Интерференция частей самолета. Под интерференцией частей самолета подразумевают их взаимное влияние друг на друга, вернее говоря, их взаимное влияние на поток, обтекающий рассматриваемую комбинацию, состоящую из отдельных элементов. Взаимное влияние частей самолета друг на друга может привести или к увеличению лобового сопротивления или к его уменьшению, т. е. в первом случае лобовое сопротивление всей установки будет больше суммы лобовых сопротивлений изолированных деталей, во втором случае оно будет меньше этой суммы. В первом случае интерференционное сопротивление будет положительным, во втором — отрицательным. В худших случаях положительное интерференционное сопротивление может свести на-нет летные свойства самолета, особенно такие, как потолок, скороподъемность, дальность, маневренность и посадочная скорость. Интерференция частей самолета может привести не только к увеличению лобового сопротивления, но и к уменьшению, и иногда значительно, подъемной

интерференцию. Явление интерференции становится все более и более заметным по мере совершенствования аэродинамич форм отдельных элементов

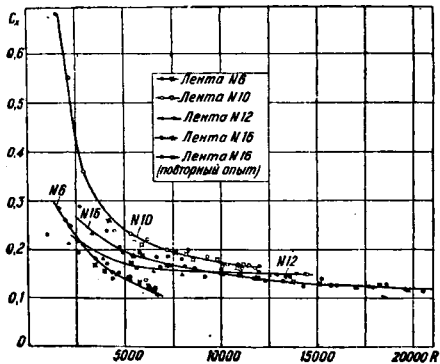


Фиг. 109.



Фиг. 110.

и служит причиной возникновения или ускорения срыва потока. Первый фактор может выз-

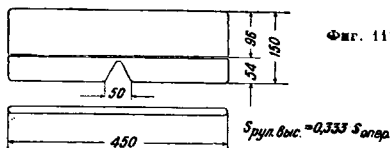


Фиг. 111.

вать положительную или отрицательную интерференцию, второй вызывает всегда положительную

а) Интерференция круглых цилиндров, стоек и лент. При расположении двух круглых цилиндров один за другим (тандем), возникает отрицательная интерференция. В этом случае лобовое сопротивление двух цилиндров меньше суммы сопротивлений изолированных цилиндров, кроме того лобовое сопротивление каждого цилиндра в присутствии другого меньше сопротивления изолированного цилиндра. На фиг. 116 приведены результаты испытания круглого цилиндра диам.  $d=11,5$  мм и длиной  $l=600$  мм в присутствии другого цилиндра та-

Профиль оперения

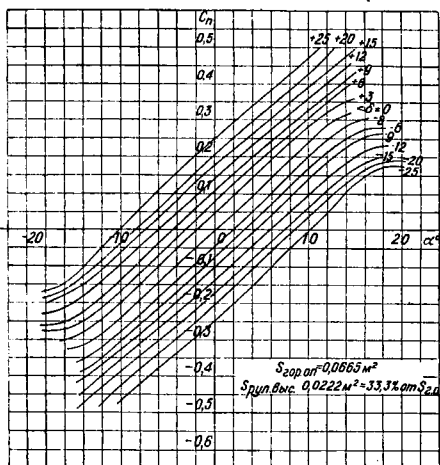


Фиг. 112.

кого же диаметра, но длиной  $l=1500$  мм. Опыты проводились в трубе НК-1 МАИ при числе Рейнольдса  $Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = 25000$  [21]. На фиг. 116 по оси ординат отложен коэф. лобового сопротивления  $C_x$ , а по оси абсцисс — расстояние между центрами цилиндров в диаметрах цилиндра, т. е.  $\Delta = \frac{a}{d}$ , где  $a$  — расстояние между центрами цилиндров. Пунктиром показана величина коэф-та лобового сопротивления изолированного цилиндра. Через  $C_x$  обозначен коэффициент сопротивления переднего цилиндра в присутствии заднего, а через  $C_x'$  коэф. заднего цилиндра в

присутствии переднего. Среднее значение, равное  $\frac{C_{x'} + C_{x''}}{2}$ , обозначено через  $C_{x0}$ . Уменьшение сопротивления переднего цилиндра в присутствии заднего объясняется подпором воздуха, вызванного задним цилиндром. Уменьшение сопротивления заднего цилиндра обуславливается тем, что задний цилиндр находится в аэродинамич.

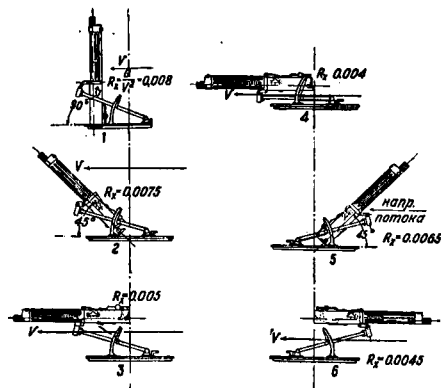
сноса  $\alpha^{\circ}$  [21]. Опыты проводились при трех расстояниях между осями цилиндров. При углах сноса, близких к  $90^{\circ}$ , лобовое сопротивление центрального цилиндра больше сопротивления



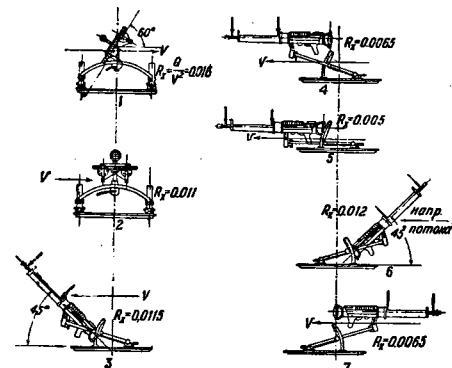
Фиг. 113.

тени, вызванной передним цилиндром. Отрицательное сопротивление заднего цилиндра при близких расстояниях цилиндров друг от друга вызывается подсасывающим эффектом разрежения, господствующего позади переднего цилиндра. Рассмотрение диаграмм кроме того показывает,

изолированного цилиндра ( $C_x$  изображен пунктиром), причем сопротивление тем больше, чем ближе друг к другу расположены цилиндры.

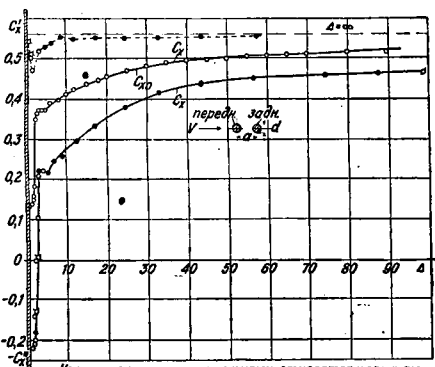


Фиг. 115.



Фиг. 114.

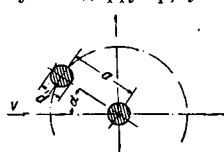
что по сравнению с задним цилиндром влияние переднего цилиндра интенсивнее и распространяется на значительно большее расстояние. Для учета лобового сопротивления концевых креплений на каждую пару круглых проволок следует прибавлять по 1 м. Учет наклона см. выше. На фиг. 117 приведена схема расположения цилиндров-тандем при угле сноса  $\alpha^{\circ}$ , а на фиг. 118 даны результаты испытаний. По оси ординат отложен коэф. лобового сопротивления центрального цилиндра, а по оси абсцисс — угол



Фиг. 116.

Увеличение сопротивления в этом случае объясняется тем, что при углах  $\alpha$ , близких к  $90^{\circ}$ , между цилиндрами образуется диффузор, увеличивающий обратные токи и интенсивность вихрей.

На фиг. 119 приведены результаты испытания в трубе НК-1 МАИ [22] двух спаренных симметричных стоек. Толщина каждой стойки равнялась 20% от хорды; в табл. 16 указаны координаты профиля испытанных стоек. На фиг. 119 приведена величина коэф-та  $C_x$  для каждой из спаренных стоек в зависимости от отношения  $\frac{h}{\sigma}$ , где  $h$  — расстояние между стойками,  $\sigma$  — ма-



Фиг. 117.

Табл. 16. — Координаты профиля стойки.

Абсцисса в % от хорды	Верхняя и нижняя ординаты в % от хорды	Абсцисса в % от хорды	Верхняя и нижняя ординаты в % от хорды
0,0	0,00	50,0	9,00
3,3	5,00	60,0	7,88
6,6	6,80	70,0	6,20
10,0	7,70	80,0	4,60
30,0	9,46	90,0	2,80
30,0	9,94	93,8	2,18
40,0	9,97	100,0	0,00

ксимальная толщина каждой стойки. Опыты проводились при двух значениях числа Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot b}{\nu}, \text{ где } b \text{ — глубина стойки.}$$

Рассмотрение диаграммы показывает, что по мере сближения стоек коэф. лобового сопротивления возрастает. Возрастание сопротивления объясняется вредным влиянием образующегося между стойками диффузора, вызывающего интенсивное вихреобразование. При  $\frac{h}{a} < 1,15$  коэф. лобового сопротивления начинает уменьшаться. Это явление обуславливается тем, что при весьма близких расположениях спаренных стоек они начинают обтекаться как одно целое и за миделевым сечением между стойками образуется мертвая зона, давления в которой равны давлению позади стоек.

Коэф. лобового сопротивления авиационных лент, расположенных тандем и под углом к потоку, м. б. определен путем умножения коэф-та лобового сопротивления изолированной ленты на поправочные коэф-ты, приведенные в табл. 17 [10].

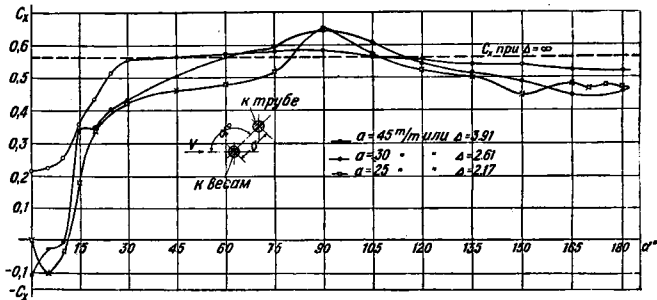
Табл. 17. — Относительное сопротивление чечвицеобразных лент, расположенных тандем.

Угол атаки $\alpha^\circ$	Расстояние между центрами чечвиц, выраженное в максимальных размерах сечения				Относит. сопротивление 2 лент в отдельности
	1	2	3	5	
0	0,50	0,86	0,84	0,95	1,00
5	0,69	0,92	0,93	0,97	1,05
10	0,96	1,12	1,63	1,06	1,20
15	1,51	1,12	1,08	1,00	1,69
20	1,11	1,02	1,06	1,02	3,21

Для учета сопротивления концевых креплений спаренных лент на каждую пару лент следует прибавлять по 1,2 м. Учет наклона см. выше.

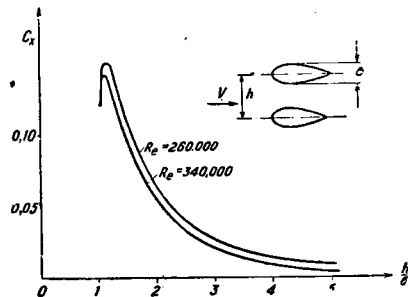
б) Интерференция крыла и фюзеляжа. Положительная интерференция крыла и фюзеляжа при неудачном сочетании этих элементов м. б. настолько велика, что приводит, как это было упомянуто выше, к значительному ухудшению ряда основных летных свойств самолета. На фиг. 120 приведена схематическая модель фюзеляжа, использованная Ower [23] (Национальная физическая лаборатория, Англия) для определения наилучшего расположения крыла относительно фюзеляжа. К модели фюзеляжа прикреплялись отрезки крыла профиля RAF-31. Различные положения отрезков крыла относительно фюзеляжа показаны на фиг. 121. Корне-

вые отрезки крыльев были прямоугольной формы, а «ложные» продолжения их прикреплялись к стенкам аэродинамич. трубы с сохранением небольшого зазора между корневыми отрезками и «ложными» крыльями. Такая установка была сделана с целью исключить влияние концов и создать условия обтекания плоско-параллельным потоком, соответствующие бесконечному размаху внешних частей крыла. Ось фюзеляжа устанавливалась по потоку, а угол атаки крыла равнялся нулю. Результаты испытаний приведены на фиг. 122. По оси ординат отложены значения подъемной силы  $P$  в кг и лобового сопротивления  $Q$  в кг фюзеляжа вместе с отсеками, а по оси абсцисс — расстояние крыла от оси



Фиг. 118.

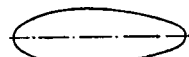
фюзеляжа в долях хорды крыла. Для ясности буквами отмечены положения крыла, указав-



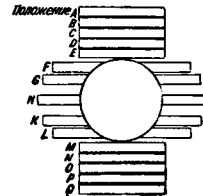
Фиг. 119.

ные на фиг. 121. Положительные значения по оси абсцисс соответствуют положению крыла под

осью фюзеляжа. Как видно из фиг. 122, наилучшим положением оказалось положение  $H$ , соответствующее помещению крыла посредине фюзеляжа. Наихудшим положением является поло-



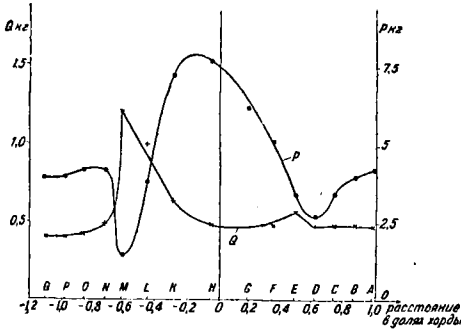
Фиг. 120.



Фиг. 121.

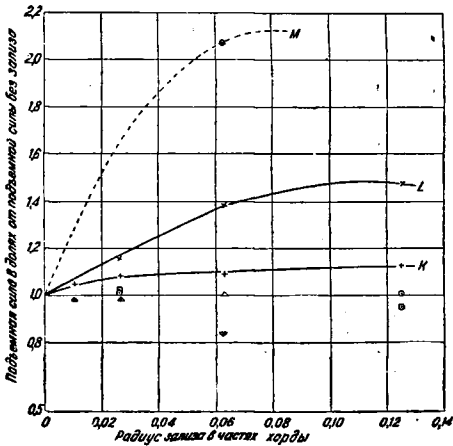
жение крыла под фюзеляжем (положение  $M$ ) с небольшим зазором между ними. Положение  $L$ , соответствующее самолету с нижним распо-

жением крыла, также является одним из наилучших. Дальнейшие опыты показали, что при нижнем расположении крыла положительное интерференционное сопротивление значительно возрастает по мере увеличения угла атаки. Рассмотренное явление положительной интерференции объясняется образованием диффузора между крылом и фюзеляжем в случае расположения крыла



Фиг. 122.

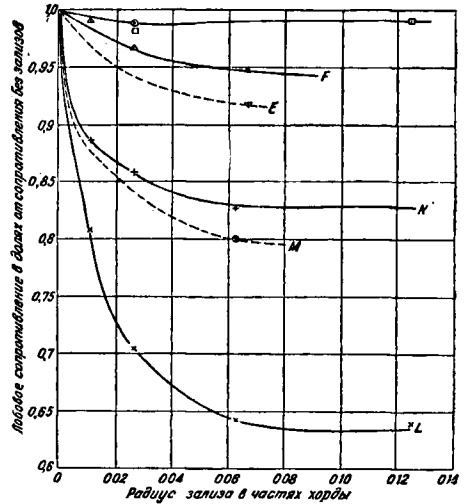
вблизи верхней или нижней поверхности фюзеляжа, что приводит к увеличению положительного градиента давления и следовательно способствует образованию вихрей в рассматриваемых местах и в результате приводит к срыву потока с поверхности крыла и фюзеляжа. Это явление особенно резко выражено при нижнем расположении крыла (положения *L* и *M*), т. к. в этом случае вызывающий срыв потока поло-



Фиг. 123.

жительный градиент на задней части верхней поверхности крыла еще усиливается диффузором, образующимся между крылом и фюзеляжем. Для устранения диффузора область между крылом и фюзеляжем закрывают обтекателем, называемым «зализом». Этим путем удается значительно уменьшить положительную интерференцию. а при удачной форме зализа свести ее к нулю. На фиг. 123 приведена зависимость между уве-

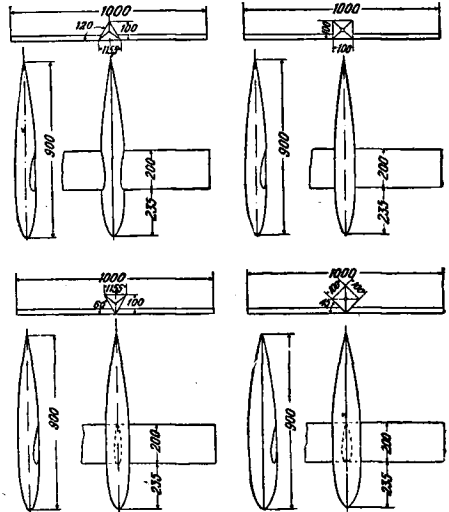
личением подъемной силы и радиусом зализа в долях хорды, а на фиг. 124 дана зависимость



Фиг. 124.

жду уменьшением лобового сопротивления и радиусом зализа. Наилучший радиус зализа по опытам Ower равен 6 — 8% от хорды крыла.

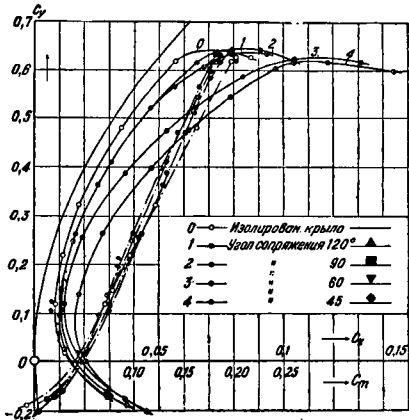
На фиг. 126 приведены результаты опытов, проведенных в Геттингенской аэродинамической лаборатории (Германия) [24, 25] с рядом схематич. моделей фюзеляжей, изображенных на фиг. 125.



Фиг. 125.

На фиг. 126 приведены поляры Лилиенталя изолированного крыла и крыла с четырьмя фюзеляжами, боковые поверхности которых составляли с верхней поверхностью крыла углы, равные 120°, 90°, 60° и 45°. При углах 120° и 90° положительная интерференция невелика, наоборот,

при острых углах, равных 60 и 45°, когда между верхней поверхностью крыла и фюзеляжем образуется диффузор, положительная интерференция намного больше, причем она растет с уменьшением угла между фюзеляжем и крылом и с увеличением угла атаки.

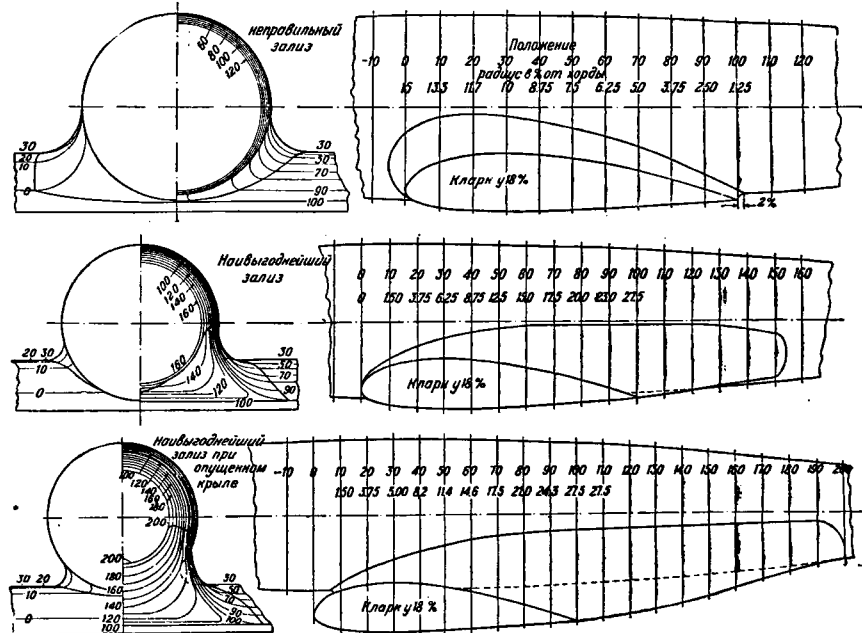


Фиг. 126.

Подробные опыты по изысканию наиболее выгодной формы зализа для нижнего расположения

положений крыла. Опыты проводились с моделью самолета «Нортроп альфа» в Аэродинамич. лаборатории Калифорнийского технологич. ин-та [26]. На фиг. 128 приведены полары Лиллестала и кривые  $C_y$  по  $\alpha^2$  для изолированного крыла, крыла с фюзеляжем без зализа, крыла с фюзеляжем при неправильном зализе и при наиболее выгодном зализе. Рассмотрение диаграммы показывает, что при наиболее выгодной форме зализа положительная интерференция отсутствует и лобовое сопротивление крыла увеличивается только на лобовое сопротивление фюзеляжа. Анализ радиусов кривизны в различных точках наиболее выгодного зализа показывает, что вблизи передней кромки радиус зализа равен 1,5% от хорды крыла, далее он возрастает; в области максимальной толщины радиус зализа равен 5—8% от хорды крыла, а вблизи задней кромки он достигает 27,5% от хорды. Часть зализа, расположенная за задней кромкой крыла, приподнята вверх и, постепенно уменьшаясь, плавно сходит на-нет. При таком зализе диффузорный эффект отсутствует. Зализ с большим радиусом кривизны вблизи передней кромки и с малым радиусом кривизны вблизи задней кромки дает неудовлетворительный результат, так как такой зализ не устраняет диффузорного эффекта.

с) Интерференция крыла и моторных гондол. На фиг. 129—131 показаны схемы различных положений моторной гондолы относительно крыла, а в табл. 18 приведены результаты испытаний в Аэродинамич. лаборатории в Фарнборо (Англия) [26]. Рассмотрение



Фиг. 127.

крыла были проведены в США [26, 27]. На фиг. 127 приведены формы неправильного зализа и двух наиболее выгодных зализов для двух

ние табл. 18 показывает, что наименее выгодным оказывается положение А моторной гондолы над крылом на расстоянии 0,62 ее диаметра.



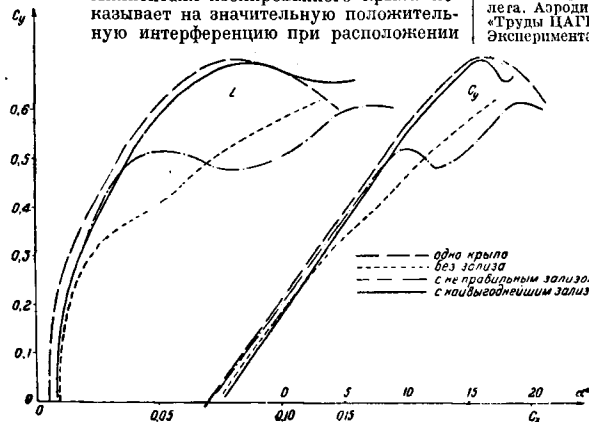
Наивыгоднейшим положением является положение В, когда носик gondoly находится на хорде крыла, а сама gondola помещается частично

К., Аэродинамич. исследования шасси самолетов и изолированных колес, там же, 196; 4) Чесалов А., Коэффициенты вредных сопротивлений при аэродинамич. расчете самолетов, там же, 193; 5) Кузнецов В., Поворотные тельные стропы, проволоки тандер и авиационных лент, там же, 1930, вып. 97; 6) Горский В., Аэродинамич. исследования горизонтальных оперений с комбинированными и без них, Аэродинамические исследования по оперению самолета, там же, 1930, вып. 49; 7) Румянцев А., Аэродинамич. исследования изолированных горизонтальных оперений, «Технич. заметки ЦАГИ», 1932, 1; 8) Румянцев А., Влияние геометрии параметров на аэродинамич. характеристики изолированных горизонтальных оперений, там же, 1929, 42; 9) Ведров В., Снос потока и стабилизатора. Материалы по аэродинамич. расчету самолетов, «Труды ЦАГИ», 1929, вып. 42; 10) Горский В., Влияние обдувки на фюзеляж и хвостовое оперение самолета П-2,

Табл. 18.—Отношение сопротивления изолированной моторной gondoly плюс интерференция к сопротивлению изолированной gondoly (профиль КАФ = 34,  $\alpha = 6^\circ$ , хорда  $b = 0,203$  м, скорость  $v = 18,3$  м/сек).

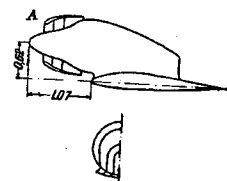
Фиг. и № нока	Абсцисса носика gondoly в диам. нока	Ординаты носика gondoly в диам. gondoly	Угол атаки $\alpha$							
			1°	2,6°	5,2°	6,3°	10,1°	14,4°	16,4°	18°
59 А	1,07	0,82	3,00	4,91	7,39	8,15	13,30	15,37	15,10	16,05
60 Б	1,07	0,33	1,16	1,58	1,99	2,16	6,53	13,00	13,54	23,95
61 В	1,07	0,00	0,84	0,89	0,83	0,89	1,63	3,96	15,76	26,10

над крылом, а частично под крылом. На фиг. 132 приведены соответствующие этим случаям поляры Лилиенталя. Сравнение их с полярой Лилиенталя изолированного крыла показывает на значительную положительную интерференцию при расположении



Фиг. 128.

моторной gondoly над крылом и на почти полное отсутствие положительной интерференции при расположении gondoly в крыле. Опыты, проведенные в большой трубе (диам. = 6,1 м) Аэродинамической лаборатории в Ланглейфилде (США) [21] с работающим винтом, подтверждают этот вывод. Из большого числа исследованных случаев наилучшим оказалось положение gondoly в крыле при расстоянии плоскости вращения винта от передней кромки крыла, равном 0,25% от хорды [23, 21].

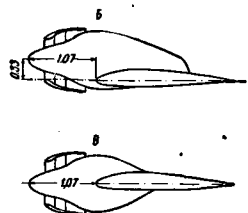


Фиг. 129.

Лит.: 1) Мартынов А., Применение обтекателей на моторах воздушного охлаждения для уменьшения лобового сопротивления фюзеляжей, «Техника воздушного флота», 1932, 4; 2) Румянцев А. Е., Атлас лобовых сопротивлений несущих частей самолета. Испытание фюзеляжей в лодон, «Труды ЦАГИ», 190; 3) Щербачев

«Технич. заметки ЦАГИ», 1932, 1; 11) Могилевский М. и Островский И., Исследование сноса потока у оперения самолета, «Технич. заметки ЦАГИ», 1930, 10; 12) Горский В., Исследование влияния фюзеляжа на горизонтальное оперение самолета. Аэродинамич. исследования по оперению самолета, «Труды ЦАГИ», 1930, вып. 49; 13) Журавченко А., Экспериментальные поправки на интерференцию фюзеляжа и оперения. Аэродинамические исследования по оперению самолета, там же, 1930, вып. 49; 14) Горский В., Подбор органов управления самолета, «Технич. заметки ЦАГИ», 1934, 34; 15) Кузнецов В., Аэродинамич. исследования цилиндров, «Труды ЦАГИ», 1931, вып. 98; 16) Федяевский К., Влияние расстояния между стойками на их лобовое сопротивление, «Техника воздушного флота», 1931, 4; 17) Muttгау Н., Исследование влияния фюзеляжа на крыло при верхнем положении фюзеляжа (реф. Ф. Гласса), «Техника воздушного флота», 1929, 7; 18) Румянцев А. Е., Взаимное влияние крыла и фюзеляжа, «Технич. заметки ЦАГИ», 1934, 37; 19) Резунов М., Влияние вальстрок на верхней поверхности крыла на его аэродинамич. характеристики, «Труды ЦАГИ», 1931, вып. 86; 20) Prace Instytutu Aerodynamicznego w Warszawie, Zeszyt 5, Warszawa, 1932; 21) Modellmessungen über die zweckmässigste Ausbildung der Sitzausschnitte in offenen Flugzeugen, «Bericht aus dem Aerodynamischen Institut der technischen Hochschule Aachen», Luftfahrtforschung, Мch.—В., 1924, В. 11, 3; 22) Weik F., Drag and Cooling with Various Forms of Cowling for a «Whirlwind», Radial Air-Cooled Engine-I, «Technical Report NACA», 313; 23) Weik F., Drag and Cooling with Various Forms of Cowling for a «Whirlwind», Radial Air-Cooled Engine-II, ibid., 314; 24) North J., Air-Cooled Engine Cowling, «Aircraft Engineering», 1934, April; 25) Green F., The Resistance of Air-Cooled Engines, «The Journal of the Royal Aeronautics Society», 1930, 238; 26) Ower E., Some Aspects of the Mutual Interference between Parts of Aircraft, «Aeronaut. Research Committee, Rep. and Mem.», 1932, 1480; 27) Muttгау Н., Versuche über die Ausbildung der Flügelwurzeln von Tiefdeckern, «Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen», Lig 4, 1932; 28) Klein A., Effect of Fillets on Wing-Fuselage Interference, «Transactions of the American Society of Mechanical Engineers», N. Y., 1934, v. 56,

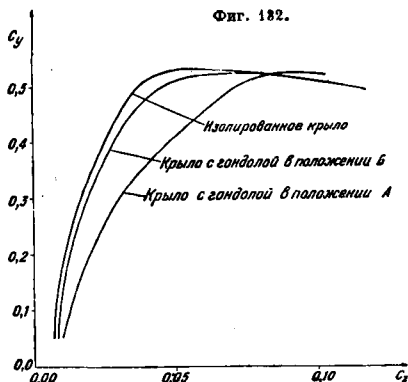
Drag and Cooling with Various Forms of Cowling for a «Whirlwind», Radial Air-Cooled Engine-I, «Technical Report NACA», 313; 23) Weik F., Drag and Cooling with Various Forms of Cowling for a «Whirlwind», Radial Air-Cooled Engine-II, ibid., 314; 24) North J., Air-Cooled Engine Cowling, «Aircraft Engineering», 1934, April; 25) Green F., The Resistance of Air-Cooled Engines, «The Journal of the Royal Aeronautics Society», 1930, 238; 26) Ower E., Some Aspects of the Mutual Interference between Parts of Aircraft, «Aeronaut. Research Committee, Rep. and Mem.», 1932, 1480; 27) Muttгау Н., Versuche über die Ausbildung der Flügelwurzeln von Tiefdeckern, «Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen», Lig 4, 1932; 28) Klein A., Effect of Fillets on Wing-Fuselage Interference, «Transactions of the American Society of Mechanical Engineers», N. Y., 1934, v. 56,



Фиг. 130 и 131.

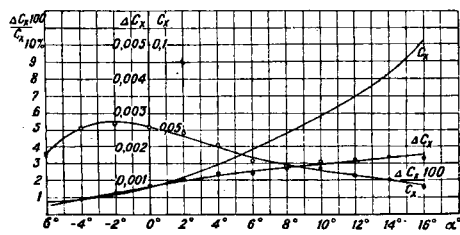
January, 1; 20) Manley J., Hood and White J., Wing-Scale Wind Tunnel Research on Tail Buffeting and Wing-Fuselage Interference of a Low-Wing Monoplane; 20) Hartschorn A., The Influence of a Fuselage on the Lift of a Monoplane, «Aeronautical Research

Фиг. 132.



Committee, Rep. a. Mem., 1344; 21) Perring W. and Callen C., Drag and Interference of a Nacelle when installed on the upper Surface of a Wing, Ibid., 1932, 1444; 22) Donald H. Wood, Tests of Nacelle Propeller Combinations in Various Positions with Reference to Wings, «Techn. Report NACA», 415. П. Красильников.

**Х. Точность аэродинамических исследований.** При повторных испытаниях одной и той же модели в аэродинамич. трубе всегда имеют место довольно заметные расхождения, причины к-рых, вообще говоря, весьма разнообразны и трудно устранимы. Оценка порядка величины этих расхождений имеет существенное значение, т. к.



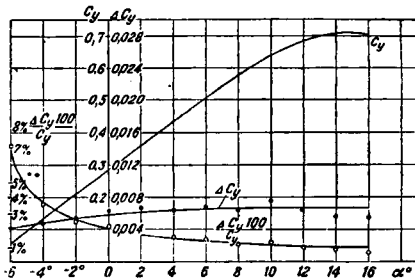
Фиг. 133.

результаты аэродинамических исследований кладутся в основу расчетов различных летательных аппаратов. В практике многих лабораторий принято оценивать точность эксперимента по результатам многократных испытаний т. н. эталонных крыльев. Обработка этих результатов по теории ошибок дает весьма наглядное представление о точности аэродинамич. исследований. Известно, что вероятнейшее значение некоторой величины равно среднему арифметическому из отдельных измерений, а порядок ошибки отдельного измерения м. б. характеризуван величиной  $\epsilon$ , т. н. «средней квадратич. ошибкой», вероятнейшее значение к-рой вычисляется по Ф-ле

$$\epsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}},$$

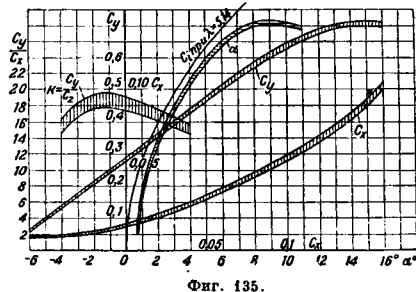
где  $x$  — величина среднего арифметического,  $\bar{x}$  — значение отдельного измерения,  $n$  — число всех измерений. Относительная средняя ошибка,

выраженная в процентах, равна  $\frac{\epsilon \cdot 100}{x}$ . В качестве типичного материала [1] приводим три диаграммы, относящиеся к испытаниям эталонного крыла в лаборатории Московского авиационного ин-та. На фиг. 133 приведены кривые относительных ( $100\Delta C_x / C_x$ ) и абсолютных ( $\Delta C_x$ ) ошибок в ф-ии угла атаки  $\alpha$  для коэф. лобового сопротивления  $C_x$ . На фиг. 134 аналогичные кривые даны



Фиг. 134.

для коэф-та подъемной силы  $C_y$ . Заштрихованные области на фиг. 135 построены т. о., что верхняя



Фиг. 135.

кривая каждой области соответствует значениям  $x + \epsilon$ , а нижняя кривая — значениям  $x - \epsilon$ . Вероятность того, что при отдельных испытаниях измеренные величины не выйдут за пределы заштрихованных областей, составляет 0,75.

Лит.: 1) Ушаков В., Повторные испытания металлических крыла в трубе НК-1, «Труды I Всесоюзной конференции по аэродинамике», М., 1932, стр. 28—32; Красильников П., О точности аэродинамич. испытаний, «Труды ЦАГИ», 1931, вып. 65; Кожевников А., Сравнительные испытания одного и того же металлического крыла и шара в аэродинамич. трубах СССР и за границей, «Труды I Всесоюзной конференции по аэродинамике», М., 1932, стр. 46—62; Баулин К., Обзор работ вышестоящей секции ЦАГИ, там же, М., 1932, стр. 113—120; «Ergebnisse der Aerodyn. Versuchsanstalt zu Göttingen», Lfg 1, p. 48—49. В. Ушаков.

**XI. Измерение скорости воздушного потока.**

а) Трубки Пито. Одним из наиболее простых и удобных приборов для измерения скорости воздушного потока является т. н. трубка Пито, при помощи которой можно определить разность между полным и статич. давлением в потоке, а из величины этой разности можно найти и значение скорости. В основе этого метода лежит ур-ие Бернулли, к-рое для воздуха (рассматриваемого как несжимаемая, невесомая и невязкая жидкость) м. б. представлено в виде

$$P_0 + \rho \frac{v_0^2}{2} = P_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = c, \quad (1)$$

т. е. другими словами: полное давление, равное сумме статич. и динамич. давления, остается постоянным вдоль линии течения. Если линия тока встречает препятствие, то скорость обращается в нуль, и давление, испытываемое этой точкой тела, будет равно полному давлению в потоке, т. е.

$$P_1 = P_0 + \rho \frac{v_0^2}{2}. \quad (2)$$

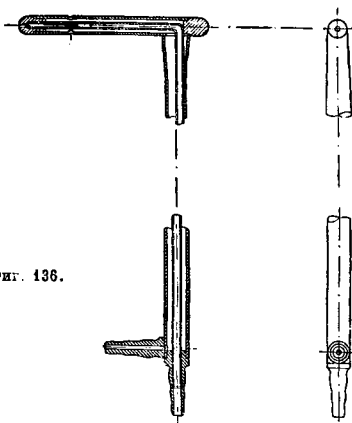
Отсюда

$$\rho \frac{v_0^2}{2} = P_1 - P_0 = h \quad (3)$$

и

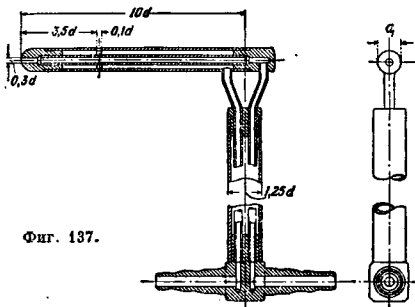
$$v_0 = \sqrt{\frac{2h}{\rho}}. \quad (4)$$

Т. о. если мы сможем найти разность  $h$  между полным и статич. давлением в потоке, то скорость  $v_0$  невозмущенного потока м. б. определена из ф-лы (4). Трубка Пито, различные типы которой представлены на фиг. 136—139, позволяет как-



Фиг. 136.

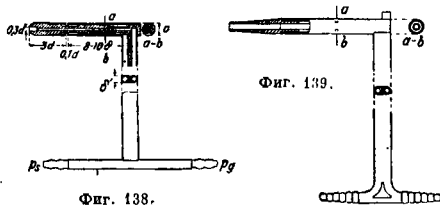
раз определить эту разность  $h$ : переднее ее отверстие, обращенное против направления потока, испытывает со стороны последнего полное давление, а отверстия в боковых ее стенках находятся под воздействием статического давления,



Фиг. 137.

т. к. скорость здесь направлена вдоль стенок и по величине весьма близка к скорости  $v_0$  невозмущенного потока. Соединив эти отверстия при помощи трубок с двумя концами жидкостного микроманометра, мы получим величину  $h$ , измеренную обычно в мм вод. ст., что очевидно со-

ответствует давлению, выраженному в кг/м<sup>2</sup>. Различные виды трубок [на фиг. 136—стандартная трубка Пито-ЦАГИ (1-й вариант) при  $d=2,4; 4, 6$  и  $8$  мм; на фиг. 137—стандартная трубка Пито-ЦАГИ (2-й вариант) при  $d=2,4; 4, 6$  и  $8$  мм; на фиг. 138—трубка Пито-Прандтля; на фиг. 139—трубка Пито-Браббэ (трубки этого типа при-



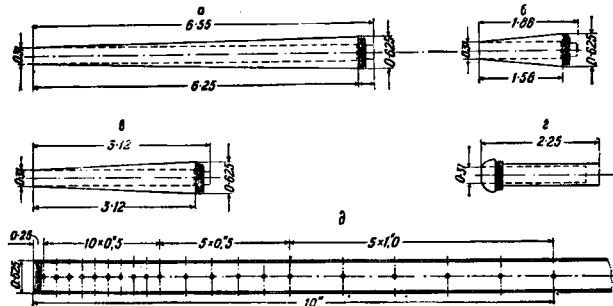
Фиг. 138.

Фиг. 139.

меняются в лабораториях Англии и США] отличаются в основном формой головки, положением отверстий статич. давления и расстоянием последних от державки. Полное давление измеряется трубкой Пито практически совершенно точно, и основная трудность заключается в правильном замере статического давления, так как неудачное положение отверстий статического давления и неправильно установленное расстояние державки могут существенным образом исказить результаты.

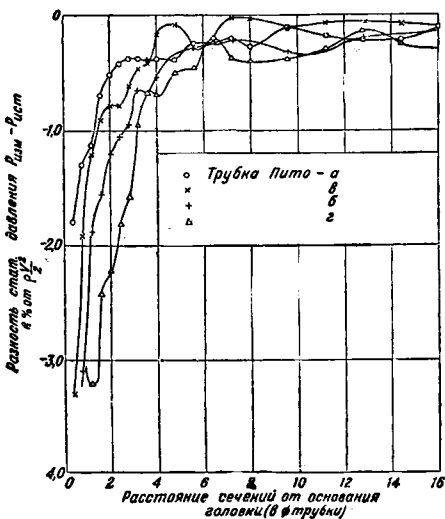
На фиг. 140 представлены 4 вида головок [8]: трех конических разной длины  $a, b, c$  и одной полусферической  $g$ , присоединившихся к полый дренированной трубке  $d$ . Так как головки были просверлены не насвободу, то в полости трубки господствовало то давление, под к-рым находились открытые для данного опыта отверстия (в каждом сечении их было 4). На фиг. 141 представлены распределения давления вдоль трубки для различных видов головок при отсутствии державки. По оси абсцисс отложены расстояния сечений от основания головки, выраженные в диаметрах трубки, а по оси ординат разности в процентах от скоростного напора между измеренным давлением у данного сечения и истинным статич. давлением в потоке  $P_{стат.} - P_{ист.}$ . Из диаграммы следует, что при желании наиболее правильно измерить статическое давление с помощью такой трубки без державки отверстия статич. давления должны находиться не ближе 6 diam. от основания головки независимо от формы последней. Но и в этом случае измеренное статич. давление будет меньше статич. давления в потоке примерно на 0,25% от скоростного напора. Присутствие державки однако существенно меняет дело, так как вносимый ею подпор повышает статич. давление у сечений. На фиг. 142 представлена кривая повышения давления у сечения, отстоящего на  $12D$  от основания головки, при различных расстояниях от него державки для трех типов головок. Форма головки и на этот раз не оказывает большого влияния, и существенное значение имеет только расстояние державки от отверстий статич. давления. Отсюда видно, что при правильном выборе положения державки пониженное против статического давление у данного сечения можно повысить как-раз до требуемой величины. В большинстве практич. трубок Пито эта задача решена вполне удовлетворительно. Тем не менее каждая из них нуждается в специальной тарировке для определения своего поправочного коэф-та, хотя он обычно и очень близок к единице.

Трубка Пито обладает довольно слабой чувствительностью к направлению потока [7], т. е. отпадает необходимость устанавливать ее строго



Фиг. 140.

по потоку. В некоторых случаях, при затруднительности определить действительное направление потока, это обстоятельство представляет серьезное преимущество. На фиг. 143 приведены для насадки типа Праудля три кривые, представляющие изменение полного напора  $p$ , статич.



Фиг. 141.

давления  $p_c$  и скоростного напора  $\left(\frac{\rho v^2}{2}\right)$  при отклонении оси трубки от направления потока. Полное давление и статич. давление при отклонении уменьшаются, но их разность, равная скоростному напору, остается почти постоянной в пределах  $\pm 2^\circ$ . Насадки с конич. головкой обладают несколько большей чувствительностью к направлению потока. Сжимаемость воздуха можно пренебрегать до скоростей порядка 70–100 м/сек, т. е. величина ошибки в определении скорости не превысит 1–2%. При скоростях выше 100 м/сек и скоростях выше скорости звука [3] необходимо применять особые ф-лы.

б) Измерение скорости в пульсирующем потоке [8]. Т. к. при помощи трубки Пито мы определяем среднюю величину скоростного напора, т. е. величину, пропорциональную квадрату скорости, то при измерении в пульсирующем (турбулентном) потоке мы можем найти среднее квадратическое, а не среднее арифметическое значение скорости. Т. к. среднее арифметическое всегда несколько меньше среднего квадратического, то для турбулентного потока мы получим всегда несколько преувеличенное значение скорости. По опытам Кумбруха [8] в сильно турбулизированном потоке поправочный коэф. к скоростному напору может измениться примерно на 4%, т. е. измеренное значение скорости может оказаться на 2% больше

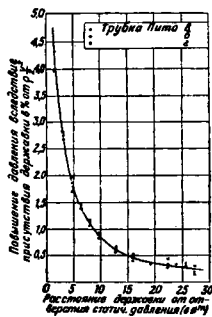
действительной средней ее величины. В аэродинамич. трубах степень турбулентности однако значительно меньше, и разница между средней скоростью, полученной с помощью трубки Пито, и действительной средней скоростью измеряется только долями процента и в расчет обычно не принимается.

с) Измерение малых скоростей [8]. Т. к. при стандартных условиях (давление 760 мм рт. ст. и  $t^\circ = 15^\circ$ )  $\rho = 0,125 \text{ кг-сек}^3/\text{м}^4$ , то из ф-лы (4) следует, что

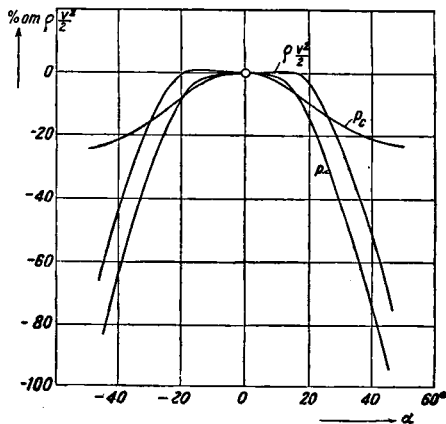
$$v_0 = \sqrt{16h} = 4\sqrt{h}. \quad (5)$$

Если  $h = 1 \text{ мм вод. ст.} = 1 \text{ кг/м}^2$ , то  $v_0 = 4 \text{ м/сек}$ .

Точное определение давления порядка 1 мм вод. ст. с помощью обычных микроманометров



Фиг. 142.



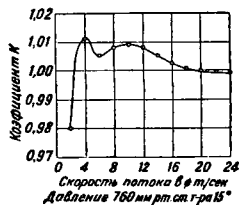
Фиг. 143.

крайне затруднительно, поэтому нижний предел надежного определения скорости потока с

помощью трубки Пито и обычного микроманометра ограничивается величинами порядка 8—10 м/ск. Но при применении специальных особо чувствительных микроманометров трубкой Пито можно измерить и очень малые скорости порядка 0,6 м/ск. Если в ур-ни

$$kh = \rho \frac{v^2}{2} \quad (6)$$

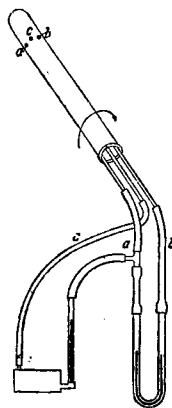
поправочный коэф.  $k$  при обычных скоростях потока постоянен и близок к единице, то при малых скоростях величина его заметно меняется. На фиг. 144 дана кривая значений коэф.  $k$  к стандартной



Фиг. 144.

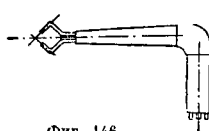
трубки Пито Национальной физич. лаборатории по опытам Ower, проводившимся в диапазоне скоростей 2—24 фт/ск. (0,61 ÷ 7,3 м/ск). Ограничиваясь скоростями от 4 фт/ск. и выше, видим, что изменение коэф.  $k$  равно примерно 1%. Пренебрегая этим изменением  $k$  и считая его равным значению  $k$  при обычных скоростях, мы сделаем ошибку в определении скорости не свыше 0,5—0,6%, чем в большинстве случаев можно пренебречь.

д) Определение направления скорости воздушного потока [1, 2, 3, 7, 9, 10]. В ряде случаев необходимо знать не только величину, но и направление скорости воздушного потока. Трубка Пито, как мы видели, для этой цели не пригодна, и вместо нее применяются особые насадки. На фиг. 145 представлен т. н. цилиндрич. насадок. У конца трубки в одном поперечном сечении сделаны три отверстия, схема соединений которых с манометрами дана на той же фигуре. Если отверстия  $a$  и  $b$  будут расположены симметрично относительно направления потока, то уровни в обоих коленях U-образного манометра будут стоять на одной высоте. Обычный микроманометр служит для измерения скоростного напора, причем величина поправочного коэффициента определяется из особой тарировки. Поворотом цилиндрич. насадка около его продольной оси можно всегда добиться совпадения уровней и определить угол, составляемый направлением потока с нек-рой фиксированной плоскостью. На фиг. 146 представлен т. н. английский насадок, принцип работы к-рого аналогичен указанным два насадка дают возможность определить только положение проекции вектора скорости на плоскости, перпендикулярной к оси насадка, то применяются еще т. н. пространственные насадки. Первый из них получается из английского насадка путем добавления второй пары согнутых трубочек, плоскость которых перпендикулярна к плоскости первой пары. Каждая пара трубок соединяется со своим U-образным манометром.

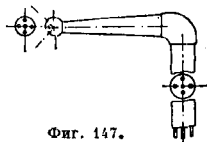


Фиг. 145.

Вращая насадок сначала около оси, перпендикулярной одной из этих плоскостей, а затем около другой, всегда можно добиться совпадения уровней в обоих U-образных манометрах. Зная углы поворота около каждой оси, можно найти действительное пространственное положение вектора скорости в данной точке. Аналогично протекает работа с шаровым насадком, схематич. вид к-рого приведен на фиг. 147.



Фиг. 146.



Фиг. 147.

е) Электрический метод измерения скорости потока [7, 8, 9, 11]. За последнее время электрический метод измерения скорости воздушного потока (т. наз. термоанемометрия) получил широкое распространение в практич. работе аэродинамич. лабораторий, особенно заграничных. Этот метод основан на изменении электрич. сопротивления нагретой тонкой проволоки при охлаждении ее потоком воздуха. Материалом для проволоки служат платина или никель благодаря их химич. инертности к атмосферным условиям даже при высокой  $t^\circ$ . Кроме того электрич. сопротивление платины и никеля сильно зависит от  $t^\circ$ , что в данном случае и требуется. Т. к. платина допускает нагрев до более высокой  $t^\circ$ , то применение ее предпочтительнее. Типич. форма насадка приведена на фиг. 148:  $a$  — тонкая платиновая нить (диам. 0,01—0,1 мм, длина 2—30 мм);  $b$  и  $c$  — манганиновые державки, укрепленные на эбонитовой подставке  $e$ . Подставки вделаны в металлч. трубку  $d$ , внутри которой идут провода  $e$  от державок  $b$  и  $c$ . Тщательность контактов между проволокой  $a$  и державками  $b$  и  $c$  имеет крайне существенное значение. Рекомендуется применять здесь сварку, а не пайку. Проволоку  $a$  можно устанавливать или перпендикулярно или параллельно направлению потока. Измерение скорости потока можно делать при помощи самых разнообразных электрич. схем, из к-рых приведем две наиболее типичные.

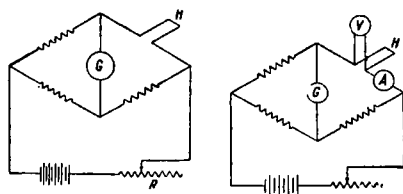


Фиг. 148.

1) Метод постоянной напряженности (фиг. 149). Насадок  $H$  является одним из плеч мостика Уитстона. При отсутствии потока сила тока регулируется реостатом  $R$  так, чтобы гальванометр  $G$  находился на нуле. При набегании потока проволока начнет охлаждаться, и равновесие мостика нарушится. Стрелка гальванометра отклонится тем больше, чем больше охладится проволока, т. е. чем больше скорость потока. Т. о. по отклонению стрелки гальванометра можно найти скорость потока. Этот способ пригоден только для очень малых скоростей (от нескольких см/ск до 4—5 м/ск), т. к. при дальнейшем повышении скорости потока охлаждение проволоки почти не увеличивается, а следовательно и сопротивление ее почти не меняется. Тарировку этого насадка лучше всего делать на ротативной машине.

2) Метод постоянной температуры в нити (фиг. 150). Измеряемый диапазон скоростей для этого метода составляет примерно от 0,5 до 10—12 м/ск. Стрелка гальванометра  $G$

должна все время в потоке и без потока стоять на нуле, что достигается соответствующей регулировкой силы тока, нагревающей нить. Равновесие мостика очевидно возможно только в том



Фиг. 149.

Фиг. 150.

случае, если сопротивление нити, а следовательно и ее  $t^0$  будут оставаться постоянными. Величина сопротивлений в остальных плечах мостика меняться при этом не будет, т. к. все сопротивления делаются из манганина, температурный коэф. которого практически равен нулю. Скорость потока можно представить или в функции показаний амперметра  $A$  или вольтметра  $V$ . Если скорость потока превысит 12 м/сек, то количество тепла, теряемого проволокой, будет расти крайне медленно, и увеличивать силу тока в мостике для сохранения его равновесия почти не потребуется. Т. о. точность измерения скорости при повышении ее быстро падает, а скорости, превышающие 12 м/сек, оказываются практически неопределимыми. При некоторых видоизменениях этой схемы (а также в некоторых других схемах) можно однако добиться почти прямой тарировочной кривой, допускающей измерение скоростей потока до величин порядка 50—70 м/сек. Комбинированные насадки, состоящие из нескольких проволок, позволяют наряду с величиной скорости определить и ее направление. Основное преимущество метода термометрии заключается в почти полной его безинерционности при малом диам. нити. Это свойство позволяет применять термонасадки для изучения пульсаций скорости потока. Т. к. размеры насадки м. б. очень малы, то становится возможным самое детальное исследование структуры потока [12, 13, 14, 15, 16].

Лит.: 1) Юрьев В. и Лесникова Н., Аэродинамич. исследования, «Труды ЦАГИ», М., 1928, вып. 33; 2) Красноперов Е., Экспериментальная аэродинамика, ч. 1, М., 1930; 3) Александров В., Технич. гидроаэродинамика, М.—Л., 1932; 4) Онуфьев, Шадрин и Веницелл, Вещная баллистика, Л., 1933; 5) Bairstow L., Applied Aerodynamics, L., 1920; 6) Kumbuch H., Messung strömender Luft mittels Staegeräten, «Forschungsarbeiten auf d. Gebiete des Ingenieurwesens», В., 1921, Н. 240; 7) Prandtl-Tietjens, Hydro-u. Aeromechanik, В. 2, В., 1931; 8) Ower F., Measurement of Air Flow, L., 1933; 9) Hndb. d. Experimentalphysik, hrsg. v. W. Wien u. F. Harms, В. 4, Т. 1, Hydro-u. Aerodynamik, Lpz., 1931; 10) Вилкоу, Килл J., Technika laboratorijna pomiarow aerodynamicznych, Warszawa, 1933; 11) Ulsamer J., Die Grundlagen der Messung der Geschwindigkeit nach Grösse u. Richtung mit d. Hitzdrahtinstrument, «Forschungsarbeiten auf d. Gebiete des Ingenieurwesens», 1933, 3; 12) Ziegler M., The Application of the Hot-Wire Anemometer for the Investigation of the Turbulence of an Airstream, «Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch.», Amsterdam, v. 33 (1930), p. 723; 13) Ziegler M., A Complete Arrangement for the Investigation, the Measurement and Recording of Rapid Air-Speed Fluctuations with very Thin and Short Hot Wires, v. 34 (1931), p. 663; 14) Dryden H. A. Kuethe A., The Measurement of Fluctuations of Air-Speed by the Hot-Wire Anemometer, «T. Rep. NACA», 320; 15) Dryden H. A. Kuethe A., Effect of Turbulence in Wind Tunnel Measurement, Ibid., 348; 16) Mock W. A. Dryden H., Improved Apparatus for the Measurement of Fluctuations of Air Speed in Turbulence Flow, Ibid., 448. В. Ушаков.

ХII. Международная стандартная атмосфера [1, 2, 3]. Необходимость унификации изменчивых атмосферных условий для возможности сравнения результатов испытаний летательных аппаратов с расчетами и сравнения различных аэродинамич. расчетов между собой привела к созданию т. н. международной стандартной атмосферы, в которой изменения по высоте давления, плотности и  $t^0$  подчинены вполне определенным соотношениям, близким к средним действительным величинам. Для уровня моря приняты следующие начальные данные:  $t^0 = 15^{\circ}$ , температура абсолютная  $T^0 = 288^{\circ}$ , давление  $p_0 = 760$  мм Hg = 10 332,276 кг/м<sup>2</sup>, весовая плотность воздуха  $\gamma_0 = 1,2255$  кг/м<sup>3</sup>, плотность воздуха  $\rho_0 = \frac{\gamma_0}{g} = 0,1250$  кг·сек<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>. Воздух считается сухим, совершенным газом, для которого действительно уравнение Клапейрона. Газовая постоянная  $R = 29,2708$ . До высоты  $z = 11\,000$  м\* изменение  $t^0$  происходит по следующему закону:

$$t_z = t_0 - a \cdot z \quad (1)$$

или

$$T_z = T_0 - a \cdot z. \quad (2)$$

Значение градиента  $a$  равно 0,0065 °C/м. Начиная с 11 000 м и выше,  $t^0$  считается постоянной и равной  $-56,5^{\circ}$ . Из ур-я Клапейрона следует, что

$$p = R\gamma T = Rg\gamma T$$

или

$$\frac{p_z}{p_0} = \frac{\gamma_z}{\gamma_0} \cdot \frac{T_z}{T_0} = \frac{e_z}{e_0} \cdot \frac{T_z}{T_0}, \quad (3)$$

откуда

$$\gamma_z = \frac{T_0 \cdot \gamma_0}{T_z} \cdot \frac{p_z}{p_0} = 0,03416 \frac{p_z}{T_z}. \quad (4)$$

Если давление  $p_z$  выражено в мм Hg, то

$$\gamma_z = 0,4644 \frac{p_z \text{ мм Hg}}{T_z}. \quad (5)$$

Изменение давления и плотности от  $z = 0$  до  $z = 11\,000$  м происходит по ф-лам Бьернесса:

$$\frac{p_z}{p_0} = \left(1 - \frac{a}{T_0} z\right)^{5,256} = \left(1 - \frac{z}{44\,300}\right)^{5,256} \quad (6)$$

$$\frac{\gamma_z}{\gamma_0} = \frac{e_z}{e_0} = \left(1 - \frac{a}{T_0} z\right)^{4,256} = \left(1 - \frac{z}{44\,300}\right)^{4,256}; \quad (7)$$

из ф-лы (7) получаем

$$z = \frac{T_0}{a} \left[1 - \left(\frac{\gamma_z}{\gamma_0}\right)^{0,233}\right].$$

или

$$z = 44\,300 - 42\,230 \gamma_z^{0,233} \quad (8)$$

Приведение данных испытаний к условиям стандартной атмосферы делается след. обр.: по измеренным значениям  $p_z$  и  $T_z$  по ф-ле (4) или (5) определяют  $\gamma_z$ , а из ф-лы (8) находят соответствующее значение высоты  $z$  в стандартной атмосфере. Приращение высоты  $\Delta z$  при уменьшении давления на величину  $\Delta p = p_1 - p_2$  выражается следующим соотношением

$$\Delta z = - \frac{13,59 \Delta p \text{ мм Hg}}{\gamma_m} \quad (9)$$

где  $\gamma_m$  — среднее значение плотности между давлениями  $p_1$  и  $p_2$ . От высоты 11 000 м и выше закон изменения плотности и давления одинаков и соответствует ф-ле Галлея:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{e_2}{e_1} = e^{-\frac{z - 11\,000}{8\,340}} \quad (10)$$

Численные значения международной стандартной атмосферы через 1 000 м от  $z = -1\,000$  м до  $z = 15\,000$  м приведены в табл. 19.

\* Для стандартной атмосферы, принятой в США, эта высота равна 10 769 м. В соответствии с этим предельная  $t^0$  равна не  $-56,5^{\circ}$  а  $-55^{\circ}$  (см. ниже).

Табл. 19. — Международная стандартная атмосфера.

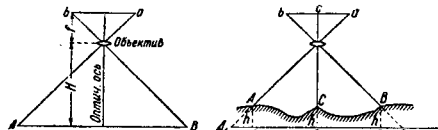
z в м	t <sub>z</sub> в °C	T <sub>z</sub> в °C	T <sub>z</sub> в °F	p <sub>z</sub> в Па	ρ <sub>z</sub> в кг/м <sup>3</sup>	σ <sub>z</sub> в г/см <sup>3</sup>	ρ в мм Hg	ε = $\frac{\gamma}{\rho}$	γ в кг/м <sup>3</sup>
-1 000	21,5	294,5	1,028	1,124	1,100	854,6	0,137	1,348	
0	15,0	288,0	1,000	1,000	1,000	760,0	0,125	1,226	
1 000	8,5	281,5	0,978	0,887	0,907	674,1	0,113	1,112	
2 000	2,0	275,0	0,955	0,755	0,842	596,2	0,103	1,007	
3 000	-4,5	268,5	0,932	0,692	0,742	525,8	0,093	0,909	
4 000	-11,0	262,0	0,910	0,630	0,659	462,3	0,084	0,819	
5 000	-17,5	255,5	0,887	0,583	0,601	405,1	0,075	0,736	
6 000	-24,0	249,0	0,865	0,466	0,538	358,8	0,067	0,660	
7 000	-30,5	242,5	0,842	0,405	0,481	307,9	0,060	0,590	
8 000	-37,0	236,0	0,820	0,351	0,429	266,9	0,054	0,525	
9 000	-43,5	229,5	0,797	0,303	0,381	230,5	0,048	0,466	
10 000	-50,0	223,0	0,774	0,261	0,337	193,2	0,042	0,412	
11 000	-56,5	216,5	0,752	0,223	0,297	169,4	0,037	0,364	
12 000	-56,5	216,5	0,752	0,190	0,255	144,6	0,032	0,310	
13 000	-56,5	216,5	0,752	0,163	0,217	123,7	0,027	0,265	
14 000	-56,5	216,5	0,752	0,139	0,185	105,6	0,027	0,227	
15 000	-56,5	216,5	0,752	0,119	0,158	90,1	0,020	0,194	

z — высота в м; t<sub>z</sub> — темп-ра на высоте z в °C; T<sub>z</sub> — абс. темп-ра на высоте z в °C; T<sub>0</sub> — абс. темп-ра на земле (0 м); p<sub>z</sub> — давление воздуха на высоте z; p<sub>0</sub> — давление воздуха на земле (0 м); ε<sub>z</sub> — массовая плотность воздуха на высоте z; ε<sub>0</sub> — массовая плотность воздуха на высоте 0 м; γ — весовая плотность воздуха.

ставляет собой плоскость (фиг. 1). Как показывает фиг. 1, в этом случае изображение на аэроснимке *ab* будет подобно очертаниям участка снимаемой местности *AB*. Масштаб аэроснимка в данном случае во всех своих частях будет выдержан, т. е. аэроснимок будет представлять собой, при ориентировании его по странам света, план местности. В данном случае масштаб съемки выразится:

$$\frac{f}{m} = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H},$$

где *f* — фокусное расстояние объектива, а *H* — высота полета. Так, при фокусном расстоянии объектива *f* = 21 см и высоте полета 2 100 м масштаб съемки будет  $\frac{1}{m} = \frac{1}{10\,000}$ . В большинстве случаев конечно таких условий *A.* не бывает.



Фиг. 1 и 2.

На практике местность фотографируется при наклонном положении оптики, оси объектива и при некотором угле крена самолета; кроме того местность не представляет собой плоскости, а имеет нек-рый рельеф. Теория перспективы указывает, что при наличии угла наклона оптики, оси объектива и при отсутствии крена самолета участок земли, имеющий прямоугольную форму, будет изображаться на аэроснимке в виде трапеции, боковые стороны которой будут растянуты по направлению линии съемки, т. е. в этом случае (при перспективной съемке) масштаб аэроснимка является величиной переменной за исключением направлений, параллельных главной горизонтали снимка (горизонтальная прямая на аэроснимке, проходящая через точку пересечения оптики, оси объектива с аэроснимком). При наличии крена самолета явление искажения аэроснимка будет еще сложнее. Для того чтобы при наличии этих двух условий привести каждый снимок к одному масштабу во всех частях, производится трансформирование аэроснимков с помощью специально устроенного прибора — трансформатора. Кроне наклона оптики, оси объектива и крена самолета каждый аэроснимок искажается и вследствие рельефа местности. На фиг. 2 показано, что аэрофотокамера запечатлевает на пластинке действительные точки земной поверхности *A* и *B*, а не их ортогональные проекции *A*<sub>0</sub> и *B*<sub>0</sub>, и чем больше высота *h* точки над уровнем поверхности, тем больше сдвиг изображения каждой точки земной поверхности на аэроснимке от ее истинного положения в проекции. Борьба с этим явлением в контурной *A.* сводится к использованию лишь ограниченного участка снимка близ его центра; в высотном-стереоскопич. *A.* этот вид искажения совершенно устраняется. Т. о. для того чтобы получить плановый аэрофотоаэрометрический материал, необходимо фотографировать местность, обработать аэроснимки надлежащим образом (трансформировать), геодезически их ориентировать и смонтировать из них планшеты-фотопланы (см. *Фотоплан*) в общепринятых рамках международной разграфки. В соответствии с такой программой весь сложный аэро-

*Лит.*: Чесалов А., Международная стандартная атмосфера и приведение к ней результатов полетных испытаний самолетов, «Труды ЦАГИ», вып. 42, стр. 161—173; Сборн. «Самолетостроение», М., 1931, стр. 53—57; Diehl W., Engineering Aerodynamics, p. 267—273, N. Y., 1928; Technical Report of the National Advisory Committee for Aeronautics, 218; Standard Atmosphere Tables and Data, Wash., 1925. В. Ушаков.

**АЭРОФОТОСЪЕМКА**, метод съемки подробностей местности путем фотографирования ее с самолета и последующей обработки полученных фотоснимков для перехода к их ортогональной проекции.

Если в результате всей работы получается план местности без выражения рельефа горизонталями, то весь процесс *A.* называется контурной *A.*; если получается план с рельефом, выраженным горизонталями помощью применения стереоскопической модели местности, то имеем дело с высотностереоскопической *A.*; если нанесение рельефа производится обычным путем наземной съемки по готовому аэрофотоаэрометрическому материалу контурной *A.*, то *A.* называется контурно-комбинированной. Высотно-стереоскопич. *A.* в настоящее время находится еще в стадии опыта, вынесенного уже из лаборатории в поле, и широкого применения в производстве СССР пока не имеет. Контурно-комбинированная *A.* широко применяется взамен и земной топографической съемки. Фотографирование с самолета м. б. произведено или при отвесном положении оптики, оси объектива или при наклонном. В первом случае имеем дело с плановой *A.*, во втором с перспективной *A.* Как та, так и другая *A.* широко применяются в настоящее время в производстве. *A.* по существу своему дает проекцию снимаемого участка земной поверхности на некоторую плоскость с нек-рой точки пространства, имеющей над землей более или менее значительное превышение. Участок земли, имеющий определенную форму, изобразится в проекции (на пластинке) в подобной форме во всех своих частях только в том случае, если оптич. ось объектива в момент воспроизведения снимка была отвесна, если угол крена самолета был равен нулю и если поверхность снимаемого участка пред-

фотосъемочный процесс разделяется на ряд самостоятельных технических частей процессов, пронизывающих друг друга общностью работы и стремлением достичь получения фотоплана геодезической точности. Такими процессами являются: летно-съемочный (аэросъемочный) процесс, имеющий своей целью получить с самолета аэроснимки данной части земной поверхности; геодезический процесс, ставящий своими задачами ориентировать аэроснимки по геодезическим данным, нанести рельеф на аэроснимки и создать достаточную геодезическую основу для обработки аэрофотоснимков; фотограмметрический аэриальный процесс, целью которого является обработка аэросъемочного материала для сообщения ему геодезической точности с достижением одного и того же определенного масштаба; фотографический процесс, являющийся по своему значению в общем аэрофотосъемочном процессе самостоятельным, но обслуживающим предшествующие процессы: при обработке заснятых с самолета фильмов, при печатании с негативов контактных отпечатков, при получении трансформированных снимков и при изготовлении репродукции с готовых планшетов-фотопланов. В силу самодовлеющего значения каждого упомянутого частного процесса в сложном аэрофотосъемочном процессе во главе каждого производственного сектора данного процесса должен стоять особый специалист, во всей полноте отвечающий за ход и результаты специальных работ данного процесса во всем производстве. Работа всех частных процессов при А. данного определенного участка земной поверхности по заданию должна объединяться общим начальником аэрофотосъемочной партии, к-рой является ответственным за качество как промежуточной, так и окончательной продукции аэрофотосъемочных работ по А. данного района. Только при такой организации возможно достичь высоких по качеству и получаемых своевременно результатов аэрофотосъемочных работ.

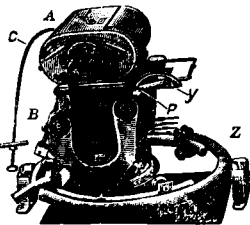
**Контурно-комбинированная А.** Перед исполнением работ летно-съемочного процесса составляют летную карту, которая по своему существу представляет обновленную топографическую карту, на к-рой выделены (подняты) ориентировочные предметы, т. е. такие, которые м. б. хорошо видимы с самолета. На летной карте намечаются маршруты полетов с таким расчетом, чтобы каждый последующий маршрут перекрывал предшествующий на нек-рый процент площади аэроснимка; это перекрытие называется поперечным перекрытием. Летная карта с маршрутами тщательно изучается летчиком и аэросъемщиком.

Летно-съемочный процесс. Имея летную карту, летчик на самолете с установленным на нем фотоаппаратом набирает требуемую масштабам аэросъемки высоту, после чего он воспроизводит в воздухе полет по намеченным маршрутам в то время, как находящийся в кабине аэросъемщик производит аэросъемку местности аэрофотоаппаратом-автоматом. В каждом маршруте произведенный аэроснимок перекрывает предшествующий снимок на нек-рый процент площади аэроснимка (продольное перекрытие). Процент поперечного и продольного перекрытий дается с таким расчетом, чтобы можно было произвести последующую обработку аэроснимков. Процент продольного и поперечного перекрытий колеблется в преде-

лах 25—60%. Имеются разнообразные системы аэрофотоаппаратов (см. *Фотографический аппарат*, Ф. а. в геодезии). Для примера на фиг. 3 дана схема аэрофотоаппарата автомата Цейсса РМК.

Основными частями фотоаппарата РМК служат камера В, кассета А и трубчатая установка Z. Камера снабжена объективом Tessar с фокусным расстоянием 18 см и секторным затвором. При помощи специального приспособления скорость движения затвора можно изменять в пределах  $\frac{1}{80} \div \frac{1}{250}$  сек., что дает возможность вести А. с совершенно определенным процентом продольного перекрытия аэроснимков. Кассета заряжается пленкой на 460 снимков размером 13×18 см. Она снабжена металлич. пластиной, по всей поверхности к-рой имеются узкие отверстия; во время воспроизведения каждого аэроснимка пленка через эти отверстия присасывается к плоской поверхности пластинки. После воспроизведения каждого аэроснимка присасывание прекращается и освободившаяся пленка перематывается с одного ролика на другой на величину одного аэроснимка. Работа присасывающего и перематывающего механизмов строго согласована с работой затвора, и при этом все описанные действия производятся автоматически. Система амортизации совершенно устраняет влияние вибраций самолета, происходящих от действия винтомоторной группы, на работу аэрофотоаппарата. Возможность вращения камеры около вертикальной оси и методы наблюдения за работой аэрофотоаппарата совершенно устраняют возможность дегенерации и зигзагообразного перекрытия аэроснимков. В последней модели аэрофотоаппарата РМК-11 является возможным менять конусы вместе с объективом и затвором. Смена конусов производится очень легко, при этом все качества точной юстировки аппарата сохраняются. В комплекте аэрофотоаппарата имеются четыре конуса с объективами в 13,5; 21; 30 и 50 см.

Производительный эффект А. для примера виден из следующего расчета времени, необходимого для заснятия площади в 5 000 км<sup>2</sup> в масштабе 1/10 000. Покрываемая одним снимком площадь на местности равна площади аэроснимка, умноженной на квадрат знаменателя численного масштаба:  $Q = qm^2$ . Принимая во внимание площадь одного аэроснимка  $q = 13 \times 18 = 234 \text{ см}^2$ , получим на местности площадь аэрофотоснимка:  $Q = 234 \cdot 10^8 = 2,34 \text{ км}^2$ . Предположим, что полезная площадь использования аэроснимка равна  $\frac{2}{3}$  его, т. е. 80 ea, получим необходимое количество снимков на покрытие всей площади 5 000 км<sup>2</sup>,  $n = \frac{P}{q} = \frac{500000}{80} = 6250$  снимков. В один полет самолета продолжительность в 4 часа можно заснять 600—800 снимков; откуда получаем, что для заснятия 5 000 км<sup>2</sup> в масштабе 1/10 000 необходимо ок. 10 летных часов. Таков производственно-количественный эффект А. Во время полета летчик должен стремиться к тому, чтобы высота полета самолета не колебалась, чтобы вел к лучшему соблюдению постоянства масштаба А., чтобы крен самолета был наименьший, чтобы вел к приближению оптич. оси объектива



Фиг. 3.

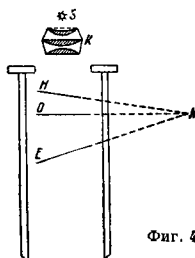


и вертикальному ее положению, и чтобы самолет по возможности точно летел по намеченным линиям проектированных маршрутов, что ведет к исключению возможности прорывов (дыр) в сплошном покрытии снимаемой части земной поверхности. После каждого аэроэмоного полета фильм тотчас же проявляется, сушится и с него печатаются контактные отпечатки, которые нумеруются соответствующим образом. Лето-съемочный процесс заканчивается составлением на кидного монтажа из полученных аэроснимков; для этого аэроснимки начинают на вертикальный щит в том последовательном порядке, как они воспроизводились в воздухе, по общим точкам, имеющимся на них в местах продольного и поперечного перекрытий. Накладной монтаж имеет своим назначением удостовериться в том, что нет никаких прорывов (дыр) в покрытии аэроэмоной и что заданное перекрытие всюду соблюдено; в случае обнаружения дыр или недостаточного перекрытия аэроэмонику дается задание на покрытие их в ближайший следующий полет.

Геодзический процесс. Контактные отпечатки содержат целый ряд искажений, происходящих вследствие изменения высоты полета, существующего крена самолета во время съемки, рельефа местности. План местности можно получить из аэрофотоснимков только после предварительных геодзических (геодзический процесс) и оптико-механических (фотограмметрич. процесс) действий. Если снимаемая местность совершенно не обеспечена геодзич. основой (триангуляцией), то создается изолированная сеть II класса с последующим заполнением ее пунктами III класса. Обыкновенно эти чисто геодзич. действия производят перед А. После лето-съемочного процесса точки геодзич. основы опознаются на аэроснимках. В виду того что пункты III класса отстоят друг от друга на расстояниях 6—8 км, сеть III класса сгущают до пределов, необходимых для принятию в данном случае системы фотограмметрич. работ. Необходимо иметь при трансформировании по четыре геодзич. точки на каждый трансформируемый аэроснимок. Если их нехватает, то на местности выбирают дополнительные фотограмметрич. точки, к-рые привязываются к пунктам геодзич. основы элементарными геодзич. приемами: теодолитными ходами, увязываемыми между геодзич. пунктами, прямыми и обратными засечками теодолита или графической — на мезуле. Фотограмметрич. точки выбирают на местности такие, к-рые легко опознать на аэроснимке. Параллельно, руководствуясь имеющимися контактными отпечатками, выбирают на местности дополнительные точки, необходимые для последующей работы по нанесению рельефа. Эти точки также привязываются к точкам геодзической основы — в плане и по высоте. Заключительным действием геодзич. процесса является нанесение рельефа местности в горизонталях на репродукции законченного планшета-фотоплана. При нанесении рельефа руководствуются имеющимися на планшете-фотоплане точками с высотными отметками; фототени помогают разбираться в формах рельефа; в случае необходимости в нек-рых точках стояния берутся дополнительные реечные высотные точки в наиболее затруднительных местах. Опыт показывает, что нанесение рельефа на готовые планшеты-фотопланы происходит в 4—5 раз скорее, чем при мезульной инструментальной съемке. В нек-рых слу-

чаях горизонтали наносятся на контактные отпечатки.

Фотограмметрический процесс. Для придания аэроэмоному материалу значения планового материала определенного масштаба производится трансформирование аэроснимков. Для целей трансформирования служат проекционные оптические приборы — трансформаторы. Сущность трансформирования заключается в том, что негативы с наколками на них точками геодзич. основы и фотограмметрич. точками поодиночке вкладываются в фонарь трансформатора и через них пропускают сильный свет, падающий на экран трансформатора, на котором положен планшет (или выкопировка из него) с нанесенными точками геодзич. основы и фотограмметрич. точками (см. *Фототрансформирование*). Движением частей трансформатора изображения наколов геодзических и фотограмметрических точек на негативе совмещаются с соответствующими точками на планшете; затем вместо планшета на экран кладется светочувствительная бумага, на которой воспроизводится трансформированный снимок. Чтобы это воспроизведение было отчетливым при условии непараллельности негатива и плоскости его изображения на экране, существует два пути: 1) принцип оптического сопряжения плоскостей, 2) принцип диафрагмирования. Русская аэрофотограмметрия пользуется тем и другим методами. К типу приборов, работающих по первому принципу, относится трансформатор «Luftbild», схема к-рого изображена на фиг. 4. Он сконструирован для проектирования аэроснимков при помощи проектирующего пучка лучей, не по отношению к тому пучку, к-рый существовал в момент аэроэмоны. Такой тип трансформатора носит название трансформатора II рода. Трансформатор «Luftbild» (см. *Фототрансформирование*) предназначен для трансформирования аэроснимков, заснятых при угле наклона к горизонту  $> 10^\circ$  аэрофотоаппаратами, имеющими объектив с фокусным расстоянием 180—200 мм. Его главная отличительная особенность — кинематич. связь, установленная между плоскостями экрана *E*, негатива *N* и главной плоскостью объектива *O* т. о., что при всех возможных перемещениях частей прибора указанные три плоскости всегда пересекаются по нек-рой постоянной прямой. Вследствие этого, если на экране получено в фокусе изображение хотя бы одной лишь точки снимка, то и все прочие точки без всякого диафрагмирования получаются на экране в фокусе. Недостатком этого трансформатора является несистематизированность его работы. При совмещении изображений точек негатива с точками планшета можно после совмещения первых двух совместить третью, совмещать четвертую и потерять всю предыдущую наводку, т. к. каждое новое движение влияет на прежние совмещение. Наводка благодаря этому кропотлива и требует много времени, большой практики и сноровки даже при работе весьма квалифицированного фотограмметриста. Представителем другого типа трансформаторов с наводкой резкости изображения посредством диафрагмы является трансформатор П. П. Соко-



Фиг. 4.

лова (см. *Фототрансформатор*). Этот трансформатор спроектирован для трансформирования аэроснимков при помощи проектирующего пучка лучей, подобного тому пучку, который был в момент аэросъемки местности. Такие трансформаторы получили название трансформаторов I рода. В этом трансформаторе негатив ставится совершенно неподвижно относительно объектива, перпендикулярно к его оптической оси на расстоянии, равном главному фокусному расстоянию той аэрофотокамеры, снимки к-рой подлежат трансформированию. Особая система кинематич. связи экрана-диска с фонарем допускает совершенно правильную последовательную наводку и не сбивает точек негатива и экрана, уже совмещенных предшествующими движениями, при новых движениях. Конечно при этом условии приходится жертвовать оптич. сопряженностью, но выигрываемые этим преимущества камеры П. П. Соколова представляют большую ценность. Наводка продолжается всего 2—3 мин. и доступна среднему фотограмметристу. Минусом этого прибора является наводка резкости при помощи диафрагмирования, что ведет к значительной потере света. Для трансформирования каждого аэроснимка необходимо иметь четыре точки, геодезически определенные, что требует значительных полевых измерительных работ. С целью их уменьшения и следовательно удешевления стоимости всей аэрофотоосъемочной работы разработан своеобразный метод *фототриангуляции* (см.). Этот способ дает необходимое количество дополнительных к геодезич. основе фотограмметрических точек камеральным, а потому и наиболее дешевым путем. Существо его заключается в том, что на негативах накалывают их центральные точки; затем, имея ряд снимков одного маршрута, перекрывающих взаимно друг друга настолько, чтобы на каждый снимок переходили центры других соседних снимков, при помощи пучка лучей (линий) из каждого центра графически строят общую связанную геометрическую сеть, в к-рую путем засечек проведенными лучами включают требуемые контурные точки, которые и являются точками фототриангуляции. При таком методе работы необходимо перекрытие аэроснимков не менее чем на 60%. Трансформированные снимки размещаются на планшетах с нанесенными на них точками геодезич. основы и фотограмметрич. точками; эти же точки имеются и на аэроснимках; путем совмещения одноименных точек отдельные аэроснимки монтируются в планшет-фотопланы в границах рамок международной разграфки; перекрывающие части трансформированных аэроснимков вырезаются по кривым линиям для получения однотонного фотоплана острым ланцетом; после этого снимки наклеиваются на планшет клеєм, не дающим деформации бумаги, или сухой и акварелью. На каждом планшет-фотоплане помещаются названия населенных мест, проводятся меридианы и параллели, чертится общепринятая рамка с соответствующими надписями и пр.

**Фотографический процесс** вкраплен в три остальных процесса; он заканчивается изготовлением репродукции с каждого планшета-фотоплана.

**Мелкомасштабная А.** (плановая и перспективная) в настоящее время уже вышла из стадии лабораторных опытов на путь практич. применения. Результаты мелкомасштабной А. дают материал, близкий к картографич.

материалу, к-рый м. б. механически трансформирован на картографич. основу, т. е. на сеть меридианов и параллелей при наличии геодезич. основы. Для мелкомасштабной А. спроектированы многообъективные камеры, при к-рых фотографирование производится всеми объективами одновременно. При этом одним объективом (центральным) производится плановая съемка, остальными объективами — перспективная. Главные оптические оси последних наклонены на определенный угол, дающий возможность охватить аэросъемкой сразу значительное пространство. При наклонных оптич. осях объективов масштаб А. быстро уменьшается в зависимости от увеличения расстояния снимаемой точки от центрального снимка. Площадь покрытия А. при масштабе центрального снимка 1:25 000 м. б. доведена до 150 км<sup>2</sup> на один снимок. Специальные трансформаторы дают возможность все аэроснимки многообъективной камерой привести к одному определенному мелкому масштабу и т. о. получить план местности в масштабе, близком к требуемому для данной карты масштабу. Для мелкомасштабной А. применяются кроме многообъективных камер широкоугольные объективы, а также предложены и испытываются особые приемы работы при помощи специально разработанной аппаратуры.

**Высотно-стереоскопическая А.** Сущность этой А. заключается в следующем: каждый участок местности, подлежащий А., фотографируется два раза с двух концов базиса. Этого можно достигнуть посредством работы двух самолетов, следующих параллельно друг другу на определенном расстоянии и снимающих один и тот же участок, или при помощи одного самолета, воспроизводящего маршруты при условии значительного перекрытия аэрофотооснимков, дающего возможность иметь всегда двойной снимок одного и того же места земной поверхности. В том и другом случаях получаются пары стереоскопич. снимков. После их обработки, так же как и при контурно-комбинированной А., каждую пару стереоскопич. аэроснимков вставляют в особый прибор — стереопланиграф, к-рый по существу своему представляет сильный стереоскоп. В этом стереоскопе составляется стереоскопическое изображение местности (ее рельефная модель). Эта модель дает возможность срисовывать с нее очертания местных предметов, а также рельеф в виде горизонталей; для этого в стереопланиграфе имеется дополнительное приспособление, дающее возможность, глядя в окуляры стереоскопа, водить особым штифтом по поверхности стереоскопич. модели — по контурам и поясняющим местность горизонталям. Это движение передается с помощью системы зубчатых колесиков и рычагов особому прибору — координатографу, карандаш к-рого на бумаге передает обводные очертания модели в виде ортогональной проекции на горизонтальный планшет с геодезич. основой. Т. о. в результате высотно-стереоскопич. А. получается обыкновенный вычерченный карандашом планшет без фототей, выражающий очертания контуров местных предметов и рельеф местности горизонталями, как на планшетках менуальной инструментальной наземной съемки. В производственном отношении в высотно-стереоскопич. А. проводится те же процессы, что и в контурно-комбинированной А., но только фотограмметрич. процесс носит иной характер: вместо трансформирования — работа на стереопланиграфе. Методы высотно-стереоскопической А.

в настоящее время находятся в периоде разработки; приборы, применяемые при этом, выписываются из-за границы; они очень дороги, обращение с ними сложно, и работа медленная; поэтому этот метод не имеет пока широкого практического применения в СССР (см. *Аэрофотосъемка высотно-стереоскопическая*). Между тем контурно-комбинированная А. в настоящее время в виду ее практичности, удобства и в частности вследствие возможности быстрого получения планового материала и достигаемой достаточной точности планшетов-фотопланов вошла в практику как могучее средство, вполне заменяющее наземную топографич. съемку. Н. Степанов.

**Применение А.** вытекает из особенностей этого метода и из свойств получаемых при этом результатов, к-рые заключаются в следующем: 1) Сложности технической части. Каждая аэрофотосъемочная партия включает: а) самолеты, при к-рых необходимы мастерская мелкого ремонта, безопасные помещения для хранения горючего и масла, посадочная площадка, метеорологич. станция, а в некоторых случаях и полевой ангар; б) аэрофотоаппараты-автоматы с принадлежностями к ним, приборы и инструменты для испытания их частей и мелкого ремонта, темную лабораторию; в) полевую фотолaborаторию для негативного и позитивного процессов, запас химикалий, фотобумаги и катушек с фотоэмульсиями; г) монтажную — для накидного монтажа, оборудованную экранами; д) помещение для сушки фильма; е) чертежную и при ней помещение для хранения геодезич. инструментов, чертежных принадлежностей и материалов; ж) помещение для регистрации и хранения негативов, аэроснимков, планшетов с геодезич. основой. Кроме того необходима контора аэрофотосъемочной партии. Явно, что перемещение партии из одного района в другой затруднительно. 2) Быстрота получения съемочного материала в виде контактных отпечатков. Один самолет в один аэрофотосъемочный полет, считая его продолжительность в 5 ч. с набором высоты и спуском, покрывает в масштабе 1:10 000 от 200 до 250 км<sup>2</sup>; такую площадь один топограф может заснять в несколько месяцев. Контактные отпечатки м. б. смонтированы в фотосхемы (фотоплан первого приближения), к-рые могут служить материалом для разного рода предварительных соображений, потому что они дают полное, хотя и недостаточное для инженерных сооружений, изображение заснятой части земной поверхности. Опыт показал, что одна аэрофотосъемочная партия в три самолета с соответствующим числом технич. персонала может заснять и обработать в планшетно-фотопланы масштаба 1:10 000 от 8 до 10 тыс. км<sup>2</sup> в год при условии, что в используемом районе имеется триангуляция II и III классов; в южных широтах аэрофотосъемочная партия может заснять и обработать до 15 000 км<sup>2</sup>. Скорость получения окончательных планшетов-фотопланов из контактных отпечатков зависит от количества оборудования (трансформаторы) и наличия достаточного числа лиц технического состава. 3) Возможность пользоваться при инженерных изысканиях промежуточными материалами. Первичный материал в виде контактных отпечатков и смонтированных из них фотопланов первого приближения (фотосхемы) является настолько подробным и близким к дей-

ствительности материалом, что дает для многих хозяйственных операций и проектирования достаточные основания. Планшеты-фотопланы второго приближения, составленные из отпечатков, приведенных к одному масштабу, получаются быстро вслед за контактными отпечатками и могут служить более точным материалом. В последней стадии обработки получают точные планшетно-фотопланы. При наземных съемках нет возможности получать такие промежуточные материалы. 4) Возможность заснять недоступных площадей: болот, плавней, лесных дебрей, тайги, пустынь, горных районов и пр. Все эти элементы местности получаются столь же подробно изображенными на фотопланах, как и пространства, вполне доступные; этого нельзя достигнуть в недоступных районах при наземной съемке. 5) Универсальности содержания фотоплана. На фотопланах запечатлеваются такие подробности местности, которые топограф при наземной съемке отличить и нанести на планшет не в состоянии; план наземной съемки является лишь условным изображением местности, тогда как планшет-фотоплан — натуральным, живым, ее изображением (точной фотографией). Кроме того при увеличении планшета-фотоплана появляются новые подробности, к-рые не были замечены в первоначальном изображении. Лесной таксатор, почвовед, геолог, горный инженер и другие специалисты могут найти в одном и том же планшете-фотоплане интересующие их данные о заснятой местности. Иными словами А. разрешает вопрос об универсальности планового материала, не разрешимый при наземной съемке. Из этого вытекают случаи применения метода А. 1) для съемки крупных площадей в кратчайший срок (<5 000 км<sup>2</sup>); 2) при необходимости быстро получить и применить промежуточные, хотя бы и не высоко точные, результаты А.; 3) для съемки недоступных пространств; 4) для достижения экономии сил, средств и времени путем получения универсального планового материала, пригодного для нескольких специальностей; 5) при необходимости быстрого получения материала для исправления карт; 6) особенно выгодно применять А. при съемке крупных населенных пунктов взамен внутриквартальных наземных съемочных работ; 7) для удешевления съемочных работ за счет быстроты их исполнения. Удешевление самих аэрофотосъемочных работ зависит гл. обр. от удешевления летно-съемочной части работ, т. к. она поглощает 40—60% общей стоимости А. данного крупного участка.

Дешифрирование. Широкое использование фотопланов (всех приближений) требует умения читать их содержание. В этом отношении, как бы ни были высоки по своим качествам результаты А., всегда на планшетно-фотоплане найдутся очертания, внутреннее содержание которых останется неопределенным для читающего. Восполнение этого недостатка достигается дешифрированием на местности, которое м. б.: а) общим топографическое, имеющее целью уточнить и определить содержание топографических контуров (леса, угодий и пр.), б) специальное, выявляющее особые элементы данной местности (геологич. строение, растительные культуры, горные породы и пр.). Общетопографич. дешифрирование производится одновременно с геодезич. процессом; специальное — может производиться или вместе с обще-

топографическим или особо отдельными группами специальных дешифровщиков.

А. в сельском хозяйстве. Планшеты-фотопланы облегчают и ускоряют определение границ земельных участков, отводимых совхозам, колхозам, фабрикам, заводам и пр., потому что границы отводов (околожные межи) можно проектировать на планшетах-фотопланах по местным местным предметам, а затем, опознав эти местные предметы на местности, можно между ними провести (пропахать) границы в виде межинок. При осуществлении хозяйственного плана жилой планшеты-фотопланы дают возможность составить себе более подробное представление об угодьях, невеликий условный план наземной съемки.

А. в лесном хозяйстве. Планшеты-фотопланы (и отдельные отпечатки) дают мозаику контуров, образующихся в лесу вследствие разнообразия возраста леса, пород, густоты насаждения, наличия полян, выгоревших площадей, участков вырубленного леса, бурелома и пр. Все эти контуры м. б. предварительно сконтурированы резкими линиями на аэроснимках или планшете-фотоплане, а затем остается найти (опознать) их на местности и заняться таксировкой леса внутри каждого контура; при этом некоторые данные таксации м. б. взяты с аэроснимков или с планшетов и проверены, если надо, на местности. Т. о., пользуясь результатами А., лесной таксатор освобождается от медленного процесса отыскания и съемки контуров внутри леса; он может поэтому всецело заняться своим специальным делом — лесной таксацией по готовому плановому материалу, к-рый в значительной мере облегчает и его прямое дело.

А. при съемке городов. После составления путем геодезии действительных очертаний проездов и очертаний кварталов города А. заменяет медленную и кропотливую работу топографов по съемке внутриквартальных подробностей; при этом сокращается процесс увязки внутриквартальных подробностей и отпадают сложные чертежные работы; вкладывание внутриквартальных подробностей в сеть очертаний кварталов, полученных геодезически, производится автоматически с помощью трансформирования. Т. о. А. при съемке городов упрощает работу и ускоряет ее; при этом надо иметь в виду, что фотографии, материалы позволяют кроме планшетов-фотопланов получить и план в туши, вытравив фотография. тон.

А. при изыскании дорог. По предварительному составленным фотопланам первого приближения (из контактных отпечатков) удобно составить проект различных вариантов трассы дороги, особенно в гористой местности; таким путем сокращается работа по предварительному изысканию. По наглядным материалам А. могут быть изучены с достаточной степенью подробности свойства полосы местности по обе стороны трассы. Результаты проектирования по материалам А. могут быть перенесены (транспортированы) на местность путем опознавания местных предметов, имеющих на планшете и на местности. В дальнейшем разработка проекта и прокладка дороги пойдут обычным порядком, но совершенно очевидно будут обойдены многие затруднения, с к-рыми пришлось бы считаться, если бы не было материалов А.

А. при исследовании рек. Долина реки и особенно дно долины на фотопланах получаются с подробными очертаниями староречий (прежних русел); берега реки и ее долина получают живые очертания; мели и перекаты

резко выделяются; все это приводит к тому, что А. реки дает такие разнообразные подробности ее свойств, к-рые позволяют судить о режиме реки в ее прошлом, настоящем и вероятном будущем. Такого рода суждений конечно нет возможности произвести по материалам наземной съемки, которая не в состоянии охватить всех подробностей элементов реки.

А. в картографии. Если картографический материал получать путем накопления крупномасштабного планового материала и затем путем сокращения подробностей этого материала и уменьшения его до масштаба данной карты, то это приведет к весьма медленному составлению и изданию карты тем более, что плановый материал за 25—30 лет становится настолько устаревшим вследствие изменений местности под влиянием естественных сил природы и деятельности человека, что оказывается уже непригодным для составления карты, удовлетворяющей современным требованиям, потому что карта в современном представлении должна давать такие данные, по к-рым может производиться составление проектов разного рода инженерных изысканий и сооружений. Метод А. дает выход из такого положения, т. к. он включает в себя мелкомасштабную (плановую и перспективную) А.; оба эти вида А., применяемые в сочетании между собой, дают материал, соответствующий требованиям картографии относительно масштаба и содержания подробностей; вместе с тем ускоряется работа, так как каждый аэрофотоснимок охватывает более значительный участок земной поверхности. Для мелкомасштабной (плановой и перспективной) А. разработана и построена специальная аппаратура, с помощью которой возможно быстро накапливать и обрабатывать аэрофотокартографич. материал. Вопрос о составлении оригинальных листов карты сводится после этого к выбору и построению для каждого листа географич. сетки (меридианов и параллелей), к нанесению на эту сетку пунктов геодезии, основы (по их широтам и долготам), к вкладыванию аэрофотокартографич. материала в географич. сетку с помощью специальных трансформаторов, пользуясь для этого нанесенными на сетку пунктами геодезии, основы. Каждый оригинальный лист в дальнейшем подлежит размножению (изданию) в требуемом числе экземпляров. В настоящее время в СССР получил широкое применение на практике метод контурно-комбинированной А.; метод весьма-стереоскопич. А. в различных видоизменениях находится в стадии широкого опыта, уже вышедшего из лаборатории в поле. Вопрос о применении мелкомасштабного аэрофотокартографич. материала к составлению карт разрабатывается лабораторно и несомненно в ближайшем будущем получит широкое практич. распространение, так как все предпосылки для этого уже имеются налицо.

А., как показал опыт, с большим успехом применяется для решения специальных задач: земельной статистики, исследования почв, изучения лугов, геологии, археологии и пр. [1].

Организация фотосъемочных работ. Организация А., принимая во внимание новизну аэрофотосъемочного дела, еще не вылилась в твердые формы. Однако практически уже намечилось, что аэрофотосъемочное производство удобнее и правильнее всего сосредоточить в одном Всесоюзном центральном органе. Центральный орган должен действовать в тесной связи, с одной стороны, с центральным геодезич. органом, который должен обеспечивать за счет

государства аэрофотосъемочное производство геодесической основой в плане и по высотам, а с другой, с центральным органом гражданского воздушного флота, который должен доставлять специальные самолеты на места работ со всем оборудованием кроме специального оборудования для А. Центральный орган А. высылает на места работ аэрофотосъемочные партии; если несколько смежных партий загружаются работами на несколько лет, то такие партии м. б. объединены в местный отдел, непосредственно подчиненный центральному органу А. Местные отделы также могут высылать от себя аэрофотосъемочные партии. Каждая аэрофотосъемочная партия получает на каждую работу вполне определенное задание в пределах определенной территории, подлежащей А.; в каждой партии проводятся все четыре процесса А., относящиеся к исполнению данного задания: летно-съемочный, геодезический, фотограмметрический и фотографический процессы; часть оборудования партии может находиться на местах работ, где устраивается база аэрофотосъемочной партии, частью партия может пользоваться оборудованием центрального органа или центра местного отдела. Во всяком случае начальник аэрофотосъемочной партии является единственным ответственным лицом за надлежащие подготовку и исполнение работ партии от момента получения задания включительно до момента сдачи работ партии в окончанном виде, как то требуется заданием. Другие формы организации А. в СССР, в достаточной мере испытанные, дали отрицательные результаты. Каждая аэрофотосъемочная партия подчиняется вышестоящему ее управлению — центральному или местному.

Работа до выезда партии с места ее формирования в район А. заключается в следующем: 1) разработке технич. задания; 2) составлении технич. задания и календарного плана работ; 3) составлении предварительной сметы для подсчета средств исполнения плана; 4) докладе технич. задания, плана и сметы технич. совещанию; 5) укомплектовании партии технич. и административным составом; 6) снабжении партии технич. и хозяйственным имуществом; 7) рекогносцировке района А.; 8) пробных полетах; 9) составлении плана финансирования партии; 10) составлении плана перевозки партии на базу и обеспечения его исполнения. Каждая аэрофотосъемочная партия состоит из: а) летного отряда в 2—3 самолета с необходимым персоналом, полетным оборудованием, полетным складом горючего и масла; б) аэросъемочного сектора — старший аэросъемщик, аэросъемщики, аэронавигаторы, наблюдатели службы погоды; в) геодезического сектора — старший топограф-фотограмметрист, топографы-фотограмметристы, дешифровщики, чертеники; г) фотограмметрического сектора — старший фотограмметрист, фотограмметристы, фотограмметристы-монтажисты; д) фотографического сектора — старший фотолабора́нт, фотолабора́нты, подручные и е) аппарат управления — конторы партии; в ней конторщик (если надо, то и счетовод), неквалифицированные рабочие, сторожа, уборщики, транспортные средства.

Работа партии в районе А.: 1) размещение партии; 2) высылка отрядов геодезистов, топографов-фотограмметристов и дешифровщиков; 3) исполнение производственных процессов; 4) увязка всех производственных процессов

в технич. отношении и в смысле выполнения календарного плана; 5) общетопографическая, а если надо, то и специальная дешифровка; 6) выдача хозорганам промежуточных результатов А. согласно заданию и плану; 7) технич. отчетность; 8) поддержание связи старшими в секторах со старшими инженерами центрального органа или с их заместителями в местных отделах; 9) постепенное собрание и представление документов для исполнительной сметы; 10) ведение книг как основы отчетности; 11) постепенное составление ведомости расхода материалов; 12) финансовая отчетность; 13) соблюдение «Инструкций» в отношении условий труда и быта личного состава партии. По окончании и сдаче работ партии расформировывается или в районе работ или в центре. Если работа партии в текущем году не закончена и будет продолжаться в следующем году, то отчетность и делопроизводство заводятся вновь, как бы по новому заданию. Аэрофотосъемочная партия в таком случае м. б. оставлена на своей базе или возвращена в центр или в местный отдел.

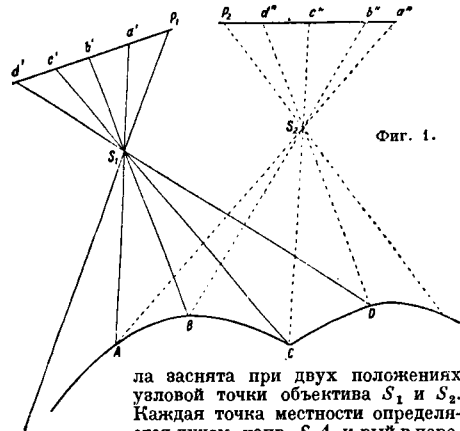
Общее заключение. А. является видом топографич. работ, т. е. представляет собой некую часть геодезических работ, исполняемых с целью получения планового и картографич. материала данной части земной поверхности; в этом отношении она вполне заменяет настоящую топографич. съемку. Роль геодезии в настоящее время весьма сильно изменилась по сравнению с тем, как это было до введения системы социалистич. хозяйства. Прежде геодезия привлекалась к делу проектирования и исполнения проектов различных сооружений в качестве вспомогательного практич. средства, для решения узкоспециальных задач, строго относящихся непосредственно к данному изысканию или сооружению, напр. съемка или нивелировка вполне определенного участка земли, получение цифровых высотных данных для вычисления объема земляных работ, определение границ землеуладения, составление плана фактически существующего города или населенного пункта и т. п. Изыскания и сооружения, к которым привлекалась геодезия, обычно характеризовались тем, что по своему существу они были более или менее просты и зависели только от неких свойств земной поверхности и недр земли; для ознакомления с этими свойствами было достаточно несложных вспомогательных геодезич. действий. В настоящее время проектируемые и исполняемые сооружения сложны в технич. отношении и занимают обширные районы земной поверхности. Эти сооружения м. б. связаны с обширными территориями еще и в том отношении, что могут оказывать на них то или иное вредное влияние. Напр. заграда (плотина) большой реки может повести к заболачиванию лугов и других земельных угодий вдали от нее; вновь построенный город может оказывать в невыгодных условиях относительно своего водного хозяйства или в отношении строения находящихся под ним и вокруг него недр земли и т. п. Все это обязывает решать вопрос о топографич. свойствах земной поверхности и зависящих от них свойств недр земли на обширных пространствах, чтобы таким путем получить возможность выбора района сооружения, который удовлетворял бы его технич. требованиям и в то же время устранял бы возможность вредного влияния сооружения на территории, близлежащие и более или менее от него удаленные. Ясно, что достижение таких целей обязывает производить всякого рода гео-

деич. изыскания предварительно и на обширных территориях, т. е. до проектирования сооружений и тем более до исполнения разработанных проектов. Если принять во внимание, что топографич. свойства земной поверхности (рельеф, расположение контуров и пр.) важны не только сами по себе, но и в том отношении, что по этим данным можно судить и о недрах земли, то станет вполне понятным значение геодезич., в том числе и аэрофотосъемочных (топографич.), работ при проектировании и исполнении проектов современных грандиозных сооружений. Теперь геодезия вышла из подчинения требованиям других технич. отраслей и признана к необходимости указывать различным отраслям народного хозяйства на основе своих изысканий те общие пути, к-рым должны следовать эти отрасли, решая свои задачи. Геодезия обязана не только добыть достаточные материалы для проектирования сооружений и исполнения их проектов, но вместе с тем она обязана предупредить проектировщика и исполнителей проектов о тех последствиях, к-рые неминуемо будут иметь место в случае нарушения ими выводов геодезии, всегда основанных на наблюдениях, произведенных в природе, т. е. в живой действительности. Одним из новейших могучих средств к исполнению геодезич. ее современной роли является метод А., позволяющий в кратчайший срок охватить съемкой обширные участки земной поверхности и получить изображение на фотоплане многих самых разнообразных свойств охваченной А. территории.

Лит.: 1) Справочник по аэрофотосъемке под ред. М. Бонч-Бруевича, М., 1934; Бонч-Бруевич М., Аэрофотосъемка, М., 1934; Кудрявцев И. Курсы аэрофотограмм., М., 1932; Соколов П., Теория авиации, М., 1926; Цвет-Колыдинский В., Инструкция по аэрофотосъемке, М., 1930; Инструкция по аэрофотосъемке, 3 изд., М., 1914; Беликов С., Полный курс военной топографии, М., 1888; Витковский В., Топография, 3 изд., М., 1926; Вишневский В., Практическая геодезия, 2 изд., СПб., 1914; Курс геодезии, ч. 1 и 2 под ред. Ф. Красовского, М.—П., 1930; Веселовский Н. и Платов В., Аэрофотосъемка городов, М., 1932; Селяков В., Аэрофотосъемка и применение ее к землеустройству, М., 1930; Веселовский Н., Составление планов и карт по нетрансформированным отчеткам, Л., 1932; Павлов Л., Фотограмметрическая сеть, М., 1932; Семенин В., Теория трансформирования, Л., 1932; Сельский Л., Аэрофотограмм., М., 1931; Нейзигт К., Общий курс фотографии, пер. с нем., кн. 1, 2 изд., М., 1932; Яштольд-Говорко В. и Мархилевич К., Курс фотографии, т. 1—2, М.—Л., 1933; Сольский Д. и Мархилевич К., Лабораторная обработка киноплёнки, М., 1933; Сольский Д. и др., Фотография и аэрофотография, М., 1926; Дробинский В., Главная триангуляция, «Труды Ленингр. НИИА», Л., 1930, вып. 2; Жукон, Основы нормального ряда фотоангуляций, «Геодезия», М., 1932. М. Бонч-Бруевич.

**АЭРОФОТОСЪЕМКА ВЫСОТНО-СТЕРЕОСКОПИЧЕСКАЯ** имеет своей задачей составление аэрофотоснимком чертежного плана с рельефом. Отличием от контурно-комбинированной аэрофотосъемки (см.) служит то, что рельеф наносится камеральным путем и что конечной продукцией А. в.-с. является план в ортогональной проекции вместо центральной, получаемой на фотоплане. Эта задача выполняется лишь при том условии, что в результате измерений по аэрофотоснимкам мы получаем три координаты каждой точки, т. е.  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , где  $X$  и  $Y$  являются плановыми координатами, а  $Z$  — высотой. Измерения на одном снимке могут дать только две координаты  $x$  и  $y$ , а потому для получения третьей координаты необходимо произвести какие-то независимые измерения, которых нельзя получить на том же снимке. Для этих измерений должен обязательно быть снимок того же участка местности,

но снятый при другой экспозиции, когда изменилась точка стояния самолета и переместилась в пространстве узловая точка объектива. Это условие подтверждается и геометрич. представлениями. Пусть (фиг. 1) местность  $ABCD$  бы-

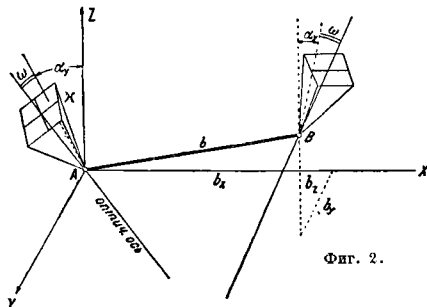


Фиг. 1.

ла заснята при двух положениях узловой точки объектива  $S_1$  и  $S_2$ . Каждая точка местности определяется лучом, напр.  $S_1A$ , к-рый в пересечении с плоскостью снимка дает изображение в точке  $a''$ . Очевидно, что если поставить снимок в то же положение относительно местности, к-рое он занимал в момент экспозиции, и спроектировать его на горизонтальную плоскость  $Q$ , то пересечение лучей с этой плоскостью даст трансформированную центральную проекцию местности (см. *Фототрансформирование*), не дающую суждения о высотах точек. Именно таким образом разрешается задача контурная аэрофотосъемка. Если ориентировать в пространстве пару снимков  $P_1$  и  $P_2$  и спроектировать, то лучи, идущие на одни и те же точки местности, взаимно пересекутся на определенных расстояниях от центров проектирования и дадут т. н. модель местности. При данном положении экрана, на который проектируются оба изображения, можно наблюдать на его плоскости пересечения ряда точек, лежащих на одной высоте. Перемещая экран вверх-вниз, можно легко менять сечение горизонталей, т. к. с новым положением будут совпадать уже другие пересечения. Для того чтобы правильно поставить оба снимка в то положение, которое они занимали в момент съемки, требуется знание т. наз. элементов ориентирования. Эти элементы характеризуют, с одной стороны, конус лучей внутри самой камеры аэрофотоаппарата, а с другой стороны, положение конусов лучей обоих снимков относительно пространства. Первому условию удовлетворяют элементы внутреннего ориентирования, к которым относятся фокусное расстояние камеры аэрофотоаппарата и положение главной точки (основания перпендикуляра, опущенного из узловой точки объектива на плоскость снимка). Второму условию соответствует знание элементов внешнего ориентирования: трех координат ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) одной из точек стояния; величины и направления линии, соединяющей обе точки стояния и называемой базисом фотоаппарата; азимутов  $\alpha$ , углов наклона оптич. осей обеих камер и углов поворотов  $\gamma$  обоих снимков в своих плоскостях. Часто при А. в.-с. предварительно находят элементы взаимного ориентирования, которые

определяются направлением базиса и равенством углов  $\alpha_{y1} - \alpha_{y2}$ ,  $\omega_1 - \omega_2$  и  $\kappa_1 - \kappa_2$ . После этого, зная элементы внешнего ориентирования одного из снимков, можно легко определить соответствующие элементы другого снимка. Основными элементами работы по А. в.-с. являются: аэросъемочные (летно-съемочные) работы, полевые геодезич. измерения и камеральные (фотограмметрические) работы.

Аэросъемочные работы мало отличаются от таковых же при контурной аэрофото съемке за исключением выбора положения оптической оси камеры. Это положение оптич. оси м. б. совершенно произвольным, но в настоящее время на практике применяются только некоторые заранее выбранные случаи. На фиг. 2 показан



Фиг. 2.

общий произвольный случай положения оптич. оси, когда каждая камера имеет все углы  $\alpha_y$  и  $\kappa$  не равными нулю и когда базис направлен не вдоль оси  $xx$ , т. е. так, что он м. б. спроектирован на три оси координат. Необходимо отметить следующие случаи съемки. 1) Вертикально-параллельная съемка:  $\alpha_{yA} = 0$ ,  $\alpha_{yB} = 0$ ,  $\omega_A = 0$ ,  $\omega_B = 0$ ,  $\kappa_A = 0$ ,  $\kappa_B = 0$ ; здесь мы имеем дело с вертикально направленными оптич. осями. Для высотных целей м. б. обработана перекрытая зона снимков, что заставляет во избежание разрывов делать перекрытие не меньше 60%. 2) Вертикально-конвергентная съемка:  $\alpha_{yA} = 0$ ,  $\alpha_{yB} = 0$ ,  $\omega_A = 0$ ,  $\omega_B = 0$ ,  $\kappa_A = 0$ ,  $\kappa_B = 0$ ; в этом случае оптич. оси будут непараллельны друг другу, и угол  $\gamma$ , образованный ими, носит название угла конвергенции. Очевидно, что  $\gamma = \alpha_{yA} + \alpha_{yB}$ . Наклоны оптич. осей направлены по направлению полета, а потому почти не увеличивают ширину снимаемой полосы местности. Для аэрофото съемочных работ при вертикально-конвергентной съемке используются двухобъективными аэрофотоаппаратами, в к-рых оптич. оси сходятся под заданным углом  $\gamma$ . В настоящее время в двухобъективных аэрофотоаппаратах применяется конвергенция в 30—40°. Для обработки служат стерео-

съемки имеет наибольшее значение вследствие значительной величины перекрытой площади и вследствие выгоды при дальнейшей обработке. 3) Перспективно-конвергентная съемка:  $\alpha_{yA} = 0$ ,  $\alpha_{yB} = 0$ ,  $\omega_A = 0$ ,  $\omega_B = 0$ ,  $\kappa_A = 0$ ,  $\kappa_B = 0$ . 4) Перспективно-параллельная съемка:  $\alpha_{yA} = 0$ ,  $\alpha_{yB} = 0$ ,  $\omega_A = 0$ ,  $\omega_B = 0$ ,  $\kappa_A = 0$ ,  $\kappa_B = 0$ ; здесь наклон оптич. оси задан в направлении, перпендикулярном к направлению полета, что дает значительное уменьшение числа маршрутов. Однако ряд неудобств в обработке как в этом, так и в предыдущем случаях не дал им широкого распространения.

Во всех рассмотренных случаях принималось, что  $b_x = b$ ,  $b_y = 0$  и  $b_z = 0$ , т. е. что базис фотографирования совпадает с осью X. Вычисление расстояния между маршрутами производится так же, как и в контурной аэрофото съемке, причем сперва производится вычисление координат заснимаемой площади по ф-лам:

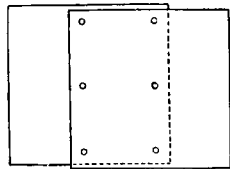
$$X = H \frac{f \sin \alpha_y \cos \omega + y \sin \alpha_y \sin \omega + x \cos \alpha_y}{f \cos \alpha_y \cos \omega + y \cos \alpha_y \sin \omega - x \sin \alpha_y},$$

$$Y = H \frac{y \cos \alpha_y - f \sin \omega}{f \cos \alpha_y \cos \omega + y \cos \alpha_y \sin \omega - x \sin \alpha_y}$$

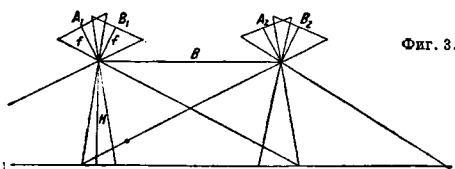
( $x, y$  — координаты на снимке,  $H$  — высота полета,  $f$  — фокусное расстояние). Рассчитав перекрытие и высоту полета и произведя аэрофото съемочные работы, необходимо перекрытые зоны обеспечить достаточным числом геодезич. точек, после чего негативы поступают для камеральной (фотограмметрической) обработки.

Камеральная обработка в настоящее время ведется тремя путями, отличающимися друг от друга как методикой работы, так и применяющимися приборами. Эти применяемые методы следующие: 1) дифференцированный метод, получивший законченную производственную форму в работах амер. фирмы Брок; 2) метод двойного проектирования, развитый в конструкциях Гассера и Нистри; 3) метод непосредственного измерения направлений, имеющий наибольшее распространение и отразившийся в целом ряде конструкций (стереопланиграф Бауэрфельд-Цейсса, аэрокартограф Гуггерсгофа, автограф Вилда, стереофотограф Пуавилье и пр.).

Дифференцированный метод по способу Брока заключается в том, что вся камеральная работа по получению ортогонального плана дифференцирована на ряд самостоятельных процессов, выполняемых на различных приборах, а не производится на одном приборе, как это имеет место при других методах. Эти процессы следующие: определение по паре снимков элементов внешнего ориентирования, трансформирование аэроснимков по полученным элементам и рисовка рельефа. В способе Брока используются снимками вертикально-параллельной съемки, т. е. имеющими лишь случайные углы наклона оптической оси, происшедшие из-за колебаний самолета в полете. С негативов делаются диапозитивы, которые увеличиваются вдвое по сравнению с оригиналом для увеличения точности работы. Увеличенные диапозитивы вкладываются в специальный стереокомпаратор, на котором производят измерения горизонтальных параллаксов шести точек, расположенных, как по-



Фиг. 4.



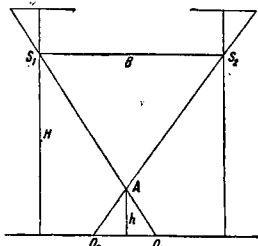
Фиг. 3.

пары, образованные снимками  $A_1$  и  $B_2$  (фиг. 3), снятыми с различных точек стояния и имеющими между собой 100% перекрытия. Этот вид

пары, образованные снимками  $A_1$  и  $B_2$  (фиг. 3), снятыми с различных точек стояния и имеющими между собой 100% перекрытия. Этот вид

казано на фиг. 4, и имеющих высоты, полученные из полевых геодезич. измерений. Т. к. во время съемки имелись случайные отклонения оптич. оси от вертикали, то каждый отрезок на снимке будет искажен, что вызовет и соответствующее искажение горизонтального параллакса, т. к. он выражается ф-лой  $p = x_2 - x_1$ , где  $x_2$  и  $x_1$  — отрезки между соответствующими точками на двух снимках, спроектированные на ось  $XX$ . За ось  $XX$  принимается линия, соединяющая точки надира обоих снимков (или при малом отклонении оптич. оси — линия, соединяющая главные точки). Зная высоты этих же точек, легко вычислить горизонтальный параллакс, долженствующий быть при вертикальном положении оптич. оси. Соответствующая ф-ла найдется из подобия тр-ков  $S_1S_2A$  и  $O_1O_2A$  (фиг. 5), где  $S_1$  и  $S_2$  — угловые точки объектов при двух экспозициях, находящиеся на высоте  $H$  над средней плоскостью,  $B$  — базис фотографирования,  $S_2O_2$  и  $S_1O_1$  — направления визирных лучей на одну и ту же точку местности  $A$ , лежащую на высоте  $h$  над средней плоскостью; тогда  $p = \frac{Bh}{H-h}$ . Вычислив по этой ф-ле горизонтальный параллакс, можно сравнить его с измеренным и получить искажения для всех шести точек. Эти искажения будут вызываться наклоном оптич. оси, а потому, зная их, можно вычислить наклон и другие элементы внешнего ориентирования.

Пользуясь специальным *фототрансформатором* (см.), к-рый снабжен точными шкалами для установок внешних элементов ориентирования, можно трансформировать снимок на диапозитивную пластинку, все точки к-рой будут исправлены от искажений за наклон оптич. оси.



Фиг. 5.

Влияние разности высот точек стояния (т. е.  $\Delta H = H_1 - H_2$ ) исправляется промером на местности в начале и конце маршрута специальных базисов и сравнением масштабов снимков между собой, как это имеет место при приведении снимков к одному масштабу (см. *Фотоплан*, т. XXV). После этого диапозитивы, исправленные за масштабные и угловые искажения, закладываются в стереокомпаратор и на них от руки наводятся горизонтали. Полученные диапозитивы не представляют собой ортогонального плана, а несут ошибку за центральную проекцию, т. к. каждый участок местности, находящийся между двумя горизонталями, получается в другом масштабе (как известно,  $M = \frac{f}{H}$ , но с переходом к другой горизонтальной высоте самолета  $H$  над плоскостью, образующей эту горизонталь, будет  $H-h$ , а потому  $M_1 = \frac{f}{H-h}$ , что учитывается и в контурной аэрофотосъемке трансформированием на различные плоскости). Для исправления этой ошибки фирмой Брок построен прибор, проектирующий изображение на планшет. Перекопировав ситуацию внутри одной горизонтали, изменяют масштаб соответственно приведенной ф-ле и переходят к участку внутри следующей.

Недостаток описанного способа является большое количество геодезических работ, так как на

каждую пару необходимо шесть опознанных и снабженных высотами точек, не считая геодезической подготовки для определения масштаба. Ряд работ советских и иностранных ученых показал возможность и других решений задачи дифференцированным методом. Так например, возможно, измеряя вертикальные параллаксы пяти точек, высоты которых неизвестны, определить элементы взаимного ориентирования двух снимков и, определив заранее элементы внешнего ориентирования первого снимка, получить ориентировку в пространстве второго снимка. Продолжая таким же образом передачу ориентирования со второго снимка на третий и т. д., теоретически возможно ограничиться полевой геодезией, работой лишь для первого снимка, но возникающие ошибки начинают сильно искажать получаемый результат, а потому необходимо довольно часто давать геодезич. опору. Произведенные исследования говорят о возможности применения «метода продолжения» для пяти снимков. Второй возможный вариант определения элементов ориентирования заключается в использовании фотоизмерительного теодолита (см. ниже). Этими работами значительно упрощается геодезич. подготовка, благодаря чему возрастает рентабельность дифференцированного метода.

Метод двойного проектирования заключается в том, что весь негатив проектируется на экран, на к-рый одновременно проектируется изображение и второго негатива. Для осуществления этого метода сконструированы специальные приборы (Гассера, фотокартограф Нистри, аэросимплекс Гугерстофа), к-рые в основном представляют собой как бы соединенные двух трансформаторов с одним общим экраном. Наибольшее производственное значение имеет фотокартограф Нистри, применяющийся в Италии. Фотокартограф предназначен для обработки вертикально-параллельной съемки, причем для сохранения конгруэнтности связей проектирующих лучей в приборе осуществлен принцип Коппе, т. е. фокусное расстояние каждой камеры прибора в точности равно фокусному расстоянию аэроземной камеры. Принципиальная идея прибора заключается в том, что две камеры, установленные в то же положение, к-рое занимали съемочные камеры в момент съемки, проектируют перекрытую часть негативов на одно и то же место экрана. Поэтому на экране наблюдается конкретное пересечение направлений, идущих на одну и ту же точку местности (фиг. 1), причем если экран сечет модель местности по плоскости, в которой расположена данная точка, то изображение получается одно, в противном случае каждая камера даст свое изображение, и точка будет казаться раздвоенной. Соединяя нераздвоенные точки кривой, получим соответствующую горизонталь, а изменив расстояние между объективами и экраном, можно переменить сечение горизонтали. В приборе оптические оси камер расположены горизонтально, а потому экран, представляющий собой матовое стекло, находится в вертикальной плоскости. Определение элементов внешнего ориентирования производится методом обычной трансформации, но только с учетом высот опорных точек, для чего фотокартограф снабжен восемью экранчиками с нанесенными на них точками — марками. Каждый из экранчиков может перемещаться по всем направлениям, т. е. как в вертикальной плоскости, так и в направлении к камере, независимо друг от друга, и нанесенная



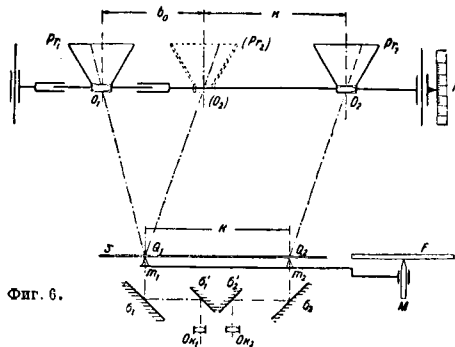
на нем марка изображает геодезическую точку, определенную по положению и высоте. Зная координаты четырех геодезич. точек, можно в требуемом масштабе воспроизвести их пространственное положение четырьмя эрранчиками, с марками которых должны совпасть проектируемые направления. Трансформация производится независимо для каждой камеры и достигается соответствующими перемещениями и наклонами камер. После восстановления пучков лучей, существовавших в момент съемки, эрранчики убираются, и изображение принимается на стеклянный матовый экран. Пересекшиеся в плоскости экрана лучи обводятся от руки меткой, причем движение метки передается пантографом на чертяный стол в любом масштабе. Изображение, полученное на экране, увеличено в 10 раз по сравнению с негативом, а потому неточность фиксирования пересечения лучей до 0,5 мм даст в окончательном уменьшении удовлетворительную точность.

Прибор Гассера аналогичен изложенному, но экран у него расположен горизонтально, и для отбрасывания на него изображения перед объективом находится зеркало. Метод работы несколько расходится с методом Нистри, т. к. в приборе поочередно в каждой камере освещается негатив. В силу того что перемена освещения производится очень быстро, все точки, проектирующиеся на экран, будут казаться двигающимися, за исключением тех, которые расположены на высоте, фиксируемой экраном. Этот «способ мигания» дает значительно более точный результат, так как глаз лучше схватывает неподвижные места в двигающемся изображении. Недостатком же этого способа является очень тяжелая работа для зрения наблюдателя. Кроме «способа мигания» м. б. применен и «способ анаглифов», в котором оба проектируемых изображения могут рассматриваться раздельно обоими глазами, если эти изображения окрасить взаимно дополняющими цветами (поставив соответствующие светофильтры) и наблюдать проекцию через очки, левое и правое стекло к-рых также окрашено в соответствующие цвета (например красный и зеленый). Этот способ дает возможность наблюдать стереоскопич. эффект, но по точности уступает обим предшествующим. Оба описанных выше прибора не обладают достаточной резкостью изображения, т. к. переход к другой горизонтали вызывает опускание экрана без соответствующего изменения фокусного расстояния (т. е. здесь имеет место нарушение

основной ф-лы оптики  $\frac{1}{a} + \frac{1}{D} = \frac{1}{f}$ , где  $a$  — расстояние от узловой точки объектива до предмета,  $D$  — до изображения, а  $f$  — фокусное расстояние), что имеет значение при большой разности высот. Кроме того точность работы сильно зависит от характера местности, т. е. от нечеткости, заметности определенных точек, а также и от однообразия рельефа. При однообразной местности и ровном рельефе этот метод оказывается вовсе непригодным (напр. при луговых склонах).

Указанный недостаток способа двойного проектирования устраняется, если оба изображения не накладываются друг на друга, а проектируются на экране рядом, причем каждое изображение рассматривается только одним глазом, что дает стереоскопич. эффект и слиние двух изображений в одну мнимую модель. Этот принцип осуществлен в аэросимплексе Гутерсгофа (фиг. 6), в к-ром одна из проектирующих камер ( $Pr_1$  или  $Pr_2$ ) смещена из своего начального по-

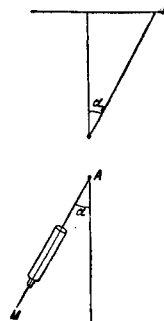
ложения ( $Pr_1$ ) в сторону на отрезок  $k$ . Поэтому одноименные точки  $Q_1$  и  $Q_2$ , совпадающие в плоскости экрана с матовым стеклом  $S$ , представляются отстоящими друг от друга на  $K$ . Наводя на эти точки метки  $m_1$  и  $m_2$  и рассматривая их через стереоскоп, образуемый зеркалами  $\sigma_1$ ,  $\sigma'_1$  и  $\sigma_2$ ,  $\sigma'_2$  и окулярами  $Ok_1$  и  $Ok_2$ , можно будет видеть мнимое изображение предмета, соприснающееся с мнимым изображением меток в пространственной точке  $Q$ . Метки могут совместно перемещаться по всей плоскости проекции,



Фиг. 6.

причем сохраняется параллельность самой себе линия, соединяющей метки. Если смещать метки так, чтобы их мнимое изображение все время касалось поверхности модели, то движение это будет происходить вдоль горизонтали и воспроизводиться карандашом  $M$  на поверхности планшета  $F$ . Перемена сечения производится изменением расстояния между экраном и камерой и отсчитывается по шкале  $H$  прибора. Масштаб обработки определяется из отношения установленного базиса  $b_0$  к базису съемки  $B_0$  и м. б. изменен при установке другого расстояния  $O_1O_2$ . Для ориентирования камер в пространстве они имеют три линейных перемещения  $b_{x1}$ ,  $b_{y1}$  и  $b_{z1}$ , а также наклоны и повороты  $\alpha_{y0}$ ,  $\omega_0$  и  $\kappa_0$ . Достоинством прибора является возможность работать и в мало конуристых местах, но некоторая нерезкость сохраняется и здесь. Во всех приборах этой группы имеется возможность применения «метода продолжения», т. к., найдя элементы внешнего ориентирования одного из снимков, можно к нему подориентировать (т. е. найти элементы взаимного ориентирования) второй снимок, пользуясь пятью точками, общими обоим снимкам, и соответствующими перемещениями второй камеры.

Метод непосредственного измерения направлений получил в настоящее время наибольшее распространение и особенно хорошо теоретически разработан в Германии. Он заключается в том, что вместо измерения прямоугольных координат снимка производят измерения направлений. Если взять направление луча, идущего от точки местности к задней узловой точке объектива съёмочной камеры, то луч, идущий от передней узловой



Фиг. 7.

точки и изображению на снимке, будет иметь другое направление, вызванное дисторсией объектива, т. е.  $\alpha \neq \alpha_1$  (фиг. 7). Если же обратно спроектировать точку  $m$  через тот же объектив, то получится опять правильное направление  $AM$ . Поэтому, поставив негатив в те же геометрич. и оптич. условия, при которых он был получен, и наблюдая любые его точки через зрительную трубу, можно заметить, что повороты трубы вокруг передней узловой точки объектива будут соответствовать истинным направлениям в пространстве. Этот принцип Порро-Коппе идентичности объективов и фокусных расстояний съёмочной и проектирующей камер является основным в А. в.-с. Так как во время съёмки расстояние между узловой точкой объектива и точкой местности будет бесконечно большим по сравнению с расстоянием между узловой точкой и плоскостью негатива, то изображение получается на главном фокусном расстоянии, а следовательно выходящие из камеры лучи при обратном проектировании будут параллельны между собой. Это приводит к тому, что зрительная труба д. б. всегда установлена на бесконечность и что лишние ошибки установки на резкость будут отсутствовать. На этом принципе Порро-Коппе построен фотоизмерительный теодолит, входящий основной частью во все конструкции данного метода.

Фотоизмерительный теодолит (фиг. 8) представляет собой соединение теодолита с камерой, к-рая снабжена прикладной рамкой для установки негатива. Прикладная рамка может вращаться вокруг оптич. оси камеры на углы  $\chi$ , а наблюдение осуществляется при помощи зрительной трубы через объектив  $O$ , укрепленный в камере, к-рая может наклоняться вокруг горизонтальной оси и снабжена вертикальным кругом для отсчитывания установочных углов  $\omega_0$ . Зрительная труба теодолита имеет два круга:

горизонтальный  $a$  и вертикальный  $b$  для отсчитывания направлений ( $\alpha_0, \omega$ ) на точки, что соответствует обычным теодолитным измерениям. Для проверки работы фотоизмерительного теодолита употребляется решетка Гольце, представляющая собой стеклянную плоско-параллельную пластинку с выгравированными на ней параллельными и перпендикулярными линиями через строго определенное число мм с очень высокой точностью (до 0,02 мм). Эта решетка укрепляется в прикладной рамке камеры и по ней производятся измерения. Необходимо рассмотреть зависимость между угловыми перемещениями теодолита и прямоугольными координатами правильно ориентированной решетки. При вращении вокруг вертикальной оси какая-либо точка (фиг. 9) оптической оси трубы описывает малые круги, которые будут параллельными друг другу при изменении наклона оптич. оси на угол  $\omega$ . При вращении вокруг горизонтальной оси та же точка будет описывать большие круги, в плоскости к-рых лежит вертикальная ось вращения инструмента. Т. о. при вращении на углы  $\alpha_0$  и  $\omega$  произвольная точка  $M$  оптич. оси строит в пространстве шар радиуса  $OM = R$  с параллелями и меридианами, к-рый проекти-

руется на плоскость решетки лучами из центра вращения  $O$ . Тогда пройденные отрезки по осям решетки выразятся  $\phi$ -лами:

$$z = R \operatorname{tg} \omega \operatorname{csc} \alpha_0, \quad x = R \operatorname{tg} \alpha_0.$$

Задачей фотоизмерительного теодолита является измерение координат отдельных точек местности; эта задача выполняется не путем измерения на стереоскопических приборах, как в фототеодолитной съемке, а путем измерения углов, поэтому, укрепив негатив и установив на фотоизмерительном теодолите элементы ориентирования (см. выше)  $\alpha_0, \omega_0$  и  $\chi_0$ , можно измерить наведением трубы на соответствующую точку направления  $\alpha_0$  и  $\omega$ .

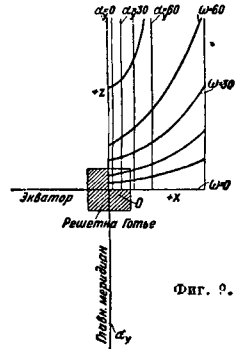
Если на другом негативе будут также измерены направления  $\alpha_1$  и  $\omega_1$  на ту же точку, то, зная расстояние между узловыми точками, т. е. базис, можно найти координаты определяемой точки путем решения прямой засечки по углам  $\alpha$  и  $\alpha_1$ . Этот процесс обычно совершается на особом чертежном приборе Цейсса графич. решением прямой засечки. Высоты определяемых точек находятся, как в обычных геодезич. измерениях, т. е. по вертикальному углу  $\omega$  и горизонтальному проложению согласно  $\phi$ -ле

$$H_m = H_A - D \operatorname{tg} \omega + r,$$

где  $H_A$ —высота точки стояния,  $r$ —поправка на кривизну земли и на рефракцию;  $D$  берется из графич. решения засечки; так как это нахождение координат точек основывается на знании элементов ориентирования, то сперва надо найти их, для чего описывают на снимке три пункта местности и определяют посредством геодезич. измерений их координаты. Для отыскания верных координат точки стояния необходимо, чтобы эта точка не лежала на поверхности прямого круглого цилиндра, описанного вокруг трех опорных точек. Действительно, при проектировании точки стояния на плоскость, проходящую через опорные точки, получается, что определяемая точка лежит на окружности, а следовательно решение обратной засечки невозможно.

При наличии правильно расположенных геодезич. точек решение пространственной пирамиды м. б. произведено несколькими способами, распадающимися на 3 основные группы: аналитический, графический и оптико-механич. способы решения. Аналитич. и графич. способы не имеют широкого применения вследствие сложности вычислительных работ или неточности получаемого результата. Для фотоизмерительного теодолита м. б. применен метод Фишера аналитического решения. По приближенно известным значениям элементов ориентирования  $\omega_0$  и  $\chi_0$  производят установку негатива в фотоизмерительном теодолите и измеряют направления на опознанные точки. По полученным углам решают обратную засечку и получают приближенное значение координат точки стояния в плане, а высота  $H_0$  определяется согласно известной  $\phi$ -ле

$$H_0 = H + D \operatorname{tg} \omega - r,$$



Фиг. 9.

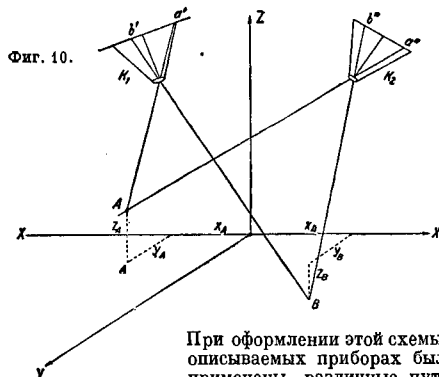
где  $\omega$  — истинный вертикальный угол. Ошибка в установочном угле влияет на точность определения высоты  $H_0$ , вместо которой получается ошибочное значение  $H_0'$ . Т. к. на негативе имеются три опорные точки, то каждая из них дает новое значение для  $H_0$ , несходное с предыдущими. Это несогласие м. б. объяснено только неправильно взятыми углами  $\omega_0$ , и надо изменить соответствующее ур-ие, переписав его в виде

$$H_0 = H + D \operatorname{tg}(\omega + \Delta\omega) - r,$$

где ошибка  $\Delta\omega$  складывается из ошибок  $\omega_0$  и  $\omega_0'$ . Составив три ур-ия для трех высотных точек, можно определить  $\Delta\omega_0$  и  $\omega_0'$ , чем и достигается правильное решение. Невозможность решения задачи при малых углах наклона оптической оси привела к значительному усложнению задачи, ставшей слишком громоздкой для решения. Графический метод заключается в развертывании пространственной световой пирамиды (образованной лучами, идущими на опознанные точки) на плоскость основания и в нахождении координат вершины пирамиды, а следовательно и длин ребер. Полученные данные не дают одного решения, и поэтому приходится исключать из них те, к-рые не вяжутся с решениями соседних снимков. Получив определенное положение вершины пирамиды, определяют элементы внешнего ориентирования, но неточность самого графич. построения не дает их точного значения. Поэтому если и пользуются графич. методом, то только лишь для того, чтобы узнать, не лежит ли вершина на «опасном месте», т. е. на поверхности круглого цилиндра, что потребует перемещения одной из опорных точек. Определение же элементов ориентирования м. б. произведено с тем, что дальнейшее уточнение результатов будет произведено аналитич. способом.

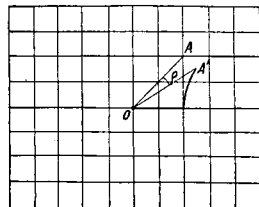
Эти вкратце изложенные способы (аналитический и графический) не получили широкого распространения, то в то время как метод оптико-механического решения в целом ряде конструкций и нашел применение. Из сконструированных приборов наибольшее значение имеют аэропланграф Бауэрфельд-Цейсса, аэрокартограф Гугерсгофа и автограф Вильда, отличающиеся друг от друга не только конструктивно, но и по вложенным в них теоретич. обоснованиям. Основной задачей всех этих приборов является непосредственное получение ортогональной проекции заснятой местности и рельефа, что достигается конкретным воспроизведением пространственной засечки. Это требует того, чтобы на одном приборе происходили определение элементов ориентирования, трансформация и рисовка рельефа, т. е. все те процессы, которые разбиты на отдельные, не связанные друг с другом операции в дифференцированном методе. Такое решение, с одной стороны, повышает точность выпускаемой продукции (за счет уменьшения числа ошибок), но с другой, — создает значительно более сложные и дорогие конструкции, предъявляющие и большие требования к оператору. Схема этих приборов видна на фиг. 10. Пусть имеются две камеры (фотоизмерительного теодолита)  $K_1$  и  $K_2$ , расположенные в пространстве таким же образом, как и аэрометрические камеры в момент экспозиции, причем расстояние между узловыми точками объективов должно равняться базису фотографирования, взятому в выбранном масштабе. Если в камерах укрепить негативы и осветить их, то лучи, идущие от идентичных точек обоих негативов, пересекутся между со-

бой, а рассматривая стереоскопически оба изображения, можно фиксировать это пересечение при помощи марок, находящихся в наблюдательной системе. Если материализовать пересечение пространственных лучей механически или оптически, то, перемещая точку пересечения в системе координат  $X'YZ'$ , можно подвести под марку любую точку негатива. Эти движения точки пересечения лучей связаны с картографом, повторяющим их на планшете, т. е. вычерчивающим наблюдаемые контуры и рельеф.



При оформлении этой схемы в описываемых приборах были применены различные пути.

- 1) Камеры прибора неподвижны; наблюдение различных точек достигается перемещением пространственных лучей вместе с визирными осями; задача осуществлена оптич. путем в стереопланиграфах Цейсса  $C_1$  и  $C_4$ .
- 2) Камеры прибора неподвижны при перемещении пересечения лучей вдоль оси  $Z$  (вращение на углы  $\omega$  вокруг осей  $X$  и  $Y$ ) и при наклонах осей визирования. Наклоны пространственных лучей на углы  $\alpha_y$  (вокруг оси  $ZZ$ ) вызывают соответствующее перемещение камер при неподвижных осях визирования. Этот принцип осуществлен в аэрокартографе Гугерсгофа.
- 3) Ось визирования неподвижна; камеры наклоняются совместно с пространственными лучами на углы  $\alpha$  и  $\omega$ . Такой путь не дает правильного решения задачи, т. к. точка снимка, совпадающая с маркой, не соответствует той точке, которая характеризуется пересечением лучей. Если поставить в камеру решетку Готье и наклонить пространственные лучи, то каждая точка оптич. оси будет перемещаться по большому кругу, проекции к-рых на плоскость решетки дадут прямые линии. Поэтому если при  $\alpha_y = 0$  (или  $\omega = 0$ ) наклонять камеру с пространственным лучом на угол  $\omega$  (или  $\alpha_y$ ), то визирный луч будет двигаться по меридиану (т. к. в начальном положении он совпадает с пространственным лучом) и проекция его перемещается по прямой линии; если же  $\alpha_y \neq 0$  ( $\omega \neq 0$ ), то визирная ось образует угол с пространственным лучом, и ее перемещение будет совершаться по параллели, что даст кривую на плоскости решетки, благодаря чему марка попадает на точку  $A'$  вместо требуемой точки  $A$ .



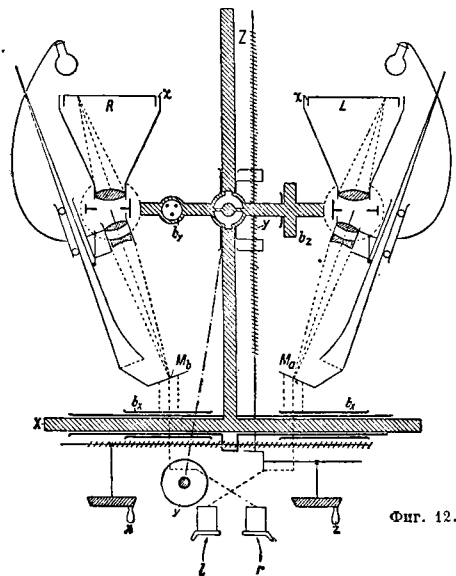
Фиг. 11.

(фиг. 14). Эти точки  $A$  и  $A'$  лежат на одинаковых расстояниях от главной точки  $O$ , и для совмещения с маркой правильной точки  $A$  необходимо сделать дополнительный поворот камеры в своей плоскости на угол  $\varrho$ , выражающийся ф-лой

$$\operatorname{tg} \varrho = \frac{\sin \alpha_y \cdot \sin \omega}{\cos \alpha_y + \cos \omega}.$$

Из ф-лы видно, что поворот на угол  $\varrho$  должен совершаться непрерывно при переходе от одной наблюдаемой точки к другой. К приборам этого последнего типа, учитывающим дополнительные повороты, относится автограф Вильда. В силу высказанных выше принципиальных отличий и конструктивные схемы этих приборов существенно отличаются между собой.

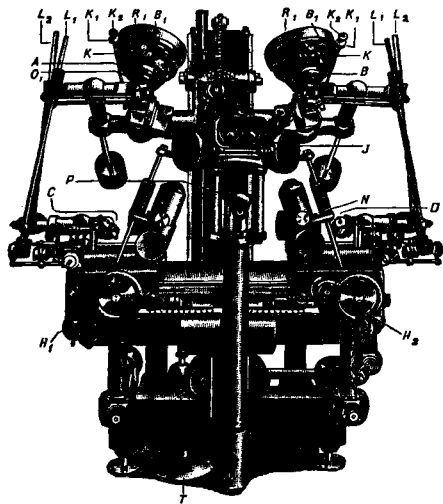
Стереопланиграф Бауэрсфельд-Цейсса, представленный на фиг. 12 и 13, осуществляет пространственную засечку оптич. путем и является прибором, в к-ром камеры неподвижны, а перемещается луч визиирования. На основной станине жестко укреплены две трубы, лежащие в горизонтальной плоскости и образующие друг с другом угол в  $90^\circ$ ; они представляют собой неподвижные пространственные оси координат  $X$  и  $Z$ , в то время как ось  $Y$ , связанная



Фиг. 12.

муфтой с осью  $Z$ , может перемещаться вдоль нее вращением штурвала  $H_2$  (фиг. 13). По оси  $Y$  при помощи ножного диска  $T$  перемещаются две камеры  $A$  и  $B$  (Л и R, фиг. 12), в к-рые вставлены негативы  $R_1$ . В приборе применен принцип Порро-Коппе, а потому фокусное расстояние камер устанавливается винтами  $B_1$  на равенство с фокусным расстоянием аэрофотокамер. Перед работой камеры д. б. ориентированы относительно пространственной системы координат, для чего они могут наклоняться винтами  $K_1$  и  $K_2$  на углы  $\alpha_0$ ,  $\omega_0$  и  $\varphi_0$ , образуемые оптическими осями в моменты съемки. Впереди объектива  $O_1$  камеры находится проектирующее приспособление—телеобъектив; телеобъектив связан особыми направляющими  $L_1$  и  $L_2$  с экранами,

представляющими собой стеклянные пластинки с нарезанными марками  $C$  и  $D$  ( $M_2$  и  $M_3$ , фиг. 12), находящимися на каретке, перемещающейся по оси  $XX$  вращением штурвала  $H_1$ . Изображение части негатива проектируется телеобъективом на



Фиг. 13.

экран, причем перемещение марок по оси  $XX$  вызывает наклон направляющих, а следовательно и поворот телеобъектива на угол  $\alpha$ ; перемещение же каретки  $Y$  по оси  $Z$  (фиг. 13) дает поворот на угол  $\omega$ . Эти движения изменяют расстояние от телеобъектива до марки, а потому для сохранения резкости проектируемого изображения необходимо иметь переменное фокусное расстояние оптич. системы; эту задачу и выполняет телеобъектив. Марка стереопланиграфа, являясь засекаемой пространственными лучами точкой, могла бы быть одной, но в целях конструктивного удобства их сделано две, раздвинутых между собой на постоянную величину так же, как камеры в аэроснимателе Гугерсгофа. Для установки базиса фотография марки раздвинуты еще на дополнительные величины  $b_{z1}$ ,  $b_{y1}$  и  $b_{z2}$ , представляющие собой проекции базиса на соответствующие оси координат. Изображение, спроектированное на марки, рассматривается через неподвижную бинокулярную систему  $J$ . Для того чтобы нанести на планшет наблюдательные контуры и рельеф, к координатным осям инструмента присоединен координатограф, воспроизводящий все перемещения в заданном масштабе, т. е. он имеет возможность установки нескольких коэффициентов увеличения или уменьшения. Если закрепить в камеры стереопланиграфа негативы и осветить их, то на экраны будут проектироваться изображения, к-рые рассматриваются стереоскопически через наблюдательную систему. Одновременным наведением обеих марок на идентичные точки негативов фиксируется касание пространственной маркой земной поверхности (поверхности модели), причем если все время сохранять это касание при вращении штурвалами  $x$  и  $z$  (фиг. 12), то на планшете будет вычерчена горизонталь сечения, отсчитанного по шкале высот  $P$  (фиг. 13). Точно так же и контуры

м. б. обведены маркой, только при этом приходится пользоваться и изменением высот. Элементы внешнего ориентирования камер определяются на самом приборе; сперва, вставив негативы в камеру, добываются их взаимного ориентирования, показателем к-рого является отсутствие вертикальной параллакса любой точки взаимно перекрытой зоны. Т. к. при взаимном ориентировании имеется 5 неизвестных, то достаточно на пяти точках уничтожить вертикальный параллакс, чтобы снимки приняли правильное взаимное расположение; геодезич. обоснования при этом никакого не требуются. Полученная оптич. модель м. б. наклонена по отношению к горизонтальной плоскости, а потому необходимо повернуть ее относительно местности и ввести в заданный масштаб. Эта задача выполняется при помощи четырех геодезич. точек, имеющих все три координаты, причем четвертая точка служит только для контроля. При помощи геодезич. точек или вводятся соответствующие поправки в наклоны обеих камер (как в стереопланиграфе  $C_1$ ) или вся модель сразу поворачивается вокруг двух осей (как в стереопланиграфе  $C_4$ ).

Аэрокартограф Гугерсгофа решает ту же задачу, как и стереопланиграф, но только механич. путем. Вместо оптического луча, проектирующего изображение на экран, у него имеется стержень (прецизионный рычаг), могущий наклоняться в двух карданах. Пересечение оси рычага с передними карданами представляет собой засекаемую точку, причем соответствующие точки снимков рассматриваются через наблюдательную систему и объектив, в фокальной плоскости которого находится марка. Задний кардан связан с камерой т. обр., что при перемещении рычага вдоль оси  $XX$  камера наклоняется на углы  $\alpha_p$ . При вращении же на углы  $\omega$  камера остается неподвижной, а прецизионный рычаг толкает призму, стоящую перед объективом камеры, благодаря чему меняется направление визирного луча, который начинает скользить по снимку. Отдельные конструктивные части прибора (приспособления для перемещения рычагов по осям координат, базисные установки, камеры, координатограф) соответствуют таковым же частям стереопланиграфа. Введение механич. стержней (прецизионных рычагов) вместо оптич. лучей внесло ряд дополнительных требований к механич. изготовлению и большее число ошибок, но зато значительно упростило оптич. схему. Получаемые точности ниже, чем на стереопланиграфе.

Автограф Вильда ближе стоит к аэрокартографу, чем к стереопланиграфу, т. к. решает задачу также при помощи прецизионных рычагов. Прибор сконструирован т. о., что наклон рычага на углы  $\alpha_p$  и  $\omega$  вызывает наклоны камеры в обеих плоскостях. Здесь имеет место третий из перечисленных выше случаев. Поэтому для правильного фиксирования наблюдаемой точки необходимо выполнить поворот снимка в своей плоскости на угол  $\epsilon$ , что достигается устройством особого коррекционного приспособления, автоматически, при изменении наклонов рычага, поворачивающего камеру на этот угол. В осталь-

ных частях конструктивная схема несущественно отличается от аэрокартографа.

Применение А. в.-с. Описанные методы А. в.-с. могут быть применены для крупных и средних масштабов, но являются совершенно нерентабельными при мелкомасштабной съемке. Причина кроется в сложности самого процесса обработки и в стоимости применяемой аппаратуры, которая не оправдывается требуемой точностью, почему для мелкомасштабных съемок применяется топографический, а иногда и просто зеркальный стереоскоп. В этом случае снимки принимаются за снятые при вертикальном положении оптич. оси и обрабатываются, как и в дифференцированном методе, но без определения элементов ориентирования и трансформирования. Это сильно уменьшает точность (т. к. наклон оптич. оси может доходить до  $3^\circ$ ), но все же горизонталь сечением в 20—30 м возможно проводить стереоскопически при надлежащей высотной подготовке. В настоящее время А. в.-с. не получила широкого распространения, и причиной этого является сложность камерального (фотограмметрического) процесса. Имеющиеся за границей фирмы производят А. в.-с., но все эти работы имеют незначительный объем и являются случайными, гл. обр. изыскательскими, работами. Основными масштабами обработки являются: от 1:5 000 до 1:10 000, при этом в масштабе 1:5 000 на 1 км<sup>2</sup> площади потребуются 6—7 геодезич. точек, а одна пара охватывает 0,4 км<sup>2</sup>, соответствующие цифры для масштаба 1:10 000 будут 1—2 точки на 1 км<sup>2</sup> и одна пара охватывает 1,2 км<sup>2</sup>. Указанные данные касаются аэрофото-съемки аэрофотоаппаратом с фокусным расстоянием в 240 мм на пластинку формата 18×18 см при продольном перекрытии 60% и поперечном 30%. Кроме этих геодезич. работ приходится после камеральной обработки вести еще дополнительную съемку, т. к. всегда на местности окажутся пространства, к-рые не могли быть обработаны на стереоприборах. При работе в масштабе 1:5 000 горизонталь проводится через 1 м, причем ошибка достигает 0,5 м.

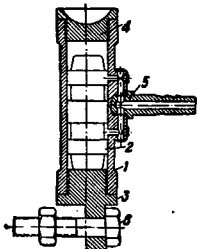
А. в.-с. в СССР не получила никакого развития, и до 1933 г. для нее не имелось собственной аппаратуры. С 1933 г. Научно-исследовательский ин-т аэрофото-съемки проводит работу по конструированию приборов и по обработке методики А. в.-с., в результате чего были сконструированы: стереопланиграф Дробышева, стереометр Дробышева, двойной проектор Дробышева и разработанная схема высотоплана. Из перечисленных приборов стереопланиграф, двойной проектор и высотоплан в своей теоретич. схеме принадлежат к тем же приборам, как стереопланиграф Цейсса, аэрокартограф Гугерсгофа и фотокартограф Нистри, в то время как стереометр разрешает задачу трансформирования параллакс-ов и рисовки рельефа.

Лит.: Келль Н., Пространственная обратная задача в фотограмметрии, Л., 1931; Gruber O., Ferienkurs in Photogrammetrie, Sig., 1930; Gast P., Vorlesungen über Photogrammetrie, Lpz., 1930; Huger s h o f f R., Photogrammetrie u. Luftbildwesen, Hndb. d. wissenschaftliche u. angewandte Photographie, hrsg. v. A. Hay, B. 7, W., 1930. М. Косыгин.

**БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ РАБОТЫ.** Вибрирование бетона. Повышение качества бетона в смысле увеличения его прочности, водонепроницаемости, сопротивляемости действию химических реагентов, морозостойкости, истираемости и других факторов, обусловливаемых общими и специальными требованиями, предъявляемыми к бетонным и железобетонным сооружениям, до последнего времени достигалось увеличением количества цемента, расходоуемого на производство Б. и ж. р. С возникновением и развитием теории Абрамса в США и на основе последующих исследований, произведенных в лаборатории Portland Cement Association в Чикаго проф. Мак-Милланом, Гоннерманом, Ляйзом, Хью и другими исследователями, а также аналогичными исследованиями проф. Проста (Германия) было установлено, что водонепроницаемость бетона увеличивается одновременно с повышением его прочности по мере уменьшения водоцементного модуля, т. е. отношения количества употребленной для образования бетона воды к количеству цемента, независимо от абсолютной величины расхода цемента. Часть воды, не участвующая в химич. процессе схватывания цементного теста и не входящая в соединение с цементом, остается в виде свободной остатка, занимающей часть объема внутри отвердевшего бетона. По мере испарения этой свободной воды в толще бетона образуются пустоты. Чем больше пустот содержится в бетоне, тем более путей создается для проникания и прохождения воды, попадающей на поверхность бетонных сооружений, которые при этом оказываются более водонепроницаемыми. Т. о. избыточное количество употребленной для образования бетона воды, способствуя образованию пустот, трудно различаемых глазом, или так наз. микропор, понижает одновременно прочность бетона и его водонепроницаемость. С другой стороны, недостаточное количество воды даже при надлежащем гранулометрич. составе инертных составляющих приводит к образованию трудно обрабатываемой бетонной массы, требующей применения трамбования. При достаточной густой арматуре бетонирование трамбованным бетоном становится почти неосуществимым. Вытекающие отсюда неудобства и удорожание производства работ привели к широкому повсеместному употреблению литого бетона с высоким водоцементным модулем и следовательно обладающего отмеченными недостатками. Удачное разрешение задачи механизирования производства бетонных работ с помощью мачт, под-

емников и желобов еще в большей степени способствовало распространению литого бетона.

Уменьшение количества микропор достигалось при производстве работ с литым бетоном легким постукиванием по боковым поверхностям форм, благодаря чему происходило образование более плотного слоя цемента и твердых инертных частей за счет вытеснения воды. В виду установленного опытом улучшения качества свежесуложенного бетона под влиянием вибрации для постукивания форм стали употреблять пневматические молотки, а также вибрационные площадки, раскочиваемые с помощью особого вибрационного механизма и сообщавшие колебательные движения деревянным формам вместе с содержащимся в них свежесуложенным бетоном. Недостатком этого устройства является большая затрата энергии для преодоления инерции площадки и форм. Несмотря на это вибрационные площадки в последнее время получили у нас широкое распространение. Дальнейшим усовершенствованием в области вибрационного метода бетонирования является погружение вибрационного аппарата в бетон (первибрация), благодаря чему колебания передаются непосредственно свежесуложенному бетону и следовательно экономится расход энергии. На фиг. 1 представлен разрез вибратора. Сжатый воздух по трубке 5 поступает в цилиндр 1, действующий на поршень 2, ударяющий попеременно в головки цилиндра 3 и 4. Болт 6 служит для прикрепления вибратора к опалубке. Бетон, положенный в форму с верхом, после вибрирования оседает до верхнего края формы, значительно уплотняясь. Это уплотнение достигается по некоторым исследованиям 6%. Вибраторы сообщают бетону 2—6 тыс.



Фиг. 1.

ударов в мин. первибрация производится с помощью того же аппарата, заключаемого в кожух т. о., чтобы объемный вес первибратора был менее объемного веса свежесуложенного бетона, в который он погружается, вследствие чего первибратор постоянно находится вблизи поверхности слоя, подвергаемого вибрированию. Требуемая продолжительность вибрирования составляет от 2 до 15 мин.

Влияние применения вибрирования на прочность бетона усматривается из следующей

таблицы, заимствуемой из данных лаборатории Днепрострой. Хотя в этих опытах невибриро-

Влияние вибрирования на прочность бетона.

Расход цемента в кг на 1 м <sup>3</sup> бетона	Временное сопротивление образцов сжатию в кг/см <sup>2</sup>			
	вибрированных			невибрированных
	2,5 мин.	5 мин.	8 мин.	
300 . . . . .	267	292	284	125
200 . . . . .	175	180	200	72
150 . . . . .	88	106	126	33
125 . . . . .	71	76	82	28
100 . . . . .	43	43	46	10

ванные образцы имели несколько больший водоцементный модуль, однако увеличение прочности вибрированием бетонных кубиков в 2,5—3 раза несомненно свидетельствует об эффективности вибрирования. На основании цифр этой таблицы можно также заключить, что одинаковая прочность бетона достигается вибрированием при значительном уменьшении расхода цемента. Приблизительно те же результаты получились при испытании балочек. Кроме уплотнения бетона и вытекающего отсюда повышения прочности, водонепроницаемости и прочих качеств преимущество применения метода вибрации заключается в том, что подвергающаяся вибрации или первичной масса бетона может иметь консистенцию, дающую меньшую величину сплыва конуса по сравнению с массой бетона, укладываемого обычным способом, будучи в то же время достаточно подвижной для того, чтобы под влиянием воздействия вибратора целиком заполнить весь объем форм и проникнуть в наиболее тесные участки между отдельными стержнями арматуры. При обычном способе укладки литого бетона в конструкции с очень большим насыщением арматуры и густым ее расположением требуется масса с повышенным водоцементным модулем, т. е. образующая менее прочный бетон при том же расходе цемента. Т. о. в вибрированном и первично вибрированном бетоне повышение прочности и сопутствующих ему качеств достигается как вследствие уплотнения укладываемой массы, так и благодаря возможности применения более густой массы, способной образовать бетон более высокого качества. В широком масштабе вибрированный и первично вибрированный бетон применялся при постройке плотины им. Гувера в США. Интересные опытные исследования были сделаны в 1932 г. проф. Калифорнийского университета Девисом и Пауерсом, производившими работы в Девенпорте (штат Айова) на постройке речного канала. Девису удавалось укладывать вибрированный бетон со сплывом конуса до 13 см. Употреблявшиеся им вибраторы производили 3 500 ударов в мин., а первичные — 4—7 тыс. ударов в мин. Им установлено, что производимое при этой работе давление на формы м. б. оценено в 0,22—0,30 кг/см<sup>2</sup>, что вибрированный бетон является более однородным, что он дает более надежное сцепление свежего бетона с отвердевшим при перерывах бетонирования и ускоряет процесс бетонирования. Для бетонирования стен, балок и колонн рекомендуется масса со сплывом конуса в 5—7,5 см, а для массивных конструкций — 2,5 см. По данным Пауерса один вибратор, используемый двумя рабочими, заменяет шесть укладчиков бетона, работающих обыкновенным способом; временное сопротивление бетона ска-

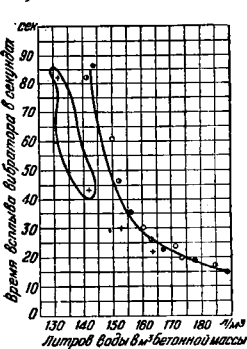
тию увеличивается приблизительно в два раза при одинаковом расходе цемента вследствие уменьшения водоцементного модуля и уменьшения %-ного содержания песка; в случае недостаточного содержания песка в результате вибрирования по поверхности бетолируемой массы выявлялся избыточная камневидная составляющая, легко удаляемая, и т. о. производится как бы автоматич. дозировка. На одном из участков канала Миссисипи в Девенпорте благодаря первичной получилась экономия в 57 кг цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона. Укладка вибрируемого бетона оказалась возможной при водоцементном модуле 0,4. На основании серии цитированных опытов установлено также, что вибрируемый бетон дает возможность применять смеси с меньшим содержанием песка, чем при укладке вручную, благодаря чему уменьшаются явления усадки и увеличивается морозостойчивость. При производстве дорожностроительных работ в штате Монтана США в 1932 г. был применен вибраторный метод укладки бетона. Консистенция определялась сплывом в 1,3—2,5 см, что уже оказывалось достаточным для получения однородной плотной массы. При этом было установлено, что экономия цемента благодаря применению метода вибрации превосходила 10%. По сравнению с другими опытами этот результат является достаточно скромным. Во всех случаях установлено, что однородность бетона оказывается более совершенной, чем при обычных способах производства работ, плотность бетона, измеряемая объемом употребляемых материалов, увеличивается на 8—16%, а при первичной на 20%, сопротивление сжатию повышается на 30—200%.

Появление на поверхности вибрируемой бетонной массы цементного молока позволяет не делать затирку в элементах конструкции и при устройстве защитного слоя на поверхности оеидн бетонных дорог. Для сооружений, в к-рых предполагается применение первичного метода, необходимо конструировать размещение арматуры т. о., чтобы была обеспечена возможность погружения первичатора. На фиг. 2 представлен америк. первичатор Мужеля, употребляемый при бетонировании колонн и высоких балок, железобетонных свай и др. Вибрирующая пластинка, прикрепляемая к корпусу вибратора, представляет собой в поперечном сечении полуoval и имеет размеры 12 × 50 мм при длине 0,9—4,5 м.

Наряду с использованием первичатора по основному их назначению, т. е. для встряхивания и уплотнения свежеуложенного бетона и сообщения ему вышеперечисленных свойств, в последнее время их стали употреблять также для оп- Фиг. 2. ределиния консистенции и удобообрабатываемости бетонных (и в частности жестких бетонных) масс. Консистенция или подвижность бетонной массы измеряется величиной сплыва конуса Абрамса, выражаемой в см, причем этим способом удается оценить только консистенцию пластичных бетонов, так как жесткие бетонные массы не дают никаких показаний сплыва конуса. Свойство удобообрабатываемости, отличное от понятия подвижности, до настоящего времени не нашло численного измерителя и четкой формулировки. Сущность его м. б. уподоблена пластичному состоянию подвергающихся обработке и обогащению формовочных глин. Признаки, характеризующие удобообрабатывае-



мое состояние, таковы: а) при штыковании получается такое же ощущение, как при штыковании толстого слоя вязкой грязи, в которой отсутствуют твердые крупные частицы; б) при снятии конуса масса не растекается и не выделяет воду; в) при перевозках и сотресециях удобообрабатываемый бетон не расслаивается. Некоторыми авторами вводится новый термин «удобоукладываемость», соединяющий в себе оба понятия—подвижность и удобообрабатываемость—и характеризующий такое состояние бетонной массы, при к-ром обеспечивается наиболее плотное и наименее трудоемкое заполнение форм. Сущность идеи применения перивibratorа как аппарата для определения удобоукладываемости бетонных масс основана на свойстве перивibratorа, погруженного в бетон почти на всю свою высоту, создавать во время вибрации вокруг себя плотный подвижный бетон и после некого промежутка времени всплывать на определенную высоту. Этот промежуток времени, по истечении которого происходит всплытие перивibratorа, и является показателем удобоукладываемости бетонной массы. Т. к. изменение содержания воды в бетонной массе при постоянном составе сухой смеси соответственно отражается на консистенции бетона, то очевидно, что наблюдаемая опытным путем зависимость между содержанием воды в бетонной массе и временем всплытия перивibratorа (фиг. 3) характеризует также зависимость между консистенцией и удобообрабатываемостью, с одной стороны, и временем всплытия перивibratorа — с другой.

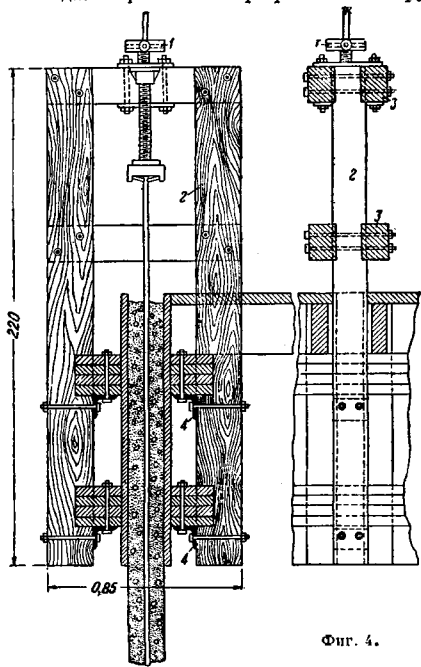


Фиг. 3.

Примущества применения перивibratorа для определения консистенции и удобоукладываемости бетона заключаются в следующем: 1) т. к. момент всплытия перивibratorа улавливается наблюдателем совершенно четко, в то время как измерение величины сплыва конуса не м. б. произведено с достаточной точностью, то первый способ измерения, будучи автоматическим, является более надежным, отражая притом самые небольшие колебания в расходе воды, употребляемой на затворение бетонной массы, и 2) затрачиваемая перивibratorом электрич. энергия расходуется на уплотнение и укладку бетонной массы, удобоукладываемость к-рой непосредственно характеризуется величиной расхода этой энергии. Перивibrator, употреблявшийся для определения удобоукладываемости бетонных масс, отличается от описанного ранее. Он состоит из металлического баллона цилиндрич. формы с овальным дном и плотно закрывающейся крышкой. Внутри баллона закреплен электромотор, на валу которого жестко насажены эксцентрические грузы. Провод для питания электромотора проходит сквозь крышку баллона. При быстром вращении ротора электромотора эксцентрические грузы вызывают нужную вибрацию всего прибора.

Бетонирование в подвижных формах. При постройке бетонных и железобетонных зданий достаточной высоты, имеющих

притом сечение б. или м. постоянное, не изменяющееся на протяжении определенного участка по высоте, с большой выгодой применяются подвижные формы, получившие особое распространение при постройке зерновых элеваторов и угольных бункеров. Они представляют собой вертикальные деревянные ящики без дна высотой ок. 1,2 м, располагаемые по всему периметру бетонируемого сооружения. Все пространство между стенками ящиков заполняется бетонной массой. Ящики подвешиваются к деревянным хомутам, называемым «ионами», которые опираются на особые домкраты («джеки»), в свою очередь передающие вес всей системы форм на специально заделываемые в бетонную массу железные стержни, «джековые стержни», остающиеся в бетоне и после окончания бетонирования. Идея работ в подвижных формах заключается в том, что при подкручивании домкратов происходит подъем форм, производимый непрерывно в течение всего времени бетонирования. Фиг. 4 дает вертикальный разрез по бетониру-

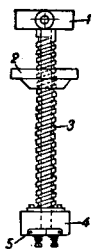


Фиг. 4.

мой стенке: 1 — джек (домкрат), 2 — стойки хомута, 3 — схватки жесткости хомута, 4 — уголок для прикрепления ребер. Доски опалубки следует привинчивать к ребрам с небольшими вертикальными зазорами для возможности свободного поперечного расширения их под влиянием соприкосновения с укладываемой бетонной массой, насыщенной водой. Назначение ребер состоит в организации опор для опалубки, изгибаемой под влиянием распора свежееукладываемого бетона, и передаче стоек суммарного давления, производимого этим распором. Они служат также для опирания укладываемых на ребро досок, образующих с помощью лежащего на них дощатого настила рабочую платформу. В верхней части жока на парных брусках, обжимающих



стойки хомута, укрепленна чугунная плита с выступом, имеющим внутреннюю нарезку для винта домкрата. Сквозь полый винт домкрата проходит джековый стержень диам. 25 мм, заделываемый в бетонную кладку. На нижний конец винтового ствoла домкрата надета зажимная коробка, свободно вращающаяся на нем. Зажимная коробка прочно захватывает проходящий сквозь нее джековый стержень при помощи двух челюстей, укрепленных на ее нижней поверхности и прижимаемых к ней пружинами. Т. о. она представляет собой упор для домкрата при поднимании иока. На фиг. 5 представлен

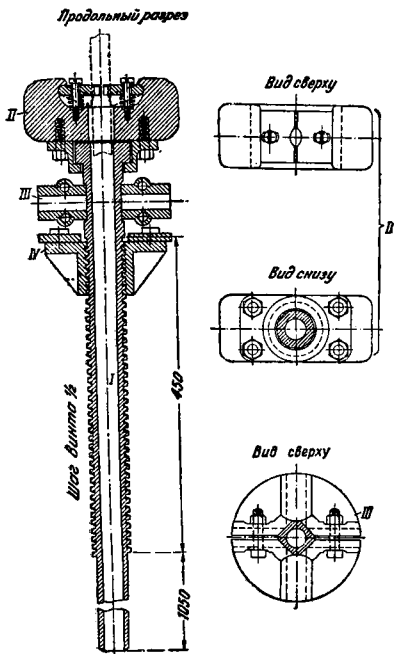


Фиг. 5.

домкрат (джек) системы Нельсон: I — головка домкрата с отверстиями для вставки лома, которым поворачивается винт домкрата, 2 — гайка домкрата, укрепляемая на иоке, 3 — винт домкрата, 4 — зажимная головка, 5 — челюсти для захватывания джекового стержня. Благодаря простоте описанной конструкции и плавности подъема форм джеки сист. Нельсон получили широкое распространение. К недостаткам этой системы относится малая сопротивляемость джекового стержня действию продольного изгиба, ограничивающая величину допускаемой нагрузки. Для устранения этого недостатка по мысли амер. фирмы Макдональд на джековый стержень надевается трубка с внутренним диам. 32 мм, имеющая целью предотвратить выщипывание джекового стержня. Эта трубка своей нижней частью проникает в слой свежесушеной бетонной массы. На фиг. 6 изображен сконструированный Н. В. Сорокиным джек, также обладающий по сравнению с джеком Нельсона преимуществом, заключающимся в возможности увеличить допускаемую нагрузку на джековый стержень, без увеличения его диаметра и следовательно уменьшить число джеков, необходимых для подъема всех форм, обслуживающих данное сооружение. Это достигается значительным увеличением длины полого винтового ствoла домкрата, в нижней своей части являющегося трубкой для предохранения джекового стержня от продольного изгиба. I — полая стальная трубка, имеющая внутренний диам. 32 мм; II — зажимная коробка с челюстями, помещаемая в отличие от джека системы Нельсон в верхней части джека; III — ключ, представляющий собой чугунную отливку из двух полудисков, стягиваемых болтами и обхватывающих квадратную часть трубки I; ключ имеет 4 отверстия для вставки ломов; IV — гайка с нарезкой, прикрепляемая к железной пластинке. В США иоки обыкновенно конструируют из железа, в остальном же они мало отличаются от употребляемых в СССР деревянных иоков.

Расстояние между джековыми стержнями определяется расчетом по допускаемому давлению на каждый стержень. Эта величина при среднем значении коэф-та уменьшения допускаемого напряжения от продольного изгиба  $\varphi = 0,20$  и основном допускаемом напряжении на сжатие  $[s] = 1200 \text{ кг/см}^2$  составляет ок.  $1200 \text{ кг}$ . Действующие на дисковый стержень силы состоят из опорного давления балок рабочего пола с полной нагрузкой, собственного веса опалубки, трения и сцепления, возникающих между бетоном и опалубкой при ее подъеме, и сосредоточенных сил от подвески подостей для ступенчатых. При этом расстояние между джековыми стержнями определяется в 1,0—2,5 м. При рас-

положении иоков необходимо обеспечить удобство перемещения и укладки бетона, сообразуясь с проектом и условиями производства работ.



Фиг. 6.

Наружная опалубка устанавливается строго вертикально, а внутренней полезно придавать незначительный уклон к вертикали с таким расчетом, чтобы в верхней части расстояние между внутренней и наружной опалубкой в свету было на 2,5—5 мм меньше требуемой по проекту толщины стены, а в нижней части на 2,5—10 мм более этой величины. Уклон внутренней опалубки необходим для того, чтобы между схватившимся бетоном и внутренней поверхностью опалубки при подъеме формы возникал небольшой зазор, облегчающий подъем. В верхней трети или половине форм бетон находится в пластичном, т. е. не вполне схватившемся, состоянии, и действительная толщина стены будет определяться расстоянием между опалубками в свету на том уровне, где происходит начало схватывания бетона. Способность форм при подъеме задирать свежесушеный бетон зависит от отношения объема бетона на данном участке поперечного сечения к периметру плана, вследствие чего затруднительно бетонировать тонкие стенки с помощью подвижных форм. Наименьшую толщину, допустимую для этого способа производства работ, принимают в 10—11 см, т. е. менее толщины, необходимой для обеспечения водонепроницаемости стены. При бетонировании стен, имеющих в плане остроугольное очертание, толщину их вблизи и против острого угла необходимо увеличивать во избежание подъема бетона вместе с формами. Такая же опасность существует также при пересечениях стен под прямым углом. Поэтому в этих пересечениях обыкновенно

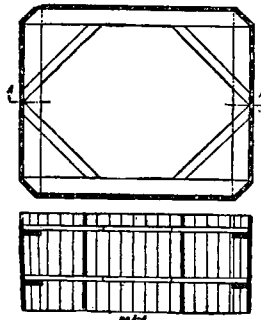
снимают в опалубке треугольные фаски размерами  $10 \times 10$  см.

Рабочую платформу, по которой транспортируется в тачках бетонная масса, располагают в уровне верха опалубки, откуда бетон сбрасывается в пространство между наружной и внутренней опалубкой. Рабочую платформу целесообразно конструировать т. о., чтобы она могла служить опалубкой для железобетонного перекрытия над силовыми; с этой целью она д. б. рассчитана как на нагрузку от тачек, нагруженных свежей бетонной массой, так и на собственный вес укладываемого в перекрытие свежего бетона, увеличенный на коэф. динамичности от трамбования бетона. Т. о. устраняется необходимость устройства стоечных лесов, простирающихся от самого основания сооружения для поддержания опалубки перекрытия. Перекрытие над силовыми обычно является полом транспортной галереи, несущим б. или м. значительную нагрузку от оборудования. В настоящее время амер. практика рекомендует применять в качестве ребер для перекрытия под полом верхней транспортной галереи металлические балки, если только диаметр силовых башен не превосходит 6 м, т. к. в противном случае металлич. балки оказываются чрезвычайно тяжелыми и дорогими. Перед подъемом форм необходимо привести рабочую площадку в основании форм в абсолютно горизонтальное положение. Проект сооружения, исполнение к-рого предложено вести с помощью подвижных форм, должен предусматривать наличие перекрытия в том уровне, с которого начинается производство работ в подвижных формах, причем предпочтительным является такое решение, когда работа в подвижных формах начинается с площадки, располагаемой на уровне земли. Фиг. 7 дает представление об усовершенствованной амер. конструкции рабочей платформы, поддерживаемой металлич. балками, к-рые опираются на ребра подвижных форм.

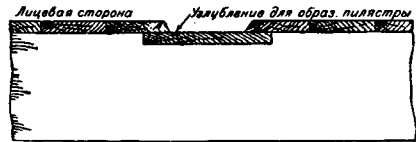
В начале производства работ укладывать бетон в формы следует очень медленно и не начинать подъема форм до момента достаточного застывания бетона, чтобы не происходило в момент подъема сплывания бетона снизу из-под форм, а также чтобы бетон не увлекался вверх силой трения о поверхности форм. Срок, достаточный для возможности подъема форм, зависит от условий погоды и определяется опытным путем. В виду особенностей производства работ с помощью подвижных форм затирка поверхности бетонированных стен, и в особенности наружных, приобретает особо существенное значение. Поэтому обычно устраивают с внешней стороны сплошные подвесные подмости. Т. о. поверхность бетонированных стен м. б. опуткуатурена одновременно с бетонированием. При надлежащей организации производства работ и удовлетворительном технич. надзоре при хорошей погоде удается в течение 24-часовой непрерывной работы вывести бетонные стенки с помощью подвижных форм на вы-

соту до 6 м. Т. о. бетон до начала схватывания, т. е. приблизительно в течение  $\sim 1\frac{1}{4}$  ч., будет обжиматься опалубкой, после чего вследствие наличия небольшого наклона к вертикали внутренней опалубки последняя будет служить лишь ограждением для уже начавшей схватываться массы, не оказывая на нее давления. Окончательное освобождение свежего слоя бетона при высоте форм 1,20 м произойдет спустя 5 ч., что можно считать сроком, достаточно гарантирующим прочность бетона. Однако практически редко приходится подвергать бетон возможным последствиям столь быстрого освобождения от форм, так как указанная скорость 6 м в 24 ч. редко осуществляется, будучи в среднем по данным амер. практики близка к 3 м в сутки. Производство работ с помощью подвижных форм неизбежно приводит к необходимости ведения их непрерывно, т. е. как днем, так и ночью, т. к. в местах всякого перерыва работы обычно появляются горизонтальные трещины, происходящие вследствие неудовлетворительного смещения старого со свежее укладываемым бетоном. В связи с этим обстоятельствам строительства, ведущимся с помощью подвижных форм, обязательно оборудуются электр. освещением. По большей части рабочие платформы освещают лампами в 150 W, причем каждая лампа обслуживает ок. 8 м<sup>2</sup> площади, и их устанавливают т. о., чтобы всегда поверхность бетона в опалубке была достаточно освещена.

Бетонирование в подвижных формах может с успехом применяться и в тех случаях, когда является необходимостью с целью удешевления стоимости или по соображениям гидро- или теплоизоляции применять в одном поперечном сечении бетонированной стены бетоны различных составов. При производстве бетонных работ в подвижных формах осуществление горизонтально идущих выступов зданий, например карнизов, чрезвычайно затруднительно. Для этого требуется приостановить работы и переоборудовать формы. Меньшие затруднения представляют собой вертикальные выступы вроде пилластр, которые м. б. выполнены посредством устройства опалубки, как показано на фиг. 8. В СССР при-



Фиг. 7.



Фиг. 8.

менение подвижных форм получило широкое распространение в связи с развертыванием работ по строительству сети крупнейших элеваторов при ж.-д. станциях, речных пристанях и в морских портах.

Для успешности работ в подвижных формах необходима правильная организация основных процессов: 1) размещения материалов и доставки бетона от бетономешалки к месту укладки, 2) гнутья и укладки арматуры, 3) подъема подвижных форм и 4) отделки поверхностей. Для достижения наибольшей скорости необходимо производить работы непрерывно, но нужно зорко наблюдать за правильной укладкой арматуры, т. к. при непрерывной работе по бетонированию и подъему форм арматура очень быстро покрывается слоем бетона. Непрерывная работа способствует также получению бетона лучшего

качества, в особенности в жаркую погоду, поэтому что при этом уменьшается опасность образования невидимых глазом горизонтальных щелей между двумя смежными слоями укладываемого бетона. Однако иногда работы все же ведутся и с перерывами в том случае, если скорость не имеет большого значения. Тогда укладка бетона и арматуры производится в течение одной 8-час. смены, а подъем форм и штукатурка — в следующие две смены. При этом бетонщики, уходя с работы, оставляют наполненные доверху формы, после чего немедленно начинается подъем форм. Работа с перерывами м. б. допущена только в холодную погоду, когда схватывание и твердение бетона происходят медленнее. Подъем форм должен совершаться очень аккуратно. Правильность подъема обязательно проверяют нивелиром через каждые 40—50 см, а вертикальность стен проверяют отвесом через каждые 1,5 м. При неравномерности подъема форм по всему периметру рабочая платформа стремится сместиться в сторону более пониженной части, вследствие чего может произойти отклонение бетонированной стены от вертикали. С этой же целью рекомендуется также производить промеры затора между внутренней гранью наружной опалубки и поверхностью бетона у нижнего ребра опалубки. При проектировании сооружений, которые предполагается возводить в подвижных формах, следует назначать постоянное по всей высоте расстояние между горизонтальными стержнями, измеряемое в вертикальном направлении. Это расстояние д. б. равно высоте укладываемого за один раз слоя бетона. При этом diam. стержней будут очевидно изменяться соответственно возникающим в них усилиям, определяемым расчетом. Стержни арматуры надлежит укладывать быстро в требуемое положение непосредственно на бетон, употребляя как можно меньше монтажного железа. Укладка длинных стержней затрудняется поперечинами иковок, не позволяющими заводить их сверху, поэтому обыкновенно бывает выгодно употреблять стержни длиной  $\approx 4,5$ —6 м. Если бетонированная стена имеет проемы, то оконные коробики д. б. предварительно подвзяны к арматуре достаточно прочно, чтобы при бетонировании они не могли быть сбиты. Определяемая расчетом толщина стен силовос убывает снизу вверх, однако для удобства производства работ в подвижных формах эту толщину обыкновенно сохраняют постоянной. Т. о. происходит некий перерасход затрачиваемых на постройку материалов, компенсируемый экономией на рабочей силе. Ступенчатый профиль является теоретически наимыгоднейшим, давая экономию в размере 21% по сравнению с прямоугольным, но усложняет производство работ вследствие наклона внутренней поверхности к вертикали. Наиболее подходящим для производства работ в подвижных формах профилем является ступенчатый профиль, осуществляемый след. обр.: когда бетонирование достигает уровня, на к-ром запроектировано изменение толщины стенки, формы поднимают вверх и переоборудуют либо путем сближения наружной и внутренней опалубки либо, для простоты, набивкой на внутреннюю поверхность внутренней опалубки дополнительный ряд досок. При бетонировании вышележащей части силовос следует обратить внимание на центрирование иковок, к-рые при этом будут эксцентрично опираться на джековы стержни. В условиях США описываемый метод не рентабелен вследствие относительной дороговизны ра-

бочей силы и невысокой стоимости цемента и других материалов. Значительная выгода от производства работ в подвижных формах заключается в многократном использовании форм, напр. для здания, имеющего высоту 25 м, подвижные формы высотой 1,25 м используются 20 раз. Несмотря на несколько более высокую стоимость их изготовления, отнесенную к 1 м<sup>2</sup> площади опалубки, на необходимость оборудования их джеками и другими приспособлениями и на расходы по подъему форм все же экономия от применения подвижных форм по сравнению со стационарными формами весьма значительна. По данным амер. практики для изготовления подвижных форм для одиночного силосного здания diam. 6 м требуется израсходовать 20 рабочих дней.

Искусственное охлаждение бетона в сооружениях. Развивающаяся во время процесса твердения бетона высокая температура м. б. до известной степени использована для обогрева наружных поверхностей бетона, подвергающихся непосредственным атмосферным воздействиям при бетонировании в зимнее время года. Однако обыкновенно возникновение высокой  $t^{\circ}$  в толще бетона может скорее причинить вред, нежели рассматриваться как преимущество. В небольших сооружениях и тонких бетонных элементах последствия выделения тепла не представляют собой серьезной проблемы, т. к. термич. сопротивление такого элемента не велико, но в сооружениях, имеющих достаточно широкое поперечное сечение,  $t^{\circ}$  иногда достигает 70 $^{\circ}$ , и проходит несколько декад после укладки бетона, пока его внутренняя  $t^{\circ}$  не сравняется с  $t^{\circ}$  окружающего воздуха. Появление столь высокой  $t^{\circ}$  и длительность ее в связи с неравномерным распределением в пределах толщины сечения причиняют неравномерность усадки, дополнительные  $t^{\circ}$ -ные напряжения и образование волосных трещин и пор, понижающих прочность и водонепроницаемость бетона. Эти явления особенно проявляются при постройке бетонных вододержательных плотин, представляющих собой массивные сооружения очень большой толщины. При постройке плотины длиной 4,5 км вблизи Оттавы в Канаде были произведены в 1930—31 гг. опыты, имевшие целью выяснить возможность искусственного понижения  $t^{\circ}$  больших бетонированных массивов, а равно и ускорения процесса их охлаждения. Для исследования вопроса на одном участке строительства на плотине было уложено внутрь бетонированной массы 150 м водопроводных труб diam. 5 см, через к-рые из озера вода перегонялась насосами. Для наблюдения за  $t^{\circ}$  была установлена серия термометров. Искусственное охлаждение продолжалось в течение 30 дней. Для сравнения с изменениями  $t^{\circ}$ , происходившими в естественных условиях, такие же наблюдения производились на среднем участке плотины. Эффективность искусственного охлаждения стала заметно обнаруживаться уже через 60 ч. Через 15 дней  $t^{\circ}$  искусственно охлажденного бетона упала до 30 $^{\circ}$ , тогда как в участке, находящемся в естественных условиях, термометры в это время показывали 60 $^{\circ}$ . Путем охлаждения бетон достигал  $t^{\circ}$  окружающего его воздуха спустя 30 дней после его укладки, а для неохлажденного бетона этот срок увеличивался до 70 дней. Т. о. система искусственного охлаждения бетонированной массы с помощью циркуляции воды в сети водопроводных труб, укладываемых в толще бетонированного массива, приносит существенные и благотворные результаты в смысле укорочения

периода остывания бетона, хотя и не дает достаточно ощутимых величин снижения наивысшей  $t^{\circ}$ . Охлаждение бетона аналогичным методом осуществлялось в 1932—33 гг. при производстве работ по постройке плотины имени Гувера в Калифорнии.

Лит.: Олешкевич Б. и Аваков А., Выборочный бетон на Днепрострое, «СП», 1933, 7; Сорочер В., Последние данные исследовательской работы по вибрации в США, там же, 1933, 8; ето же, Новые методы определения подвижности и удобообрабатываемости бетонов при помощи вибратора, там же, 1934, 3; Демисов А., Подвижные формы и механизация железобетонных работ на постройке Московского элеватора, Гос. ин-т сооружений, 1929, сообщение 9, дек.; Вавилов М., Сорочкин Н., Чекалин А., Выполнение железобетонных сооружений в подвижных формах, М.—Л., 1931; Лазаревич С. и Троицкий Х., Обмеренные леса и подвижная опалубка, М., 1930; K o l b H., Surface-Track Construction with Vibrated Concrete, «Engineering News Record», 1934, March 15; New Concrete Vibrator of Internal Type, ibid., 1933, April 13; B o y d m e r L., Sliding Form Work, «Journal of the American Concrete Institute», 1933, v. 4, January 5 and February 6; L. F., L'emploi de coffrages glissants, système Macdonald pour la construction des murs de barrages, «СС», 1933, t. 19, Mai 13; E l e h o f f R., A Manual for Building a Operating Hiding Forms, «Engineering News Record», 1925, v. 95, 20, November 12; K n e e s, Die Anwendung des Gleitbaueverfahrens, «Zement», 1930, 24, Juni 12. Е. Штамм.

**БИМЕТАЛЛЫ**, двух- или трехслойная комбинация двух различных металлов или сплавов, прочно соединенных между собой. В связи с этим различают: 1) Б., наружный слой к-рого имеет целью защитить внутренний от коррозии; 2) Б., наружный слой к-рого наносится для сообщения внутреннему слою иных физических и прочих свойств, и 3) Б., изготовляемый исключительно с целью использовать разницу в коэф-те расширения составных слоев при нагревании. Т. н. термический Б. В Европе и США термин «Б.» относится лишь к 3-му термич. Б., а 1-й и 2-й Б. носят название плакированного металла. Соединить прочно два слоя металла между собой можно путем заклепок, припоя, сварки, погружением в расплавленный металл (оцинкование, лужение), цементацией (цинковой пылью — шерардизация, алюминием — алитирование), пульверизацией расплавленным металлом (шоопирование), механическим натиранием, заливкой жидкого металла вокруг основного металла с последующей прокаткой, проковкой или волочением полученной заготовки, непосредственной прокаткой двух слоев различных металлов, находящихся в соприкосновении, электролитич. осаждением одного металла на другой с последующей термич. обработкой или без нее. Поэтому широкое толкование термина «Б.» влечет за собой ряд неудобств, а поэтому в настоящее время практически к Б. относят лишь металлы, представляющие собой комбинацию двух металлов или сплавов, полученных путем прокатки и электролитич. осаждения. К наиболее старым и давно известным Б. следует отнести свинец, плакированный оловом, и медь, плакированную тонким слоем серебра или золота.

Для получения листов свинца, плакированного оловом, небольшой слиток свинца (весом ок. 8 кг) обкладывается с обеих сторон листами олова (толщиной 0,22 мм) и в подогретом до 70—100° состоянии подвергается прокатке. Под давлением валков при прокатке происходит приварка слоя олова к свинцу, причем эта приварка настолько прочна, что при дальнейшей штамповке изделий из этих листов отслаивания олова от свинца не происходит. Б. медь — благородные металлы, получаемые путем прокатки, употребляются издавна на штамповку всякого рода заготовок для ювелирных изделий, пуговиц и пр. В настоящее время в СССР значительная часть

Б. изготовляется в целях замены дефицитного и дорогого металла. Главнейшими Б., изготовляемыми за границей и в СССР, в которых сервцевинной служит мягкая сталь, являются следующие. 1. Мягкая сталь, покрытая чистым никелем с одной или двух сторон (Ni от 2,5 до 10% от общего веса). Из этого Б. в Европе и США изготовляется посуда, столовые принадлежности и ряд мелких и крупных штампованных изделий. 2. Мягкая сталь, покрытая медно-никелевыми сплавами (монель-металлом, купроникелем, содержащим 25% никеля, и мельхиором с 15 и 20% Ni). Вес плакирующего слоя составляет 5—10%. Области применения данного Б. почти те же, что и предыдущего. 3. Мягкая сталь, покрытая медью (5—50%). Стальные листы и ленты покрываются слоем меди (5—10%) и находят применение в автотракторной, шелковой, бумажной, спиртоводочной, анилиновой промышленности и т. п. образом в электропромышленности. Кроме того из них готовят изделия широкого потребления. Биметаллич. проволока (меди 33—50%) применяется в качестве проводов для высокочастотных (до 40 000 Hz) воздушных линий связи. 4. Мягкая сталь, покрытая медно-цинковыми сплавами (5—10%), напр. томпаком (до 90 ± 1% (Cu и латунию (67—70% Cu), в виде листов и лент находят применение в электротехнике, автотракторной промышленности, в физической, лабораторной и медицинской аппаратуре, оптико-механической и музыкальной промышленности, в производстве различного рода мелких предметов галантереи, скобяных изделий, посуды, для военно-амуниционного снаряжения, охотничьих принадлежностей и спортивного инвентаря. Проволока из этого Б. употребляется для механич. обуви. 5. Мягкая сталь, покрытая алюминием (10—20%), известна под названием «ферран». В Европе и СССР из феррана изготовляются изделия широкого потребления. В целях предохранения от коррозии стали в последнее время начал применяться Б. мягкая сталь — нержавеющая сталь и мягкая сталь — сталь ферродит. Сталь ферродит, получаемая на советских заводах, содержит 0,23—0,33% С, 0,4—0,6% Mn, 0,5—0,7% Si, 25—28% Cr и 0,5% Ni и обладает чрезвычайной стойкостью против воздействия всякого рода к-т, смесей соков и экстрактов. Листы из этого Б., получаемые путем прокатки, могут иметь широкое применение в деталях машин и аппаратов, применяемых в консервной, плодово-овощной, рыбной, мясной и других пром-стях. В целях предохранения от коррозии дуралюмина и других легких сплавов алюминия чрезвычайно широкое применение получили Б.: 1) альклед (дуралюмин, плакированный чистым алюминием), 2) дуралплат [дуралюмин, плакированный легким сплавом алюминия с магнием (0,2—2%) и небольшим количеством Mn], 3) аллауалт (сплав алюминия с 4% Cu, 2% Si и обычной для алюминия примесью Fe, плакированный чистым алюминием) и др. Из Б., изготовляемых из цветных металлов, можно отметить «купал» — медь, покрытую алюминием. Проволока из этого Б. при помощи анодной оксидации получает поверхностный слой, обладающий высоким электросопротивлением (устраняется в отдельных случаях изоляцией). Очень часто проволока из купала не подвергают анодной оксидации и изготовляют из нее провода и шнуры с резиновой изоляцией, при этом избегается предварительное покрытие медной проволоки чистым оловом или сплавом олова со свинцом, что значительно упрощает производство и устраняет лудильные цеха.

Особую группу Б. представляет собой термич. Б. в виде двух металл. пластинок равной длины; одна из них изготовляется из металла с большим коэф-том теплового расширения, напр. стали, сплава стали с 25% Ni и 5% Mo, никеля, монель-металла, константана, меди или томпака, а другая — из специального сплава — инвара, представляющего собой сталь с 36% Ni и при нагревании от 0 до 150° обладающего наиболее низким коэф-том теплового расширения из всех известных металлов и сплавов. Термич. Б. в СССР и за границей нашел широкое применение в конструкциях чрезвычайно дешевых и надежных действующих регуляторов  $t^{\circ}$ . Сконструированный лабораторией ВЭИ биметаллич. регулятор для термостатов, инкубаторов и других аппаратов, нуждающихся в точной регулировке  $t^{\circ}$  при испытаниях, работал с точностью в  $\pm 1,5\%$ . Из термич. Б. готовятся сигнализаторы перегрева подшипников и сигнализаторы перегрузки электромоторов. Применяются также биметаллы для термич. реле, для автоматич. пуска моторов и пр.

За границей массовое производство Б. началось до мировой войны. В США и Германии производство Б. достигает значительных размеров; так, в 1928 г. фирмой Copper Weld Steel Company в Глезпорте (Пенсильвания) был выстроен самостоятельный з-д с годовой производительностью путем прокатки и волочения ок. 11,5 тыс. т биметаллич. проволоки мягкая сталь—медь. В ряде других стран Европы Б. производится в незначительном количестве. В значительном количестве ферран производится в Германии, а также в Швеции, Норвегии и Франции. Термич. Б. путем прокатки начал производиться в Германии и др. странах сравнительно недавно. Аляклед начал производиться впервые в США.

Попытки изготовить Б. у нас делались до войны 1914—18 гг., но не дали благоприятных результатов. Первые образцы советской биметаллич. проволоки мягкая сталь—медь были даны з-дом «Серп и молот» в Москве в конце 1928 г., а первая партия биметаллич. проволоки  $\varnothing$  в 4 мм была сдана в 1929 г. Первые попытки изготовить биметаллич. трубы в СССР были сделаны на з-де им. Ворошилова в Ленинграде в 1929 г. К 1932 г. производство Б. в СССР осуществлялось на з-дах «Серп и молот» в Москве, Кольчугинском з-де, «Красный выборжец», з-де им. Ворошилова в Ленинграде и на других з-дах. В 1930 г. началось производство алякледа на Кольчугинском заводе, а затем на других заводах, и в самое последнее время начали изготовлять опытные партии термического Б., Б. мягкая сталь—сталь фуроридит и купал. Что касается феррана, то первые удачные образцы его были получены в 1931 г. на Кольчугинском з-де, а затем и на з-де «Красный выборжец», но производство феррана до сих пор в СССР не может считаться налаженным. Главная масса Б. производится з-дами в виде проволоки мягкая сталь—медь и мягкая сталь—томпак. Остальные Б. производятся у нас в небольших количествах. Весь Б. у нас изготовляется т. н. термич. методом; между тем уже в 1930 г. стало известно, что в Германии проволоку мягкая сталь—медь производят гальванич. путем. В 1932 г. были поставлены опыты, в 1933 г. осуществлены опытные установки в Ин-те им. Карпова в Москве по получению биметаллич. проволоки мягкая сталь—медь и в Гинцветмете — по получению биметаллич. полос мягкая сталь—медь гальванич. путем с применением при электролите высоких плотностей тока поряд-

ка от 5 до 15 000 А/м. В результате работ вышеуказанных ин-тов удалось получить на стали плотные, хорошо пристающие, не хрупкие, мелкокристаллич. осадения меди светлорозового цвета и тем самым разрешить проблему производства Б. мягкая сталь—медь гальванич. путем. Одновременно с этим были поставлены успешные опыты по получению Б. мягкая сталь—латунь чисто гальванич. методом, а комбинированным, т. наз. гальван-отермическим. Для получения Б. из стали и латуни, содержащей 70% меди и 30% цинка, по этому методу на стальную проволоку или полосу осаждают сначала медь, а на слой меди затем наносят слой цинка. Затем проволоку или полосу подвергают нагреву, во время которого происходит взаимная диффузия меди и цинка и образуется латуни. Состав латуни регулируется количеством осаденных меди и цинка. Слои латуни, полученные этим методом, отличаются хорошими механич. свойствами. Б. мягкая сталь—латунь, полученный гальвано-термич. способом, выдерживает глубокую штамповку. Б. мягкая сталь—томпак до сих пор возможно готовить лишь термич. путем.

**Производство биметаллической проволоки мягкая сталь—медь.** Метод изготовления биметаллич. проволоки на заводе «Коппервелд стил компани» запатентован и нашим з-дом в подробности не известен. Имеются лишь сведения, что стальная заготовка предварительно травится, затем омедняется в растворе неизвестного состава, устанавливается в графитовый тигель и помещается на особой вагонетке в печь, где подвергается термич. обработке в течение нескольких часов при  $t^{\circ}$ , близкой к  $t_{пл}^{\circ}$  меди в атмосфере естественного газа. После термической обработки в пространстве между стенками нагретой изложницы и заготовки заливается расплавленная медь. После отвердевания меди заготовка, окруженная медью, вынимается, помещается в печь для подогрева, после чего прокатывается в горячем состоянии на стане для прокатки проволоки и наконец подвергается волочению в холодном состоянии.

В связи с неясностью технологич. процесса, применявшегося на з-дах в США, наши заводы «Серп и молот» и Кольчугинский выработали свои методы. В качестве сердечника для биметаллич. проволоки на наших з-дах употребляют заготовку из мартееновской стали. Для этой цели на з-де «Серп и молот» из мартееновской печи отливался слиток весом 0,65 т следующего химич. состава: С  $\leq$  0,12%, Mn  $\leq$  0,6%, P  $<$  0,045%, S  $<$  0,045%. Отлитый слиток прокатывался в заготовку круглого сечения 82—85 мм и разрезался на стержни длиной 800 мм. Кольчугинский з-д получает со стороны круглые стержни мартееновской стали 80—85 мм и длиной 770 мм. Овальность сечения стержня не должна превышать 2 мм. Перед заливкой цветным металлом поверхность стержней д. б. очищена от окалины, загрязнений и поверхностных шлаковых включений. Очистку производят травлением в 6—10%-ном растворе серной к-ты, подогревом до 60°, с прибавлением для уменьшения потерь стали при травлении специальных травильных присадок. По окончании травления удаляют с поверхности стержней черный налет отделившейся от железа окалины, а также смывают остатки к-ты горячей водой. Кроме того стержни подвергают чистке кардными щетками или песком, после чего производят обдувку стержня сжатым воздухом. На з-де «Серп и молот» сталь-

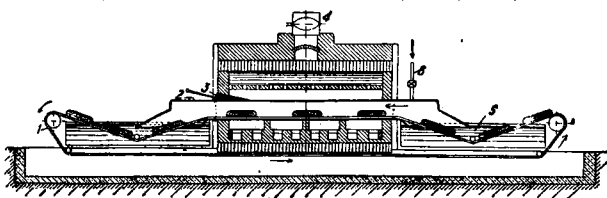
ной стержень после удаления поверхностных загрязнений и окалины подвергался перед заливкой расплавленной медью омеднению с тем, чтобы до заливки предохранить поверхность стержня от окисления. После омеднения готовые сердечники вытирались тряпками досуха и перед заливкой подвергались нагреву в течение 1 часа до 300—400°. За 2—3 мин. до заливки стержни вынимались из печи, очищались железными щетками от прилипшей к ним глины, песка и налета негоревших частиц топлива и вставлялись в круглые изложницы с толщиной стенок 50 мм. Изложница перед заливкой нагревалась до 150° и смазывалась керосином, смешанным с 2—3% голландской сажи. На заводе им. С. Орджоникидзе в Кольчугине очищенные на кардных щетках до металла, блеска стальные стержни упаковываются в листы жести и подвергаются нагреву в течение 50 мин. до 650—700°, при этом тщательно наблюдают за равномерностью прогрева стержня, чтобы жесть пакета не прогорела и стальной стержень не покрылся окалиной. После нагрева стержни по одному вынимаются из печи, освобождаются от упаковки, слегка протираются полукруглой кардной щеткой и устанавливаются в изложницу для заливки. Для заливки берут электролитич. медь марки М<sub>1</sub> по ОСТ 308. Перед заливкой медь д. б. перегрета до 1200—1250° и должна подвергнуться раскислению. Заливку металла в изложницу производят струей толщиной в 25—30 мм. Изучение строения биметаллической заготовки показало, что приварка меди к стали происходит только в тех местах, где падающая струя меди непосредственно касается стального стержня. Приварка меди к стали в остальных местах происходит в процессе прокатки в горячем состоянии. После окончания заливки, через 3—5 мин., производится раскрытие изложниц. Вес стали и меди в биметаллич. заготовке приведен в табл. 1.

Табл. 1. — Содержание стали и меди в биметаллич. заготовке (в кг).

Заводы	Вес стержня *	Вес заготовки	% меди по весу
«Серп и молот» . . .	34	72,5	53,3
Кольчугинский . . .	30,10	67,3	55,3

\* До заливки медью.

После уничтожения дефектов заготовки последней перед прокаткой нагревается в методической печи (в окислительной атмосфере) в течение 2—3 ч. до t° 950°. После того как заготовка равномерно прогрелась, при помощи клещей ее вынимают из печи и опускают на 5—7 ск. в бак с холодной водой. Цель означенной операции — несколько охладить слой меди. Прокатку биметаллич. катанки ведут на обычных проволочно-прокатных станах. При прокатке биметаллич. заготовки в прямоугольных и квадратных калибрах с большими обжатиями иногда происходит отслаивание меди от стального стержня (фиг. 1,

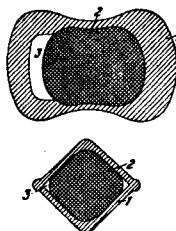


Фиг. 2.

где 1 — медь, 2 — сталь, 3 — пустоты). Поэтому на америк. д-зах для прокатки биметалла введена специальная калибровка. Опыт работы наших заводов указывает, что обжимные калибры диаметром до 20—25 мм предпочтительнее делать стрельчатыми, остальные калибры — по системе

квадрат — овал. Что касается отделочной линии, то за исключением последних проходов калибры здесь также стрельчатые. Прокатку В. ведут весьма быстро с тем, чтобы заготовка не успела значительно охладиться и к концу прокатки t° металла не была ниже 600°. Если t° конца прокатки будет чересчур низкой, биметаллич. катанка может начать рваться, и получается брак.

В обжимной клетке биметаллич. заготовка прокатывается в 11 проходах, в промежуточной — в 3 прохода и в отделочной — в 6—8. Вышедшая из последнего ручья катанка свертывается на мотовиле в бунты  $\varnothing$  500—600 мм. Полученная биметаллич. катанка  $\varnothing$  9,5 и 7 мм после предварительного травления поступает на волочение. По окончании травления катанка промывается холодной водой из брандспойта. После промывки катанка для нейтрализации остатков к-ты опускается в мыльную воду, содержащую до 1% мыла, подогревную до 70°. Очищенная от окалины катанка поступает на волочение на однократных или многократных машинах. На Кольчугинском заводе биметаллич. катанка  $\varnothing$  7 мм протягивается без отжига на проволочку  $\varnothing$  4 мм на машине для пятикратного волочения по схеме: 7—6,10—4,45—4,0 мм. Отходы по операциям при производстве 4-мм биметаллич. проволоки характеризуются следующими обычными минимальными и максимальными цифрами: отходы обжимного стана в виде чистой меди 4,8—5,7%, в виде биметалла 4,95—10,9%; отходы многократного волочения в виде биметалла 1,34—2,38%. Биметаллическая проволока  $\varnothing$  4 мм употребляется НКСвязью для замены бронзовой проволоки для телефонных проводов. Для получения тонких сортов биметаллич. проволоки проволочку с  $\varnothing$  4 мм подвергают отжигу и после травления волочат на  $\varnothing$  1 мм на однократных и многократных машинах по следующей схеме: 4—3,5—3,0—2,6—2,3—2,0—1,75—1,55—1,40—1,25—1,15—1,05—1,0 мм. Проволока  $\varnothing$  1 мм применяется НКСвязью для городских телефонных сетей. Более тонкая биметаллич. проволока  $\varnothing$  0,5 мм идет на изготовление звонкового провода. Для этой цели проволочку  $\varnothing$  1 мм подвергают отжигу и протягивают на многократных алмазных машинах по схеме 1,0—0,95—0,88—0,82—0,78—0,74—0,70—0,66—0,62—0,58—0,54—0,51 мм. От-



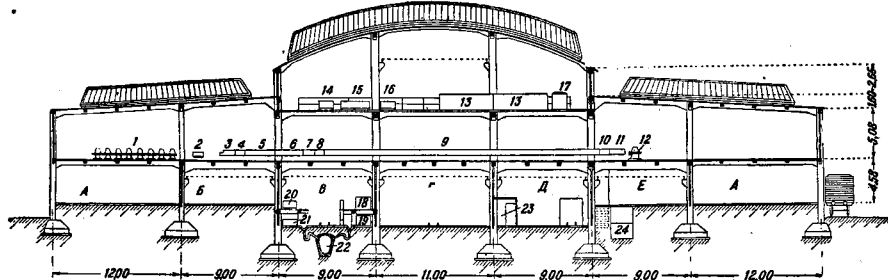
Фиг. 1.

жиг биметаллич. проволоки  $\varnothing$  7—1,5 мм производится в муфельных печах при t° 650—700° в течение 1,5—2,0 ч. Начиная с  $\varnothing$  1,5 мм и ниже, биметаллич. проволоку лучше всего отжигать в печах для светлого отжига. На наших заводах отжиг ведут в нефтяных печах «Бетс

и Пирд» с гидравлич. запором (фиг. 2, где 1 — бесконечная цепь, 2 — предохранительный клапан, 3 — термоэлемент, 4 — заслонка, 5 — вода, 6 — впуск пара) в течение 1,5—2 ч. при  $t^{\circ}$  650—680°. Тонкие сорта биметаллич. стале-медной проволоки иногда при производстве проводов и кабелей с резиновой изоляцией подвергаются лужению. Готовая биметаллич. проволока подвергается наружному осмотру. Технич. условия, которым должна отвечать биметаллич. проволока для воздушных линий связи, предусмотрены ОСТ 5452 согласно стандарту.

Биметаллическая проволока за последние годы в СССР получает все большее и большее распространение. В настоящее время имеется в эксплуатации ряд линий связи с биметаллич. проводами сталь—медь. Эти линии по данным Наркомсвязи служат исправно, и обрывы на линиях происходят весьма редко. Гальванич. метод, разработанный Ин-том же Карлова, имеет целый ряд преимуществ перед термическим. При гальванич. методе отходы при производстве сводятся к минимуму, равномерность покрытия получается с точностью до сотых миллиметра, и в то же время достигается значительная экономия меди. Технологич. процесс производства биметаллич. проволоки сталь—медь гальваническим путем состоит

ком. После очистки песком проволока еще раз промывается и затем поступает для нанесения на нее подплачного слоя никеля толщиной 0,0007 мм и тоньше. Ванна для нанесения никелевого подслоя состоит из сернокислого никеля (2N) 309,5 г, борной кислоты—20 г, сернокислого магния (0,5N) 60,2 г. Кислотность ванны pH = 5,8. Интервал катодной плотности тока для стационарной ванны  $D_k = 200—1\ 500\ \text{А/м}^2$ . Напряжение при расстоянии катода от анода 5 см 2,8 V. Время выдержки при  $D_k = 200\ \text{А/м}^2$  д. б. минимум 5 ск. и максимум 5—7 мин. После никелирования проволока перед омеднением промывается в проточной воде в течение 5—6 ск. Омеднения проволоки производится в кислот. ванне, так как последняя имеет ряд преимуществ перед щелочной. Ванна для омеднения состоит из медного купороса (3N) 375 г, серной к-ты (0,5N) 50 г и 1 л воды. Электролит д. б. нагрет до 45—50°. Расстояние между катодом и анодом 50 мм. Пределы плотностей тока на катоде при указанной  $t^{\circ}$  электролита колеблются от 5 000  $\text{А/м}^2$  для проволоки  $\varnothing$  6 мм и до 10 000  $\text{А/м}^2$  для проволоки  $\varnothing$  1 мм. Так, для проволоки  $\varnothing$  4 мм можно применять  $D_k = 6\ 000\ \text{А/м}^2$  при напряжении 4,8 V, а для проволоки  $\varnothing$  3 мм  $D_k = 7\ 000\ \text{А/м}^2$  и напряжение 5,6 V. При омед-



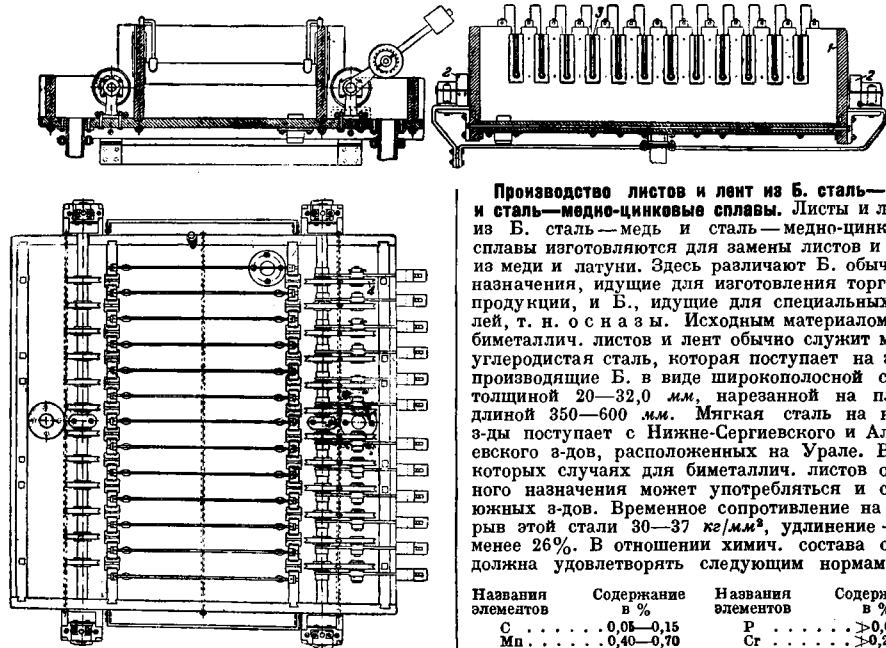
Фиг. 3.

из двух основных стадий: 1) подготовки проволоки перед покрытием и 2) процесса покрытия. Подготовка к покрытию стальной светлотной и на мыле проволоки с чистой неокисленной поверхностью разделяется на три операции: а) электролитич. обезжиривание, б) электролитич. травление и в) очистка песком. Обезжиривание стальной проволоки производится в ванне следующего состава: соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 128,3 г, фосфорнокислого натрия ( $\text{Na}_2\text{PO}_4$ ) 128,3 г, едкого натра ( $\text{NaOH}$ ) 54 г и воды 1 л. Температура электролита 80°. Плотность тока 600  $\text{А/м}^2$ , напряжение 2,2 V. Продолжительность обезжиривания 6—15 ск. в зависимости от загрязнения проволоки. После обезжиривания проволока промывается в течение 4—6 ск. в проточной воде. Затем проволока подвергается травлению. Ванна для электролитич. анодного травления состоит из сернокислого железа (2N) 303,8 г, сернокислого магния (0,5 N) 60,2 г и 1 л воды. Условия работы травильной ванны: плотность тока на аноде  $D_a = 10\ 000—12\ 000\ \text{А/м}^2$ ; плотность тока на катоде  $D_k = 100—120\ \text{А/м}^2$ ; напряжение тока при расстоянии катода от анода 50 мм равно 10—11 V;  $t^{\circ}$  ванны 25°, причем концентрация ионов  $\text{Fe}^{++}$  д. б. не ниже 1,8—2 и кислотность не выше pH = 2. После травления проволока подвергается тщательной промывке, а затем протягивается через ванну, наполненную смоченным водой пес-

ком. После очистки песком проволока еще раз промывается и затем поступает для нанесения на нее подплачного слоя никеля толщиной 0,0007 мм и тоньше. Ванна для нанесения никелевого подслоя состоит из сернокислого никеля (2N) 309,5 г, борной кислоты—20 г, сернокислого магния (0,5N) 60,2 г. Кислотность ванны pH = 5,8. Интервал катодной плотности тока для стационарной ванны  $D_k = 200—1\ 500\ \text{А/м}^2$ . Напряжение при расстоянии катода от анода 5 см 2,8 V. Время выдержки при  $D_k = 200\ \text{А/м}^2$  д. б. минимум 5 ск. и максимум 5—7 мин. После никелирования проволока перед омеднением промывается в проточной воде в течение 5—6 ск. Омеднения проволоки производится в кислот. ванне, так как последняя имеет ряд преимуществ перед щелочной. Ванна для омеднения состоит из медного купороса (3N) 375 г, серной к-ты (0,5N) 50 г и 1 л воды. Электролит д. б. нагрет до 45—50°. Расстояние между катодом и анодом 50 мм. Пределы плотностей тока на катоде при указанной  $t^{\circ}$  электролита колеблются от 5 000  $\text{А/м}^2$  для проволоки  $\varnothing$  6 мм и до 10 000  $\text{А/м}^2$  для проволоки  $\varnothing$  1 мм. Так, для проволоки  $\varnothing$  4 мм можно применять  $D_k = 6\ 000\ \text{А/м}^2$  при напряжении 4,8 V, а для проволоки  $\varnothing$  3 мм  $D_k = 7\ 000\ \text{А/м}^2$  и напряжение 5,6 V. При омед-

16 проволок. Общая длина конвейера около 58 м. На каждом конвейере проволока пропускается через все расположенные друг за другом ванны без перегибов. Для этой цели сделана особая конструкция ванны, заключающаяся в том, что все ванны за исключением промывных имеют двойные борта (фиг. 4, где 1 — корпус ванны, 2 — рутная коробка, 3 — проходной глазок, 4 — нажимной ролик). Скорость прохождения

медь. Метод производства за исключением  $t^\circ$  заливки жидкого металла и  $t^\circ$  прокатки, характерных для Л62, ничем от вышеописанного термич. способа биметаллич. проволоки сталь—медь не отличается. Что касается гальвано-термич. способа производства биметаллической проволоки, а равно производства биметаллич. проволоки из купала и других Б., то таковые из стадии лабораторных опытов до сих пор еще не вышли.



Фиг. 4.

проволоки по конвейеру колеблется от 4,5 м/мин для проволоки  $\varnothing$  1 мм до 0,92 м/мин для проволоки  $\varnothing$  4 мм. Производительность 1 конвейера при 16 нитках и отложении 333 кг меди для получения 1 т биметаллич. проволоки по подсчетам составляет для проволоки  $\varnothing$  4 мм — 715 т в год, а для проволоки  $\varnothing$  1 мм — 218 т в год.

Биметаллич. проволока сталь—латунь в настоящее время в СССР готовится на Кольчугинском з-де термич. путем. В смысле устойчивости против коррозии она не уступает оригинальной медной и латунной проволоке. Обладая повышенной механич. прочностью, биметаллич. проволока сталь—латунь начала применяться для стержней обычных конторских счетов, сапожной винтовой проволоки и в таких ответственных местах, как обвязка лопаток паровых турбин. Биметаллич. проволока сталь—латунь готовится с толщиной покрытия не менее 40%, причём в этом случае достигается экономия в 310 кг меди и в 190 кг цинка на каждую замесенную Б. тонну латунной проволоки. Для производства биметаллич. проволоки сталь—латунь употребляются два сплава: Л62, содержащий 62% меди, и рева Л68, содержащий 68% меди. Технич. условия на сталь для стержней остаются те же, что и при производстве проволоки сталь—

**Производство листов и лент из Б. сталь—медь и сталь—медно-цинковые сплавы.** Листы и ленты из Б. сталь—медь и сталь—медно-цинковые сплавы изготавливаются для замены листов и лент из меди и латуни. Здесь различают Б. обычного назначения, идущие для изготовления торговой продукции, и Б., идущие для специальных целей, т. н. о с н а з ы. Исходным материалом для биметаллич. листов и лент обычно служит малоуглеродистая сталь, которая поступает на з-ды, производящие Б. в виде широкополосной стали толщиной 20—32,0 мм, нарезанной на плиты длиной 350—600 мм. Мягкая сталь на наши з-ды поступает с Нижне-Сергиевского и Алапаевского з-дов, расположенных на Урале. В некоторых случаях для биметаллич. листов обычного назначения может употребляться и сталь южных з-дов. Временное сопротивление на разрыв этой стали 30—37 кг/мм<sup>2</sup>, удлинение — не менее 26%. В отношении химич. состава сталь должна удовлетворять следующим нормам:

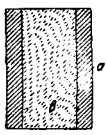
Названия элементов	Содержание в %	Названия элементов	Содержание в %
C	0,05—0,15	P	>0,04
Mn	0,40—0,70	Cu	>0,20
Si	>0,10	Cr	>0,20
S	>0,04	Ni	>0,05

Для заводов Юга содержание серы допускается до 0,05%. Хром и медь допускаются постольку, поскольку таковые содержатся в сырье; подшихтовывать их запрещается. Для глубокой штамповки следует брать сталь с возможно малым содержанием углерода. Идеальным для этой цели было бы использовать сталь «Армко», обладающую большей электропроводностью, огнестойкостью и стойкостью против коррозии, чем обычная сталь. Для неглубокой штамповки, загибки, фальцовки и пр. сталь может содержать углерода до 0,3%, серы и фосфора до 0,04%, хрома до 0,20% и меди до 0,3%. Для изготовления же пружинистого материала и для электротехнич. целей содержание углерода в стали м. б. даже выше 0,3%. Сталь для плит должна содержать минимальное количество неметаллич. включений, т. к. присутствие их способствует получению строчечной структуры и ведет к браку Б.

Процесс подготовки стальных пластин для латунки является общим для всех биметаллических листов и лент, изготавливаемых термич. методом. После прокатки полос стали и нарезки их на мерные плиты последние д. б. нормализованы при  $t^\circ$  900°, а затем прокатаны до полного удаления окислы и обработаны на пескоструйном аппарате. После травления стальные плиты

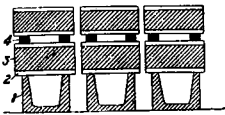


прополаскиваются в холодной воде, очищаются помощью стальных кардных щеток под струей горячей воды от осевшего на поверхности черного шлама, протираются мелкими древесными опилками и высушиваются, после чего стальные плиты очищаются до металла. Блеска на специальной машине с двумя цилиндрическими барабанами, обитыми стальной кардной щеткой. Плиты с очищенной поверхностью обертываются полосами цветного металла с обеих сторон. Для плакировки помимо меди употребляют томпак состава 90% меди и 10% цинка и латунь состава 70% меди и 30% цинка. Наиболее распространенной и вполне освоеной является плакировка томпаком. Полосы цветного металла, идущие на плакировку, не должны содержать вредных примесей, как напр. сурьма, свинец, висмут и др., сверх обычно допускаемых. Они д. б. изготовлены из хорошо раскисленного шлага и не имеют газовых включений, к-рые ведут к образованию пузырей в плакирующем слое. Толщина полосы цветного металла должна соответствовать толщине стальной плиты и требуемой толщине изделия (толщина равна 1,1—1,7 мм при толщине покрытий в 5% с каждой стороны). Перед плакировкой полосы цветного металла д. б. хорошо протравлены и очищены. Пакировка пластин состоит в обертывании их с обеих сторон в полосы цветного металла. Полоса цветного металла загибается с торца, и открытыми остаются только боковые стороны плиты. В целях предохранения боковых сторон плиты от окисления на них надеваются скобы (замки) *a* из тонкой жести (фиг. 5, где *b* — сталь, *v* — томпак). В Германии рекомендуют другой способ пакировки: после обертки стальной пластины полосой из цветного металла весь пакет заворачивается в тонкую жести, а для того чтобы последняя в печи не сгорела, ее обмазывают известковой водой. Первый способ дает лучшие результаты. Готовые пакеты подвергаются перед прокаткой нагреву. Порядок укладки изображен на фиг. 6, где 1 — чугунные банки, 2 — пластины из алитированной стали, 3 — биметаллические пакеты, 4 — прутки алитированного железа. Нагрев пакетов в течение 1,5—2 ч. производится при плакировке медью до 850 и 860°, томпаком до 830—850° и латунью до 810—830°.



Фиг. 5.

Прокатку пакетов Б. целесообразнее всего вести на станах трио Лаута. На наших з-дах прокатку биметаллич. пакетов ведут: на станах дуо с  $\varnothing$  валков 620 мм длиной 1 490 мм при 30 об/м. со скоростью прокатки 1,0 м/сек, или



Фиг. 6.

на стане дуо с валками  $\varnothing$  700 мм,  $l = 900$  мм и  $n = 36,5$  об/м. со скоростью прокатки 1,34 м/сек, или на стане трио с валками  $\varnothing$  520,  $l = 1\ 000$  мм и  $n = 82$  об/м. со скоростью 2,23 м/сек. На различных металлургич. з-дах существует несколько схем прокатки; как пример можно привести следующие схемы прокатки: 35—25,7—17,0—10,4—6,5—4,0 мм; 31,2—23,4—16,4—11,2—7,9—4,0. Прокатку необходимо вести чрезвычайно быстро в течение 30—40 сек., чтобы, начав прокатку с 860—810°, закончить ее не ниже 740—760°. Прокатку лент рекомендуется вести в направлении, перпендикулярном направлению прокатки

стальной заготовки, из которой нарезана плита. После охлаждения прокатанные до толщины 4—5 мм полосы подаются на гильотинные ножницы для разрезки на необходимые размеры и прочистки концов, после чего подвергаются травлению в 5—10%-ном растворе  $H_2SO_4$ , подогретом до 40—60°, в который добавляются 10% (по объему) присадок от травильного раствора. После травления биметаллич. заготовки промываются в воде и поступают на чистку кардными щетками и сушку в древесных опилках. Лучшие результаты получаются при пользовании чистильно-промывочно-сушильными машинами. Высушенные полосы затем поступают на сортировку. Признанные годными заготовки поступают на прокатку в холодном состоянии. Прокатка в холодном состоянии обычно ведется в направлении, перпендикулярном к направлению прокатки в горячем состоянии. Прокатку в холодном состоянии с 5 мм обычно ведут на стане дуо с валками  $\varnothing$  500 мм,  $l = 900$  мм с числом оборотов  $n = 17$ , что дает скорость прокатки 0,44 м/сек. Прокатка 5—3,3 мм производится в 8 проходах по схеме 5—4,4—4,0—3,8—3,45—3,35—3,32—3,30 мм. Во время прокатки валки стана сменяются керосином или олеонафтом. После первой прокатки в холодном состоянии заготовки Б. подвергаются отжигу при  $t^\circ$ , повышающейся до 730°. На наших з-дах отжиг производится в стальных герметически закрывающихся ящиках. Отжигом при указанной  $t^\circ$  достигается надлежащая структура стали, состоящая из феррита и зернистого перлита. Отжиг при  $t^\circ$  в ящиках ниже 630° и выше 690° дает пластинчатый перлит. Отожженные заготовки Б. подвергают травлению, промывке и чистке вручную или на промывочно-сушильно-чистильных машинах. Очищенные заготовки далее поступают на прокатку в холодном состоянии с толщиной 3,5 до 2,5 мм, затем повторяются те же операции отжига и очистки, как и после первого проката, а затем снова прокатка в холодном состоянии с обжатиями в 30—40% и отжигами.

Механические свойства биметаллических, латунных и из красной меди листов и лент приведены в табл. 2.

Табл. 2.—Механические свойства различных листов и лент.

Показатели	Биметаллические	Латунные сплавы Л62	Красномедные
Временное сопротивление разрыву в кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	25—35	< 31	< 20
Остающаяся удлинения в % . . . . .	< 28	< 31	< 30—22

Выход годного на наших з-дах остается пока невысоким. Для Б. сталь — томпак обычного назначения в среднем можно отметить следующие цифры (в %):

Выход годного . . . . .	63	Отходы . . . . .	28,8
Брак . . . . .	9,4	Угар . . . . .	0,8

Снятие цветного металла со стали помощью металлургич. процесса отделения меди от стали в виду малого содержания меди в обрезках, большого угара меди и потерь железа экономически нерентабельно. С другой стороны, предложенные химич. и электрохимич. методы являются процессами сложными, длительными, дорогими и широкого распространения не получили. Что касается стойкости против коррозии Б. сталь—медь и сталь—медно-цинковые сплавы, приотловленных по термич. методу, то по этому воп-

росу проделано чрезвычайно незначительное количество исследовательских работ. При исследовании пористости медного слоя Б., изготовленного термич. путем, пользуются реактивом Уонера следующего состава: красной кровяной соли—0,16%, желатин—16,66%, спирта—16,66%, воды—66,55% и серной кислоты—0,008%. Образцы для усиления реакции между оголенным железом и красной кровяной солью предварительно нагреваются до 40—50°, и реактив, подогретый до 100°, в жидком состоянии наносится на их поверхность. Наличие пор определяется появлением на светлой прозрачной желатиновой пленке пятен турбулентной сини. Испытание пористости медного слоя в 0,07—0,17 мм в листовом и ленточном Б. сталь—медь, приготовленном термич. способом, с помощью реактива Уонера, показало, что слой меди на стали является беспористым. Из Б. сталь—медь были взяты образцы для испытания на коррозию, и изготовлены котелки для варки пищи. В результате испытания образцов на коррозию удалось установить, что биметаллич. изделия из стали, покрытой медью, с успехом могут заменить обычные медные изделия для приготовления пищи, так как такие реагенты, как 0,7%-ный раствор поваренной соли, 4%-ный раствор уксусной к-ты, 0,3%-ный раствор соды и невяская вода из водопровода, значительного действия на посуду при испытаниях не произвели. Лишь 1%-ный раствор щавелевой к-ты оказал на них разрушительное действие.

Гальванический метод получения Б. сталь—медь. При производстве Б. сталь—медь электролитич. путем наблюдаются следующие преимущества по сравнению с термич. способом: отходы меди незначительны, процент брака от плохой приставаемости меди к стали ничтожен, имеется возможность регулировать толщину покрытия до десятых долей миллиметра, слой меди получается чрезвычайно чистым, слой цветного металла по всей поверхности листа и ленты получается более плотным. Цветной металл может наноситься как на отожженные стальные листы, так и на гартованные. В конечном итоге себестоимость электролитич. метода покрытия значительно ниже термического. До 1933 г. электролитич. метод для толстых покрытий в СССР не применялся. На опытной установке в Гинцметете и стационарной заводской на Нытвинском з-де (пуск 1935 г.) подтверждено преимущество гальванич. метода и необходимость перехода со стационарной на конвейерную установку работы. Технологич. процесс производства листов сталь—медь на конвейерной установке следующий: листы стали толщиной 0,5—2 мм и размером 600—1500 мм с шероховатой и покрытой окалиной поверхностью подвергаются обезжириванию путем погружения в горячий раствор 10% NaOH, нагретый до 80°. После обезжиривания листы промываются водой, нагретой до 60°, а затем поступают на промывку холодной водой. Промытые листы поступают на травление 10%-ным раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с добавкой присадки. После травления листы промываются водой и для нейтрализации опускаются в ванну, наполненную 3%-ным раствором соды Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. После нейтрализации с поверхности листов механич. щетками удаляется черный налет от химич. травления. Листы с чистой поверхностью для выявления на ней кристаллич. структуры подвергаются травке в течение 1,5 мин. в растворе азотнокислого железа (FeNO<sub>3</sub> — 1 кг на 1 л воды). Однако наравне с выявлением кристаллич.

структуры лист покрывается тонким желтым налетом. Для удаления этого налета листы подвергаются очистке мягкими щетками с водой и песком, после чего промываются в холодной проточной воде. Этими операциями заканчивается процесс подготовки листов к покрытию. Сам процесс покрытия распадается на 2 стадии: 1) нанесение на поверхность листов никелевого подслоя и 2) покрытие листов требуемым слоем меди. При никелевом подслое толщина никеля достаточна в 0,0002 мм. Для никелирования выбирается следующий состав электролита: 1) NiSO<sub>4</sub> + 7H<sub>2</sub>O (2N) 273 кг; 2) MgSO<sub>4</sub> (0,5N) 60 г; 3) H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub> (2%) 200 г и 1 л воды; t° ванны 18—20°; плотность тока 2 г А/м<sup>2</sup>; напряжение 2,8 V. Электролит д. б. отфильтрован, поэтому в автомате для омеднения листов д. б. установлена система циркуляции электролита, что дает возможность производить фильтрацию электролита в ванне. Аноды в ванне д. б. никелевые. После никелирования листы промываются и попадают в ванну с кислым медным электролитом следующего состава: CuSO<sub>4</sub>(3N) 375 г; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,5N) 50 г и 1 л воды; t° ванны 45°, плотность тока для листов 900 А/м<sup>2</sup> при 6 V напряжения, причем считается, что все потери устранены. Практически это достигается установкой генераторов до 10 V напряжения. Во время процесса электролиза д. б. интенсивное воздушное перемешивание электролита, причем для более эффективного его использования оно д. б. направлено на катод. Электролит должен непрерывно циркулировать и одновременно непрерывно отфильтровываться. После покрытия медью листы промываются в горячей воде и сушатся в сушилке, после чего направляются в склад готовых изделий.

Производство биметаллических листов сталь—никель и сталь—медь-никелевые сплавы. Эти Б. до сих пор готовились термическим способом. Процесс подготовки стальной пластины перед лакировкой и пакетировки такой же, как и при лакировке томпаком. Лишь t° нагрева пакетов перед прокаткой здесь повышается до 1000°. При нагреве пакетов надо стремиться к тому, чтобы печные газы не содержали серы, и всячески предохранять никель и его сплавы от азотирования. До последнего времени листы сталь—никель прокатывались сравнительно небольшого размера. В настоящее время за границей листы стали, лакированной никелем, прокатывают толщиной 5—25 мм, причем толщина лакирующего слоя колеблется от 0,5 до 25 мм. Размер листов достигает 3,7 × 12 м. При толщине 12,5 мм удалось получить круги с  $\phi$  в 3,7 м. Плакированная никелем сталь обладает лучшими механич. свойствами, чем обычная. Так, сталь состава 0,2% С, 0,47% Mn, 0,018% P, 0,040% S в листах толщиной 1,25 мм дала следующие результаты при растяжении, приведенные в табл. 3.

Табл. 3.—Механические свойства стали до и после лакировки.

Металл	R в кг/мм <sup>2</sup>	и в % на 200 мм	Сужение $\psi$ в %
Сталь неплакированная . . . . .	42	37,5	50,7
Сталь, плакированная никелем . . . . .	42,5	30,0	58,0

В СССР Б. сталь—никель и сталь—мельхиор производятся в незначительных количествах.

**Производство листов и лент из феррана.** Ферран, или фераль, представляет собой сталь, покрытую тонким слоем алюминия. Из ряда способов покрытия стали алюминием отметим два наиболее надежных: электролитич. алюминирование в расплавленном электролите  $AlCl_3-NaCl$  при  $t^\circ 160-200^\circ$  и плотности тока  $0,15 A$  на  $1 \text{ см}^2$  и плакирование путем прокатки. Метод электролитического алюминирования был разработан в 1930 году химической лабораторией Всеукраинской академии наук под руководством акад. В. А. Плотникова. При электролитическом алюминировании при низких  $t^\circ$  и малой плотности тока удается нанести на сталь слой чистого рафинированного алюминия, обладающего исключительной стойкостью против коррозии. В качестве ванны для алюминирования В. А. Плотников применял стакан из неочищенного алюминия, который в то же время служил анодом. Электролит приготавливался из хлористого алюминия и хлористого натрия (свободных от железа и других примесей) в молекулярном отношении 3 : 2 или 2 : 1. Получение химически чистого  $NaCl$  осуществлялось его перекристаллизацией. Предмет, подлежащий алюминированию, предварительно тщательно очищался от грязи и железа, чтобы при электролизе избежать получения неплотного слоя алюминия. Неровности на поверхности предметов не мешают алюминированию, поэтому нет надобности в предварительной их полировке. После обезжиривания для удаления следов окислов предмет подвергался травлению, промывался водой, высушивался и немедленно помещался в ванну для электролиза. Процесс алюминирования продолжался в течение 3—5 ч. Электролиз происходил спокойно, напряжение тока оставалось постоянным. При открытой ванне летучести  $AlCl_3$  не наблюдалось. Опыт показал, что алюминий при электролизе заполняет все неровности шероховатых поверхностей и при последующей полировке дает ровную блестящую поверхность. Наибольшая толщина слоя  $0,08 \text{ мм}$  получалась при  $t^\circ 200^\circ$  и плотности тока на катоде  $0,15 A/\text{см}^2$ . При электролизе на поверхности соприкосновения стали с алюминием получается промежуточный слой твердого раствора алюминия в железе. Слой алюминия получается беспористым и при изгибе не отслаивается. Однако механич. свойства слоя невелики и при изгибе на угол в  $45^\circ$  он уже дает трещину. При испытаниях в парах воды и насыщенном растворе  $NaCl$  алюминированные образцы оказались более устойчивыми против коррозии, чем листовая прокатанный алюминий.

Метод покрытия стали алюминием помощью прокатки разработан на з-дах «Красный выборжец» в Ленинграде и им. Серго Орджоникидзе в Колыугине. Для плакировки идет алюминий марки А-1, содержащий ок. 99,5%  $Al$ . Он прокатывается в листы и ленты толщиной  $0,1-0,6 \text{ мм}$  с применением промежуточных отжигов по нормальной схеме технологии. Наиболее пригодным сортом стали для феррана являются мягкие сорта ее с минимальным содержанием углерода след. состава (в %):

C . . . . .	0,04—0,10	S . . . . .	0,03
Mn . . . . .	0,30—0,60	P . . . . .	0,03
Cr . . . . .	0,15	Cu . . . . .	0,20
Si . . . . .	0,10		

Пласты стали должны иметь гладкую, беспористую, блестящую и безпузырчатую поверхность, не содержащую глубоко втянутой окалины. Сталь толщиной 2—3 мм перед пакетировкой подвергается травке, чистке кардными щет-

ками или пескоструйными аппаратами. Алюминий берется в виде отожженного листа такого размера, чтобы им можно было пакетировать стальную заготовку с одной или с обеих сторон. Толщина алюминиевого листа берется в зависимости от требуемого соотношения металлов по объему или весу, обычно 10—15% по объему. Алюминий предварительно травится путем погружения на 15—20 сек. в 10—12%-ный раствор едкого натра при  $t^\circ 60-70^\circ$ , а затем промывается и высушивается. После этого стальная заготовка оборачивается в лист алюминия несколько большего размера, причем края алюминия с одной или трех сторон загибаются на фальц. Для нагрева стале-алюминиевых пакетов применяются электропечи сопротивления или муфельные. Пакеты нагреваются в печи в течение 2—3 ч. до  $420-450^\circ$ ; равномерно прогретые пакеты вынимаются из печи и подаются быстро к прокатному стану. Первое обжатие дается порядка 5%, второе 15—20%; при таком обжатии происходит окончательная приварка алюминия к стали. Для прокатки феррана наиболее удобны обжатия, применяемые при прокатке стали в холодном состоянии. Механические свойства неотожженного прокатанного феррана  $R = 70-77 \text{ кг/мм}^2$ ,  $i = 1\%$ . Отжиг феррана является весьма трудной операцией. Полный отжиг алюминия происходит при  $350-450^\circ$ . Самой низкой  $t^\circ$  начала рекристаллизации стали считают  $500-550^\circ$ . Общее правило, что  $t^\circ$  рекристаллизации тем ниже, чем больше наклеп, меньше размер зерен, чище металл и чем дольше металл нагревается. Температурные пределы отжига феррана  $530-550^\circ$ , время, необходимое для полного отжига феррана, 5—8 ч. Следует отметить, что в выборе  $t^\circ$  и времени отжига большую роль играет состав плакируемой стали. При  $t^\circ 560-570^\circ$  начинается диффузия алюминия в железо, влекущая отслаивание покровного слоя при изгибе. Механич. свойства феррана после правильного отжига довольно близки к таковым для чистой стали ( $R = 30 \div 35 \text{ кг/см}^2$  и  $i = 30\%$ ). Для получения чистой, красивой поверхности применяют холодную прокатку отожженных листов феррана на чистовых станах с небольшими обжатиями. В то время как ферран, полученный электролитич. путем, оказался беспористым и весьма устойчивым против коррозии, ферран, полученный помощью прокатки, оказался пористым и легко корродирующим. Т. о. широкое применение феррана связано с усовершенствованием технологического процесса в целях получения менее пористого феррана. В настоящее время установлена возможность применения тонкой жести из феррана в консервной пром-сти. Применение феррана для производства различного рода посуды, не требующей лужения, и для химич. аппаратостроения даст экономию больших количеств алюминия, т. к. ферран на 80—90% состоит из стали. Однако следует отметить, что в проблеме замены белой жести ферраном решающее значение имеет стоимость обработки феррана, к-рая до сих пор остается чрезвычайно высокой и в силу этого делает нерентабельной такую замену. Усовершенствование технологического процесса и снижение стоимости производства феррана несомненно сделают эту замену возможной.

Лит.: Левитин С., Самойлов И. и Дерячев Е., Пути экономии цветных металлов, М.—Л., 1933; Черепин В. И., Биметалл, М., 1932; Григоренко К. Р., Биметаллы, их назначение и производство, М.—Л., 1932; Общественное бюро стандартов цветной и золотой промышленности при Гинцветмете, вып. 11,

Листы и ленты биметаллические, М., 1934; Объединенное бюро стандартов цветной и золотой промышленности при Гипроцветмет, вып. 30. Ферран, М., 1933; В е р н а и С и м о н и П., Прокатная цветных металлов, ч. 1, М.—Л., 1934; Объединенное бюро стандартов цветной и золотой промышленности, вып. 21, Биметаллическая проволока, М., 1933; З о р и п В., Коррозия биметалла, Ферран, «Труды Научно-исследовательского института легких металлов», Нисаломиния, 1 и 2; З а х а р о в а М., Исследования влияния температуры в сплавах с неготовленным биметаллом, Цветные металлы, 1932, 4; Л и ф ш и ц Б., Биметалл и медистое железо для проводов, М.—Л., 1933; З а м е т к и о биметаллах в бюллетене «Новости техники» и «Техника» за 1933 и 1934 гг.; Г и р о ц в е т м е т, Плановое задание по производству биметалла, М., 1933; С у х о р о з о в И., Прокатная листов и полос из мельхиора, Алябальта и алюминия, М., 1932; И н с т и т у т и м. К а р п о в а, Отчет о работе по электролитическому получению биметаллической проволоки, М., 1933; Г и р о ц в е т м е т, Технич. проект стационарной установки гальванич. омеднения листов на Нытвинском заводе, М., 1933; В о с т о к г и п р о м е з, Технич. проект переоборудования прокатных цехов Нытвинского завода для производства меди, Свердловск, 1933; Биметалл и легированное железо, «Сборник трудов Нисаломиния», под ред. Н. Иванова-Скюбликова и А. Веляжа, М.—Л., 1934; Г и р о ц в е т м е т, Проектное задание цеха омеднения и оцинкования на Ревде, М., 1934; Г и р о ц в е т м е т, Проектное задание цеха омеднения на Нытвинском заводе, М., 1934; R o o p W., Bimetal, «Ztschr. für Metallkunde», H. 1, Augsburg, 1934, S. 61. Справочник Информационных Products for the Technical Bureau of Non-Ferrous, «Metall Industry of USSR», N. Y., 1931. С. Берман.

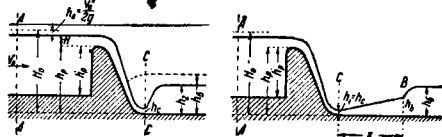
**БОЛОМЕТР**, прибор, впервые предложенный Жанглем (1881 г.), служащий для измерения  $t^{\circ}$  по изменению электрич. сопротивления; существенной частью его является тонкая металлич. проволочка, составляющая одну из ветвей мостика Витстона (см.). Измерение состоит или в таком подборе сопротивлений мостика, чтобы при измеряемой  $t^{\circ}$  Б. гальванометр показывал отсутствие тока в мостике, и тогда о  $t^{\circ}$  судят по величине этих сопротивлений; или же при сопротивлении, подобранных так, чтобы при стандартной  $t^{\circ}$  ( $0^{\circ}$ , комнатная) гальванометр стоял на нуле, и тогда о  $t^{\circ}$  судят по отклонению стрелки гальванометра. В обоих случаях прибор калибруют: болометрическую проволоку погружают в среду известной  $t^{\circ}$  (такой лед, кипящая вода и т. п. или в любой источник постоянной  $t^{\circ}$  вместе с надежным термометром) и устанавливают значения сопротивлений или отклонения стрелки гальванометра, соответствующие этой  $t^{\circ}$ . Для измерения собственно темп-ры служит Б. из голый платиновой проволоки, намотанной спиралью на фарфоровую палочку или слюдяную с крестообразным сечением; такой Б. позволяет измерять  $t^{\circ}$  в пределах от  $-200^{\circ}$  по крайней мере до  $1000^{\circ}$ , причем для высоких  $t^{\circ}$  необходимо защищать Б. фарфоровой или кварцевой трубкой, куда он вставляется. Точность измерений уменьшается с повышением  $t^{\circ}$ , но вообще очень велика и в интервале  $0-100^{\circ}$  составляет несколько тысячных градуса. Для измерения низких  $t^{\circ}$  предпочитают платину заменить золотом. Кроме того Б. находит себе применение при измерении лучистой энергии и силы токов, в особенности токов высокой частоты. Для измерения лучистой энергии Б. придают форму тонкой ленты или весьма тонкой проволочки; материалом обычно служит платина, а в последнее время и вольфрам, сопротивление к-рого меняется с  $t^{\circ}$  на 30% больше, чем платины. Подлежащую измерению лучистую энергию направляют на Б. и по изменению его сопротивления судят о величине потока энергии. Калибровка производится пропусканием через Б. постоянного тока известной силы, выделяющего следовательно в проволоке Б. по закону Джоуля легко подсчитываемое количество тепловой энергии. Прибор весьма чув-

ствителен, особенно будучи помещен в вакуум, что устраняет потоки воздуха, делающие показания неустойчивыми, и весьма сильно уменьшает потерю восприимчивой Б. энергии в окружающее пространство. Для измерения силы переменного тока (по выделяемой им в проволоке теплоте) служит Б., отличающийся от Б. для измерения  $t^{\circ}$  только тем, что к концам Б. подводится измеряемый ток I. Калибровка производится известным постоянным током. При употреблении весьма тонких железных или платиновых проводов в вакууме удавалось измерять токи радиочастот в несколько  $\mu$ A. Для токов выше  $10$  mA Б. обычно не применяется.

Лит.: Х в о л ь с о н О., Курс физики, т. 2, Берлин, 1923; Техника физического эксперимента, под ред. А. Коффе, Ж.—М., 1926; Hdb. d. Phys., hrgs. v. H. Geiger u. K. Scheel, B. 19, V., 1928; G l a z e b r o k R., Dictionary of Applied Physics, v. 2, L., 1922; Hdb. d. Experimentalphysik, hrgs. v. W. Wien u. F. Harms, B. 8, T. 1, Lpz., 1929.

**БЬЕФОВ СОПРЯЖЕНИЕ**, соединение потоков, находящихся на разных уровнях при различных условиях сопряжения каналов. Изучение вопроса о Б. с. преследует цель найти такую форму Б. с., к-рая обеспечивала бы наименьший разрыв русла и позволяла бы обойтись без особых дорого стоящих мер или приспособлений по предохранению русла от размыва.

Разновидность случаев сопряжения кривых поверхностей воды в верхнем и нижнем бьефах выражается в наличии или отсутствии прыжка воды (см.). Наиболее опасен для сооружений отогнанный прыжок, зависящий от высоты  $h_2$  (фиг. 1), наименьшее значение к-рой находится



Фиг. 1 в 2.

в зависимости от глубины  $h_2$  в сжатом сечении струи. Для определения величины  $h_2$  воспользуемся ур-ием Бернулли. Напишем это ур-ие для двух сечений AA и CC, тогда получим:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + (H + h_p) = \frac{v_c^2}{2g} + \frac{p_c}{\gamma} + h_c + h_f,$$

где  $v_0$  — скорость подхода,  $v_c$  — средняя скорость в сжатом сечении,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $p_0 = p_c$  — атмосферное давление,  $\gamma$  — собственный вес воды,  $H$  — напор над гребнем водослива,  $h_p$  — превышение гребня водослива над плоскостью сравнения,  $h_f$  — потеря напора на пути от сечения AA до сечения CC. В этом ур-ии

$$h_f = \zeta \frac{v_0^2}{2g}$$

и

$$v_c = \frac{Q}{bh_c},$$

где  $Q$  — расход жидкости,  $b$  — ширина потока поверху в рассматриваемом сечении,  $\zeta$  — коэффициент местного сопротивления. Обозначив сумму  $(\frac{v_0^2}{2g} + H + h_p)$  через  $H_0$  и заменив величины  $h_f$  и  $v_c$  их значениями, получим:

$$H_0 = \frac{Q^2}{2gb^3h_c^3} (1 + \zeta) + h_c.$$

Т. к.  $(1 + \zeta) = \frac{1}{\varphi}$ , где  $\varphi$  — коэф. скорости, то

$$H_0 = h_c + \frac{Q_c^2}{2g\varphi^2 h_0^3}$$

Высота  $h_2$  уровня воды при прыжке определится по взаимной ее глубине  $h_1$  (см. *Прыжок воды*) из выражения:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{8Q^2}{g b^3 h_1^3}} - 1 \right),$$

причем *max*  $h_2$  получится при *min*  $h_1$ , т. е. в наиболее сжатом сечении  $h_c$ . Зная величину  $h_2$ , можно по соотношению этой глубины с бытовой глубиной  $h_0$  выявить форму струи при Б. с.; имея в виду, что при  $h_0 > h_2$  прыжок отсутствует, получается т. н. затопленный прыжок, при  $h_0 = h_2$  имеем надвинутый прыжок, а при  $h_0 < h_2$  — отогнанный прыжок. По Базену во всех тех случаях, когда  $z: h_0 > 0,75$ , получается отогнанный прыжок, а когда  $z: h_0 < 0,75$ , получается затопленный прыжок, т. е. прыжок отсутствует. Величина  $z$  в данном случае означает разность уровней воды верхнего и нижнего бьефов (перепад). Бытовая глубина  $h_0$  может быть определена по ф-ле для равномерного движения воды в канале:

$$h_0 = \frac{Q}{b \cdot c_0 \sqrt{R_0 i_0}}$$

где  $R_0$  — гидравлич. радиус,  $i_0$  — гидравлич. уклон,  $c_0$  — коэф., равный по Маннингу

$$c_0 = \frac{1}{n} R_0^{1/6},$$

по Фэрхгейму

$$c_0 = \frac{1}{n} R_0^{1/6},$$

величина  $n$  представляет собою коэф. шероховатости по Гангилие и Куттеру.

Помимо высоты прыжка необходимо знать также длину отгона прыжка. Для этого находим такую длину  $x$  (фиг. 2), при к-рой толщина струи возрастает до некоторой глубины  $h_0$ , взаимной с бытовой глубиной  $h_0$ . В этом случае величина  $h_0$  м. б. определена по ф-ле:

$$h_0 = \frac{h_0}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{8Q^2}{g b^3 h_0^3}} - 1 \right).$$

Для вычисления длины  $x$  отгона прыжка можно воспользоваться ур-ием Бресса, имеющим вид:

$$\begin{aligned} & \frac{i_0}{h_0} \cdot (x_2 - x_1) = \\ & = \eta_2 - \eta_1 - \left( 1 - \frac{\alpha \cdot c_0^2 \cdot i_0}{g} \right) [\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)], \end{aligned}$$

где индекс «0» показывает, что речь идет о величинах при равномерном движении воды, а индексы «2» и «1» показывают, что величины относятся к соответствующим двум сечениям канала. В данном случае величины  $i_0$ ,  $c_0$  и  $g$  имеют те же значения, что и выше;  $h_0 = h_0$ ;  $x_2 - x_1 = x$ ;  $\eta_2 = \frac{h_0}{h_0}$ ;  $\eta_1 = \frac{h_c}{h_0}$ ;  $\alpha$  — коэф., вводимый в ур-ие за счет вычисления количества движения по средней скорости; величина  $\varphi(\eta)$  представляет собой ф-лу Бресса, вычисленную последним для разных значений  $\eta$ . Величина  $x$  т. о. определится из выражения:

$$x = \frac{h_0}{i_0} \left\{ \eta_2 - \eta_1 - \left( 1 - \frac{\alpha c_0^2 \cdot i_0}{g} \right) [\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)] \right\}.$$

Ур-ие Бресса применимо для широких прямоугольных и сравнительно неглубоких каналов.

Для каналов же сравнительно небольшой ширины и достаточно глубоких с очертанием правильным, но сильно развающимся от прямоугольного или параболического (напр. трапециoidalное очертание), следует пользоваться уравнением Бахметова:

$$\begin{aligned} & \frac{i_0}{h_0} (x_2 - x_1) = \eta_2 - \eta_1 - \\ & - \left( 1 - \frac{\alpha c_0^2}{g} \cdot \frac{b_c}{x_c} \right) [B(\eta_2) - B(\eta_1)], \end{aligned}$$

где

$$c_c = \frac{c_1 + c_2}{2}; \quad b_c = \frac{b_1 + b_2}{2};$$

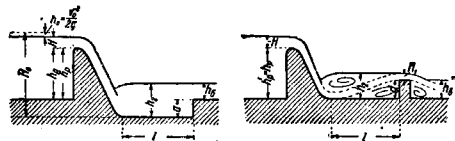
$x$  — смоченный периметр;  $x_c = \frac{x_1 + x_2}{2}$ ;  $B(\eta)$  — ф-ия Бахметова:

$$B(\eta) = \int \frac{d\eta}{1 - \eta^2};$$

экспонент  $e$  представляет собой гидравлич. показатель русла; остальные величины имеют то же значение, что и в ур-ие Бресса. Длина  $x$  отгона прыжка получится поэтому по Бахметеву равной:

$$x = \frac{h_0}{i_0} \left\{ \eta_2 - \eta_1 - \left( 1 - \frac{\alpha c_0^2 \cdot b_c}{g} \cdot \frac{b_c}{x_c} \right) [B(\eta_2) - B(\eta_1)] \right\}.$$

Для получения затопленного прыжка прибегают в соответствующих случаях к устройству в водобойных колодцах, образуемых путем устройства особого углубления в дне канала или путем возведения водобойной стенки. Потребность в таких устройствах является в тех случаях, когда данное сооружение обуславливает наличие прыжка, характеризуемого формой струи при Б. с. При отсутствии прыжка надобность в указанном углублении или стенке отпадает.



Фиг. 3 и 4.

При наличии прыжка выселяют сначала форму струи при Б. с. и величины  $h_c$  и  $h_2$ , после чего приступают к гидравлич. расчету водобойного колодца, определяя его глубину  $a$  и длину  $l$  (фиг. 3). Глубину  $a$  подбирают так, чтобы

$$h_2 = h_0 + a.$$

Полученную теоретич. путем величину  $a$  увеличивают на 25%. Следовательно

$$a = 1,25 (h_2 - h_0).$$

Высота водобойной стенки (фиг. 4) определяется аналогичным образом из условия

$$h_2 = d + H_1,$$

где толщина  $H_1$  слоя воды, переливающейся через водобойную стенку, вычисляется по ф-ле *водослива* (см.). Для приближенного решения задачи по определению глубины водобойного колодца можно воспользоваться способом Базена, по которому прыжок отсутствует, если относительный перепад  $\frac{z}{h_p} < 0,75$ , где  $z$  — разность уровней бьефов,  $h_p$  — возвышение гребни водослива над дном колодца. По Бахметеву следует, пользуясь способом Базена, учитывать также коэф. расхода  $m$  и отношение напора  $H$  к высоте водослива с низовой его стороны  $h_n$ .

Длина водобойного колодца  $l$ , устраиваемого в особом углублении или образуемого стенкой, определяется по эмпирич. формулам, причем эта длина д. б. такова, чтобы было предотвращено выскакивание струи из колодца. По Блею

$$l = h_p = h_p' + a.$$

По Этчеверри

$$l = 1,5 \sqrt{z \cdot h_p} = 1,5 \sqrt{z (h_p + a)}.$$

По Дейшу

$$l = 1,5 \sqrt{\left(H + \frac{v_0^2}{2g}\right) (h_p + a)}.$$

По Журину

$$l = 1,6 \sqrt{H (h_p + a + 0,83H)}.$$

По Ребуку

$$l = \frac{a}{0,8a}.$$

где  $l$  — большая ось эллиптич. вальца,  $a$  — малая ось этого вальца,  $\Omega$  — площадь эллиптич. сечения вальца, равная:

$$\Omega = k \frac{Q}{b} \sqrt{\frac{h_p}{g}},$$

причем  $k = 3,6 \div 7,2$ . Шошлин получил для своего водобойного колодца длину

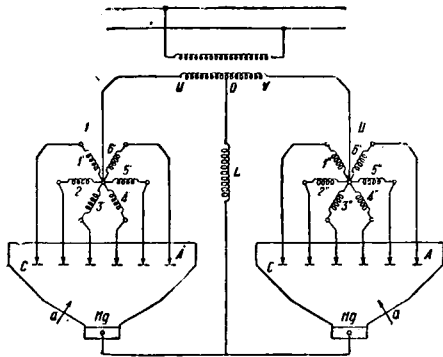
$$l = (0,5 \div 1,0) h_p.$$

Совершенно так же, как водобойные колодцы, рассчитываются и *перелазы* (см.). Указанные методы выявления формы струи, длины отгона прыжка и расчета водобойного колодца одинаково применимы как к струе, ниспадающей с водослива, так и к струе, вытекающей из-под щита (фиг. 5).

Лит.: Бриллинг С., Механика твердых и жидких тел, Справочник для инженеров строительной специальности, М., 1928; Вахметев Б., О неравномерном движении жидкости в открытом русле, Л., 1928; Евристов В., Гидравлика, Л., 1933; Павловский Н., Гидравлический прыжок как водомер, Л., 1931; Чарномский В., Задачи на установившееся неравномерное течение воды, СПб., 1914; Павловский Н., О неравномерном движении при горизонтальном дне водотока, Л., 1930; его же, О неравномерном движении в водотоках с обратным уклоном dna, Л., 1931; Ахутия А., Рабочая книга по специальному курсу гидравлики, М., 1931; его же, Примеры гидравлических расчетов в области неравномерного движения воды в открытых каналах, М., 1928; Елизава р о в И., Гидроэлектрические силовые установки, Л., 1924; Вегесе J., Cours de mécanique appliquée, 2 partie, Hydraulique, P., 1860; Tolk mitt G., Grundlagen der Wasserbaukunst, B., 1907; Darcy H. et Bazin H., Recherches hydrauliques, P., 1865; Forchheimer Ph., Hydraulik, 3 Aufl., Lpz., 1930; Rühlmann M., Hydromechanik, Hannover, 1880; Rehböck Th., Betrachtungen über Abflusstat und Wehrsenbildung, В., 1917; ВеһЬ о с к Th., Bekämpfung der Sohlenauskalkung bei Wehre durch Zahnschweller, «VDI», 1925, 44; Stevens J., «Engineering News Record», N. Y., 1925, 14, 23; Baricte, Nouvelle méthode pour la détermination des courbes de remous, «GC», 1921, 23, 24; Husted A., New Method of Computing Backwater and Drop-Down Curves, «Engineering News Record», N. Y., 1923.

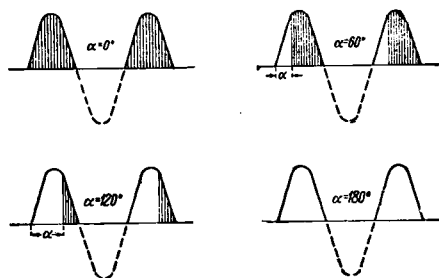
**ВЕНТИЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ**, электрич. двигатель, в отдельной части обмотки к-рого ток проходит через *щонный преобразователь* (см.) — вентиль поочередно и синхронно с вращающейся частью (фиг. 1). К концам  $U$  и  $V$  вторичной обмотки однофазного трансформатора (см. *Электрический трансформатор*) присоединены нулевые точки двух шестифазных звезд  $I$  и  $II$  обмотки статора, отдельные лучи к-рых дальше соединяются с анодами  $A$  вентиля — в технике сильных токов с анодами рутных выпрямителей (см.). На фиг. 1

показаны два шестианодных выпрямителя с электрически соединенными катодами  $Hg$  ( $a$  — аноды возбуждения выпрямителя). Однако возможна и любая другая комбинация выпрямителей — 12 одноанодных, 6 двуханодных, 4 треханодных и наконец один двенадцатианодный



Фиг. 1.

выпрямитель. Важно лишь, чтобы число анодов было равно общему числу фаз обмотки статора. Все электрически непосредственно связанные аноды дальше присоединяются через сглаживающую катушку  $L$  к средней точке  $O$  вторичной обмотки трансформатора. Обмотка возбуждения в роторе питается постоянным током от постороннего источника (независимое возбуждение) или выпрямленным током последовательно со сглаживающей катушкой (последовательное возбуждение). Подобным же образом получается схема питания от трехфазной сети. Поочередное прохождение положительной полуволны тока по отдельным фазам обмотки статора достигается при помощи окружающих аноды металлических секток  $C$ , на к-рые всегда наложен отрицательный по отношению к катоду  $Hg$  потенциал от вспомогательного источника, и лишь в тот момент, когда ток должен проходить через данный анод, на сетку накладывают положительный потенциал (см. *Ионный преобразователь*). При этом раз возникший ток уже нельзя запереть до тех пор, пока сумма всех напряжений (включая и реактивные напряжения индуктивностей) в контуре данного анода не сделается равной нулю, т. е. в течение времени порядка одного полу-

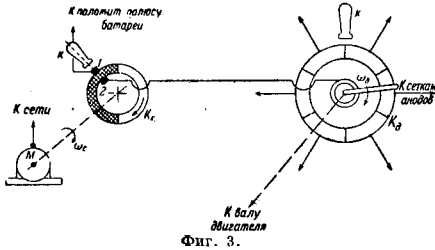


Фиг. 2.

периода сети или части этого полупериода. Подача на сетки положительного, отпирающего вентиля потенциала должна происходить не только синхронно с вращающейся частью  $B$  д.,

чтобы все время поддерживался определенный электромагнитный момент вращения, но также и синхронно с напряжением сети. Последнее обстоятельство позволяет регулировать момент начала прохождения тока через данный анод по отношению к положительной полуволне синусоиды внешнего напряжения, т. е. регулировать фазовый угол  $\alpha$  зажигания данного анода. На фиг. 2 показаны кривые тока в одной фазе при разных углах [зажигания в нек-ром теоретическом случае, когда индуктивность в контуре этой фазы равна нулю и двигатель еще неподвижен. Как видно из фиг. 2, среднее значение тока находится в зависимости от угла зажигания и м. б. получено в пределах от 0 ( $\alpha = 180^\circ$ ) до полного значения ( $\alpha = 0^\circ$ ).

Для описанной выше двойного рода синхронной подачи положительного потенциала на сетки анодов необходимы два коммутатора (фиг. 3). Так как в статоре В. д. имеются две

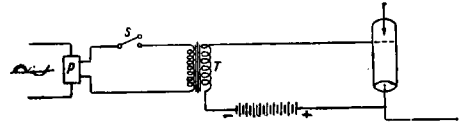


Фиг. 3.

звезды обмотки, работающие от положительных полуволн двух половин вторичной обмотки трансформатора, то эти коммутаторы д. б. в двойном комплекте. Коммутатор сети  $K_c$  имеет лишь один металлический сегмент, который при вращении коммутатора вспомогательного синхронно-реактивным моторчиком  $M$  замыкает две неподвижные щетки 1 и 2; щетка 1 присоединена к положительному полюсу вспомогательного источника постоянного тока (батарея), а через щетку 2 — положительный потенциал подается далее к коммутатору двигателя  $K_d$ . Последний имеет уже шесть сегментов по числу фаз каждой звезды обмотки статора. По мере поворота ротора вращающийся контакт, сцепленный с валом ротора, подает положительный потенциал на сетку анода соответствующей фазы обмотки статора. Рукоятки  $k$  коммутаторов позволяют изменять момент подачи положительного потенциала на сетки анодов по отношению к синусоиде внешнего напряжения и по отношению к положению оси магнитного поля ротора и т. о., с одной стороны, меняя среднее значение тока, а с другой, — пространственный угол между ампервитками статора и ротора.

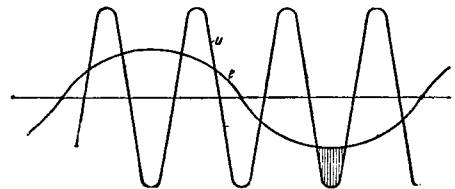
Электрич. схемы подачи положительного потенциала на сетки м. б. двойного рода: а) схема фиг. 4: батарея аккумуляторов  $B_1$  все время держит на сетках отрицательный потенциал, а батарея  $B_2$  в момент включения рубильника  $S$  изменяет этот потенциал на положительный,  $R_1$  и  $R_2$  — добавочные сопротивления; б) схема фиг. 5: подача положительного потенциала совершает-

ся индуктивно через трансформатор  $T$ , который включается через коммутатор сети и повышающий трансформатор на напряжение сети. В последней схеме возможно также применение источника повышенной частоты, а также вибрационного механич. выпрямителя. Вместо рукоятки  $k$  (фиг. 3) для коммутирования сети м. б. применен фазорегулятор  $P$  (фиг. 5). Очень важ-



Фиг. 5.

но для четкости работы В. д., чтобы подача потенциала происходила крутым фронтом по времени. Исследования показывают, что надежные результаты в этом отношении получаются лишь по схеме фиг. 4. Во всех других случаях возникают задерживающие эффекты, ухудшающие условия работы фаз обмотки двигателя. Когда ротор начнет вращаться, то в фазах обмотки статора будет наводиться напряжение, которое является противоэдс В. д. На фиг. 6 по-



Фиг. 6.

казано взаимное расположение кривых внешнего напряжения  $u$  и частоты сети и противоэдс  $e$  частоты вращения. В этом случае среднее значение тока будет равно

$$I_{cp.} = \frac{(u-e)_{cp.}}{\Sigma R}$$

Действительно, в каждый момент времени

$$u = e + ir + L \frac{di}{dt}$$

Отсюда

$$\int ir dt + L \int di = \int (u - e) dt$$

Разделив последнее ур-е на  $t$ , получим

$$\frac{\int ir dt}{t} + \frac{LI}{t} = \frac{\int (u - e) dt}{t}$$

Для установившегося режима  $t$  достаточно велико, поэтому

$$\frac{LI}{t} \rightarrow 0,$$

вследствие чего

$$I_{cp.} = \frac{(u - e)_{cp.}}{r}$$

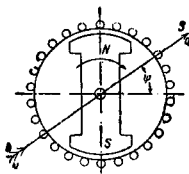
Момент вращения В. д. определяется, как и во всех других электрич. машинах, поперечной слагающей ампервитков реакции якоря по ур-ию

$$e i \cos \varphi = 9,81 \cdot M \cdot \omega_{cp.}$$

где

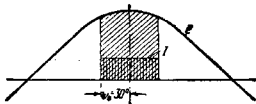
$$e = 2\pi f \cdot w \cdot k_w \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \cdot \sin \omega t \text{ вольт; (1)}$$

$i$  в случае большой индуктивности сглаживающей катушки равно  $I_{cp}$ ,  $\psi$  — угол между поперечной осью полюсов и осью той фазы статора, где в данный момент течет ток (фиг. 7,  $ab$  — ось ампервитков статора). В ур-ии (1)  $2\pi f = \omega$  — угловая частота вращения;  $w$  — число витков одной фазы;  $\Phi$  — результирующий магнитный поток. Т. к. согласно предыдущему ток коммутруется из одной фазы в другую лишь по истечении времени, равного  $1/6$  части периода вращения ротора, то угол  $\psi$  будет периодически меняться по закону ломаной прямой от некоторого начального  $\psi_0$ , зависящего от начала зажигания данной фазы, до  $\psi_0 + 60^\circ$ . Чтобы среднее значение момента вращения при тех же  $E$  и  $I$  было наибольшим, надо угол  $\psi_0$  сделать равным  $30^\circ$ , т. е. область работы каждой фазы брать в пределах заштрихованной площади (фиг. 8), что и достигается соответствующей установкой рукоятки  $k$  коммутатора двигателя. Изменяя угол  $\psi_0$ , мы очевидно увеличим среднее значение тока. Изменение до некоторого предела угла  $\psi_0$  вызывает поэтому возрастание момента вращения, и В. д. получает большее число оборотов. Явления протекают подобно тому, как в двигателях постоянного тока при сдвиге щеток из нейтральной. Сдвигая рукоятку  $k$  коммутатора В. д. на 180 электрич. градусов, мы очевидно в состоянии осуществить реверсирование В. д. Если же при таком сдвиге положения рукоятки  $k$  коммутатора направление вращения В. д. оставить прежним, то возможна рекуперация энергии в сеть, т. е. двигатель станет работать в качестве генератора. Действительно, рассматривая фиг. 9, мы видим,



Фиг. 7.

что в противоположность моторному режиму здесь ток, имея те же направление по отношению к аноду, течет в сторону действия противоэ. В. д. и противоположен напряжению сети.



Фиг. 8.

Естественно, что для этого необходимо, чтобы по величине  $e$  было больше  $i$ . Регулирование тормозного (генераторного) момента возможно как изменением противоэ. В. д., так и изменением угла зажигания сети. Из предыдущего вытекает возможность построения характеристики числа оборотов двигателя в зависимости от тока нагрузки. Естественно, что для такого количественного исследования необходимо учесть действие реакции якоря (см.). Задаваясь при данном напряжении сети противоэ. В. д. от результирующего потока, а также углами  $\psi_0$  и  $a$  (см. выше), находим вначале  $I_{cp}$  из ур-ия

$$I_{cp} = \frac{(u - e)_{cp}}{ER}$$

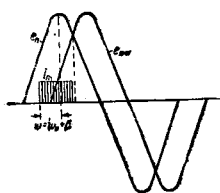
Далее строим диаграмму ампервитков возбуждения и реакции якоря (см. Генераторы переменного тока) для среднего значения  $\psi$ , находим

ампервитки результирующего потока и далее по характеристике холостого хода находим, какому числу оборотов соответствует принятая вначале противоэ. от результирующего потока.

Выше было предположено, что при большой внешней индуктивности ток коммутруется из одной фазы в другую мгновенно, без каких-либо дополнительных обстоятельств. Однако в действительности необходимо считаться с самоиндукцией коммутруемых фаз обмотки статора. Эта самоиндукция задерживает некоторое время ток в предыдущей фазе, и соответствующие аноды ртутного выпрямителя замыкаются почти накоротко через две дуги и катод (фиг. 10). Явления происходят подобно тому, как это имеет место в обычных коллекторных машинах (см.), с тем лишь однако отличием, что в образовавшемся короткозамкнутом контуре фаз тока короткое замыкание развиться здесь не может, т. к. этот ток не может проходить от катода к какому-либо из анодов. Тем не менее может получиться задержка в потухании предшествующей фазы и возникновение тормозных паразитных моментов вращения с последующим коротким замыканием от сети, в особенности при больших скоростях вращения. Для получения четкой коммутации фаз необходимо, чтобы к моменту коммутации мгновенное значение противоэ. в предшествующей  $n$ -й фазе было больше, чем в последующей  $(n + 1)$  на величину реактивного напряжения в обеих фазах  $-2L_e \frac{di}{dt}$ , где  $L_e = L - M$  равно индуктивности каждой фазы, уменьшенной на величину взаимоиндукции между ними. Иными словами, д. б.:

$$E_n - E_{n+1} > -2L_e \frac{di}{dt}$$

Это достигается тем, что изменяют угол  $\psi_0$  на некоторый угол  $\beta$  так, чтобы коммутация  $n$ -й фазы на  $(n + 1)$  происходила не позднее момента пересечения кривых (фиг. 11).



Фиг. 11.

Как видно из изложенного, В. д. допускает безреостатный пуск в ход, плавное и в широких пределах регулирование скорости вращения без дополнительных агрегатов и не нуждается в коллекторе — дорогой и сложной в производстве и эксплуатации части электрической машины. Всю аппаратуру управления В. д. включает в себя ртутный выпрямитель, причем управление легко можно автоматизировать. С точки зрения указанных обстоятельств этот электрич. двигатель является совершенной машиной. Крупным недостатком его пока является плохое использование меди статора, малый коэф. мощности и в связи с этим невысокий кпд. Действительно, каждые две фазы обмотки статора находятся под током лишь  $1/6$  часть периода вращения в пределах  $\psi_0$  до  $\psi_0 + 60^\circ$ . Коэф. мощности в общем виде равен отношению среднего значения



мощности и произведению средних квадратичных значений силы тока и напряжения:

$$K = \frac{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} ei dt}{\frac{1}{2\pi} \sqrt{\int_0^{2\pi} i^2 dt \cdot \int_0^{2\pi} e^2 dt}}$$

Если принять ток  $i$  постоянным и равным  $I_{cp}$ , и учесть, что фазы горят попарно, то получим

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} ei dt = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2\pi} \int_{\gamma_0}^{\gamma_0 + 60^\circ} I_{cp} \cdot E_m \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma = \frac{1}{4\pi} E_m I_{cp} [\cos \gamma_0 - \cos (\gamma_0 + 60^\circ)],$$

где  $\gamma_0 = 90 - \varphi_0$ ,

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_{cp}^2 dt = \frac{I^2}{2}; \quad \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^2 dt = \frac{E_m^2}{2}.$$

Таким образом коэф. мощности двигателя

$$K = \frac{\sqrt{6}}{2\pi} [\cos \gamma_0 - \cos (\gamma_0 + 60^\circ)];$$

при  $\gamma_0 = 60^\circ$   $K = 0,4$ . Отсюда вытекает, что при заданных в зависимости от нагрева потерях мы в состоянии нагрузить двигатель лишь на мощность, в  $\frac{1}{K}$  раз меньшую, и следовательно кпд уменьшится. Действительно, если напр. при коэф.-те мощности  $K = 1$  кпд

$$\eta = \frac{P}{P + \Sigma P_n},$$

где  $\Sigma P_n$  — потери в двигателе, то при  $K \neq 1$

$$\eta = \frac{P \cdot K}{P \cdot K + \Sigma P_n}.$$

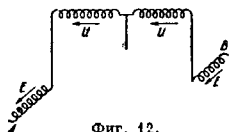
Если положим  $\Sigma P_n = 0,1 P$ , то получим при  $K = 1$

$$\eta = 0,91,$$

а при  $K = 0,4$

$$\eta = 0,8.$$

Для улучшения кпд приходится увеличивать несколько размеры двигателя. К этому также понуждает и то обстоятельство, что по условиям выполнения обмотки точки  $A$  и  $B$  (фиг. 12) противоположных фаз разных звезд могут лежать в одном и том же пазу статора. Если при каких-либо нарушениях в работе двигателя эдс и внешнее напряжение будут суммироваться, то, как видно из фиг. 12,



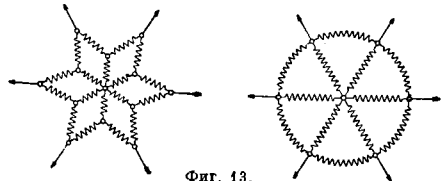
Фиг. 12.

между этими точками получится учетверенное напряжение  $2U + 2E$ . Вследствие этого изоляция фаз относительно друг друга д. б. соответственно усилена, и размеры пазов возрастает. Учитывая однако возможность перераспределить потери в меди и железе двигателя более подходящим для данного случая образом, а также и то, что в В. д. отсутствует коллектор и дополнительные полюсы, можно значительно ослабить эффект описанного недостатка. Во Всесоюзном электротехнич. ин-те в Москве поставлены всесторонние изыскания этого типа двигателя. Был сделан подсчет весов двигателей

вентильного, коллекторного постоянного тока и коллекторного переменного тока ( $16\frac{2}{3}$  Hz) применительно к типу двигателя ДПЭ-340, причем получились следующие результаты:

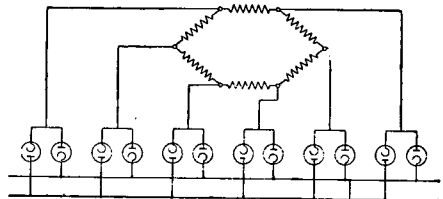
Тип двигателя	Вес в кг			Диам. яноря в мм
	меди	железа	общий	
Вентильный . . . . .	575	2 198	3,5	674
ДПЭ-340 . . . . .	718	1 648	3,3	635
Коллекторный . . . . .	600	2 200	3,6	657

Кроме того представляется возможность перейти на другие типы обмотки, как то: комбини-



Фиг. 13.

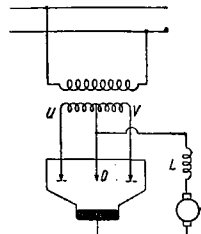
рованной, ромбическую (фиг. 13) или совсем замкнутую (фиг. 14). В последнем случае число



Фиг. 14.

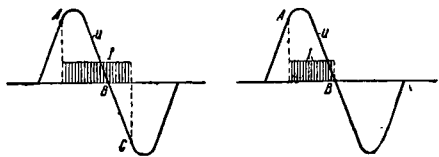
анодов должно быть взято больше, причем принцип схемы состоит в том, что вначале переменный ток преобразуется в постоянный, а затем этот последний подается через коммутирующие вентили в замкнутую обмотку.

В 1933 г. фирма Сименс предложила применить вспомогательный анод реактивной мощности в ртутном выпрямителе, который может улучшить коэф. мощности сети при пуске в ход В. д. Действие иного анода легче всего проследить на схеме питания двигателя постоянного тока от однофазной сети через ртутный выпрямитель с регулируемыми сетками (фиг. 15). Если анод  $U$  (фиг. 15) был важен в точке  $A$  (фиг. 16), то при наличии сильной сглаживающей катушки он должен был бы гореть до точки  $C$  (фиг. 16), когда включится второй анод  $V$  (фиг. 15). На участке  $BC$  (фиг. 16) происходит регенеративный



Фиг. 15.

процесс, при пуске в ход коэф. мощности равен нулю. При наличии вспомогательного анода  $O$  (фиг. 15) ток двигателя под влиянием индуктивности  $L$  замыкается через этот анод и из сети течет ток, показанный на фиг. 17. Коэф. мощно-



Фиг. 16 и 17.

сти становится выше (см. *Ионные преобразователи*). Идея этого предложения м. б. применима к В. д. При наддувении технич. усовершенствовании ионных преобразователей гл. обр. в отношении их портативности В. д. найдет себе широкое применение для шахтных подъемников, для прокатных станов, для электровозов, т. е. всюду, где требуется широкое и плавное регулирование скорости вращения двигателей большой мощности. Можно предвидеть также и применение их в качестве вентиляных генераторов в ветро-энергетич. установках.

Лит.: С и е н к е л, «ETZ», 1932, 32; «Электричество», 1933, 3—4, 12, 15, 16, 18, 19, 1934, 2; S a b b a l, «Сепегат Electric Review», 1932, 8. Е. Нгугов.

**ВЕНТИЛЯЦИЯ ЗАВОДСКАЯ** и фабричная. Три основных фактора вентиляции. Обмены воздуха в помещениях происходят под влиянием трех факторов, действующих изолированно или совместно в различных сочетаниях. Этими факторами являются: а) разность давлений атмосферного воздуха, создающаяся под влиянием действия ветра у наветренной и подветренной сторон здания (а з р а ц и я); б) разность  $t^\circ$  внутреннего и наружного воздуха, создающаяся при наличии в помещении различных нагревателей и вызывающая т е с т е с т в е н н у ю

вентиляцию помещений, к-рая является особенно выпукло в горячих цехах (печи, горячая аппаратура и т. п.); в) механич. или специальные тепловые побудители, создающие ту планомерную вентиляцию, к-рую мы называем искусственной. Первый из указанных факторов является чисто стихийным и поддающимся регулированию сообразно с требованиями обстоятельств только в ограниченной степени. Второй фактор является более или менее постоянным, определяя назначением помещения; регулируемость его также весьма ограничена. Третий фактор, создающийся специально с целью получения в помещениях нек-рых определенных метеорологич. условий, желательных с точки зрения гигиены и технологии, д. б. вполне регулируемым и в случае неблагоприятного влияния первых двух факторов способным преодолеть или смягчить его. Последняя задача предполагает наличие достаточной освещенности всех трех факторов. В действительности этого не наблюдается, т. к. вентиляционная техника полностью освоила только третий фактор, два же первых являются еще новыми проблемами, выдвинутыми в последнее время. Такое положение вещей несомненно отражается на результатах изучения одновременного действия всех трех факторов и существенно сказывается на эффективности построенных искусственных вентиляций. Основные принципы этой последней — см. *Заводская вентиляция*; основные принципы второго фактора приведены ниже, по поводу первого при-

водим следующие данные. Побудителем вентиляции при действии первого фактора является живая сила ветра, т. е. энергия, к-рую можно было бы назвать даровой в том случае, если бы использование ее не было сопряжено со значительными одновременными затратами денежных средств. В действительности это далеко не всегда имеет место. Возможность использования даровой энергии является существенным, но видимому единственным положительным свойством рассматриваемого способа вентиляции, получившего название а з р а ц и я. Отрицательные стороны аэрации несравненно многочисленнее. К ним относятся: непостоянство действия, обусловленное изменчивостью ветра по силе и направлению, неприменимость аэрации в тех случаях, когда приточный воздух должен иметь свойства, отличные от свойств наружного воздуха (повышенная влажность, повышенная  $t^\circ$  зимой и т. п.), условная применимость аэрации в случаях, когда независимо от тепловых выделений в помещении имеют место и другие вредные выделения, напр. газы, увлекаемые конвективными токами вверх под перекрытие, а оттуда удаляемые в атмосферу. В общем применение аэрации в наиболее ответственных и опасных случаях (вредные или ядовитые газы) не должно допускаться, и наиболее благоприятными условиями для ее применения следует считать борьбу с одними тепловыми выделениями. Заметим, что в этом случае искусственная вентиляция располагает не более, а возможно и менее сложными, чем для аэрации, устройствами, действующими под влиянием постоянного теплового побуждения, возникающего под влиянием технологических тепловых выделений, а не переменного, представляемого движением ветра. Единственной бесспорно более выгодной областью применения аэрации по сравнению с другими факторами обмена воздуха являются помещения складского и полускладского характера, не нуждающиеся в  $t^\circ$  высшей, чем наружная, и требующие более или менее энергичной, хотя и нерегулярного проветривания. Однако непрерывным условием и в этом случае следует считать отсутствие таких вредных выделений, к-рые в повышенной концентрации могут оказаться опасными для человека.

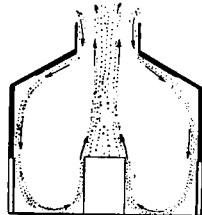
Естественная вентиляция горячих цехов. Особенности вентиляции горячих цехов определяются следующими факторами: сравнительной мощностью развивающихся в них тепловых выделений, почти всегда сопровождаемых обильными выделениями газа, пыли, а иногда водяных паров; характером архитектуры помещений горячих цехов, к-рые обычно имеют значительную высоту и почти всегда снабжены звуку открываемыми фоварями, вытяжками шахтами, а внизу открытыми по условиям работ дверями и даже воротами, и наконец мощной естественной вентиляцией, являющейся результатом двух первых факторов. Тепловые выделения в горячих цехах иногда достигают 2—3 млн. Cal и даже более на сравнительно небольшой площади, тогда как тепловые выделения в других хорошо изученных с санитарной точки зрения цехах выражаются десятками, самое большее сотнями тысяч Cal/час. Очень часто при этом выделяются и газы и притом настолько обильно, что заметно окрашивают воздух; пылевые выделения могут измеряться, правда в исключительных случаях, сотнями кг/час; выделения водяных паров также достигают иногда очень значительных размеров. Особенности архитектуры, как было указано выше, создают неплотности

ограждений, которые представляют лишь незначительные препятствия для входа и выхода воздуха. Эти неплотности наряду с обилием тепловых выделений вызывают могучую естественную вентиляцию, к-рая нередко достигает 12—15 обменов, а в виде исключения доходит даже до 40 обменов. Т. к. искусственная вентиляция обычно устраивается в объеме 3—5 обменов, то естественная вентиляция горячих цехов в несколько раз превосходит мощность те системы искусственной вентиляции, которые обычно устраивают на заводах. Поэтому выяснение естественной вентиляции является необходимым условием проектирования искусственной вентиляции в горячих цехах.

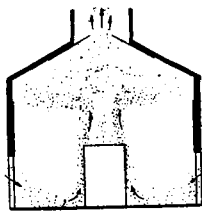
Естественная вентиляция возникает вследствие подогревания воздуха у горячих поверхностей аппаратов, печей и других нагревателей. Численное значение этого подогревания  $\Delta t$  при постоянном температурном режиме определяется почти исключительно от  $t^\circ$  поверхности нагревателя. Согласно измерениям нагревание воздуха равно 25—30° у наружной обмуровки печей с поверхностью  $t^\circ$  100—120°; 15° у поверхности электролизных ванн с  $t^\circ$  60°; 4° у поверхности сосуда, наполненного водой, с  $t^\circ$  30°; одетый человек подогревает проходящий мимо него воздух в среднем на 3,1°. Общее количество воздуха, составляющего конвективный ток от нагретого предмета, является частным от деления общего количества тепла, теряемого этим предметом, на среднее количество тепла, приобретаемого каждым  $m^3$  воздуха, и является величиной б. или м. постоянной. Так, печь Гумбольта дает воздушный поток, равный около 10 000  $m^3/ч$ , электролизная ванна — ок. 1 000  $m^3/ч$ , человек — 40  $m^3/ч$ , вольтова дуга для спекания карбида — до 66 000  $m^3/ч$ . Сезонные колебания и индивидуальные отклонения не играют большой роли и могут не учитываться при проектировании. Кон-

ности нагревателей, воздух направляется к шахтам, образуя конвективные токи (фиг. 1). Часть помещения, не занятая ни питающими ни конвективными токами, носит название промежуточной зоны.

Питающие токи по санитарным свойствам приближаются к наружному воздуху, т. е. не содержат газа и пыли, но зимой имеют низкую  $t^\circ$ . Конвективные токи перед выходом из помещения захватывают все газы, тепло и пыль, к-рые выделились за время их прохождения. Их воздух — худший воздух всего помещения. Если при свободном выходе вход воздуха стеснен, то для образования питающих токов идет часть воздуха конвективных токов, которые изменяют свое восходящее направление, заворачивают вниз и образуют обратные токи (фиг. 2). Эти последние возвращают вниз удалившиеся в верхнюю зону газ, пыль и тепло и заражают ими нижнюю зону. При полном прекращении притока в двери

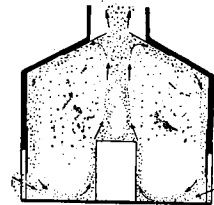


Фиг. 3.

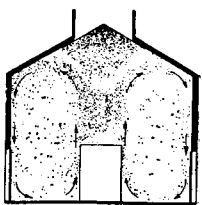


Фиг. 4.

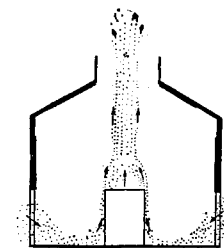
образование конвективных токов происходит за счет воздуха верхней зоны (фиг. 3). В результате этого являются или одновременные приток и удаление воздуха из верхнего отверстия (при больших размерах его) или же чередование притока и удаления воздуха (при малых размерах). В последнем случае происходит и вовлечение части конвективных токов в циркуляцию. При свободном притоке воздуха и стесненном выходе его через верхнее отверстие под перекрытием образуется «мешок» теплого воздуха (фиг. 4), к-рый увеличивается по высоте до тех пор, пока увеличивающаяся в связи с этим скорость истечения воздуха из шахт не окажется достаточной для создания равновесия между количествами воздуха, поступающего под перекрытие и удаляющегося в атмосферу. Помещения с заполненной «мешком» верхней зоной очень характерны для горячих цехов. При достаточном стесненном отверстии «мешок» может заполнить всю промежуточную зону, и тогда часть воздуха из «мешка» идет на образование питающих токов (фиг. 5). В предель-



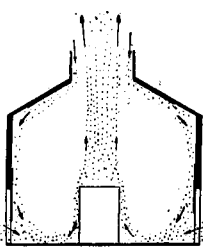
Фиг. 5.



Фиг. 6.



Фиг. 1.



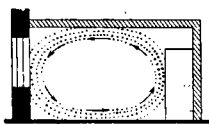
Фиг. 2.

вективные токи создаются и теплорассеивающими телами, нагреваемыми тепловыми лучами. Эти вторичные токи имеют меньшие значения  $\Delta t$  и меньшую мощность. Основные конвективные токи, будучи окрашены газами, имеют вид тонких плоских слоев, поднимающихся к перекрытию. Слои, имеющие высшую  $t^\circ$  и большую скорость, инжектируют окружающий воздух и сравнительно быстро охлаждаются (напр. токи от вольтовой дуги). Токи с низкой  $t^\circ$  (напр. 15°) поднимаются, почти не охлаждаясь, и следовательно почти не инжектируют окружающий воздух. Если, достигая перекрытия, струи нагретого воздуха находят отверстия (фонари, шахты), достаточные для выхода в атмосферу без изменения скорости, то при наличии свободного входа воздуха через ворота в помещении устанавливается простой воздухооборот: Холодный воздух входит через ворота и направляется к нагревателю образуя питающий ток. Пройдя у поверх-

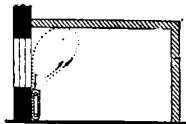
ном случае при полном закрытии притока и вытяжки питающий ток образуется исключительно из воздуха, спускающимся из «мешка» (фиг. 6). Это всегда имеет место в жилых помещениях при

действию отопления (фиг. 7 и 8). В таких случаях обмен вентиляции значительно ниже обмена циркуляции. Внутренний воздух помещения все время перемешивается и получает приблизительно одинаковые качества по всему помещению.

При составлении проекта вентиляции весьма важно знать, в каких именно зонах находится места пребывания рабочих. Если они находятся в зоне питающих токов, то как правило тепло, пыль и газы могут проникать в них лишь сверху из ниспадающих обратных токов или из «мешка», холодный же воздух может притекать непосредственно из дверей, ворот и других отверстий. Поэтому, если задачей вентиляции является борьба с теплом, газами или пылью в зоне питающих токов, то необходимо обеспечить условия, при которых питающие токи будут составлять исключительно из наружного воздуха, а для этого нужно оставить достаточно широкие входные и выходные отверстия. Напротив, если задачей является повышение  $t^{\circ}$  в зоне питающих токов, то следует уменьшить доступ свежего воздуха и этим увеличить приток циркуляционного воздуха из верхней зоны. Если рабочие места попадают в зоны конвективных токов, то в подавляющем большинстве случаев задача улучшить санитарные условия рабочей зоны путем улучшения качества воздуха в конвективных зонах оказывается совершенно безнадёжной. Недостаточно надёжными являются и такие сред-



Фиг. 7.



Фиг. 8.

ства, как изоляция, герметизация аппаратуры и т. п. Поэтому нужно стремиться перевести рабочие места из зоны конвективных токов в промежуточную зону или, лучше, в зону питающих токов. Это м. б. достигнуто устройством воздушных душей, отклоняющих перегородок, экранов или совмещением обоих приемов — выгораживанием рабочих мест в особые кабинки с подачей в них приточного воздуха. При нахождении рабочих мест в «мешке» наиболее естественным приемом является расширение выпускных отверстий до таких пределов, при к-рых «мешок» исчезает полностью или частично. При значительном количестве пыли в конвективном воздухе все пространство под «мешком» является зоной выпадения пыли, которая в этом случае двигается независимо от движения воздуха (в «мешке» скорость движения воздуха сильно падает). В этом случае все пространство под «мешком», в том числе и питающие токи, оказывается загрязненным. Методом борьбы с этим является снова уничтожение мешка путем облегчения выхода воздуха. Напротив, газы почти всегда послушно следуют движению воздушных токов и собственного независимого от них движения почти не имеют. Представление о скоплении легких газов сверху, а тяжелых внизу совершенно неправильно. Неправильным следует считать и влияние диффузии, к-рое обычно сильно преувеличивается.

В некоторых случаях (кузницы) задачей вентиляции ставится полный захват токов нагретого и испорченного газами воздуха, в этом случае конвективные токи, «мешок» и обратные токи в помещении отсутствуют и вентиляционная задача оказывается полностью разрешенной, но

такое решение возможно лишь при сравнительно малых объемах удаляемых токов, т. е. практически тогда, когда удается искусственно увеличить величину  $\Delta t$ . В других случаях стараются обезвредить конвективные токи путем изоляции горячих поверхностей, герметизацией аппаратуры, местных отсосов газа и т. д. Однако средства эти являются лишь паллиативами, так как герметизация, как бы тщательно она ни была проведена, очень часто осуществляется, особенно на химич. з-дах и при переменном тепловом режиме аппаратуры. Изоляция способна б. или м. уменьшить тепловые выделения, но их общий характер в горячем цехе от этого не переместится. Наконец устройство местных отсосов может дать эффект лишь при наличии ограниченного числа мест возможных вредных выделений. Т. о. удачное применение этого метода вентиляции мало вероятно. Устройство в горячих цехах общей искусственной вентиляции в большинстве случаев совершенно бесполезно, т. к. для улучшения санитарных условий пришлось бы в несколько раз увеличить обмен естественной вентиляции, к-рый и без того нередко достигает 12—15 обменов. Т. о. для устройства эффективной общей вентиляции пришлось бы давать не менее 40—50 обменов, что недопустимо по экономич. соображениям. На практике иногда устраивают общие системы вентиляции, не считаясь с обменом естественной вентиляции. Это приводит к опрокидыванию общей системы вентиляции, если она предполагает движение воздуха навстречу токам естественной вентиляции, или к бесполезному поглощению токов искусственной вентиляции токами естественной, если направления их параллельны. Так, при подаче подогретого воздуха он уходит через шахты и фонари, самое большее несколько увеличивая глубину мешка. При подаче холодного приточного воздуха сверху он увлекается конвективными токами в шахты, а если подача совершается с большей скоростью, то струи приточного воздуха прорываются донизу, но, инжектируя по пути, встречные токи конвективного воздуха приходят в нижнюю зону совершенно зараженными. Поддача холодного воздуха внизу замещает естественный приток холодного воздуха через двери, но очевидно, что пользы такое замещение не приносит. Холодным в этом случае обозначается приток воздуха с  $t^{\circ}$ , близкой к  $t^{\circ}$  питающих токов, какова бы она ни была, теплым же — приток воздуха с  $t^{\circ}$ , близкой к  $t^{\circ}$  конвективных токов. Поддерживание  $t^{\circ}$  в нижней зоне горячих цехов в зимнее время не только на уровне требований охраны труда, но даже только не ниже  $0^{\circ}$  до сего времени является задачей неосуществленной. Нижняя зона заполнена питающими токами,  $t^{\circ}$  которых близка к  $t^{\circ}$  наружного воздуха, поэтому надежных способов обогрева ее в настоящее время не имеется. Следует предостеречь от установки с этой целью нагревательных приборов и других мероприятий.

Некоторые особенности представляют помещения с большими выделениями водяных паров. В этих помещениях свободные конвективные токи чрезвычайно неприятны, т. к. зимой они конденсируют влагу на балках перекрытий, на верхнем остеклении, что приводит к капель, иногда только нежелательную, иногда же крайне опасную, напр. при работе с расплавленными металлами и шлаками. С другой стороны, места выделения водяных паров обычно немногочисленны, а конвективные токи непосредственно у поверхности жидкости имеют большое численное значение  $\Delta t$  и следовательно малый объем (1 кг пара,

выделяясь, имеет объем ок.  $1,7 \text{ м}^3$  при  $t^\circ 100^\circ$ , на расстоянии  $1 \text{ м}$  от поверхности распространяется на  $14\text{—}22 \text{ м}^2$ , и  $t^\circ$  падает до  $40^\circ$ ). В этом случае следует устраивать закрытия с забором всего конвективного тока непосредственно от места его выбивания. Важно устроить возможно более плотные ограждения, т. к. это позволяет экономять на количестве отсасываемого воздуха. В некоторых случаях оказывалось достаточным (при плотных ограждениях) давать только одни вытяжные трубы, через которые выходит почти чистый пар. При этом помещение почти не теряет воздуха и нет необходимости восполнения его. При менее плотных ограждениях высасывается паровоздушная смесь с большим или меньшим содержанием пара. При наличии зонтов  $t^\circ$  паровоздушной смеси падает до  $40^\circ$  (под зонтом) и содержит  $15\text{—}22 \text{ кг}$  воздуха на  $1 \text{ кг}$  пара и конденсата. При открытых поверхностях паровоздушная смесь имеет  $t^\circ$  ок.  $35^\circ$  (вблизи от поверхности).

При составлении проектов вентиляции горячих цехов необходимо замерами или вычислениями найти следующие величины: 1) количество выделяющегося тепла, 2) среднее значение  $\Delta t$  и 3) количество воздуха, составляющего конвективные токи. Далее, для летнего времени шахты д. б. рассчитаны т. о., чтобы иметь возможность выпустить весь воздух без опускания «мешка» в рабочие зоны. В тех случаях, когда помимо тепловых выделений имеется пыль, нужно вообще избегать образования «мешков». Напротив, зимой при изолированной тепловой вредности «мешок» следует спускать ближе к полу и этим отапливать помещение. При наличии газов или пыли следует мириться с низкой  $t^\circ$  в нижней зоне и полностью удалять конвективные токи, избегая вместе с этим от пыли и газов. Механизированная вентиляция может и должна применяться лишь для вентиляции выделенных кабин (убежища).

К архитектуре здания естественная вентиляция горячих цехов предъявляет следующие требования. Отверстия в крыше д. б. расположены т. о., чтобы весь конвективный воздух мог выходить из помещения и притом по мере возможности кратчайшим путем и без увеличения скорости. Не д. б. мертвых, застойных пространств, по крайней мере часть шахт д. б. расположена в наиболее высоких пунктах здания. При наличии газов, пыли или паров воды ограждения, в особенности перекрытия, следует делать малотеплопроводными. При наличии пыли высота помещения не д. б. чрезмерной, т. к. это удлиняет путь конвективного тока. Для притока следует помимо ворот устраивать специальные отверстия, к-рые следует располагать в самой нижней зоне по всему внешнему периметру помещения, стараясь однако так разместить их, чтобы подтекающие токи (зимой) не проходили через пункты пребывания людей.

Определение обменов вентиляции по учету объема конвективных токов на основании замерных значений  $\Delta t$  является методом сравнительно новым и сложившимся на почве обследования горячих цехов хим. заводов. С этих последних применение его быстро распространяется на другие помещения, в к-рых имеют место тепловые выделения. Главным удобством этого метода являются несомненная реальность значений  $\Delta t$  (т. к. они берутся из замеров с натуры) и следовательно действительно минимальные значения требующихся в соответствии с ними обменов. При других методах подсчета произ-

вольный выбор значений  $\Delta t$  вел за собой ошибочное определение обменов. В помещениях, лишенных быстро движущихся механизмов, ремней и других факторов, способствующих перемешиванию конвективных токов с окружающим их воздухом, преимущество использования естественной вентиляции сказывается несравненно более полно и выпукло. Наоборот, во всех случаях, где это перемешивание происходит, преимущества использования естественной вентиляции в большей или меньшей степени уменьшаются. Поэтому обмены в ткацких и прядильных отделениях текстильных ф-к с их мощными тепловыми выделениями с меньшим основанием могут рассчитываться по принципу естественной вентиляции, чем например в цехах с несравненно более слабыми выделениями тепла, но лишенных вращающихся веретен, движущихся батанов и т. п. Имеется полное основание производить определение обменов в чугунолитейных и сталелитейных цехах по принципу естественной вентиляции. Отметим в заключение еще две крайне интересные области применения принципа естественной вентиляции при определении обменов для зал общественных собраний и при расчете извлечения воздуха из химических шкафов. В первом случае источником тепловых выделений являются обитатели зала, создающие свои конвективные токи, которые по замерам, произведенным нами, составляют на одного человека ок.  $40 \text{ м}^3/\text{ч}$  при  $\Delta t = 3,4^\circ$ . Во втором случае помещением является шкаф, нагревателем же его — газовые горелки, «бани», горячая аппаратура, поверхность горячих сосудов и пр.

Понятие о переместительности воздушных нагрузок в воздушных и способ расчета переместительных систем. При расчете вытяжных воздуховодов вентиляционных систем очень часто приходится встречаться с переменной нагрузкой отдельных участков в зависимости от открытия или закрытия в отдельных пунктах крышек, шиберов, дроссель-клапанов или других регулирующих приборов. При этом условии во всех участках труб меняются количества проходящего воздуха, а следовательно его скорости и сопротивления. Заметим, что сопротивления меняются в направлении, обратном желательному, напр. при уменьшении вытяжки они падают, а этим уменьшение вытяжки в большей или меньшей степени задерживается. Путем уравнивания регулирующих приборами было бы возможно создать нужное распределение воздуха по участкам, но если изменение нагрузки совершается непрерывно, то такое управление становится невозможным. В этих случаях необходимо соблюдение особых правил расчета трубопроводов, которые в общей совокупности мы будем называть условиями и переместительности. Сообразно с этим системы, в которых заданная скорость в засосных отверстиях поддерживается автоматически, будем называть переместительными. Первоначальная регулировка таких систем также требует особых приемов. В переместительных системах мы должны различать: 1) приемные отверстия, снабженные крышками или шиберами, от положения к-рых должно зависеть количество воздуха, забираемого от каждого приемного отверстия; 2) отверстия, проводящие воздух от каждого приемного отверстия коллектора до глушителя; 3) коллектор-глушитель; 4) воздухоотводный канал, соединяющий глушитель с вентилятором. Воздухоотводный канал имеет назначением отводить

от глушителя постоянное количество воздуха. Расчет его производится обычным образом. Отростки и приемные отверстия должны находиться в таком соотношении, чтобы отношение падения напора, происходящее в отростке, к падению напора в приемном отверстии было величинной по возможности меньшей. Система будет тем чувствительнее и тем в большей степени реагирует она на поднятие и закрытие крышек и перестановку шибберов, чем меньше

$$\frac{R_1 + Z_1}{Z_1},$$

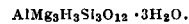
где  $R_1$  — сопротивление трения отдельной ветви от засоса до глушителя,  $Z_2$  — местные сопротивления на том же пути,  $Z_1$  — сопротивления засосного отверстия. Поэтому для увеличения переместительности системы нужно увеличивать  $Z_1$  или уменьшать  $R_1 + Z_2$ . Первое сопряжено с увеличением расхода воздуха, т. е. стоимости оборудования и эксплуатации системы. Второе требует устройства широких и прямых каналов, что вызывает также увеличенный расход средств и требует больше места для размещения их. Зато соблюдение условий переместительности позволяет сокращать производительность вентилятора, расход энергии на него, уменьшает мощность и стоимость как вытяжного устройства, так и приточной системы. Выгодность или невыгодность переместительной системы определяется из следующих соображений. Если средний расход каждого отверстия не разнится существенно от максимального и если процент бездействующих отверстий невелик, то переместительная система невыгодна и лучше рассчитывать вентилятор на сумму максимальных отсосов отдельных отверстий. Если же максимальный расход воздуха на каждое отверстие значительно разнится от среднего и если большой процент отверстий не работает, то выгоднее рассчитывать систему как переместительную, т. е. на средний расход воздуха. Что касается коллектора-глушителя, сопротивление в нем д. б. возможно меньшим, а для этого следует делать его или очень большого сечения или весьма коротким, напр. сводя отростки от всех отсосных пунктов к одной точке (у диффузора). Сопротивления всех участков на пути до глушителя д. б. выравнены. Системы вполне переместительные имеют постоянную скорость засоса и переменное количество воздуха. Системы совершенно непереместительные имеют постоянные количества воздуха в отдельных отсосах и меняют скорость засоса при изменении степени открытия засосного отверстия. Системы с частичной переместительностью меняют и количество воздуха, проходящего через каждое приемное отверстие, и скорость засоса. Кроме того меняется общий расход воздуха, общее сопротивление и расход энергии. При составлении проекта нужно знать амплитуду возможных колебаний этих величин. Для определения максимальных сопротивлений необходимо допустить, что наиболее удаленные от вентилятора отверстия работают на максимальный расход воздуха, а более близкие закрыты. На этом основании определяется и число оборотов вентилятора. Для определения максимального расхода энергии необходимо принять равномерную нагрузку при числе оборотов, выведенном для случая максимального сопротивления. В этом случае общий расход воздуха повышается, а вместе с ним повышается и расход энергии. Системы вполне переместительные или совершенно непереместительные должны иметь постоянное сопротивление и расход энергии. Соблюдение принципа пере-

местительности является важным напр. в следующих практич. случаях: отсос от центрифуг, от хлорных ящиков, красильных ф-к, от красковарочных котлов и т. п.

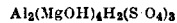
**ВЕРМИКУЛИТ**, продукт выветривания различных слюд; минералогически определяется как «гидрослюда», имеет весьма изменчивый химический состав. Первичными минералами, с которыми обычно генетически связывают В., являются магниезиальные и железисто-магниезиальные слюды — флогопит и биотит. Если для нормального состава последних принять из различных предлагавшихся ф-л формулу Кларка — для биотита  $Al_2 \cdot Mg_2 KHSi_3O_{12}$  (в к-рой Mg всегда частично замещен Fe) и для флогопита  $AlMg_3 \cdot KH_2Si_2O_{12}$ , то для В. получаются соответственно следующие две ф-лы:



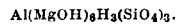
и



Как видно отсюда, процесс изменения заключается в исчезновении калия и в присоединении неконституционной, как Кларк указывает, «слабо связанной» воды (другие авторы определяют эту воду как цеолитную). С дальнейшим процессом хлоритизирования первичных слюд Кларк видимо связывает приобретение водяным компонентом характера конституционной воды, давая следующие две параллельные ф-лы для хлоритов:



и



В работе проф. Висконта (ГЕОМИН) вермикулитизация биотита Булдманского месторождения характеризуется как процесс гидратации, при к-ром происходил привнос  $SiO_2$  и MgO и унос щелочей и железа, а с другой стороны, отрицается связь между процессами вермикулитизации и хлоритизации.

В. подобно слодам кристаллизуется в моноклинной системе, образуя мелкочешуйчатые агрегаты, и обладает совершенной спайностью (по плоскости 001). Цвет чешуек, теряющих характерную для первичных слюд упругость, от светлосерого до желто-бурого с матовым перламутровым оттенком. Уд. в. колеблется вокруг среднего значения 2,5. Твердость 1—2. Своеобразной особенностью вермикулита является то, что при нагревании слагающие его листочки сильно раздвигаются в направлении, перпендикулярном к плоскости спайности, в связи с чем объем В. увеличивается до 18-кратного и более и соответственно во много раз уменьшается его уд. в. (В. становится легче пробки). При этом меняется и окраска, получающая золотистые (вероятно вследствие окисления железа) и серебристые оттенки. В табл. 1 приведены главные свойства В.

В. получил за короткое время весьма разнообразное применение благодаря отмеченным его свойствам впускаться и расширяться при обжиге, очень низкой тепло- и звукопроводности распущенного обжигом минерала (сохраняющимся также при его измельчении), золотистой окраске обожженного В. и др. Главнейшие виды применения В. сводятся к следующему: 1) получение тепло- и звукоизоляционных и в то же время огнестойких материалов (в составе штукатурок, строительного картона, пластических масс, кровельных материалов, кирпичей и т. п.); 2) производство смазок, равноценных графитовым смазкам, и антифрикционной покрывной массы; 3) производство золотистых красок. Методы этих производств, кратко указываемых в америк.

Табл. 1.—Свойства и характеристика В.

Свойства	Характеристика	Примечание
Вспучиваемость при нагреве	До 18-кратного объема и более	Вспучиваемость неуклонно уменьшается по мере измельчения Булдымский В.
Дисперсность	Осуществлялось измельчение до прохождения зерен через сито в 360 отверстий на 1 см <sup>2</sup> на 1420°	дан- ным
Адсорбционная способность * обожжен. В. сырого В. Пластичность Диэлектрич. показатели	4,83% 1,06% Очень высокая Порядка тех, которые характерны для цветных слюд	Булдымский В.

\* По отношению к водяному пару упругости, близкой к насыщению при 20°.

литературе, в большей части видимо запатентованы. Производившимися у нас лабораторными исследованиями на некоторых образцах булдымского В. выяснены методы первичной обработки (обжига и тонкого измельчения), способы получения тепло- и звукоизоляционных материалов высоких качеств, а также возможность применения В. как воздушающего средства. В табл. 2 приведены производств, в к-рых применяется В., и свойства, на к-рых основано это применение.

Табл. 2.—Применение и свойства В.

Применение	Свойства
Производство теплоизоляционных фасонных изделий	Объемный вес 230—212 кг/м <sup>3</sup> . Коэф. теплопроводности 0,063—0,045
Производство звукоизоляционных материалов В. как воздушающий	Коэф. звукопроводности 0,22—0,38* Обменная способность 1,52%

\* За единицу принимается случай отсутствия прокладки (соответствующие показатели в децибеллах 17—11). Материалы уступают лишь пробковой и резиновой изоляции.

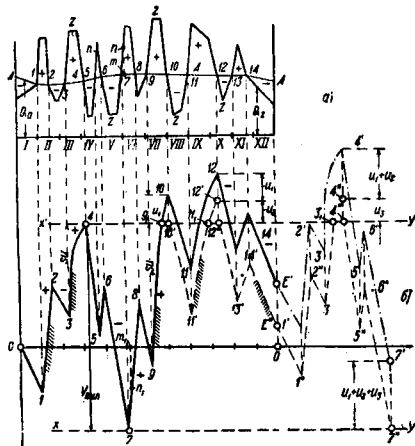
Главнейшие месторождения и сырьевые ресурсы В. в СССР. Наиболее многочисленны и значительны по размерам и запасам месторождения США, где, собственно говоря, и возникла пром-сть В. Самые крупные из них расположены в штате Монтана (близ Libby), менее крупные в Колорадо, Пенсильвании. Запасы месторождений штата Монтана определяются в 25 млн. т В. В СССР к настоящему времени выявлено и в нек-рой мере изучено Булдымское месторождение гидратизированного биотита большого промышленного значения. Месторождение расположено на Урале, в Каслинской даче Верхне-Уфалейского района в 10,5 км на север от тракта Касли-Маук (станции Казанской ж. д.) и в 1½ км от северной оконечности Вишневых гор — горы Каравай. Вермикулитизированный биотит залегает в форме нескольких жило-линзовидных тел, среди серпентина, сильно измененного процессами окисления, карбонатизации и окремнения. Степень вермикулитизации в разных участках различна, и с точки зрения технологического освоения

месторождение должно дать несколько сортов В. По предварительным подсчетам запасы этого не вполне изученного месторождения выражаются в следующих цифрах категории  $C_1 + C_2$  (значение  $C_1 + C_2$  см. Разведки месторождений и полезных ископаемых): 1) пластинчатого В., дающего хорошие технич. показатели, 125 000 т, 2) мелкозернистой разновидности измененного биотита 112 000 т.

Лит.: Амельяндов А. и Озеров К., Булдымское месторождение вермикулита, «Мс», 1934, 2; Ротт А., Vermiculite, «Bureau of Mines», 1930, 672g; Colorado Vermiculite, its Discovery and Development, «Rock Products», 1932, 16; Progress in the Use of Lonolite, ibidem, 1932, 3; Crouse C., Calcined Vermiculite as a Plaster Base, «Engineering a. Mining Journal», 1929, 24. Н. Федоровский.

**ВОДОЕМ**, вместилище для воды, используемой для хозяйственных и промышленных нужд. Когда намеченный ход расхода воды из какого-либо надземного источника не покрывается ходом стока ее, то приходится соорудить искусственный В. для запаса воды на засушливое время. В период избытка воды такая вода накапливается в В. с тем, чтобы быть израсходованной впоследствии, когда приток ее в В. меньше расхода ее.

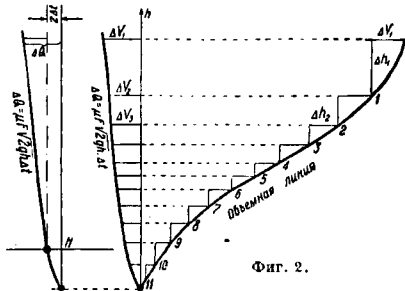
Необходимая емкость искусственных водоемов м. б. выявлена графич. путем или расчетом. На фиг. 1 представлен график, дающий пред-



Фиг. 1.

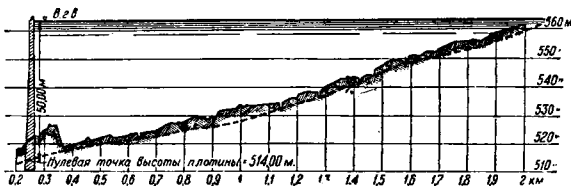
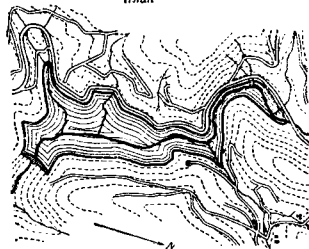
ставление о ходе расхода воды и показывающий способ определения графич. путем минимальной потребной емкости водоема. Ломаная линия ZZ (фиг. 1, a) характеризует собой годовой ход притока воды, а линия AA показывает годовой ход потребного расхода ее Q. Ограниченные этими линиями площади, лежащие над линией AA и обозначенные плюсом, указывают избыток воды в определенные промежутки времени (избыточные площади), а лежащие ниже линии AA и обозначенные минусом указывают недостаток воды по сравнению с потребностью в ней в соответствующие промежутки времени (недостатковые площади). По линиям ZZ и AA делается построение линии su суммарных разностей (фиг. 1, б) для того же времени; точки 1, 2, 3... этой линии лежат на вертикалях, проходящих через точки 1, 2, 3... пересечения линий ZZ и AA. Ординаты линии суммарных разностей (фиг. 1, б) отвечают соответственным недостатковым и избыточным площадям (фиг. 1, a). Орди-

наты линий 0—1, 2—3, 4—5 и т. д. на фиг. 1, б, опускающихся вниз и обозначенных минусом (недостатковые линии), отвечают соответственно отрицательным площадям на фиг. 1, а, в ординаты линий 1—2, 3—4, 5—6 и т. д. на фиг. 1, б, поднимающихся вверх и обозначенных плюсом (избыточные линии), отвечают соответственно положительным площадям на фиг. 1, а. Наименьшая емкость  $V_{min}$  В., достаточ-

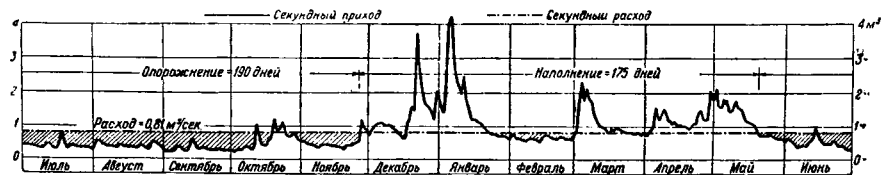


ная для бесперебойного снабжения водой в потребном количестве, д. б. равна наибольшему недостатку ее в период одного, двух и даже трех засушливых годов. На фиг. 1, б этот недостаток, равный  $V_{min}$ , выражается разностью высот точек 4 и 7, причем в данном случае недостаток воды за время от 4 до 7 прерывается небольшим избытком воды за время 5—6. Для точного выявления величины  $V_{min}$  надлежит линию сум-

План



Водо-приходо-расходная диаграмма



Фиг. 3.

марных разностей продолжить построением таковой и для следующего года. Низинная точка 7 отвечает порожнему состоянию В., а высотная точка 4 отвечает наполненному состоянию его. Избыточная линия 9—10 переносится в нек-рой точке  $9_1$  горизонтально  $x'y'$ , проходящей через в м с о т и у ю точку 4 и представляющей собой высотный горизонт воды в В. Избыток воды  $u_1$ , соответствующий избыточной линии 9<sub>1</sub>—10, стекает через водослив, т. ч. ко времени точки 10 В. сохранил свой полный объ-

ем. Поэтому линия 10—11 переносится в параллельное ей положение 10'—11', а линия 11—12 займет положение 11'—12'. Таким же образом избыток воды  $u_2$ , соответствующий избыточной линии 11—12', равной 12'—12'', стекает через водослив, т. ч. линия 12—13 переносится параллельно себе вниз на величину  $u_1 + u_2$  в положение 12'—13', и т. д. Конечная годовая точка  $E'$  поэтому также опустится на величину  $u_1 + u_2$  и займет положение  $E''$ . Начальная точка для второго года переносится в точку  $E''$ . Если принять для первой половины второго года то же положение прихода и расхода воды, что и для первого года, то линия 0123... суммарных разностей переносится параллельно себе так, что точка 0 совпадает с точкой  $E''$ , причем будет иметь место избыток воды  $u_3$ , соответствующий избыточной линии 3<sub>1</sub>—4'' и выраженный отрезком 4'—4'''. Этот избыток воды  $u_3$  стекает также через водослив, т. ч. линия 4'—5'—6'—7' переносится в положение 4'—5'—6'—7'', и точка 7' опустится (подобно точке 4') на величину  $u_1 + u_2 + u_3$  и совпадет с линией  $xu$  нулевого горизонта. Ординаты частично отгнененной штрихами линии над линией  $xu$  показывают имеющиеся в наличии в определенное время количества воды и соответствующие уровни ее в В. Римские цифры I—XII на фиг. 1, а означают последовательные месяцы года (январь, февраль, март и т. д.).

Если обозначить через  $Q_0$  количество воды, необходимое для определенных хозяйственных или промышленных целей, через  $Q_c$  — количество воды, вытекающее через водослив и необходимое для питания водой местностей, ниже

Продольный разрез

расположенных, через  $Q_y$  — убыль воды от испарения и просачивания в почву, через  $Q_n$  — приток воды, равный среднему количеству за время засухи, и через  $T$  — наибольшее число дней засушливого времени при условии, что  $Q_n < Q_0 + Q_c + Q_y$ , то наименьшая емкость В. будет равна

$$V_{min} = T(Q_0 + Q_c + Q_y - Q_n), \quad (1)$$

причем величины  $Q$  д. б. выражены в  $m^3/сутки$ . Для получения потребного количества воды необходимо, чтобы при наименьшей годовой вы-



соте  $h$ , атмосферных осадков и коэфте стока  $\varphi$  площадь питающего бассейна была

$$A > 365 \times (Q_0 + Q_c + Q_p) : \varphi h, \quad (2)$$

где  $Q_0$  и  $Q_c$  м. б. больше, чем минимальные количества  $Q_0$  и  $Q_c$  за время засухи. Невозможность получения в одном месте (при одном В.) необходимого  $V_{min}$  или  $A$  обуславливает устройство нескольких В.

Табл. 3. — Хозяйственный план эксплуатации В.

Время года (дни и месяцы)	Число дней	Прибыль воды в тыс. м <sup>3</sup>	Убыль *1 воды в тыс. м <sup>3</sup>	Излишек прибыли в тыс. м <sup>3</sup>	Излишек убыли в тыс. м <sup>3</sup>	Емкость водосма в тыс. м <sup>3</sup>
1—31 декабря . . . . .	31	3 678	2 181	1 495	—	1 595
1—31 января . . . . .	31	4 235	2 181	2 054	—	3 649
1—28 февраля . . . . .	28	1 498	1 970	—	484	3 165
1—20 мая *2 . . . . .	20	2 591	1 407	174	—	6 128
21—31 мая . . . . .	11	644	774	—	130	5 998
1—30 июня . . . . .	30	1 825	2 111	—	786	5 210
1—26 ноября *3 . . . . .	26	956	1 829	—	873	79
27—30 ноября . . . . .	4	302	281	21	—	100

\*1 Ежедневно 70,35 тыс. м<sup>3</sup>. \*2 Навысший горизонт. \*3 Наинизший горизонт.

Количество воды  $\Delta Q$ , вытекающее из В. в продолжение времени  $\Delta t$  через отверстие с поперечным сечением  $F$ , будет равно

$$\Delta Q = \mu F V \sqrt{2gh} \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где  $h$  — расстояние от ц. т. отверстия до поверхности воды в В.,  $\mu$  — коэф. расхода, а  $g$  — ускорение силы тяжести. Также велико изменение  $\Delta V$  объема В., т. е.

$$\Delta V = \Delta Q. \quad (4)$$

Сток из В. и соответствующее этому стоку понижение  $\Delta h$  горизонта воды в В. легко определяются графически (фиг. 2). Определенному промежутку времени  $\Delta t$  отвечает некое понижение уровня воды в В., причём если для полного опорожнения В. потребуется  $n$  раз понизить уровень воды в нем в равные промежутки времени  $\Delta t$ , то время, потребное на опорожнение всего В., выразится величиной

$$T = n \Delta t. \quad (5)$$

Если из В. вытекает количество воды  $\Delta Q$  в промежутке времени  $\Delta t$  и в то же время притекает количество  $z$  м<sup>3</sup>/сек, то приток выразится величиной  $z \Delta t$ , а изменение объема В. за тот же промежуток времени выразится величиной

$$\Delta V = \Delta Q - z \Delta t. \quad (6)$$

Определение этого изменения объема м. б. сделано также графически (фиг. 2), причём наинизший уровень  $H$  воды в В. при притоке количества  $z$  выявляется простым построением, показанным на фиг. 2.

На фиг. 3 изображены реальные планы, разрез и водо-приходо-расходная диаграмма для В. емкостью 6,8 млн. м<sup>3</sup>. Сток бассейна за пределы за наиболее засушливый год (с июля 1902 г. по июнь 1903 г. включительно) выразился в 25,678 млн. м<sup>3</sup>. Равномерный суточный расход воды (не считая избыточного запаса воды) получится равным  $25\,678\,000 : 365 = 70\,350$  м<sup>3</sup>, а секундный расход будет поэтому равен 0,81 м<sup>3</sup>. Этот равномерный расход воды выражен на диаграмме горизонтальной штрих-пунктирной линией. Сплошной ломаной линией обозначен годовой ход стока воды, причём абсциссами этой линии

служат времена года, в которые производились наблюдения, а ординатами — ежедневно стекающее количество воды. Пользуясь этой диаграммой, можно составить хозяйственный план эксплуатации В. в виде примерной табл. 3.

По этому эксплуатационному плану для данного случая наинизший уровень воды в В. отвечает ноябрю (емкость В. равна 79 тыс. м<sup>3</sup>), а наивысший уровень воды в В. отвечает маю (емкость В. равна 6 126 тыс. м<sup>3</sup>).

Если В. используется для силовой установки мощностью  $N$  л. с. при кпд  $\eta$  и притом так, чтобы глубина воды в В., подаваемой по закрытому трубопроводу, способствовала повышению полезной высоты падения  $H$ , то при расходе воды  $Q$  горизонт воды в В. будет понижаться и вместе с тем высота падения  $H$  будет уменьшаться. Чтобы величина  $N$  не изменилась, необходимо соблюсти условие

$$QH = \frac{3N}{40\eta} = k. \quad (7)$$

Для определения наименьшей емкости В. в этом случае необходимо в ур-н (1) взамен величины  $Q_0$  подставить некоторую среднюю величину  $Q_{em}$ , равную

$$Q_{em} = \frac{k}{H_m}. \quad (8)$$

где (фиг. 4)

$$H_m = H_3 + h_w - \delta_1 h_w - h_1. \quad (9)$$

Произведение  $\delta_1 h_w$  представляет собой величину допустимого понижения наивысшего горизонта воды в В., причём  $h_w$  представляет собой наибольшую полезную глубину воды,  $\delta_1$  означает величину, показывающую, какую часть указанной полезной глубины воды можно использовать для работы турбины, не нарушая условия:

$$Q_{em} \cdot H_m = \frac{3N}{40\eta} = k; \quad (10)$$

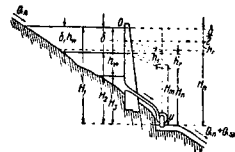
в среднем  $\delta_1 \approx 0,35$ ;  $h_1$  — потеря напора в трубопроводе (фиг. 4). При уравнильном В. в пределах суточного запаса воды средняя полезная высота падения  $H_n$  для турбины будет равна

$$H_n = H_1 - \frac{\delta}{2} - h_r, \quad (11)$$

где  $\delta$  — рабочая глубина воды В., а  $h_r$  — потеря напора в трубопроводе. При запасом В., вмещающем запас воды и на засушливое время, полезная высота падения выразится величиной

$$H_{max} = H_1 - \delta - h_r', \quad (12)$$

где  $h_r'$  — потеря напора в трубопроводе, причём  $h_r' > h_r$ . Искуственные В. приходится сооружать для целей водоснабжения, для целей орошения, для силовых установок, для улучшения судоходства и для прочих потребностей. Правильный расчет В. для всех этих случаев имеет существенное значение в



Фиг. 4.

отношении рационального использования водных ресурсов и целесообразной бесперебойной эксплуатации гидротехнич. сооружений.

Лит.: Справочник для инженеров строительной специальности, М., 1928; Schenk J. in A., Graphische Hydrostatik, В. 1923; Fesslbotn, Lehrbuch des Tiefbaues, 8. Aufl., В. 2, 1. рз., 1923; Bleich-Melan, Taschenbuch f. Ingenieure u. Architekten, W., 1926; \*Ztschr. für das gesamte Bauingenieurwesen. С. Врлянг.

**ВОДОРОД**, Н, химич. элемент, порядковый номер 1; до по-леднего времени изотопов В. не было известно; сейчас известны 2 изотопа В. с весами ядер 1,0069 и 2,0130; средний ат. в. В. принимается за 1,0074 (см. *Водород изотопы*); физич. и химич. свойства В. см. *Водород*, т. III.

**Промышленное получение В.** Газообразный водород находит в пром-сти, в особенности за последнее время, все более широкое применение. Для целого ряда новых отраслей химич. пром-сти В. является необходимым исходным сырьем. В настоящее время основным потребителем В. является пром-сть синтетич. аммиака. Далее В. потребляется в больших количествах для синтеза метанола, а также для целей гидрогенизации жиров и бергенизации угля, смол и тяжелых масел. Развитие указанных производств стало возможным лишь в результате разработки ряда новых методов, при помощи которых в настоящее время производятся большие количества дешевого В. В настоящее время в пром-сти применяют следующие методы получения В.: 1) химические методы получения В., 2) получение В. путем глубокого охлаждения, 3) получение водорода путем электролиза.

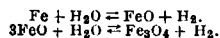
**Химические методы получения В.** Среди химических методов наибольшее промышленное значение по масштабу производства имеет конверсионный метод получения В. из водного газа. Этот метод заключается в газификации твердого топлива, б. ч. кокса, с получением водного газа (приблизительный состав: 5% CO<sub>2</sub>, 39% CO, 50% H<sub>2</sub> и 6% N<sub>2</sub>), и в последующем окислении окиси углерода, содержащейся в водном газе, водяным паром в углекислоту с одновременным получением В. Реакция окисления окиси углерода водяным паром, т. н. конверсия окиси углерода, выражается ур-нием:

$$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2.$$

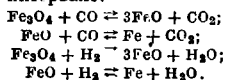
Конверсионный метод применяется обычно для получения не чистого В., а непосредственно азотоводородной смеси, служащей для синтеза аммиака и содержащей 75% H<sub>2</sub> и 25% N<sub>2</sub>. В этом случае конверсия подвергается не чистый водяной газ, а т. н. полуводяной газ, представляющий смесь водяного и воздушного генераторного газов (ок. 6% CO<sub>2</sub>, 36% CO, 36% H<sub>2</sub> и 22% N<sub>2</sub>). Схема процесса конверсии полуводяного газа представлена на фиг. 1. Полуводяной газ из газогельдера 1 поступает в сатурационную башню 2, где происходит насыщение его водяным

току горячей воды, нагревается за счет ее тепла и насыщается водяным паром. После сатурации на 1 объем сухого газа приходится ок. 1 объема пара. Газопаровая смесь по выходе из сатурационной башни засасывается газодувкой 3 и направляется через смеситель 4 в теплообменник 5. В смесителе добавляется пар в таком количестве, чтобы отношение его к сухому газу было равно 3 : 1. В трех последовательно соединенных теплообменниках газопаровая смесь нагревается за счет тепла (конверсионного газа), после чего поступает в конвертер 6. В конвертере газопаровая смесь проходит через слой катализатора, где протекает реакция, сопровождаемая повышением t° до 500°. В конвертере газопаровая смесь разделяется на два параллельных потока, к-рые проходит отдельные слои катализатора и соединяются по выходе из конвертера. Катализатор представляет смесь окисей железа и магния, активированную окисями калия и хрома. Смесь конвертированного газа с избытком пара из конвертера направляется в теплообменник, где она, охлаждаясь, отдает свое тепло поступающей смеси. Далее тепло конвертированного газа используется в водонагревательной башне 7 для нагревания воды из сатурационной башни. Окончательное охлаждение газа производится в конденсационной башне 8, после чего сухой конвертированный газ собирается в газогельдере 9. Для получения чистой азотоводородной смеси сухой конвертированный газ подвергается очистке от углекислоты, сероводорода и окиси углерода. Обычно применяемый метод очистки заключается в вымывании основной массы углекислоты и сероводорода водой под давлением 16—20 atm, абсорбции окиси углерода аммиачным раствором солей закиси меди под давлением 120 atm и в окончательном поглощении следов оставшейся углекислоты раствором едкого щелочи. В результате получается чистая азотоводородная смесь, содержащая от 0,001 до 0,003% CO и CO<sub>2</sub>.

Кроме конверсионного метода в пром-сти применяется еще железопаровой метод, основанный на взаимодействии металлич. железа и закиси железа с водяным паром при t° 650—800°:

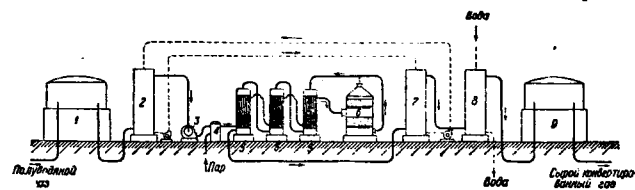


Получающаяся при этом магнитная окись железа восстанавливается газообразными восстановителями, обычно водяным газом, в том же температурном интервале:



Процесс получения водорода железопаровым методом — периодический. При периоде получения

В. — периоде газования — водяной пар действует как окислитель на металлич. железо и на закись железа, а при обратном периоде восстановления В. и окись углерода восстанавливают образовавшуюся магнитную окись. Железо-паровой метод обладает рядом существенных недостатков сравнительно с конверсионным методом: он требует большого расхода водяного газа и дает В. со значительным содержанием примесей. Поэтому железопаровой метод находит лишь ограниченное применение



Фиг. 1.

паром. Сатурационная башня представляет собой железный скруббер, заполненный насадкой. Газ проходит башню снизу вверх навстречу по-

в промышленности, гл. обр. при небольших масштабах производства.

Получение В. из газов, содержащих метан. Исходным сырьем для получения В. в большом промышленном масштабе могут служить углеводороды, гл. образом метан, являющийся составной частью коксовых газов, швельгазов, естественных газов, газов, получаемых прямой гавификацией низкосортного топлива, напр. бурого угля, торфа, газов, получаемых при крекинге нефти. Метан представляет дешевое и имеющееся в больших количествах сырье для производства водорода. Содержание метана в указанных газах значительно и достигает в случае естественных газов 90—95%. Разрешение задачи получения В. из метана (конверсия метана) открывает новые обширные перспективы перед пром-стью. По сравнению с методом получения В. из коксового газа путем глубокого охлаждения метод конверсии метана позволяет получить из данного количества коксового газа значительно больше количества В., применяя более простую аппаратуру. Полнота конверсии метана имеет очень большое значение, если получаемый В. применяется для синтеза аммиака. Во всех системах синтеза, где азотодородная смесь многократно проходит через один и тот же катализатор, в поступающей азотодородной смеси допустимо присутствие лишь очень незначительных количеств метана, не более 0,5—1%. Увеличение содержания метана в азотодородной смеси выше указанных пределов обуславливает большие потери последней при синтезе. Т. о. основной задачей, которую необходимо разрешить, является обеспечение полноты конверсии и получение конвертированного газа с указанным содержанием метана. Другие углеводороды кроме метана, присутствующие в коксовых и других газах, разлагаются значительно легче и при более низких  $t^\circ$  в сравнении с метаном. Предложенные в настоящее время и испытанные в заводском масштабе методы получения В. из газов, содержащих метан, можно разделить на следующие группы: а) термич. крекинг метана, б) конверсия метана с водяным паром без катализаторов, в) конверсия метана с водяным паром в присутствии катализаторов.

а) Термический крекинг метана. Путем простого нагревания метана до высоких  $t^\circ$  возможно получать В. Однако чистого В. получить не удастся вследствие обратимости реакции диссоциации метана. При  $t^\circ 1100^\circ$  при равновесии в газовой смеси содержится 1%  $\text{CH}_4$ . Производить термический крекинг метана при значительно более высоких  $t^\circ$  в большом промышленном масштабе является затруднительным, поэтому рассматриваемые методы термич. крекинга метана дают В. с большим количеством непрореагировавшего метана. Это обстоятельство вызывает необходимость последующей сложной очистки путем глубокого охлаждения и промывки жидким азотом. Термич. крекинг метана в промышленном масштабе осуществляется путем пропускания газа через наклонную насадку из огнеупорного материала. При производстве В. для синтеза аммиака этот метод применяется пока лишь на одном з-де в Калифорнии. Исходным материалом является природный газ, содержащий 85%  $\text{CH}_4$ , 12%  $\text{C}_2\text{H}_6$  и 3% высших углеводородов; инертных газов и сернистых соединений в газе не содержится. Крекинг производится пропусканьем газа через регенеративную насадку, предварительно нагретую до  $1400^\circ$ . Пропускание

газа производится до тех пор, пока  $t^\circ$  не понизится до  $900^\circ$ , после чего следует новый разогрев насадки. Углерод, выделяющийся при крекинге, при правильном ведении процесса возможно получать в виде сажи. Крекированный газ вначале промывается водой для удаления углерода и смолистых примесей. Этот газ содержит 70%  $\text{H}_2$ , 5%  $\text{CO}$ , 0,5%  $\text{CO}_2$ , небольшие количества  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$  и значительные количества неразложившегося метана. Дальнейшая очистка газа является весьма сложной. Нафталин, бензол и остатки смолы удаляются в скрубберах с маслом, углекислота удаляется путем промывки водой под давлением и раствором едкого щелочи. Далее газ подвергается глубокому охлаждению, причем ацетилен удаляется путем промывки жидким этиленом, а окись углерода и метан путем промывки жидким азотом. Конечный продукт представляет вполне чистую азотодородную смесь. Следует заметить, что на указанном з-де синтез аммиака производится при давлении 100 атм и  $t^\circ 400^\circ$  в присутствии весьма активных катализаторов, что возможно лишь при применении очень чистой азотодородной смеси. В США процесс термич. крекинга природных газов производится с целью получения сажи; В. при этом является побочным продуктом. Путем глубокого охлаждения В. может быть очищен и применен для целей синтеза аммиака.

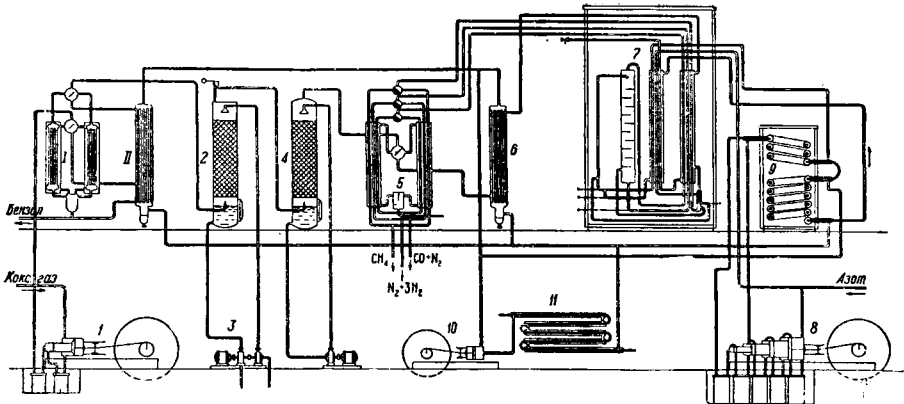
б) Конверсия метана с водяным паром без катализаторов. Для обеспечения полной конверсии метана с водяным паром в отсутствии катализаторов необходимо иметь темп-ру ок.  $1400^\circ$ . Достижение этой  $t^\circ$  возможно лишь при применении специальных высококачественных огнеупорных материалов. При более низких  $t^\circ$  реакции конверсии метана не доходит до конца вследствие незначительной их скорости. Первые опыты конверсии метана, содержащегося в коксовом газе, с водяным паром в заводском масштабе были произведены фирмой Kuhlmann во Франции. Первая установка заводского масштаба была построена на заводе Nagens в 1929 г. Получаемый конвертированный газ применялся для синтеза метанола. Производительность конверсионной печи составляла  $2000 \text{ м}^3$  в час. Вследствие необходимости работы при  $t^\circ$  ок.  $1300^\circ$  применялись высокоогнеупорные материалы, содержащие 75%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и обладающие  $\epsilon_{\text{пл.}}$   $1900^\circ$ . Метод Kuhlmann был применен далее на з-дах в Ewald и Waldenburg (Германия). Осуществление полной конверсии метана по методу Kuhlmann встретило ряд затруднений гл. обр. вследствие необходимости работы при весьма высоких  $t^\circ$  порядка  $1400^\circ$ .

в) Конверсия метана с водяным паром в присутствии катализаторов. Путем применения катализаторов возможно сильно увеличить скорость взаимодействия метана с водяным паром при  $t^\circ$  ок.  $1000^\circ$  и т. о. сделать возможным осуществление с достаточной скоростью полной конверсии метана при этих  $t^\circ$ . Работать при  $t^\circ$  около  $1000^\circ$  выгоднее, чем при  $t^\circ 1300—1400^\circ$ , гл. образом вследствие возможности применения в первом случае вместо специальных кирпичей из  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , значительно более дешевых шамотовых. Процесс каталитич. конверсии метана в промышленном масштабе осуществляется путем пропускания газа через вертикальные реторты из специальной жароупорной хромоникелевой стали, наполненные катализатором. При  $t^\circ$  ок.  $900^\circ$  получается газ с содержанием до 2% неразложившегося метана. Если требуется более полная конверсия метана,

то к нагретому до 850—900° газу прибавляется в определенном количестве воздух или кислород, причем часть В. сгорает и за счет выделившегося тепла газовая смесь нагревается до  $t^{\circ}$  1 000—1 400°, при к-рой процесс конверсии метана в присутствии катализатора заканчивается. Катализаторы для конверсии метана состоят б. ч. из никеля, нанесенного на огнеупорный носитель, иногда с примесью (в качестве активаторов) окисей Mg, Al, Cr, Th и Se. В присутствии значительных количеств сероводорода и других сернистых соединений в конвертируемом газе никелевые катализаторы теряют свою активность. Небольшие количества сернистых соединений при высоких  $t^{\circ}$  (0,3 г/м<sup>3</sup> при 1 400°) не препятствуют полному конверсии метана.

Получение В. путем глубокого охлаждения. В., находящийся в коксовом и водяном газах, можно выделить в чистом виде путем охлаждения указанных газов до  $t^{\circ}$  жидкого воздуха (ок. —190°). При этом конденсируются все другие составные части, находящиеся в коксовом и водяном газах, а В., кипящий под атмосферным давлением при —253°, остается в газообразном виде. В случае получения В. для синтеза аммиака, когда необходима тонкая очистка от CO и O<sub>2</sub>, после охлаждения коксового газа и выделения в жидком виде C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> и значительной части CH<sub>4</sub> и CO производится промывка оставшегося газа жидким азотом. При этом в жидком азоте растворяются остатки CH<sub>4</sub>, CO и O<sub>2</sub> и получается совершенно чистая азотоводородная смесь. На фиг. 2 представлена схема процесса

холода фракций коксового газа и в теплообменнике 6 за счет тепла испарения жидкого аммиака, поступающего из аммиачной холодильной машины 10, 11. Для предупреждения засорения трубок в теплообменнике 5 ледом направление движения коксового газа и холодных фракций периодически меняется. Далее частично охлажденный коксовый газ поступает в разделительный аппарат 7, состоящий из теплообменников и промывной колонны. Источником холода в разделительном аппарате служит жидкий азот. В теплообменниках происходит постепенная частичная конденсация компонентов коксового газа, причем вначале выделяется этиленовая и при дальнейшем охлаждении — метановая фракции. Холод, заключающийся в выделенных фракциях, используется для охлаждения поступающего газа. Охлаждение газа для выделения метановой фракции производится за счет холода жидкого азота, кипящего под атмосферным давлением. После выделения метановой фракции в газообразном виде остаются H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO и небольшое количество CH<sub>4</sub>. Эта смесь поступает в промывную колонну и подвергается в ней промывке жидким азотом. Из верхней части промывной колонны отводится чистая азотоводородная смесь, содержащая лишь тысячные доли процента окиси углерода и кислорода. В нижней части промывной колонны собирается в жидком виде фракция окиси углерода, состоящая гл. обр. из N<sub>2</sub> и CO с примесью CH<sub>4</sub> и O<sub>2</sub>. Холод, заключающийся в азотоводородной смеси и в фракции окиси углерода, используется для охла-



Фиг. 2.

получения азотоводородной смеси из коксового газа методом Линде-Бронн. Коксовый газ, очищенный от аммиака, смолы и сероводорода, сжимается в компрессоре 1 до 12 atm и подвергается в аппарате I и II охлаждению для выделения бензола. Охлаждение производится при помощи аммиачной холодильной машины 10, 11. Далее газ промывается в скруббере 2 водой, которая подается насосом 3. Энергия отработанной воды, находящейся под давлением, используется в турбине, непосредственно соединенной с насосом. При промывке водой удаляется главная масса углекислоты, присутствовавшей в коксовом газе. Окончательная очистка от углекислоты производится путем промывки газа раствором едкого натра в скруббере 4. После указанной очистки газ охлаждается в теплообменнике 5 за счет

жидкого поступающего газа. Получение жидкого азота, необходимого для охлаждения и промывки газа, производится следующим образом. Чистый газообразный азот, приготовленный из воздуха его ожигением и ректификацией, засасывается компрессором 8 и сжимается до 200 atm. Сжатый азот поступает в предварительный холодильник 9, где в верхней части охлаждается теплообменником с азотом, возвращающимся из разделительного аппарата под давлением 50 atm, и в нижней части жидким аммиаком, поступающим из аммиачной холодильной машины 10, 11. Дальнейшее охлаждение сжатого азота происходит в теплообменнике разделительного аппарата, после чего азот дросселируется до 50 atm и разделяется на 3 ветви: первая часть возвращается через теплообменники в компрессор, вторая часть

дросселируется до 12 атм, сжимается при этом и подается на верх промывной колонны, наконец третья часть расширяется до 1 атм, и тепло ее испарения используется для конденсации метанольной фракции. Часть сжатого азота при 12 атм подается на верх промывной колонны, стекает навстречу потоку сырого В. и отмывает примеси СО, СН<sub>4</sub> и О<sub>2</sub>. Готовая азотоводородная смесь оставляет разделительный аппарат под давлением 12 атм.

Метод Клода для выделения В. из коксовых газов отличается от описанного метода Линде-Бронн способом получения холода. Источником холода в установках Линде-Бронн служит жидкий азот, получаемый дросселированием сжатого и предварительно охлажденного газообразного азота, причем при дросселировании получается понижение  $t^{\circ}$  вследствие явления Джоуля-Томсона (охлаждения газа при расширении без отдачи внешней работы). В установках Клода охлаждение газа получается при расширении его в цилиндре пневматического двигателя с отдачи внешней работы.

Получение В. путем электролиза. Метод электролиза водных растворов с целью получения В. находит в промышленности ограниченное применение гл. обр. вследствие значительного расхода электрич. энергии. Один Ач выделяет 0,0004181 м<sup>3</sup> В. при 0<sup>o</sup> и 760 мм. Напряжение на электродах в промышленных аппаратах в зависимости от конструкции последних, материала электродов и условий ведения процесса колеблется в пределах 2—3 В, вследствие чего расход электрич. энергии колеблется в пределах 4,8—7,2 kWh на 1 м<sup>3</sup> В. В качестве электролита применяются растворы едких щелочей (23—25%-ный КОН или 20%-ный NaOH). Вода применяется совершенно чистая, дистиллированная. Применяемые в промышленности электролизеры различаются конструкцией электродов и диафрагм, служащих для разделения анодного и катодного пространств.

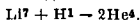
Лит.: Тейлор Г., Производство водорода, пер. с англ., Л., 1930; Фокьян Л., Синтез аммиака и органич. продуктов из коксового и водяного газов, 2 изд., Л., 1932; Рабинович Д., Сепарация азот. пер. с англ., М., 1934; Чистяков Н., Производство водорода и водяного газа, М.—Л., 1933; Равич М., Гидрогенизация жиров, вып. 1, Производство водяного газа и водорода, М., 1933; Pinkass H., Die industrielle Herstellung von Wasserstoff, Lpz., 1932; Waeser B., Die Luftstickstoffindustrie, Lpz., 1932; Ellis C., Hydrogenation of Organic Substances, N. Y., 1930; Нейландер, Die Veredlung gasförmiger Brennstoffe, Lpz., 1934; Gluud W., Entwicklung u. technische Durchführung eines neuen Verfahrens zur Gewinnung von Wasserstoff, «Berichte der Gesellschaft für Kohlenteknik», Dortmund-Eving, 1930, 3; Hirsh M., La conversion du méthane, «L'Industrie chimique», Париж, 1931, 23; Moore R., Thermodynamic Study for Cracking of Gaseous Hydrocarbons, «Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.», 1932, т. 4, стр. 17; Recent Progress in Hydrogenation of Petroleum, ibid., 1932, в. 24, 10.

**ВОДОРОДА ИЗОТОПЫ** и тяжелая вода. Открытие и разделение изотопов водорода. Тяжелый изотоп водорода с атомной массой 2 представляет совершенно исключительный интерес по сравнению с изотопами других элементов вследствие громадной относительной разности в массах тяжелого и обычного водорода (их массы относятся, как 2:1). Большая разница в массах обуславливает и резкое различие в свойствах. Открыт тяжелый изотоп водорода в начале 1932 г. америк. физиками Юрей, Брикведе и Мерфи [1] при изучении атомного спектра водорода. Блекней и Гуд [2], пользуясь масспектрографическ. методом для определения содержания тяжелого изотопа в обычном водороде, получили отношение, рав-

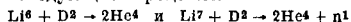
ное 1:5 000. В конце 1932 г. Юрей и Уошберн [3] высказали предположение, что в процессе электролиза тяжелый изотоп выделяется при более высоком катодном потенциале, чем обычный водород. Отсюда был сделан вывод, что выделяющийся при электролизе водород состоит преимущественно из легкого изотопа, а электролит, остающийся неразложившимся, обогащается тяжелым водородом. Основываясь на этой гипотезе, Льюис и Макдональд [4] разработали в 1933 г. метод получения тяжелой воды, содержащей почти 100% всего водорода в форме тяжелого изотопа. Они подвергали электролизу десятки л щелочи и, когда концентрация последней становилась значительной, отгоняли воду, прибавляли к ней небольшие количества щелочи и вновь продолжали ее электролиз. Т. о., ведя этот процесс в несколько ступеней и оперируя со все уменьшающимися количествами электролита, им удалось приготовить воду, содержащую 99,99% всего водорода в форме тяжелого водорода. Для получения 1 см<sup>3</sup> такой воды нужно разложить электролизом 10—12 л обычной воды. Эффективность разделения изотопов по этому методу характеризуется коэф-том  $\alpha$ , равным отношению количеств, в каких выделяются при электролизе легкий и тяжелый водород. По Льюису и Макдональду  $\alpha = 5 - 7$ . Разделение изотопов водорода электролизом Эйринг и Шерман [5], а также другие авторы объясняют главным образом различной величиной нулевой энергии. Описанный метод был усовершенствован Тейлором [6]. Сконструированная им непрерывно действующая установка дает по 3 л 100%-ной тяжелой воды в день. В ряде мест в США функционируют аналогичные установки. Из огромного количества методов, предложенных в последнее время для разделения изотопов водорода, электролиз остается пока наилучшим. Для определения концентрации тяжелого изотопа водорода в воде производят измерение ее плотности. Чаще всего с этой целью применяется поплавоч. Наблюдая  $t^{\circ}$ , при которой поплавок находится в равновесии в обычной воде, и определяя темп-ру установления равновесия поплавка в образце воды с неизвестной плотностью, удается определить разность плотностей с точностью до 0,000001 [4]. Фаркасом разработан метод определения концентрации тяжелого изотопа водорода в обычном водороде по изменению теплопроводности газовой смеси. Опириура с 0,002 см<sup>3</sup> газа (при нормальных условиях), можно произвести определение с точностью до 0,2% [7]. В виду резкого отличия свойств тяжелого изотопа от обычного водорода Юрей [8] предложил следующие специальные обозначения: для тяжелого изотопа (с массой 2) — дейтерий Я — химич. символ D (часто для обозначения тяжелого водорода с массой 2 применяется символ H<sup>2</sup>), для его ядра — дейтрон и для изотопа с массой 1 — протий Я — H<sup>1</sup>, оставив термин «водород» для обычной смеси обоих изотопов. (Эта номенклатура является в настоящее время наиболее распространенной).

Строение и свойства тяжелого изотопа. По Резерфорду и ряду других авторов ядро дейтерия построено из протона и нейтрона. Ат. в. дейтерия по определению Бейбриджа [9], к-рый применил весьма точнейший масспектрографич. метод, равен 2,01363 при H<sup>1</sup>, равном 1,00775. Сопоставление процессов, имеющих место при бомбардировке ядер других элементов протонами и дейтонами, дает интересный материал для проблем, связанных со строением

атомного ядра. Кокрофт и Уолтон показали например, что при бомбардировке лития быстрыми протонами процесс идет по схеме:



По Резерфорду и Олифанту [10] дейтроны разлагают литий значительно легче, причем имеют место следующие процессы:



( $Li^6$  и  $Li^7$  — изотопы лития с массами 6 и 7,  $n^1$  — нейтрон). Эти же авторы, бомбардируя дейтроны содержащие дейтерий соединения, напр.  $(ND_4)_2SO_4$ , обнаружили следы нового изотопа водорода с атомной массой 3. По Блекнеку, Лозури и Смиты верхний предел содержания этого изотопа в обычном водороде равен 1 : 10<sup>9</sup>. Подобно обычному водороду дейтерий является смесью двух модификаций молекул: орто- ( $oD_2$ ) и парадейтерия ( $pD_2$ ) [11]. Брикведе и Юрей, а также Льюис и Гансон определили упругости паров дейтерия:

$$nD_2 = \frac{2}{3} oD_2 + \frac{1}{3} pD_2.$$

Данные приведены в табл. 1.

Табл. 1.—Упругости паров дейтерия и водорода.

Температура	Упругости пара в мм		Примечание
	норм. H <sub>2</sub>	норм. D <sub>2</sub>	
23,5	1740	760	Точка кипения $nD_2$ " " $nH_2$ Точка плавления $nD_2$ " " $nH_2$
20,38	760	257	
18,58	429	121	
13,92	54	5	

Реакции тяжелого изотопа водорода. Дейтерий нашел широкое применение в качестве индикатора ряда химических обменных реакций, изучение которых прежде было недоступно. Как показал Льюис [12], если в воде, содержащей некое количество дейтерия, растворить аммиак, а затем его откатать, то по уменьшению плотности воды можно судить о том, что произошло распределение дейтерия между молекулами аммиака и воды. Согласно исследованиям Бонгефера [13] при растворении виноградного сахара в воде, содержащей дейтерий, имеет место распределение последнего между молекулами воды и гидроксильными группами сахара. Однако наиболее замечательным оказалось наблюдение, сделанное Олифантом [14] и разработанное Горюти и Полни [15]. Если перемешивать водород, обогащенный дейтерием, с обычной водой в присутствии платиновой черны, то происходит обмен между атомами газообразного водорода и воды. Об этом процессе также удаётся судить по тому факту, что содержание дейтерия в газовой смеси уменьшается, плотность же воды соответственным образом возрастает. Горюти и Полни [16] показали также, что если в присутствии никелевого катализатора нагревать обогащенную дейтерием воду с бензолом, то при этом наблюдается распределение атомов дейтерия между водой и бензолом. Это в свою очередь свидетельствует о существовании обменной реакции между атомами водорода воды и бензола. Остановимся еще на том, какую важную роль дейтерий может играть в проблемах, связанных со структурой органических соединений. Паксу [17] сравнил мутаротацию  $\alpha$ -D-глюкозы в обычной и тяжелой воде. Оказалось, что этот процесс протекает во втором случае значительно медленнее, чем в первом. Т. о. этот факт подтверждает точку зрения, что мутарота-

ция сахаров объясняется передвижением лабильного водородного атома, к-рый в данном случае замещается дейтерием.

Тяжелая вода и ее свойства. Получен ряд соединений как неорганических, так и органических, в к-рых H<sup>1</sup> заменен на D. Все эти соединения обладают рядом новых свойств. Из всех соединений дейтерия наиболее изучена тяжелая вода D<sub>2</sub>O, которая по своим свойствам резко отличается от обычной воды. В табл. 2 сопоставлен ряд важнейших свойств тяжелой и обыкновенной воды.

Табл. 2.—Сравнение свойств обыкновенной и тяжелой воды.

Свойства	H <sub>2</sub> O	D <sub>2</sub> O	Лит.
Плотность при 20° . . .	0,9982	1,1056	[21]
Температура замерзания . . . . .	0	3,82	[21]
Температура кипения . . . . .	100	101,42	[21]
Температура максимальной плотности . . . . .	4	11,6	[21]
Теплота испарения в кал/мол . . . . .	L	L+259	[21]
Вязкость при 20° (в миллипуазах) . . . . .	10,09	12,6	[19]
Диэлектрич. постоянная . . . . .	82,0	80,5	[18]
Коэф. преломления $n_D^{20}$ . . . . .	1,33293	1,3281	[20]
Поверхностное натяжение в дин/см . . . . .	72,75	67,8	[20]
Магнитная восприимчивость . . . . .	0,72 · 10 <sup>-6</sup>	0,65 · 10 <sup>-6</sup>	[20]

В табл. 3 помещены результаты, полученные Льюисом и Макдональдом [21] при сравнении упругостей пара тяжелой  $p_2$  и обычной  $p_1$  воды для различных  $t^\circ$ .

Табл. 3.—Упругости пара тяжелой и обыкновенной воды.

$t^\circ$ . . .	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°
$p_1 - p_2$	2,3	3,9	6,1	9,1	13,1	18,0	23,9	0,7	38,4	47,0
$\frac{p_2}{p_1}$ . . .	0,87	0,88	0,89	0,90	0,913	0,92	0,933	0,942	0,9,9	0,957

Льюис и Дуди [22] измерили эквивалентные электропроводности KCl и HCl в тяжелой воде. Результаты этих измерений приведены в табл. 4.

Табл. 4.—Электропроводности KCl и HCl в тяжелой воде.

$t^\circ$ . . .	5°	15°	25°	35°	18°
$\kappa(KCl)$ .	1,212	1,180	1,162	1,152	1,73
$\kappa(HCl)$ .	1,476	1,426	1,390	1,362	1,414

$\kappa(KCl)$  обозначает отношение эквивалентной электропроводности KCl в обычной воде к таковой в тяжелой;  $\kappa(HCl)$  — то же самое для HCl. Подвижности ионов H<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> в тяжелой воде, вычисленные этими же авторами, равны 213,7; 54,5; 55,3. Соответствующие величины в обычной воде равны 315,2; 64,2; 65,2. Тейлор, Келей и Эйринг [23] нашли, что растворимость солей в тяжелой воде ниже, чем в обычной (табл. 5).

Очень интересно действие тяжелой воды на биологические объекты. По опытам Льюиса [24] семена табака не прорастают в воде с 100%-ным содержанием дейтерия; в воде с 50% дейтерия прорастание идет в два раза медленнее, чем

в обыкновенной воде, причем получаются уродливые образования. Паксу [26] показал, что дрожжи ферментируют глюкозу в тяжелой воде в 9 раз медленнее, чем в обычной. Тейлор, Сингль, Эйринг и Фрост [26] изучили действие

Табл. 5. — Растворимость солей в воде при 25° (с/г).

Соль	Обыкновенная вода	Вода, содержащая 92% дейтерия
NaCl . . . .	0,359	0,305
BaCl <sub>2</sub> . . . .	0,357	0,289

тяжелой воды на водные организмы. В качестве объектов были взяты головастики зеленой лягушки (*Rana clamitans*), аквариумные рыбки (*Lebistes reticulatus*), плоские черви (*Planaria maculata*) и наконец из простейших — парамедий (*Paramecium caudatum*). Вода, содержащая 92% дейтерия, вызвала смерть этих организмов, причем головастики гибли через 1 ч., рыбки — через 2 ч., черви — через 3 ч. и наконец парамедий — через 48 ч. В контрольных опытах с этими же животными в обыкновенной дистиллированной воде и в воде с содержанием 30% дейтерия не было обнаружено какого-либо вредного влияния на их жизнедеятельность. Из этих примеров ясно, что значение дейтерия очень велико не только для изучения химии и физик. проблем, но также крайне существенно и для биологии.

Лит.: Обзорные статьи: Ландсберг, «Успехи физик. наук», М.—Л., 1932, т. 12, стр. 343; Черняев, «Природа», Л., 1934, 23, 29; Темкин, «Успехи химии», 1934, т. 3, стр. 217; Frerichs, «Die Naturwissenschaften», В., 1934, 13, 22; Taylor, «The Journal of Nature», 1934, v. 133, p. 481; Taylor, «Journal of the Franklin Inst.», v. 218, p. 1; Farkas, «Die Naturwissenschaften», В., 1934, В. 22, p. 614;—1) Urey, Brickwede a. Murphy, «Physical Review», 1932, v. 40, p. 1; 2) Blesckney a. Gould, ibid., 1933, v. 44, p. 225; 3) Urey a. Washburn, «Proceedings of the National Academy of Sciences», Wash., 1932, v. 18, p. 496; 4) Lewis a. Macdonald, «J. of the Chemical Phys.», 1933, v. 1, p. 341; то же, перевод — «Успехи физик. наук», М.—Л., 1933, т. 43, стр. 779; 5) Eyring a. Sherman, ibid., 1933, 345; 6) Taylor, Eyring a. Frost, ibid., 1933, p. 823; 7) Farkas, «Proceedings of the Royal Society», 1934, A, v. 144, p. 467; 8) Urey, Murphy a. Brickwede, «Journal of the Chemical Phys.», 1933, v. 1, p. 512; 9) Bainbridge, «Physical Review», 1933, v. 44, p. 67; 10) Oliphant, Kinsey a. Rutherford, «Proceedings of the Royal Society», 1933, A, v. 144, p. 722; 11) Farkas a. Harteck, ibid., 1934, A, v. 144, p. 494; 12) Lewis, «Journal of the American Chemical Society», 1933, v. 55, p. 5061; 13) Vonhoeffler u. Brown, «Z. Phys. Chem.», 1933, В. 23, p. 471; 14) Oliphant, «Nature», 1933, v. 132, p. 675; 15) Poliakoff a. Poliakoff, ibid., 1933, v. 132, p. 819; 16) Holm a. Poliakoff, ibid., 1934, v. 134, p. 377; 17) Pассу, «Journal of the American Chemical Society», 1933, v. 55, p. 5056; 18) Lewis, Olson a. Maroney, ibid., 1933, v. 55, p. 4731; 19) Lewis a. Macdonald, ibid., 1933, v. 55, p. 4730; 20) Selwood a. Frost, «Journal of the American Chemical Society», 1933, v. 55, p. 4335; 21) Lewis a. Macdonald, ibid., 1933, v. 55, p. 3057; 22) Lewis a. Doodu, ibid., 1933, v. 55, p. 3054; 23) Poliakoff, Caley a. Eyring, ibid., 1933, v. 55, p. 4334; 24) Lewis, ibid., 1933, v. 55, p. 3503; 25) Pассу, ibid., 1934, v. 56, p. 245; 26) Taylor, Swingle, Eyring a. Frost, «Journal of the Chemical Physics», 1934, v. 1, p. 512.

**ВОЛКОНСКОИТ**, разновидность глины, содержащая хром (20—25% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), кремнекислоту (40—50% SiO<sub>2</sub>) и небольшие количества окислов железа, магния, кальция и алюминия. Химич. ф-ла не установлена; нек-рые авторы (Ниггли, Ангель) проводят аналогию между каолинитом и хромово-силикатным ядром H<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Согласно другой общей характеристике В. представляет собой силико-гидрогель хрома.

Со стороны агрегатной структуры В. характеризуется как коллоид. Цвет его оливково-зеленый. Блеск жирный, при лежании на воздухе тускнеет. Уд. вес 2,2—2,3. Твердость 3. Для высушенного В. характерна большая хрупкость. Генезис В. связан с осадочными породами. Найденный больше ста лет тому назад на Урале (и нигде больше не обнаруженный) В. рассматривался лишь как минералогич. находка. Технологич. исследования, произведенные Институтом прикладной минералогии, установили, что В. может найти применение: 1) в составе зеленой краски, получаемой при смешении молотого В. в определенной пропорции с окисью хрома. Эта краска отличается теплым и чистым зеленым тоном, устойчивостью к свету, атмосферным влияниям и химическим реагентам и высоко оценена, особенно в качестве художественной краски. За ней признаны также достоинства хорошей клеевой и силикатной краски (в частности активная кремнекислота сырьем в соединении с известью шпугатурки должна создавать прочную связь краски с поверхностью); 2) в производстве зеленых эмалей: В. сообщает эмали более красивый тон, чем окись хрома; 3) в качестве водоумягчающего средства типа пермутита (см.) В. показал высокую интенсивность обменной реакции по сравнению не только с другими естественными пермутитами, но даже и с более продуктивными пермутитами — искусственными. Помимо того экономичность процесса повышается благодаря своеобразному свойству кускового В., просушенного при 80—100°, распадаться в воде на очень мелкие зерна. В таблице приведены

Показатели В. и синтетического пермутита как водоумягчителей.

Показатели	Волконскоит	Синтетич. пермутит
Обменная способность	2,0—2,5%	1,2—2,0%
Возможная скорость обмена	До 30 м воды в час через 1 м В.	До 15—20 м воды в час через 1 м пермутита
Устойчивость в отношении реакции с кислотными ионами в воде	Слабониские растворы к-т и солей активности В. не повязают	Слабониские растворы к-т и солей уменьшают активность пермутита
Величина зерна	Оптимальные размеры зерен 0,5—1,0 мм получают при распадении в воде грубообразованного В., просушенного при 80—100°	Обменная способность увеличивается пропорционально степени измельчения, к-рое производится предварительно
Регенерация	Полная при промывке 3—10%-ным раствором NaCl	Таяная же, как и для В.

сравнительные показатели для В. и синтетич. пермутита как водоумягчителей. Ориентировочно потребность по линии первых двух видов применения (не считая возможного экспорта В. как материала для художественной краски) м. б. определена цифрой 50—100 м в год.

Месторождения В. Единственная известная в настоящее время группа месторождений В. сосредоточена на довольно обширной площади между линией Пермской ж. д. (Вятка—Пермь) и течением реки Камы. Большая часть месторождений расположена в Частином, Бердзевском и Большом Сосновском районах Уральской области. В большом ряде точек ованченного района были обнаружены выходы содержащих В. пород. В. приурочен к серому или

серовато-бурому песчанику, залегающему линзообразно, перемежаясь с преобладающими здесь отложениями красно-бурых или темнокрасных песчаных глин («вал»). Возраст этих пород — нижний отдел пермской системы и еще точнее — определенный горизонт отдела. В. залегают небольшими гнездами и жилками длиной, не превышающей нескольких метров (чаще всего ок. 1 м) и мощностью от 0,5 до 20 см (в среднем 5 см). До сих пор В. обнаружен в двух горизонтах песчаника, притом в нижних его частях. Точки концентрации минерала рассеяны без видимой закономерности. Запасы всего, как предполагают, обширного волконскоитового района не обследованы (подсчитаны в трех пунктах запасы порядка 100 т).

Н. Федоровский.

**ВЫПРЯМИТЕЛИ.** Ионный выпрямитель с накаленным катодом, или газотрон, является промежуточным звеном между ртутным выпрямителем (см.) с жидким катодом и кенотроном (см.). Ртутный В. с жидким катодом является вакуумным прибором с неограниченной эмиссией. Увеличение рабочего тока вызывает лишь соответственное увеличение катодного пятна и сопровождается более интенсивным испарением ртути с катода. Вследствие этого жидкий катод всегда работает в атмосфере паров, насыщающих пространство, и всякое изменение  $i^2$ , будь то от увеличения нагрузки или от внешнего нагрева, сопровождается весьма большими колебаниями давления паров. Так например, при изменении  $i^2$  прибора с 40 до 80° давление увеличивается от 5 до 100 м.

Это обстоятельство весьма вредно отзывается на обратном зажигании В., во избежание чего приходится прибегать к искусственному охлаждению прибора с таким расчетом, чтобы его  $i^2$  не превышала 50°. Этого недостатка лишен чисто вакуумный В. с накаленным катодом — кенотрон, но наличие у его катода пространственного заряда и связанного с ним большого падения напряжения заставляет отказываться от его применения при выпрямлении больших мощностей. Газотрон, с одной стороны, имеет накаленный катод, что ставит предел его току эмиссии, с другой стороны, перенос тока в нем происходит не только электронами, но и ионами, образующимися вследствие расщепления нейтральных атомов газа, небольшое количество к-рого введено в баллон. Обычно в эвакуированный сосуд вводят несколько капель ртути. Присутствие ртутных паров обеспечивает нейтрализацию пространственного заряда у катода, а ограниченное их количество позволяет катоду работать при отсутствии их насыщения, а следовательно и при мало изменяющемся с темп-рой давлением, т. к. для паров, не насыщающих пространство, имеет место равенство

$$pV = RT.$$

Для нормальной работы газотрона д. б. соблюдены определенные условия. Как известно, при значительном падении напряжения между анодом и катодом ионы, движущиеся к катоду, получают настолько большую скорость, что удары их о катод не являются упругими, а сопровождаются полной отдачей запаса кинетической энергии. Это явление вызывает разрушение катода и обуславливает его недолговечность. Методом борьбы

с разрушением катода может служить уменьшение скорости ионов или, что то же, уменьшение падения напряжения до величин, при к-рой запас кинетич. энергии ионов не велик и процесс переноса тока не сопровождается интенсивной бомбардировкой катода. Как показал опыт, критич. падением напряжения, после которого начинается разрушение катода, для паров ртути является величина 22 В. Для других газов она колеблется в пределах 20—25 В. Ниже критич. падения В. будет работать безупречно, а выше весьма скоро выйдет из строя. Условие малого падения напряжения м. б. соблюдено при наличии такого давления паров ртути, которое для паров, насыщающих пространство, соответствует  $i^2$ , большой 15°. При этом катод д. б. накален полностью, чтобы обеспечить нужное для прохождения тока количество электронов. Благодаря работе обоих электродов газотрона при малом давлении возможно даже при высоких напряжениях сильно их сблизить, чем свести к ничтожной величине падение в положительном столбе. Отсутствие на пути от анода к катоду вблизи них поверхностей, могущих получить заряды, снижает до минимума зажигательный потенциал. Катод газотрона обычно делается из никелевой спирали, покрытой окисью какого-нибудь щелочно-земельного металла. Такая конструкция катода обеспечивает большую активную поверхность при малой теплоотдаче, что благоприятно сказывается на количестве энергии, затрачиваемой на накал. Обычно на 1 А тока эмиссии приходится ок. 20 Вт, поглощаемых катодом. Спираль катода располагается в баллоне так обр., что ее ребра обращены к аноду, благодаря чему сильно уменьшается поверхность, подвергающаяся разрушению. В качестве анода для больших газотронов применяется уголь в виде полушара, а для малых — металлический диск. Баллон газотрона обычно делается из молибденового стекла. Он имеет форму шара в области расположения электродов и двух цилиндров, где сделаны вводы. Нижний цилиндр, занимающий место под катодом, имеет большие размеры. Темп-ра его при работе много меньше  $t^2$  шаровой поверхности, вследствие чего излишние пары ртути конденсируются на его стенках. Т. о. нижний цилиндр служит как бы регулятором давления. Шаровая поверхность отделяется от цилиндрической слюдяной перегородкой. Последняя служит ширмой, создающей диамич. сопротивление движению паров, почему в области анод-катод пары не насыщают пространство, а в холодной цилиндрич. части они могут его и насыщать. В виду простоты конструкции газотрона производство их в массовом масштабе м. б. осуществлено машинным способом.

Работа трех выпрямительных устройств на кенотронах, газотронах и ртутных В.

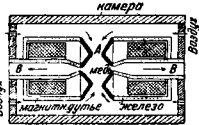
Число колб	Система выпрямителя	Выпрямленные			Падение напряжения в колбах, В	Потери (в В) на		Отдача в %
		V	A	kW		накал	падение	
6	Кенотрон . . . . .	15 000	12	180	1 560	6,9	18,7	87,5
	Газотрон . . . . .	15 000	12	180	15	1,3	0,38	98,8
	Ртутный выпрямитель . . . . .	15 000	12	180	25	0,4	0,6	99,4

Каждый единичный газотрон имеет один анод и рассчитан на выпрямление одной фазы переменного тока. Данные о работе трех выпрямительных устройств одинаковой мощности на кенотронах, газотронах и ртутных В. приведены в таблице.



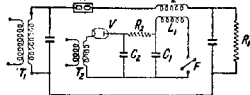
К преимуществам газотрона можно отнести: 1) малые габариты колбы, 2) отсутствие искусственной вентиляции, 3) портативность, 4) возможность машинной fabrication, 5) малый зажигательный потенциал, 6) высокую отдачу; а недостаткам: 1) необходимость предварительного прогрета колбы и катода, почему газотрон не м. б. мгновенно включен на работу, 2) невозможность изготовления многофазных колб, 3) чувствительность к колебаниям напряжения в цепи накала. Обычно газотрон применяется при выпрямлении высоких напряжений.

Ионный В. с добавочным возбуждением дуги высокой частотой (В. системы Маркса) состоит из двух идентичных, обычно медных электродов, помещенных в специальную камеру. Между электродами устанавливается такое расстояние, что приложенное к ним переменное напряжение, подлежащее выпрямлению, не в состоянии его пробить. Возникновение дуги обусловливается приложением в течение времени, соответствующего полупериоду выпрямляемого напряжения к тем же электродам добавочного напряжения высокой частоты. Тушение дуги к началу перехода выпрямляемого напряжения через нуль производится воздушным и магнитным дутьем. Т. о. получается искусственная ионизация промежутка между электродами в течение одного полупериода с дальнейшим прекращением ее в течение второго полупериода. Схематически камера с помещенными в нее электродами показана на фиг. 1. Электрод на рабочей поверхности имеет кольцеобразную выпуклость *A* с последующей впадиной, оканчивающейся в центре электрода сначала узким, а затем расширяющимся отверстием *B*. Дуга, возникшая первоначально между выступами электродов, сдувается воздухом к центру впадины, чем и обуславливается ее потухание. Электроды охлаждаются проточной водой. Магнитное дутье заставляет дугу перемещаться по электроду, чем достигается равномерный его износ. Давление воздуха в камере колеблется 0,5—2 атм в зависимости от величины выпрямляемого напряжения. Потребное для магнитного дутья поле создается магнитодвижущей силой в 1 500—2 000 ампервитков. Для наилучшего прохождения магнитных силовых линий вся нерабочая часть электрода делается железной. Чрезмерно сильно увеличивать расстояние между электродами нельзя, так как в этом случае дуга становится негомогенной, появляется много линий рассеяния и В. теряет способность выдерживать обратные напряжения. Обычно расстояние это берется в пределах 0,5—3 см в зависимости от величины выпрямляемого напряжения. Скорость деионизации промежутка между электродами сильно зависит от их формы. Принципиальная схема включения В. сист. Маркса на одной фазе представлена на фиг. 2. Здесь  $T_1$  — главный силовой трансформатор, шунтированный емкостью, обеспечивающей прохождение тока высокой частоты,  $K$  — камера с рабочими электродами,  $L_2$  — вторичная обмотка трансформатора зажигания,  $R_1$  — сопротивление нагрузки, также шунтированное емкостью. Остальная часть схемы относится к возбуждению колебаний высокой частоты:  $T_2$  — вспомогательный маломощный трансфор-



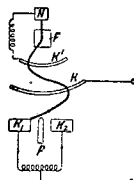
Фиг. 1.

матор высокого напряжения,  $V$  — кенотронный В.,  $C_2$  — емкость значительной величины, являющаяся аккумулятором энергии постоянного тока,  $R_2$  — сопротивление, через которое конденсатор  $C_2$  может отдавать свой заряд конденсатору  $C_1$  малой емкости,  $L_1$  — первичная обмотка трансформатора высокой частоты и  $F$  — искровой разрядник, приводимый во вращение синхронным мотором. Когда контакты разрядника находятся в положении, при котором возможно возникновение между ними дуги, в контурах  $C_1, L_1, F$  имеют место затухающие колебания высокой частоты, производящие при помощи трансформатора  $L_1, L_2$  зажигание дуги в камере главных электродов. В. системы Маркса может работать при весьма высоких напряжениях, исчисляемых сотнями кВ, и выпрямляет то и порядка тысяч А, т. е. способен преобразовывать колоссальные мощности.



Фиг. 2

Ртутно струйный В. сист. Гартмана является механич. В. вибрационного типа. В нем колеблющейся системой является ртутная струя. Принцип действия В. поясняет фиг. 3. Из металлическ. резервуара  $N$  течет сплошная струя ртути. Она проходит между полюсами электромагнита  $F$ , создающего постоянное магнитное поле. Направляясь вниз, струя касается промежуточного электрода  $K$ . К резервуару  $N$  с одной стороны и электроду  $K'$  с другой приложено переменное напряжение, под влиянием к-рого через ртутную струю проходит сильный переменный ток. Последний, взаимодействуя с постоянным магнитным полем, заставляет ртутную струю колебаться. По мере удаления от резервуара амплитуда колебаний струи возрастает. Подлежащее выпрямлению напряжение от силового трансформатора подводится к главным электродам  $K_1$  и  $K_2$ , между к-рыми расположен прерывающий струю вольфрамовый нож  $P$ . Электрод  $K$  служит плюсом выпрямленного тока. Синхронно с напряжением струя переключается то на электрод  $K_1$  то на электрод  $K_2$ , чем и достигается выпрямление. Во избежание окисления режущего ножа  $P$  и ртути камера, где помещены электроды, наполняется водородом с избыточным давлением в 5—10 см. При больших мощностях для разрезания дуги обычно ставится пять ножей, чем обеспечивается безударная коммутация. В. системы Гартмана обладает весьма ценным свойством. Благодаря применению в качестве токопровода жидкой ртутной струи падение напряжения в нем очень мало (при 5 000 А оно составляет всего 0,4 В), что благоприятно отзывается на его кпд. В. сист. Гартмана строится на напряжение до 500 В. Область их применения — химич. пром-сть, где нужны большие силы токов при малых напряжениях.



Фиг. 3.

Об ионном В. с управляющей сеткой (тиратрон) см. *Ионный преобразователь*. Лит.: Волгоград В., Выпрямители, М., Л., 1932; Гилтешульц А., Электрич. выпрямители и вентили, пер. с нем., М., Л., 1932; Бедарский А., Механич. выпрямители, М., Л., 1933; Marx A., Lichtbogen-Stromrichter für sehr hohe Spannungen und Leistungen, Berlin, 1932; Hull A., Hot Cathode Thyatron ns, «General Electric Review», v. 32, New York, 1929, 4 и 7, М.

М. Спасский.

**ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА**, искусственные порошкообразные материалы, к-рые при затворении с водой дают тесто, превращающееся по истечении некоего времени в твердое камневидное тело. В. в., в зависимости от способности в отвердевшем состоянии оставаться прочными только на воздухе или как на воздухе, так и в воде, делится на воздушные и гидравлические. Воздушные В. в. пригодны только для наземных сооружений и не должны подвергаться действию постоянной влажности. Напротив, гидравлические В. в. применяются во всех видах сооружений как наземных, так и подземных и морских.

1. Воздушные вяжущие вещества. а) Воздушная известь — продукт, который получается обжигом до полного выделения углекислоты  $\text{CO}_2$  чистых или магниевых известняков, содержащих не более 10% примесей. Известняки, содержащие более 97%  $\text{CaCO}_3$ , дают жирную известь, а содержащие 97—90%  $\text{CaCO}_3$  — среднюю и тощую (см. *Известь*). Применяемый в строительном деле известковый раствор отличается чрезвычайной медленностью твердения, происходящего за счет взаимодействия с углекислотой воздуха (карбонизация) и образования  $\text{CaCO}_3$ , выделения воды, испарения всего ее избытка, выкристаллизовывания  $\text{CaCO}_3$  и частью  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Процесс идет по поверхности, постепенно затухая по мере высыхания раствора. Присутствие в воздушной извести  $\text{MgO}$  свыше 10% обуславливает замедленную способность извести гаситься и дает серую воздушную известь, отличающуюся сильно замедленной способностью схватываться и твердеть, благодаря чему для кладки она непригодна, но хороша для штукатурных и отделочных работ, обладая достаточной стойкостью и прочностью.

б) Гипсовые вяжущие вещества. Сырьем для них служат или природный двуводный гипс (см.)  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  или безводного его разновидность, называемая ангидритом,  $\text{CaSO}_4$ . Всех разновидностей гипсовых В. в. пять: а) штукатурный гипс, или алебастр, — продукт, получаемый обжигом природного двуводного гипса при  $t^\circ 120$ — $200^\circ$  до превращения его в полуводный гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  с последующим перемолом его в порошок. Физико-механич. свойства штукатурного гипса: текучесть — 2 мин., начало схватывания — 4 мин., конец его — 6,5 мин. и не позже 30 мин., остаток на сите (в 900 отверстий) после помолы 30%, растяжение после 1 дня твердения —  $7 \text{ кг/см}^2$ , а после 7 дней —  $14 \text{ кг/см}^2$ ; воды для затворения берется 60—80% (ОСТ 2645). Применяется для штукатурных и внутренних отделочных работ. б) Формовочный гипс — продукт, аналогичный по сырью и способу производства со штукатурным гипсом, но отличающийся более тонким помолом и более коротким концом схватывания. Предназначенный для формовки и отливок при проливании он должен иметь остаток на сите 900 меш не более 10% и конец схватывания не позже 20 мин. в) Ангидритовый цемент — продукт, получаемый обжигом природного двуводного гипса при  $t^\circ 500$ — $700^\circ$  с последующим тонким перемолом совместно с различными минеральными добавками или же путем тонкого перемолы ангидрита с теми же добавками. Минеральные добавки ( $\text{NaHSO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{MgO}$  и др.) способствуют растворению безводного  $\text{CaSO}_4$ , полученного обжигом, или природного ангидрита, и образованию двуводного гипса; послед-

ний растворяется до насыщения, выкристаллизовывается и обуславливает отвердевание затворенного теста. Различают три рода ангидритового цемента: строительный ангидритовый цемент, содержащий 98,5—99,0%  $\text{CaSO}_4$  и 1,5—1,0%  $\text{NaHSO}_4$ , строительный ангидрито-доломитовый цемент, состоящий из 95—97%  $\text{CaSO}_4$  и 5—3% доломита, обожженного при 800—900°, ангидритовый цемент для подложных работ, содержащий 98,5%  $\text{CaSO}_4$ , 0,7%  $\text{NaHSO}_4$  и 0,8%  $\text{CuSO}_4$ . Физико-механич. свойства разновидностей ангидритового цемента указаны в ОСТ 5348/2. Этот цемент применяется для кирпичной кладки, штукатурки, для искусственных камней, полов и т. п. г) Эстрих-гипс (гидравлический тип) — продукт, получаемый обжигом природного двуводного гипса или ангидрита при  $t^\circ$  не ниже  $900^\circ$  с последующим перемолом в тонкий порошок. Процесс обжига сводится к тому, что  $\text{CaSO}_4$  при  $t^\circ$  обжига подвергается разложению на  $\text{CaO}$  и  $\text{SO}_2$ , хотя и в самом незначительном количестве (2,5—3,0%). Порошок полученного эстрих-гипса, затворенный с 30—35% воды, медленно схватывается и твердеет. Он обладает началом схватывания в 4—5 ч. и концом в 25 и более часов. Хотя процесс схватывания и твердения его еще мало изучен, но можно полагать, что образовывавшаяся  $\text{CaO}$ , вкрапленная среди кристаллов безводного  $\text{CaSO}_4$ , при затворении с водой дает  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с выделением тепла, являющегося толчком для присоединения воды к  $\text{CaSO}_4$  и образования  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , который приводит к схватыванию и перекристаллизации, обуславливая и твердение. Тесто из эстрих-гипса в виде пластичной массы, будучи утрамбовано, через 20 ч. с момента затворения твердеет и через 28 дней достигает прочности на сжатие до 160 и более  $\text{кг/см}^2$ ; изделия получают с мало истираемой поверхностью, водоустойчивые и значительно кислотоупорные. Применение он находит в производстве бесшовных полов, штукатурок и пр. д) Гипсовый цемент — продукт, получаемый совместным перемолом в тонкий порошок природного двуводного гипса с минеральными добавками ( $\text{NaHSO}_4$  и др.). Находится еще в периоде изучения.

3) Магниезиальные вяжущие вещества. а) Каустический магnezит — продукт обжига природного магнезита  $\text{MgCO}_3$  при  $t^\circ$  полной его диссоциации с последующим измельчением в тонкий порошок. Характеристика сырья, условия обжига, твердение и применение его — см. *Каустические строительные материалы*. Порошок каустич. магнезита, затворенный на растворе хлористого магния крепостью 22° Ве, схватывается и твердеет и в таком виде известен под названием цемента Сореля. Раствор хлористого магния м. б. заменен растворами других солей, а именно:  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaHSO}_4$ ,  $\text{ZnCl}_2$  и др. Физико-механич. свойства каустич. магнезита, затворенного на хлористом магнии, указаны в ОСТ 3035. б) Каустический доломит — продукт обжига природного доломита  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$  при  $t^\circ$  диссоциации  $\text{MgCO}_3$  с последующим измельчением в тонкий порошок. Характеристика сырья, условия обжига, твердение, свойства и применение — см. *Каустические материалы*, Доп. том.

II. Гидравлические вяжущие вещества. А. Гидравлические В. в., не содержащие гидравлических добавок или содержащих их не более 15%. 1) Гидравлическая известь — продукт обжига, не доводимый до

спекания, мергелистых известняков, свободных от магнесии или содержащих ее в незначительных количествах. Мергелистые известняки должны содержать не менее 75%  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ . Месторождения их известны: Тейльское во Франции, Попороссийское, Феодосийское и др. в СССР. Обжиг их производится при  $t^\circ$  800—1 000° в непрерывных шахтных печах, пересыльных или с выносными топками, ручных или автоматических. После обжига гидравлическая известь гасится в порошок, затем смешивается с размолотой непогасившейся частью и подвергается некоторому вылеживанию в силосах. Физико-механич. свойства по ОСТ 2664. Характеристика сырья, условия обжига и свойства продукта — см. *Цемент*. Процессы схватывания и твердения гидравлической извести в силу наличия большого количества свободной извести  $\text{CaO}$  и бедных известью силикатов и алюминатов проходит по двум направлениям: с одной стороны,  $\text{CaO}$  реагирует с углекислотой воздуха в присутствии влаги, а с другой, — силикаты и алюминаты извести, медленно гидратируясь, дают водные бедные известью силикаты и алюминаты, схватывающиеся и твердеющие. Применение гидравлическая известь находит при бутовой и рядовой кладке, штукатурке и др. 2) Роман-цемент — продукт тонкого перемола обожженных при  $t^\circ$ , не доводящей материал до спекания, природных известковых или магнезиальных глинистых мергелей. Характеристика сырья, условия обжига перемола и свойства продукта — см. *Цемент*. Схватывание и твердение роман-цемента, отличающимся началом и замедленным концом схватывания, объясняется присутствием небогатых известью алюминатов и силикатов. Первые дают быстро начало схватывания, а вторые — его замедленный конец. Применение роман-цемент находит там же, где и гидравлич. известь. 3) Портланд-цемент — продукт тонкого перемола клинкера, получаемого равномерным обжигом до спекания тщательно дозированных искусственных смесей материалов, содержащих  $\text{CaCO}_3$  и глину. Характеристика сырья, условия обжига, перемола, твердения, сорта и свойства портланд-цемента — см. *Цемент*. Применение портланд-цемента находит во всех каменных, бетонных и железобетонных сооружениях, не подвергаемых действию минерализованных и морских вод. 4) Глиноземистый цемент — продукт тонкого перемола полученной обжигом до сплавления и спекания смеси материалов, богатых глиноземом с известью или известняком. Характеристика сырья, условия обжига, перемола, твердения, особенности и свойства глиноземистого цемента — см. *Цемент*. Глиноземистый цемент обладает устойчивостью против действия минерализованных и морских вод, т. к. не дает продуктов гидратации, способных образовывать водный сульфаталюминат извести. Пониженная  $t^\circ$  (ниже  $0^\circ$ ) не оказывает влияния на скорость схватывания его. Применение он находит при возведении сооружений, требующих быстрого твердения и быстрого их пуска в эксплуатацию.

Б. Гидравлические вяжущие вещества, содержащие гидравлические добавки в количестве более 15%. 1) Гидравлические В. в., получаемые смешением портланд-цемента с гидравлич. добавками. а) Пуццолановый портланд-цемент — продукт совместного перемола портланд-цементного клинкера и кислой гидравлической добавки в количестве более 15%.

Перемол этой смеси с 2% гипса производится в цементных мельницах. Весовое количество добавки зависит от степени активности ее, а также качества клинкера. По сравнению с портланд-цементом пуццолановые портланд-цементы дают медленное твердение для сроков коротких и до 1—2 месяцев, после чего рост прочности быстрее увеличивается. В настоящее время для него установлено две марки: обыкновенного качества «0» и повышенного — «00». Характерной особенностью пуццоланового портланд-цемента является его устойчивость в отвердевшем состоянии против разрушительного действия минерализованной и морской воды в силу наличия в кислой гидравлической добавке растворимой кремнекислоты  $\text{SiO}_2$ , способной к образованию с продуктом гидратации портланд-цемента [гидратом извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] гидросиликата извести  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , что и обуславливает устойчивость отвержденных этих цементов в вышеназванных водах. Применение пуццолановый портланд-цемент находит при возведении различных видов бетонных и железобетонных сооружений. б) Ш л а к о - п о р т л а н д - ц е м е н т — продукт совместного перемола портланд-цементного клинкера и гранулированного основного доменного шлака (см. *Цемент*). Весовое количество высушенного шлака 3-ды дают в пределах 50—70%. Целью обязательного быстрого охлаждения или грануляции основного доменного шлака является придание ему гидравлич. активности, что обуславливается застыванием его в состоянии отвержденной жидкости без выкристаллизовывания в кристаллы и сохранением большого запаса тепловой и химич. энергии, в результате чего быстро охлажденный шлак получает напряженное и неустойчивое состояние и способность к химич. взаимодействию с веществами, несущими щелочной характер (известь, портланд-цемент). Особенности шлако-портланд-цемента и его основные физико-механич. свойства близки к свойствам пуццоланового портланд-цемента, отличаться от него еще более замедленным темпом схватывания и твердения.

2) Гидравлические вяжущие вещества, получаемые смешением воздушной извести с гидравлическими добавками. а) Известково-пуццолановый цемент — продукт теснейшего смешения порошка гашеной извести с предварительно измолотой в тонкий порошок кислой гидравлической добавки. Весовое количество высушенной гидравлич. добавки колеблется 80—90%. В качестве кислых гидравлич. добавок применимы: пуццоланы, вулканики, пепел, пемза, вулканический туф, трасс, диатомит, трепел, си-шоф. Процесс схватывания и твердения известково-пуццоланового цемента происходит за счет химич. взаимодействия между известью и растворимой кремнекислотой кислой гидравлич. добавки в присутствии затворенной воды с образованием водного силиката извести  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  сначала в коллоидном состоянии и затем весьма медленно выкристаллизовывающегося. б) Известково-шлако-п о р т л а н д - ц е м е н т — продукт теснейшего смешения порошка гашеной извести с предварительно тонко измолотым гранулированным доменным шлаком. Весовое количество гранулированного доменного шлака берется 80—90% и соответственно извести 20—10%. Процесс схватывания и твердения известково-шлакового цемента происходит вследствие реакции между известью и растворимой кремнекислотой шлака в присутствии воды.

в) Известково-золенный цемент — продукт теснейшего смешения порошка гашеной извести с предварительно тонко измолотой сухой золой каменных углей или горючих сланцев при сжигании их на угольных решетках или же продукт их совместного перемол. Весовое количество указанной золы по ОСТ 4739 берется 50—80% и соответственно извести 50—20%. Процесс схватывания и твердения его происходит так же, как известково-пуццоланового цемента. г) Глинистый цемент — продукт совместного перемол обожженной при 750—800° глины с гашеной известью и с добавкой природного двуводного гипса. Применяемые глины по составу разнообразны: от богатой глиноземом и углекислым калием до обыкновенной кирпичной. Увеличение количества глинозема или  $\text{CaCO}_3$  в применяемой глине обуславливает повышенную механическую прочность продукта. Весовое количество обожженной глины берется 75—85% и извести 25—15%. Процесс схватывания и твердения глинистого цемента происходит в силу химич. взаимодействия между известью и растворимой кремнекислотой обожженной глины в присутствии воды. Рассмотренные известково-пуццолановые цементы и глинистый цемент при отверждении в условиях воздушного хранения, будучи неплотного строения, подвергаются высыханию, карбонизации и понижению прочности. Напротив того, влажностные условия способствуют удержанию в них постоянной прочности. Применение находят при кладке, штукатурке, изготовлении камней и для неответственных сооружений, но для железобетонных сооружений совершенно неприемлемы.

В. Гидравлические вяжущие вещества из гидравлических добавок. Шлаковый бесклинкерный цемент — продукт совместного перемол гранулированных основных доменных шлаков совместно с ускоряющими твердение шлака минеральными веществами (обожженно до 800—900° доломит, ангидрит, гипс, поваренная соль, растворимое стекло и др.). Характеристика этого цемента, его приготовление и свойства — см. *Цемент*.

III. Гидравлические добавки делятся по химич. составу на кислые и основные. А. Кислые гидравлические добавки — естественные или искусственные материалы, в составе к-рых преобладают кремнезем и глинозем; затворенные в порошкообразном состоянии водой они самостоятельно не твердеют, но в смеси с воздушной известью придают ей гидравлич. свойства. 1) Естественные добавки. а) Вулканического происхождения: пуццоланы и пеплы — породы рыхлого строения, трассы — породы плотные, туфы — породы пористые; б) осадочного происхождения: трепелы — рыхлые кремнеземистые породы в виде скопления мельчайших неправильных зерен; диатомиты — рыхлые кремнеземистые породы в виде скопления мельчайших панцирей организмов. 2) Искусственные добавки: а) цемянки, или глинистые материалы, обожженные и измельченные в тонкий порошок; б) си-штоф — богатый кремнекислотой отход переработки глины на глинозем; в) кислые гранулированные доменные шлаки — отходы доменного производства с шлаковым модулем  $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$ , меньшим единицы; г) золы каменных углей и горючих сланцев.

Б. Основные гидравлические добавки — вещества, в составе к-рых пре-

обладают основные окислы  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ ; к ним относятся гранулированные основные доменные шлаки, которые в порошкообразном состоянии затворенные водой способны медленно твердеть, но в смеси с воздушной известью значительно быстрее схватываются и твердеют; они должны обладать гидравлическим модулем, большим единицы.

Лит.: Кинд В., Специальные цементы, М.—Л., 1931; Кюль Г., Химия цемента в теории и практике, пер. с нем., Л., 1931; Деметтьере К., Технология строительных материалов, 3 изд., ч. 1 и 2, Базу, 1930; Будников П., К исследованию гипса, Л., 1930; Общесоюзные стандарты на вяжущие вещества; Кинд В. и О कोरोков С., Строительные материалы, 1934, М.—Л.; Тарарин В., Гидравлические вяжущие вещества и их производство, 1934, М.—Л.; Строительная индустрия, т. 4; Строительные материалы, ч. 1, 1934, М.—Л.; Шох К., Строительные вяжущие вещества, ч. 1 и 2, пер. с нем., 1933, М.—Л.; Купф В., Die Chemie d. hydraulischen Bindemittel, Lpz., 1915; Dorsch K., Chemie d. Zemente, B., 1932; Kühn H., Mörtelsteife, Ullm. Enz., 2. Aufl., B. 5; Eckel E., Cements, Limes A. Plasters, 3 ed., N. Y., 1928; Журавли: «Цемент», Москва; «Строительные материалы», Москва; «Zement», B.; «Tonindustrie Ztg», B.; «Rock Products», Chicago; L., Cement, P.; «Cement a. Cement Manufacture», L.; «Revue de matériaux de construction et de travaux publics», P. В. Тарарин.

### ГЕОХИМИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ.

Геохимич. характер 8 благородных металлов — золота, серебра, платины, иридия, родия, палладия, осмия и рутения — определяется их химическим родством к другим элементам при высоких  $t^\circ$ , соответствующих  $t^\circ$ , при которых происходило образование большинства горных пород, а также объемами их атомов и ионов. При высоких  $t^\circ$  большинство химических соединений этих металлов диссоциирует. Температуры выше 1000° выдерживают немногие сернистые, мышьякостые и сурьмянистые соединения. Поэтому в огромном большинстве случаев эруптивные породы содержат благородные металлы в металлическом виде или, вернее, в форме металлических сплавов. Более редки в этих породах сульфиды, арсениды и антимониаты. В горячих растворах, восходящих от интрузий эруптивных пород, содержатся благородные металлы, затем отлагающиеся вместе с сульфидами гидротермальных месторождений. Наконец в породах осадочных и диалитических благородные металлы содержатся в той же форме металлических сплавов, механически перенесенных из коренных месторождений. Значительная часть золота и, возможно, металлов платиновой группы подвергается растворению в воде и водных растворах при низких  $t^\circ$  и вновь из них отлагается в восстановленной металлической форме. Так. образом металлическая форма является наиболее распространенной для большинства благородных металлов. Это дано право В. Гольдшмиду отнести их к классу с и д е р о ф и л ь н ы х элементов. Наиболее сиферофильными являются золото, платина, иридий, родий и осмий и в меньшей степени рутений, палладий и серебро. Последние три металла проявляют в значительной степени халькофильные свойства, остальные благородные металлы халькофильны в меньшей степени, чем эти три. В силикатной зоне благородные металлы распространены крайне мало, и потому В. Гольдшмид с полным правом утверждает, что они почти лишены литофильных свойств. Большое число анализов, проделанных в лаборатории Гольдшмидта, а также супругами Ноддак, показывает, что в метеоритах благородные металлы сосредоточены главным образом в металлических частях их; сульфидная часть содержит значительно меньше и наконец силикатная почти не содержит их (табл. 1).

Анализы, произведенные с большой степенью точности за последнее время вышеуказанными авторами над огромным числом горных пород и

тины различен (табл. 3), как и различен ее внешний вид. В пироксенитах платины содержится гораздо меньше, чем в габбро и эвекситах, образовавшихся из них; здесь встречается обычно осмистый иридий. Бушвелдский массив представляет собой огромный лакколлит, вторгшийся в осадочную формацию; горизонтальные размеры его ок. 40 тыс. км<sup>2</sup>. В результате дифференциации и дополнительных интрузий массив получил сложное строение: снизу — мелкозернистый норит, пироксениты, далее кверху — норит, перемежающийся с анортитами и дунитами. К этой формации относится горизонт Меренского, с которым связаны месторождения платины. Далее

Табл. 1.— Содержание благородных металлов в метеоритах.

Предмет анализа	Содержание в 1 г метеорита							
	Ru	Rh	Pd	Ag	Os	Ir	Pt	Au
1. Триолит (сульфид) из метеорита Коагуила . . . . .	1-5	1	1	5	—	—	1-10	5-1
Железо из того же метеорита . . . . .	10	5	10	5	2	10	10-100	5-1
2. Триолит из Кюнона Дяболо . . . . .	0,5	0,2	0,5	10	—	—	0,2	0,5
Железо из того же метеорита . . . . .	10	5	5-10	5	5	5	10-100	5
3. Метеорит (оливин + бронзит + пироксен) из Имилан (Китай) . . . . .	+	—	+	+	+	+	0,1	+

+ означает присутствие металла в количестве < 0,001 г на г; 1 и 2 — анализы Гольдшмидта и Петерса; 3 — анализ Ноддака.

минералов, показали, что соотношения содержания в земной коре благородных металлов приблизительно те же, что и в метеоритах. На основании тех же новых анализов оказалось возможным более точно, чем это было сделано Кларком и Вашингтоном, сделать подсчет общего среднего содержания благородных металлов в доступной для изучения части земной коры и сравнить с содержанием их в солнечной системе (метеоритах). В табл. 2 даны кларки (частоты) благородных металлов в земной коре по Кларку и Вашингтону (1924), по Н. и В. Ноддак (1931) и в метеоритах.

Табл. 2.— Содержание (в кларках) благородных металлов в земной коре и в метеоритах.

Благородные металлы	Для земной коры		Для метеоритов по Л. Ферсману
	по Кларку и Вашингтону	по Н. и В. Ноддак	
Рутений . . . . .	2,3·10 <sup>-11</sup>	5·10 <sup>-8</sup>	9·10 <sup>-4</sup>
Родий . . . . .	9·10 <sup>-11</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	1,9·10 <sup>-4</sup>
Палладий . . . . .	8,5·10 <sup>-11</sup>	5·10 <sup>-6</sup>	7·10 <sup>-4</sup>
Серебро . . . . .	4·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-4</sup>
Осмий . . . . .	6·10 <sup>-10</sup>	5·10 <sup>-6</sup>	3,9·10 <sup>-4</sup>
Платина . . . . .	8,0·10 <sup>-9</sup>	5·10 <sup>-6</sup>	7·10 <sup>-4</sup>
Золото . . . . .	1,5·10 <sup>-7</sup>	5·10 <sup>-6</sup>	3,5·10 <sup>-5</sup>

Месторождения платины приурочены гл. образом к интрузивам ультраосновных пород, Дунитам, пироксенитам, норитам и др. Классич. примерами таких месторождений могут служить уральские месторождения и Бушвелдский массив Южной Африки. Уральские месторождения образованы интрузией и последующей медленной дифференциацией на бол. шой глубине (10 км) габброидной магмы. Нижнюю, наиболее тяжелую зону дифференцированных массивов составляют дуниты, состоящие более чем на 90% из оливины, далее идут пироксениты и наконец габбро. Главная масса платины приурочена к дунитам, в к-рых она содержится в виде включений самородной платины от микроскопических до 1,5—3 мм diam. Месторождения ее в виде шпир и штоков самой неправильной формы размещены в толще породы неправильно и неравномерно. Закономерности этого, размещения не установлены. Выделения платины бывают вместе с кремнием и без него непо редственно в оливине. Состав хромитовой и оливиновой пла-

выше идет основная масса норита, кверху делающаяся более кислой и переходящая в сиенит и альбит. Платиновые металлы здесь встречаются как в виде металла, так и в виде минералов: сперрилита (PtAs<sub>2</sub>), куперита (PtS), браггита (Pt, Pd, Ni)<sub>2</sub>S, стибниопалладинита

Табл. 3.— Состав самородной платины различного происхождения (в %).

Металлы	Платина из дунитов хромитов	Платина из дунитов оливиновых	Платина из пироксенитов	Платина распыленная
Платина . . . . .	0-78,6	80-82	85,5-98,5	73-84,6
Железо . . . . .	4-18,8	9,5-12	7,5-10,5	2,5-16,8
Серебро . . . . .	0,08	0,6-0,7	1,0-1,8	0,18-0,6
Иридий и родий . . . . .	2,1-7	3-4,7	1,4-2,1	1,3-7,6
Осмистый иридий . . . . .	0,5-4,2	1,3-2,7	0,3-0,6	0,8-2,6
Мель . . . . .	0,9-8,2	0,4-2,2	0,6	0,3-4,7
Никель . . . . .	—	0,08	0,05	0,1-1,05

(Pd<sub>2</sub>Sb). Часть металлов платиновой группы растворена в сульфиде. Примерами другого типа платиновых месторождений могут служить Сюдберн в Канаде и Норильское в Туруханском крае в Сибири. В них платиновые металлы также связаны с интрузивами основной габброидной магмы и находятся в сульфиде никеля и меди. Повидимому большая часть платины и палладия растворена в сульфиде, другая часть находится в форме сперрилита и м. б. сульфида. В перечисленных типах месторождений платиновые металлы находятся в сравнительно высокой степени концентрации. В форме, к-рую В. Вернадский назвал рассеянной, платиновые металлы находятся во всех эруптивных породах, не только основных, но и кислых. Так напр., граниты содержат 0,02 г на т (Ноддак). В сульфиде гидротермальных месторождений, связанных с кислыми интрузивами, часто оказывается повышенное содержание платины. Россыпные месторождения платины приурочены б. ч. к дунитовым и пироксенитовым массивам и содержат самородную платину.

Месторождения золота известны как магматические и гидротермальные, так и низкотемпературные. В первичных породах — гранитах, диабазе, диорите и других кислых породах Мексики, Чили,

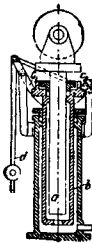
Канады, Урала и др. — золото найдено, но эти месторождения практич. значения почти не имеют. Из месторождений гидротермальных необходимо отметить прежде всего тип гипотермальных, образованных растворами при высоких  $t^{\circ}$  и давлениях. Примером может служить Березовское месторождение на Урале близ Свердловска, где самородное золото находится в жилах «березита» (кварц + мусковит + пирит), прорезывающих толщу хлоритовых, тальковых и глинистых сланцев. К этому же типу относится ряд других месторождений на Урале (Благodatное, Пышминское, Кочнарское и др.), в Сибири, Канаде, Аляске и других странах. Мезотермальные месторождения золота образовались при  $t^{\circ}$  200—300° на значительной глубине из горячих растворов. Жильной породой является кварц, в котором рассеяны самородное золото и золотосодержащие сульфиды. Золото в кварце включено в виде мельчайшей пыли, чешуек, кристаллов и режесростков. Очень редко последние достигают большой величины 35—40 кг. К этого типа месторождениям относятся золотоносные жилы Калифорнии (Невада-Сити), провинции «Виктория» в Австралии, Богомдаровинский рудник, Берикюль и ряд других в Кузнецком Алатау, Енисейской тайге и др. Золото также находится в мезотермальных месторождениях полиметаллич. (свинцово-цинковых) и медных руд (Риддер, Карабаш и др.). Эпитермальные месторождения образованы выделениями из растворов при сравнительно низких  $t^{\circ}$  (ниже 200°) в виде разного рода жил и рудных тел неправильной формы. Здесь встречается самородное золото, обычно содержащее серебро, серебристое золото (электрум), теллуристое золото, серебряный блеск, сульфидантимониды и арсениды золота и серебра вместе с пиритом, свинцовым блеском, цинковой обманкой и другими сульфидами и кварцем. Примерами такого типа месторождений могут служить золотые жилы Трансильвании в Венгрии (Семигорье), месторождение «Хаураки» в Новой Зеландии, Ильинское в Забайкалье и серебряные месторождения Мексики, Перу, Чили и Боливии. Наконец надо упомянуть месторождения серебра и золота, образовавшиеся благодаря процессам растворения и последующего осаждения золота в природных водах при низких  $t^{\circ}$ . Перенос золота такими водами может осуществляться на довольно большие расстояния (300 и более км). Рассыпные месторождения образованы природными механическими процессами разрушения коренных пород, содержащих золото. Нельзя также отрицать в процессах образования россыпей и роли грунтовых вод, растворяющих и вновь выделяющих золото. Кроме месторождений золота, где оно встречается в сравнительно высокой концентрации, оно содержится в рассеянном состоянии в массе большинства горных пород и даже в морской воде.

Лит.: Вернадский В., Опыт описательной минералогии, II, 1909, т. 1, вып. 2; Ферсман А. Геохимия, JL, 1933; Вагнер П., Месторождение платины и рудники в Южной Африке, М.—Л., 1932; Жемчужный С., Исследование структуры самородной платины, «Материалы для изучения естественных производственных сил России», П., 1916, 13; Бетехтин А., «ГЖ», 1936, 3; Завацкий И. А., Коренные месторождения платины на Урале, JL, 1928; Власов И. И., Платина и районы ее добычи, «Вестник промышленности», т. 4, ч. 1—4, П.—Л., 1923—25; Звягинцев О., Изв. Ин-та по изучению платины и других благородных металлов, JL, 1932, вып. 9; 1933, вып. 10; Звягинцев О., Лебедянский В. и Филиппов А., «Доклады Акад. наук СССР», Новая серия, JL, 1933, 4; Каприцкий Я. А., «Вестник золотопром.», 1898; Обухов В., Рудные месторождения, ч. 2, часть описательная, М.—Л., 1929 (подробная литература по

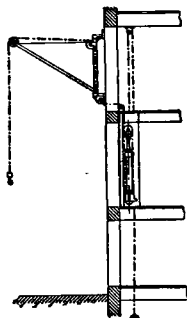
месторождениям); Линдgren В., Месторождения золота и платины, М.—Л., 1932; Жемчужный С., «Известия Ин-та Физ.-хим. анализа», 1923, т. 2, вып. 1, стр. 5; Берг Г., Геохимия рудных месторождений полезных ископаемых, пер. с нем., М.—Л.—Новосибирск, 1933; Noddack J. u. W., «Ztschr. f. phys. Chem.», Lpz., 1931, B. 154, p. 207; ibid., Boden Stein's Festschrift, 1931, p. 890; Goldschmidt V. u. Petzsch Ch., «Nachricht. d. Kgl. Gesellschaft d. Wissenschaften zu Göttingen», Mathematisch-Physik. Klasse, Göttingen, 1932, p. 377; Freise F., «Economic Geology», Urbana III, 1931, 4, p. 421 (русский пер. в сборн. Рудные месторождения, Москва—Ленинград—Новосибирск, 1933). О. Звягинцев.

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ КРАНЫ**, краны, приводимые в действие напорной водой. Положительными качествами Г. к. являются: безопасность, легкая приспособляемость к различным условиям, надежность работы. Различные операции (подъем, горизонтальное перемещение и поворот) обыкновенно выполняются отдельными гидравлическими цилиндрами с независимым друг от друга управлением. Гидравлические краны, подъемная сила к-рых не превышает примерно 2 т, имеют дифференциальное, или телескопическое ныряло. Последнее состоит из двух отдельных нырял, из к-рых меньшее работает внутри большего, причем в тех случаях, когда приходится поднимать легкие грузы, большее ныряло закрепляют неподвижно, а меньшее заставляют производить подъем. Когда приходится поднимать тяжелые грузы, то работают оба ныряла. На фиг. 1 показан рабочий цилиндр с двумя нырялами а и в. Ныряло в удерживается посредством защелок  $c_1$  и  $c_2$ , которые управляют рычагом d. Когда подъемный Г. к. имеет одно ныряло, оно несет на себе поршень несколько большего диаметра. В этом случае при тяжелых грузах рабочая вода подается только по одну сторону поршня, а при легких грузах по обе его стороны. Силы, развиваемые поршнем, а также и объемы расходуемой воды находятся в отношении  $D^3: (D^3 - d^3)$ , где D — диам. поршня, а d — диаметр ныряла. Когда подъемная сила Г. к. превышает 2 т, то применяют два отдельных гидравлических цилиндра с независимыми задвижками, трубами, цепями и блоками. Подъемные силы отдельных цилиндров сочетают так, чтобы на малый цилиндр приходилось примерно  $1/3$ , а на большой цилиндр примерно  $2/3$  общей грузоподъемности. Так например, при 10-т Г. к. целесообразно придать цилиндрам грузоподъемность в  $3\frac{1}{2}$  и  $6\frac{1}{2}$  т.

На фиг. 2 изображен настенный Г. к. простейшего типа. Гидравлическая энергия используется в данном случае лишь для подъема груза. Тали расположены вертикально по другую сторону стены. Более целесообразным является размещать тали в горизонтальном направлении. Для управления Г. к. служит ручная задвижка, расположенная в одном из этажей здания. Такой Г. к. применим для подъема нетяжеловесных грузов; он обслуживает полукруглую радиуса, равного вылету Г. к. Фиг. 3 показывает настенный Г. к., по стреле которого

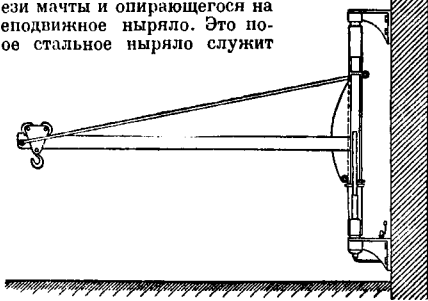


Фиг. 1.



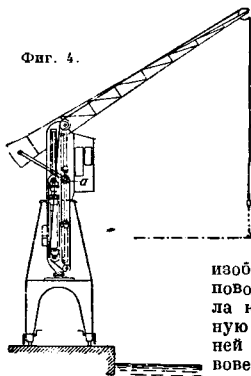
Фиг. 2.

движется каретка. Подъемный крюк укреплен непосредственно в каретке. Стрела может подниматься и опускаться под действием подвижного гидравлич. цилиндра прямого действия, скользящего в прорези мачты и опирающегося на неподвижное ныряло. Это полое стальное ныряло служит



Фиг. 3.

нижней опорой крана. Описанный Г. к. рассчитан на нагрузку до 2 т и высоту подъема ок. 1,83 м. Когда приходится перемещать грузы меньшего веса и на меньшую высоту, то гидравлич. цилиндр м. б. подвешен к подвижной каретке; в этом случае крюк прикрепляется к нырялу, а запорная вода подается по шарнирной трубе. В сталелитейной пром-сти (для подачи болванок из нагревательных колодцев в прокат) применяют Г. к., допускающие вертикальное перемещение, горизонтальное перемещение и поворот. Для каждого из этих действий имеются отдельные гидравлич. цилиндры. Операция поворота производится при посредстве цепной передачи на зубчатку, укрепленную в фундаментной плите. Имеются Г. к. этого типа с самостоятельной станцией, причем два гидравлич. цилиндра служат для горизонтального перемещения с передатчей, ускоряющей движение поршня в 6 раз, один цилиндр обслуживает подъем с передатчей 1:2 и два цилиндра используются для поворота с передатчей 1:8. Ручные задвижки, к-рыми управляют Г. к., так расположены, что допускают обслуживание крана одним человеком. Скорость подъема крюка в Г. к. может быть доведена приблизительно до 1,5 м/сек. На фиг. 4

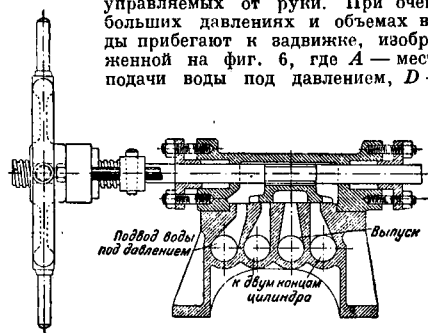


Фиг. 4.

изображен передвижной поворотный Г. к., стрела которого имеет обратную консоль. К последней прикреплены противовес и тяга, нижний конец которой связан с подвижным крейцкоффом. Последний приводит в движение нырялами гидравлических цилиндров, служащих для поворота Г. к. К этим поворачивающим цилиндрам прикреплен компенсационный блок А, обхватываемый подъемным тросом или цепью. Регулируют величину хода поворачивающего ныряла и наклон тяги, возможно удерживать крюк на постоянном уровне при любых поворотах Г. к. Портювые подвижные поворотные Г. к. имеют грузоподъемность в

15—30 т при высоте подъема 20 м и выносе стрелы 6—12 м.

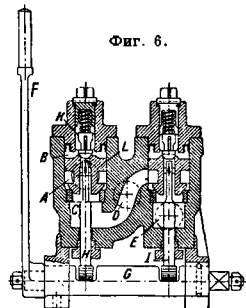
Вода подается в рабочий цилиндр Г. к. или выпускается из него посредством специальной задвижки (фиг. 5) или при помощи клапанов, управляемых от руки. При очень больших давлениях и объемах воды прибегают к задвижке, изображенной на фиг. 6, где А — место подачи воды под давлением, D —



Фиг. 5.

соединение с гидравлич. цилиндром, E — отвод воды, F — рукоятка, поворотом к-рой открывают клапан на канале А или выпускают воду из канала D через выходной клапан E, G — вал, на к-рый насажена рукоятка, H и I — осевые стержни соответствующих клапанов, L — основной клапан, B — водяная камера, наполняемая за счет просачивания воды из канала А через несовременное уплотнение клапана L, K — пружинный клапан, C — опорное кольцо клапана L. Верхний конец осевого стержня пропущен через основной клапан. При повороте рукоятки F осевой стержень поднимается под действием криволинейного выреза в верхней части вала G и приподнимает клапан B. Вследствие этого давление в B немедленно падает и сравняется с давлением в D. При этих условиях основной клапан открывается, отделяя от своего опорного кольца. При повороте рукоятки в прежнее среднее положение осевой стержень и клапан K опускаются, причем последний входит в свое гнездо в основном клапане. От этого сообщение между B и D будет прервано, давление в B возрастет (вследствие просачивания через неплотности) и сравняется с давлением в А, после чего основной клапан закроется, будучи прижат силой пружины к своему гнезду. В этом устройстве значительно облегчено управление и избежнуто применение частей, скользящих под высоким давлением, кроме того опасность удара при внезапном закрытии клапанов незначительна и может быть доведена до минимума соответствующей приголкой основного клапана.

соединение с гидравлич. цилиндром, E — отвод воды, F — рукоятка, поворотом к-рой открывают клапан на канале А или выпускают воду из канала D через выходной клапан E, G — вал, на к-рый насажена рукоятка, H и I — осевые стержни соответствующих клапанов, L — основной клапан, B — водяная камера, наполняемая за счет просачивания воды из канала А через несовременное уплотнение клапана L, K — пружинный клапан, C — опорное кольцо клапана L. Верхний конец осевого стержня пропущен через основной клапан. При повороте рукоятки F осевой стержень поднимается под действием криволинейного выреза в верхней части вала G и приподнимает клапан B. Вследствие этого давление в B немедленно падает и сравняется с давлением в D. При этих условиях основной клапан открывается, отделяя от своего опорного кольца. При повороте рукоятки в прежнее среднее положение осевой стержень и клапан K опускаются, причем последний входит в свое гнездо в основном клапане. От этого сообщение между B и D будет прервано, давление в B возрастет (вследствие просачивания через неплотности) и сравняется с давлением в А, после чего основной клапан закроется, будучи прижат силой пружины к своему гнезду. В этом устройстве значительно облегчено управление и избежнуто применение частей, скользящих под высоким давлением, кроме того опасность удара при внезапном закрытии клапанов незначительна и может быть доведена до минимума соответствующей приголкой основного клапана.



Фиг. 6.

Лит.: Егнст А., Die Hebezeuge, 4 Aufl., В., 1903; A u m u n d Н., Hebe- u. Förderanlagen, 2 Aufl., В., 1—2, В., 1926; G l e s o n А., Hydraulics, 6. Its Applications, N. Y., 1930.

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТОРМОЗ**, тормоз, приводимый в действие при посредстве жидкости.

Г. т. может быстро и безопасно поглощать кинетич. энергию значительных движущихся масс, не допуская обратного действия. Наиболее простой формой Г. т. является наполненный жидкостью (маслом, водой, глицерином) цилиндр с поршнем и штангой. Оба конца цилиндра соединяются между собой обыкновенно посредством одного или нескольких малых каналов, расположенных в теле поршня, или при помощи дроссельной трубки с пружинным регулирующим клапаном. Такой простой Г. т. широко применяется в качестве буфера для поглощения колебаний регуляторов машин и в тому подобных случаях. Когда тормозное устройство отодвигает собой створчатый буфер, то тело, кинетич. энергия которого д. б. поглощена, вталкивает поршневую штангу в цилиндр, вызывая быстрое движение жидкости через соединительные каналы. При этом энергия движущегося тела переходит частью в кинетич. энергию жидкости, частью же расходуется на преодоление сопротивлений трения в соединительных каналах и механич. сопротивлений в Г. т. Предельное давление в тормозном цилиндре будет тем ниже, чем более постоянным будет давление в течение хода торможения, а следовательно и сопротивление Г. т. К этому постоянству сопротивлений Г. т. и следует стремиться при проектировании его. Избыточное давление позади поршня в  $m$  столба жидкости равно:

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{v^2}{2g} \left(1 + \frac{\lambda l}{d}\right) = \frac{u^2}{2g} \cdot \frac{F^2}{f^2} \left(1 + \lambda \frac{l}{d}\right),$$

где  $p$  — избыточное давление позади поршня,  $\gamma$  — вес ед. объема жидкости,  $v$  — скорость рабочей жидкости при проходе ее через соединительные отверстия,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $\lambda$  — коэф. трения,  $l$  — длина соединительных каналов,  $d$  — диаметр соединительных каналов,  $u$  — скорость движения массы, подвергаемой торможению, и скорость поршня при работе Г. т.,  $F$  — рабочая площадь поршня (площадь поршня за вычетом сечений поршневого штока и соединительных каналов),  $f$  — рабочее сечение соединительных каналов. Сопротивление Г. т. получится равным:

$$W = p \cdot F + T = \frac{\gamma u^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l}{d}\right) \frac{F^2}{f^2} + T,$$

где  $T$  — сопротивление от механического трения, влияния противовесов и т. п. причин.

При Г. т. с постоянным сопротивлением  $m$  скорость движущегося тела через время, за которое поршень переместится на расстояние  $x$  после начала торможения, будет равна

$$u^2 = u_1^2 - \frac{u_1^2 \cdot x}{L} = u_1^2 \left(1 - \frac{x}{L}\right) = \frac{2gWL}{M} \left(1 - \frac{x}{L}\right),$$

где  $u_1$  — скорость движущегося тела в начале торможения,  $L$  — длина хода поршня,  $M$  — вес массы, подвергаемой торможению. Подставляя полученное выражение для  $u^2$  в формулу для  $W$ , получим

$$p \cdot F + T = \frac{\gamma L}{M} (pF + T) \left(1 - \frac{x}{L}\right) \left(1 + \lambda \frac{l}{d}\right) \frac{F^2}{f^2} + T,$$

откуда

$$f = \sqrt{\frac{\gamma L F^2}{M} \left(1 + \lambda \frac{l}{d}\right) \left(F + \frac{T}{p}\right) \left(1 - \frac{x}{L}\right)}.$$

По этой формуле м. б. определена площадь сечения соединительных каналов для любого значения  $x$  при заданной форме этого сечения.

При Г. т. с каналами постоянно-го сечения получим

$$pF + T = \frac{\gamma u^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l}{d}\right) \frac{F^2}{f^2} + T = ku^2 + T.$$

Т. к. это выражение равно произведению массы тормозимого тела на ускорение его движения, то получим

$$ku^2 + T = -\frac{M}{g} \frac{du}{dt} = -\frac{M}{g} u \frac{du}{dx} = -\frac{M}{2g} \frac{d(u^2)}{dx},$$

откуда

$$\frac{d(u^2)}{dx} + \frac{2gk}{M} u^2 + \frac{2gT}{M} = 0.$$

Принимая  $b = \frac{2gk}{M}$  и  $a = -\frac{2gT}{M}$ , получим

$$\frac{d(u^2)}{dx} + bu^2 = a.$$

Интегрируя последнее уравнение, найдем, что

$$u^2 = \frac{a}{b} + D e^{-bx},$$

где  $D$  — величина постоянная. При  $u = u_1$ , когда  $x = 0$ , будем иметь

$$u_1^2 = \frac{a}{b} + D.$$

Следовательно значение скорости после перемещения поршня на длину  $x$  определится уравнением

$$u^2 = \frac{a}{b} + \left(u_1^2 - \frac{a}{b}\right) e^{-bx}.$$

Для выяснения положения поршня в пределах рассматриваемых скоростей придадим последнему равенству следующий вид:

$$e^{bx} = \frac{u_1^2 - \frac{a}{b}}{u^2 - \frac{a}{b}},$$

откуда найдем

$$x = \frac{1}{b} \ln \left( \frac{u_1^2 - \frac{a}{b}}{u^2 - \frac{a}{b}} \right) = \frac{2,3}{b} \lg \left( \frac{u_1^2 - \frac{a}{b}}{u^2 - \frac{a}{b}} \right).$$

Подставляя значения величин  $a$  и  $b$ , получим

$$x = \frac{M}{2gk} \ln \left( \frac{u_1^2 + \frac{T}{k}}{u^2 + \frac{T}{k}} \right) = \frac{1,15M}{gk} \lg \left( \frac{u_1^2 + \frac{T}{k}}{u^2 + \frac{T}{k}} \right),$$

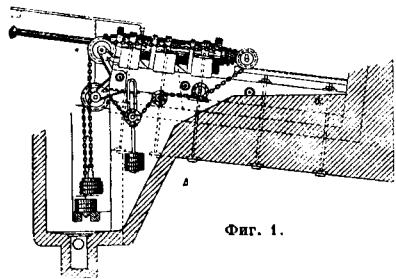
где

$$k = \frac{\gamma}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l}{d}\right) \frac{F^2}{f^2}.$$

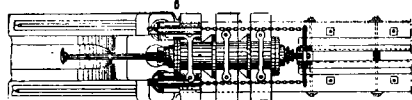
Дабы сопротивление Г. т. в течение его хода было постоянно, устраивают соединительные каналы так, чтобы они уменьшали свои сечения к концу хода поршня, сохраняя постоянную скорость пропускаемого потока, или снабжают поршень пружинным регулирующим клапаном. При постоянном сечении соединительных каналов требуемое изменение рабочих сечений этих каналов достигается выполнением их в теле поршня в виде круглых отверстий. Через такое круглое отверстие проходит неподвижный конич. шпindel, укрепленный внутри цилиндра параллельно оси последнего. При таком устройстве рабочее сечение канала будет изменяться в зависимости от диам. шпинделя. В створном буфере системы Ланглей (Langley) предусматриваются в теле поршня два продольных прямоугольных выреза, через которые проходят два неподвижных стержня, закрепленных внутри цилиндра, причем ширина стержней соответствует ширине



вырезов, а высота равномерно изменяется по длине. На фиг. 1 изображен такой гидравлический стопорный буфер. Он имеет чугунный цилиндр диаметром 254 мм, длиной 1 219 мм. Поршень сделан в виде плоского диска диаметром 251 мм с двумя водопротусными отверстиями прямоугольного сечения 76 мм × 38 мм. Ход поршня равен 1 067 мм. Вдоль всего цилиндра через указанные отверстия проходят два стержня, имеющие



Фиг. 1.



один размер сечения 76 мм, а другой — 38 мм (в заднем конце) и 13 мм (в переднем конце). Рабочее сечение каналов поршня варьирует так, образом в пределах от 38,7 см<sup>2</sup> (в переднем конце цилиндра) до нуля (в заднем конце цилиндра). Зазор между краями поршня и стенками цилиндра эквивалентен дополнительной постоянной площади каналов, равной 1,61 см<sup>2</sup>. Крышки цилиндра состоят каждая из двух колпачков с винтовой нарезкой; внутренний (чугунный) колпачок поддерживает кожаную манжету; внешний (латунный) вспомогательный колпачок имеет легкое пенковое уплотнение. В конце цилиндра расположена резиновая подушка толщиной 38 мм, предназначенная для смягчения возможных ударов. Возвращение сжатого Г. т. в первоначальное положение достигается при помощи цепи и трех противовесов: цепи прикреплены к выпущенному сзади концу поршневой штанги, переброшены через блоки и заканчиваются у противовесов, подвешенных к цепям спереди тормоза. Главный противовес состоит из двух частей: основной и добавочной, или т. н. «наездника», прикрепленного к лежащему на основной цепи блоку, движущемуся в вертикальной обложке; назначение «наездника» — погашение первоначального динамического натяжения цепи во избежание разрыва ее. По тем же соображениям боковые противовесы снабжаются пружинными подвесками. Наполнение цилиндра водой происходит автоматически из водопровода при помощи небольшой трубки с вентилем. Для удаления могущего накопиться в цилиндре воздуха имеется в верхней части цилиндра небольшой кран, используемый также для облегчения наполнения цилиндра. В рассматриваемом Г. т. поршневой шток пропущен через оба конца цилиндра. При отсутствии хвостовой части штока вытесняемый объем жидкости возрастал бы при прямом движении поршня, и при наполненном цилиндре движение поршня было бы невозможным. Указанное затруднение м. б. устранено также устройством

воздушной камеры внутри цилиндра, причем объем этой камеры д. б. немного больше, чем объем части поршневого штока, входящего в цилиндр в течение хода поршня. Однако вследствие сжатия воздуха давление жидкости возрастает медленнее, а максимальное давление в результате увеличивается на 15%. В новейшем типе Г. т., изготовляемом Компанией гидравлических машин в Честере (Hydraulic Engineering Company Chester), хвостовая часть поршневого штока отсутствует, взамен чего устроен в передней части цилиндра выпускной клапан, открывающийся при повышении давления свыше 3,5 кг/см<sup>2</sup>, причем вытесняемый штоком объем воды выбрасывается из цилиндра при каждом ходе поршня. Возвращение поршня в первоначальное положение происходит автоматически под влиянием давления воды, поступающей в цилиндр из водопроводной магистрали через небольшой клапан обратного давления. Благодаря отсутствию противовесов или пружин получается очень простое и удобное устройство, но оно требует наличия водопровода и тщательной смазки поверхностей во избежание коррозии. В этом типе Г. т. соединительные каналы прорезаны в теле цилиндра в виде двух продольных желобков шириной 38 мм и глубиной в пределах от 19 мм (в передней части) до нуля (в конце цилиндра). Помимо этих двух каналов имеются в теле поршня еще 12 отверстий  $\varnothing$  по 9,5 мм. Диаметр поршня равен 305 мм; ход поршня равен 1 524 мм. В конце цилиндра имеется предохранительный клапан, ограничивающий нагрузку пределом в 70,2 кг/см<sup>2</sup>.

Помимо рассмотренных Г. т. для погашения поступательного движения применяются также Г. т. для погашения вращательного движения. В Г. т. последнего типа в кожухе, наполненном водой, вращаются лопатки или диски, приводящие воду во вращательное движение. Возникающие при этом сопротивления создают момент, тормозящий вал Г. т., присоединяемый к испытываемому двигателю. К наиболее распространенным в настоящее время Г. т. последнего типа относятся дисковый тормоз Юнкерса и Фруда. Дисковый Г. т. состоит из одного или нескольких насаженных на валу дисков, вращающихся между неподвижными дисками, прикрепленными к кожуху (фиг. 2). Диски вращаются в водяной камере Г. т. Мощность, поглощаемая дисками Г. т., может быть определена по формуле

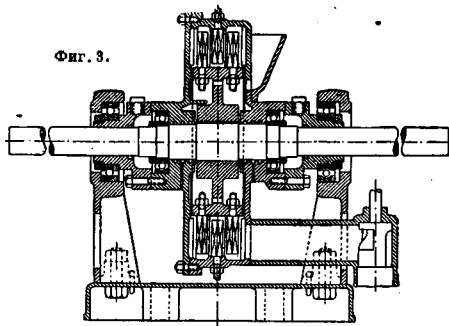
$$N = 0,928 \cdot 10^{-7} \cdot \psi \cdot \gamma \cdot a^6 \cdot n^3 \cdot m,$$

где  $\gamma$  — вес ед. объема жидкости,  $d$  — диаметр диска,  $n$  — число оборотов диска,  $m$  — число дисков тормоза,  $\psi$  — коэф., определяемый по формуле

$$\psi = 0,0728 R^{-\frac{1}{5}},$$

$R$  — число Рейнольдса, которое в данном случае м. б. взято равным  $R = 0,0262 \cdot \frac{d \cdot n}{\nu}$ , причем

величина  $\mu$  — коэф. вязкости. Тормоз Юнкерса (фиг. 3) имеет закрытый кожухом вращающийся с валом барабан, на наружной поверхности которого укреплены штифты квадратного сечения. Эти штифты, расположенные рядами на одинаковом по окружности расстоянии друг от друга, проходят при вращении барабана близко от таких же штифтов, укрепленных на внутренней стороне наружного кожуха. Внутри кожуха, могущего



слегка поворачиваться около оси вала, циркулирует вода. При вращении барабана последняя приводится штифтами на барабане во вращательное движение, задерживаемое штифтами на кожухе. Тормоз Фруда в отличие от тормоза Юнкерса имеет взамен штифтов ложки, которые могут поворачиваться и т. о. регулировать поглощаемую тормозом мощность. Кожух в этом Г. т. неподвижен.

Лит.: Александров В., Техническая гидромеханика, М., 1932; Gibson A., Hydraulic A. Its Applications, N. Y., 1930; «Proc. of the Inst. Civ. Eng.», 1905—06; «Proc. of the Inst. of Mechanical Engineers», L., 1886.

**ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**, особый вид строительных материалов, применяемых в целях придания различным частям сооружений водонепроницаемости. В зависимости от свойств примененного исходного материала их можно разделить на три группы: 1) материалы, изготовляемые на базе природных или искусственных битумов, битумоподобных веществ или их смеси; 2) вещества, самостоятельно не применяемые, но в смеси с выбранными материалами (преимущественно вяжущими веществами), придающие им свойство водонепроницаемости; 3) ролзные или листовые металлы. Первая группа Г. м. самая обширная. К ней принадлежат рулоно-гидроизоляционные материалы, приклеивающие материалы и битумы или битумоподобные материалы.

Рулоно-гидроизоляционные материалы. 1) Толщина изготавливается путем пропитки толевого картона композицией из каменноугольных и нефтегазовых смолпродуктов или смесью из них. Не допускается применение и добавка к пропитывающей смеси древесной, торфяной, сланцевой и других смол. Способ производства пропитки толь-кожи аналогичен таковому же при производстве кровельного толя. В зависимости от применения трех номеров толевого картона толь-кожа выпускается трех сортов и должна удовлетворять по прочности на разрыв и по величине водонепроницаемости требованиям ОСТ 4633. Применяется для изоляции зданий от грунтовой сырости путем прокладки не менее двух слоев, склеенных приклеива-

щими материалами или битумом. 2) Пергамин и изготавливается путем пропитки толевого картона нефтяными битумами или смесью из них. Не допускается применение и добавка к пропитывающей смеси каменноугольной, древесной, торфяной, сланцевой, буроугольной и других смол. Готовится на руберойдных фабриках на тех же аппаратах и по тому же способу, что и руберойд; отличается от него отсутствием покровного слоя. Температура размягчения пропиточной массы д. б. не ниже  $35^\circ$  (по Крамер-Сарнову). Для обеспечения полноты пропитки д. б. осуществлено отношение веса абсолютно сухого картона к весу пропиточной массы как 1 : 1. В зависимости от качества примененного толевого картона пергамин выпускается трех марок и должен по всем свойствам, а в особенности по прочности на разрыв и по величине на водонепроницаемость удовлетворять требованиям ОСТ 4109. Применяется для гидроизоляции ответственных частей зданий и сооружений как обладающий большой водонепроницаемостью. 3) Руберойд изготавливается из руберойдного картона, пропитанного мягкой битумной смесью и покрытого с обеих сторон твердой битумной смесью. Смесь для пропитки и покрытия составляется из нефтяных и природных битумов, естественных асфальтов, асфальтитов. Руберойд по своим свойствам должен удовлетворять ОСТ 3037. Применяется для гидроизоляции наиболее ответственных сооружений и частей зданий в виду очень большой его водонепроницаемости.

Приклеивающие материалы. 1) Гольц-цемент — твердая блестящая композиция из препарированных каменноугольных и нефтегазовых смолпродуктов или смесей из них, подвергшихся обработке серой. Температура размягчения д. б. в пределах  $45-55^\circ$  (по Крамер-Сарнову). По свойствам должен удовлетворять ОСТ 4929. Применяется для склейки и наклейки толь-кожи и толя. 2) Клебемасса толевая — смесь из препарированных каменноугольных или нефтегазовых смолпродуктов с температурой размягчения в пределах  $40-45^\circ$  (по Крамер-Сарнову). По свойствам должна удовлетворять ОСТ/НКТП 5516/49. Применяется в разогретом состоянии для приклеивания и склейки толя и толь-кожи. 3) Клебемасса руберойдная — смесь нефтяных битумов или их смесь с природными битумами и жировыми пеками с  $t^\circ$  размягчения в пределах  $60-70^\circ$ . Не допускается присутствие в ней каменноугольных, древесных, буроугольных и других смол и пеплов. По свойствам своим должна удовлетворять ОСТ/НКТП 5517/50. Применяется в разогретом состоянии для приклеивания и склейки руберойда при гидроизоляции. 4) Руберин — смесь нефтяных битумов с  $t^\circ$  размягчения  $63-68^\circ$ , растворенная в летучем органическом растворителе (бензин, бензол, сольвент-нефть и др.). Относится к холодным приклеивающим мастикам и служит для склеивания в холодном состоянии, без предварительного разогрева, рулонных материалов.

Битум, битумоподобные вещества в чистом виде и с заполнителями. 1) Слой битума или битумоподобного вещества в чистом виде не толще  $12-15$  мм. Применяется для гидроизоляции частей зданий и сооружений. 2) Толенин — композиция из древесной или газогенераторной смолы, горного воска, порошка барита и талька. Применяется для гидроизоляции частей здания. 3) Железень —

мастика из смеси нефтяных битумов с гашеной известью. Может служить и для гидроизоляции малоответственных частей зданий. 4) Глинопек — композиция из глины и пека (вара), изготовляемого путем введения в глиняное тесто в момент замеса жидкого пека с последующей формовкой. Обладает высокими гидроизоляционными свойствами. Находится в стадии внедрения в строительную практику.

Вторая группа Г. м. Главным ее представителем является церезит, или церолит, представляющий собой порошок из смеси олеиновокислого кальция и алюминия, гидрата окиси кальция, гидрата окиси алюминия, серновокислого кальция, разбланного в воде. Самостоятельно как гидроизоляционный материал не применяется, но, будучи введен в цементный раствор вместе с затворяемой водой, придает ему полную водонепроницаемость. Такой цементно-резеритовый слой д. б. не менее 20 мм. Церезит м. б. введен в цемент в виде добавки в количестве 1,7% при совместном перемолве с порланд-цементным клинкером, давая особую разновидность цемента, обладающую гидроизоляционными свойствами. Такие цементы со свойствами водонепроницаемости готовят в различных странах путем введения в них соответствующих добавок, напр. стеарина, мыла, японского воска и тому подобных веществ. Водонепроницаемость цементно-резеритового слоя, а также раствора из указанных цементов объясняется тем, что частицы церезита и других названных добавок, будучи веществами абсолютно водонепроницаемыми, занимают в таком растворе все поры и пространство между частицами и кристаллами схватившегося цемента и обуславливают получение водонепроницаемого слоя. Другими представителями этой группы служат т. н. битуминированные цементы, являющиеся продуктом равномерного и тесного смешения порошка порланд-цемента с распыленным горячим битумом. Битума добавляется 2—6%, а в отдельных случаях и выше. К этим водонепроницаемым цементам заграничного происхождения относят синкофисмент, антивакамент и др. Растворы этих цементов, так же как и первых, обладают полной водонепроницаемостью и находят применение в строительном и дорожном деле.

Третья группа Г. м. — очень небольшая, обладающая самой высокой водонепроницаемостью. Абсолютной водонепроницаемостью обладает роульнй свинец; в виду дороговизны он применяется очень редко.

Лит.: Воробьев В. Битуминозные кровельные материалы. М.—Л., 1932; Анохин А. и др. Дорожное дело. М.—Л., 1933; Маркуссоп И. А. Асфальт, пер. с нем., М.—Л., 1926; Орлов Н. Каменноугольная смола и переработка, Харьков, 1930; Анууров, Водонепроницаемые добавки к цементу, «Строитель», 1931, 20; Фюрстер М., Leitfaden d. Baustoffkunde, Lpz.—В., 1922; Лейзен К. и. C. I. n. d. M., Baustoffkunde, Lpz.—В., 1930; Негберг А., Asphalt u. Allied Substances, L., 1920; Леву-Александр Г., Bitumes et Asphaltes, P., 1920; Журналы: «Teer u. Bitumen», Halle a/S.; «Asphalt u. Teer in Strassenbautechnik» В.; «Zemente», В.

В. Тарарин

**ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯ**, процессы извлечения металлов из руд путем выщелачивания их растворителями с последующим осаждением из растворов, в большинстве случаев в металлическом состоянии и реже в форме химич. соединений. При этом осаждении производятся: 1) цементацией, 2) электролизом, 3) реагентами (в форме химич. соединения), 4) адсорбцией и 5) восстановлением на угле. Г. (мокрый путь извлечения) имеет наибольшее значение для получения следующих металлов: золота, серебра, цинка и ме-

ди. Кроме того Г. применяется при извлечении свинца, платины, никеля и ртути. Свообразные процессы, относимые обычно к области химич. технологии, но по существу являющиеся гидрометаллургическими, применяются 1) при производстве окиси алюминия, перерабатываемой затем путем электролиза с получением чистого алюминия, и 2) при извлечении редких металлов в форме химич. соединений. Растворителями являются растворы солей, к-т и щелочей. В табл. 1 приведены главные употребляемые в

Табл. 1. — Реагенты, употребляемые в гидрометаллургической практике.

Наименование реагентов		Извлекаемые металлы
Соли	Щелочные цианистые соли натрия, калия и цинка $\text{NaCN}$ , $\text{Ca(CN)}_2$ , $\text{KCN}$ . . . . .	Золото, серебро
	Сернистая соль окиси железа $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . . . . .	
	Хлористый натрий $\text{NaCl}$ . . . . .	Серебро, свинец
	Сервоатомистонский натрий $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ . . . . .	Серебро
	Хлорное железо . . . . .	Железо
	Сернистый натрий . . . . .	Ртуть, сурьма
Кислоты	Серная кислота $\text{H}_2\text{SO}_4$ . . . . .	Медь, цинк, никель
	Соляная кислота $\text{HCl}$ . . . . .	Медь, цинк
	Азотная кислота $\text{HNO}_3$ . . . . . Щавелевая кислота $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ . . . . .	Медь Нйобий, колумбий
Едкие щелочные соли	Гидроокись щелочей $\text{NaOH}$ , $\text{KOH}$ . . . . .	Алюминий, тантал
	Угленислые щелочи ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) . . . . .	Алюминий, ванадий
	Гидроокись аммония («аммиачное выщелачивание»), $\text{NH}_4\text{OH}$ . . . . .	Медь
	Угленислый аммоний . . . . . Хлор . . . . .	Медь Золото

практике Г. реагенты и извлекаемые ими металлы. Некоторые металлы (медь, платина) подвергают подготовительным операциям (сульфатизирующий обжиг, хлоризирующий обжиг) и м. б. переведены в форму соединений, растворимых в воде. В этом случае выщелачивание производится водой. Свообразный гидрометаллургический процесс извлечения представляет амальгамация золота, серебра и платины. В этом случае извлекаемые металлы образуют дисперсную систему в жидком металле (ртути). Основой данного процесса является не растворение, а смачивание с последующим образованием химических соединений и твердых растворов, обладающих небольшой растворимостью в ртути (см. Амальгамация). Описание отдельных гидрометаллургич. процессов — см. Гидрометаллургия меди, Золото (металлургия), Серебро (металлургия), Цинк, Ртуть (металлургия), Платина (металлургия), Рафинирование, Цианирование, Цианистый процесс, Хлоринация, Шламы; в настоящей статье рассматривается общая систематика данных процессов и их принципы.

Подготовительные операции к осуществлению гидрометаллургич. процессов состоят в измельчении, обжиге и удалении нежелательных примесей посредством выщелачивания или операций обогащения. Дробление и тонкое измельчение применяются с весьма широкой варьирующей степенью измельчения. Золотые и серебряные руды измельчаются в пределах 28—150 меш. Иногда применяется измельчение

200 меш, а при цианировании концентратов в Мак-Интайр—325 меш. В весьма редких случаях цианирование производится после измельчения на валках до 1 см (Шаста Каунти, Калифорния). Выщелачивание в процессе измельчения применяется гл. обр. при цианировании в шаровых мельницах. В некоторых случаях при этом извлекают до 70% металла (и даже более), содержащегося в руде. Обжиг перед выщелачиванием применяется при гидрометаллургии, извлечении цинка; в последнем случае производится окислительный обжиг при довольно высокой  $t^{\circ}$ . Такой же обжиг применяется к медным сульфидным рудам и иногда при извлечении золота цианированием или же хлоридацией при значительной ассоциации золота с теллуристыми минералами и в более редких случаях — с сульфидами.

Восстановительный обжиг проводится при низких и умеренных  $t^{\circ}$  в атмосфере окиси углерода. Применяется при подготовке к выщелачиванию углекислым аммонием окисленных и силикатных медных руд и при цианировании упорных окисленных серебряных руд.

Хлорирующий обжиг производится в нейтральной атмосфере или в атмосфере хлора в присутствии хлоридов щелочных (или щелочно-земельных) металлов при умеренной  $t^{\circ}$ . В результате его получают хлориды меди, свинца, цинка и серебра. Применяется к сульфидным и в меньшей мере к окисленным рудам. Хлорирующий обжиг применяется при извлечении платины из сульфидных концентратов, а с последующим выщелачиванием раствором поваренной соли в небольшой мере — при обработке свинцово-серебряных руд. Для обжига применяются печи Веджа, Гересгофа, Мак-Дугалла, Холт-Дерна, Скиннера и некоторые другие.

По условиям места, где производится извлечение, можно установить следующее подразделение: 1) выщелачивание в подземных выработках, 2) выщелачивание в кучах, 3) выщелачивание в процессе измельчения, 4) выщелачивание в специальных чанах, 5) выщелачивание в процессе обезвоживания (фильтрация и сгущение), 6) выщелачивание во флотационной машине. Выщелачивание в подземных выработках или в других условиях в зависимости от характера залегания выщелачиваемой массы имеет в настоящее время весьма ограниченное применение как самостоятельный технологический процесс. Метод основан на способности сульфидных минералов, образующих рудное тело, быстро окисляться и образовывать растворимые соли меди. В 1923 г. подземное выщелачивание меди было введено медной компанией Огайо в Юта, где начали выщелачивать большое по размерам рудное тело, содержащее около 38 млн. т разрушенной кварцевой медной руды с 0,3% меди. Выщелачивание в кучах представляет гидрометаллургический процесс, наиболее примитивный по технике своего выполнения (см. *Гидрометаллургия меди*), и имеет весьма значительную давность; он применяется для обработки рудных отвалов, накопившихся на поверхности земли. Выщелачивание в специальных чанах обычно производится по одному из двух следующих методов: 1) обработка путем перемешивания пульпы, представляющей смесь тонкоизмельченной руды с раствором (агитация), 2) циркуляция раствора в условиях просачивания (перколяция) через слой песковой части руды относительно более грубо измельченной, чем твердая часть пульпы (в предыдущем случае).

Факторы, определяющие извлечение в гидрометаллургических процессах, а также условия осуществления их м. б. подразделены след. обр.: 1) состав минеральных зерен, подвергаемых выщелачиванию, размер их, кристаллографическая форма и состояние поверхности, 2) характер ассоциации минеральных зерен с вмещающей породой, 3) условия диффузии в растворе ионов и молекул веществ, являющихся растворителями, 4) концентрация раствора, применяемого для выщелачивания, 5) отношение между весом раствора, употребляемого при выщелачивании, и весом руды, 6) длительность контакта, 7)  $t^{\circ}$ , при которой производится выщелачивание, 8) аэрация, осуществляемая продувкой воздуха, 9) добавочные реагенты, 10) регенерация растворов. Условия диффузии растворителя имеют весьма большое значение в процессе выщелачивания; концентрация его в растворе определяет интенсивность, с которой протекает этот процесс. Совершенно очевидно, что вокруг частиц растворяющегося металла находится прилегающий к ним слой раствора с пониженной концентрацией веществ, расходящихся на процесс растворения. Если концентрация хотя бы одного из этих веществ становится ниже оптимального значения, то процесс растворения замедляется, а при дальнейшем понижении прекращается. Восполнение содержания реагентов в слое раствора, окружающего частицы металла, происходит за счет процессов диффузии из остальной части раствора, не соприкасающейся непосредственно с частицами минералов, взаимодействующих с растворителями. Условия протекания диффузии ионов и молекул растворителей зависят от метода обработки руд. Рассмотрим сначала общие условия диффузии для случая гетерогенных твердых смесей. Скорость реакции для данных случаев гетерогенных систем м. б. выражена формулой

$$\frac{dx}{dt} = D \cdot F \cdot \frac{S-C}{\delta},$$

т. е. количество вещества, реагирующего в единицу времени  $\left(\frac{dx}{dt}\right)$ , пропорционально величине коэф-та диффузии  $D$ , поверхности фазы  $F$  и понижению концентрации растворителя; последнее выражается дробью  $\frac{S-C}{\delta}$ , где  $S$  — концентрация раствора,  $C$  — концентрация слоя, на протяжении которого вокруг частицы происходит диффузия растворителя, и  $\delta$  — толщина последнего слоя. Вне диффузионного слоя концентрация раствора одинакова, а внутри него она падает в направлении к растворяющейся частице. Для коэф-та  $D$  диффузии солей, образующих в растворе два иона, Нернст дает следующее уравнение

$$D = \frac{2u \cdot v}{u+v} \cdot R \cdot T \cdot 10^{-9}.$$

Скорость движения катионов  $u$  и анионов  $v$  зависит от внутреннего трения раствора, которое определяется вязкостью чистого растворителя и присутствием в нем веществ, находящихся в растворенном состоянии или образующих дисперсную систему. Согласно закону Вальдена сумма скоростей движения ионов обратно пропорциональна вязкости  $\eta$

$$L_{\infty} = u + v = \frac{\sigma}{\eta}.$$

Из последних двух уравнений видно, что коэф. диффузии электролита и следовательно скорость реакции, происходящей в гетерогенной системе,

уменьшается соответственно увеличению внутреннего трения раствора. Для неэлектролитов (например для кислорода при цианировании) по исследованиям Euler и Hedelius коэф. диффузии также зависит от вязкости. Наряду с этим происходит падение концентрации газообразных веществ, растворяющихся в растворе. Молекулярное понижение растворимости определяется из уравнения

$$k = \frac{\eta_0 - \eta}{\eta_0 \cdot \eta}$$

где  $\eta_0$  и  $\eta$  обозначают растворимость в воде и в растворе соли и  $\eta$  концентрация соли. В еще большей степени, чем растворенные вещества, на свойства рабочего раствора влияют тончайшие частички руды, находящиеся во взвешенном состоянии. Присутствие большого количества суспендированных в растворе частиц, из которых большая часть настолько мала, что проходит через поры фильтра, значительно повышает вязкость раствора и больше влияет на понижение скорости диффузии и растворимости газов, чем присутствие растворенных солей.

Концентрация раствора определяется составом обрабатываемой руды и применяемым для этого растворителем. Выбор концентрации раствора зависит от необходимой для процесса скорости растворения, от характеристики измельчения (определяющей соотношение классов измельченной руды) и ряда других ус-

ловия обычные концентрации растворов, употребляемых при выщелачивании.

Промывка и фильтрация. По окончании выщелачивания производится отделение раствора от твердой части и отмывка растворенного вещества от последней. Иногда стадия обезвоживания и промывки совмещается с выщелачиванием вещества, остающегося нерастворенным. В случае перколяции золотых руд для промывки применяют средние и слабые растворы и чистую воду; при этом общее количество всех растворов находится в пределах от 100 до 200% по отношению к обрабатываемому материалу. В случае последовательной перколяции в нескольких чанах снижают количество растворов до 60% (Хомстек). В случае равномерного прохождения раствора через перколируемый материал при условии, что скорость диффузии и конвекции не выше скорости перколяции, содержание металла в хвостах после промывки устанавливается по ф-ле

$$x = \frac{ab + cd}{b + d}$$

где  $a$  — содержание металла в растворе после операции, предшествующей данной промывке,  $c$  — содержание металла в промывной жидкости,  $b$  и  $d$  — соответствующие объемы растворов. Содержание металла в хвостах после выщелачивания обычно выше вследствие неравномерного прощелачивания раствора. Количество частей промывной воды, вводимой в процесс, обычно соответствует потерям: 1) с хвостами при выгрузке в отвал, 2) вследствие утечки, 3) испарения; в противном случае происходит накопление на заводе излишних растворов. Отделение растворов от илов производится в начальной стадии сгущением. В окончательной стадии отделения растворов и промывки илов производится:

1) декантацией, 2) фильтрацией, 3) непрерывной противоточной декантацией и 4) повторной фильтрацией с промежуточной репульсацией (см. Золото, Металлургия).

Осаждение металлов из растворов после выщелачивания и я. После полного осветления (в специальных аппаратах) растворы поступают на осаждение из них металлов; последнее осуществляется одним из следующих методов: 1) путем простой цементации, 2) путем цементации с одновременным выделением водорода с целью создания восстановительных условий среды, 3) путем получения нерастворимых соединений, 4) электролитич. путем, 5) путем разложения нагреванием, 6) адсорбцией, 7) восстановлением. Применение указанных принципов к различным металлам и характер применяемых реагентов даны в табл. 3.

Электролитич. осаждение представляет обычный метод осаждения в Г. меди и цинка; оно дает возможность одновременно с осаждением регенерировать растворитель. Условия электролитич. осаждения определяются следующими факторами: 1) потенциал, 2) плотность тока, 3)  $t^2$ , 4) концентрация основных компонентов раствора, 5) ско-

Табл. 2. — Концентрация растворов при выщелачивании.

Извлекаемый металл	Вид процесса	Растворитель	Концентрация, %
Золото	Перколяция песков . . . . .	NaCN	0,10—0,15
		NaCN	0,03—0,06
Серебро	Перколяция песков . . . . .	NaCN	0,10—0,30
		NaCN	0,05—0,15
Золото и серебро	Цианирование концентратов . . . . .	NaCN	0,1—0,75
		NaCN	
Медь	Перколяция неклассифицированной измельченной руды	NaCN	2,00—10,00
		NaCN	
" "	Выщелачивание илов агитацией . . . . .	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,00
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
" "	Выщелачивание в Инспрейшен . . . . .	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1,00
		Общее железо	1,50—2,50
" "	Аммиачное выщелачивание по песковому процессу . . . . .	NH <sub>3</sub>	1,25—5,00
		CO <sub>2</sub>	1,25—5,00
Цинк	Агитация по схеме двойного выщелачивания: нейтральное . . . . .	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,50—5,00
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5,00—15,00
" "	Выщелачивание по процессу Тентона . . . . .	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	28,00—30,00
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	

ловий осуществления технологии, процесса. Как правило повышение концентрации раствора увеличивает до известного предела скорость растворения. В случае извлечения золота и серебра цианированием этот предел достигается при довольно низких концентрациях (от 0,25 до 0,4% NaCN). При выщелачивании меди серной к-той повышение концентрации раствора к-ты давало бы больший эффект, если бы не происходило взаимодействия ее с другими составными частями руды (растворение щелочно-земельных карбонатов, железа, глинозема и др.). В случае употребления для выщелачивания меди кислотных растворов сернокислой соли окиси железа концентрация последней выше 1% понижает использование тока при осаждении электролизом. При выщелачивании обожженных цинковых концентратов переход в раствор кремневой кислоты и железа улучшает фильтрование и предохраняет анод от образования на нем корки. В табл. 2 приве-

рость протекания раствора через осадительные ванны, б) состав анодов и катодов. Теоретич. количество металла, осаждаемое током, выражается ф-лой

$$W = \frac{0,0104 I \cdot w}{v},$$

где  $I$  — сила тока,  $w$  — ат. в. осаждаемого металла и  $v$  — валентность металла. Использова-

ние тока определяется отношением количества фактически осажденного металла к теоретическому. Плотность тока определяет характер осадка. При осаждении меди из серноокислых растворов плотность тока равна 85—110  $A/m^2$ , при осаждении цинка из растворов с 3,5—7,5% серной к-ты она равна 210—330  $A/m^2$ . В случае метода Тентона (22—27% серной к-ты) при  $t^\circ 60^\circ$  применяется плотность тока выше 1000  $A/m^2$ . Вольтаж зависит от состава раствора, расстояния между электродами и от состава их. При средних условиях осаждения меди падение вольтажа между соседними электродами равно 2 В. При электролизе цинка на з-де Трейл—3,9 В. Состав растворов определяет эффективность процесса осаждения. Последний весьма затрудняется в присутствии примесей: серноокислой окиси железа (растворяет осажденную медь), мышьяка, сурьмы и кобальта (понижают использование тока при осаждении цинка). Характер образующегося осадка ухудшается в присутствии взвешенных веществ; кроме того осадок меди ухудшается при избытке железа, осадок цинка — в результате присутствия железа, ванадия, кобальта, никеля, мышьяка и сурьмы. Добавки нек-рых коллоидов (напр. желатина) улучшают условия электролиза, способствуют образованию плотного осадка при высокой плотности тока. Очистка растворов упрощается для периодич. удаления примесей, затрудняющих процесс осаждения или понижающих активность растворов.

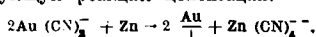
Осаждение путем цементации с одновременным выделением водорода для создания восстановительных условий среды применяется для осаждения металлов, растворяющихся в присутствии кислорода. На практике этот случай имеет значительное применение для оса-

ждения золота и серебра из цианистых растворов. В результате разложения комплексной соли (см. *Золото, Металлургия*) происходит осаждение металлич. золота и растворение цинка в виде цианистого комплекса. При этом на катоде выделяется водород, поларизующий его поверхность. Влиние поларизации в значительной степени устраняется созданием рылового осадка свинца на поверхности цинка, что легко дости-

Табл. 3.—Осаждение металлов в гидрометаллургических процессах.

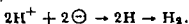
Вид осаждения	Осадитель	Осаждаемые металлы	Условия осаждения
I. Осаждение простой цементацией	Железо и чугун в форме: 1) лома, 2) гранулированного, 3) губчатого	Медь	На серноокислых растворах в желобах, чанах и баках. Расход лома и гранулированного 5,5—10 $kg/kg$ меди. Расход губчатого железа 1,5—1,75 $kg/kg$ меди
	Алюминий	Свинец	В желобах, чанах и баках из растворов NaCl (губчатым железом)
II. Осаждение путем цементации с одновременным выделением водорода для создания восстановительных условий среды	Цинк	Золото и серебро	1. Осаждение металлич. пылью путем перемешивания (сприятельным выделением кислорода на т-туре) 2. Осаждение путем прощаживания через стружку в экстракторах
	Алюминий	Серебро	Агитация с металлич. пылью
III. Осаждение путем получения нерастворимых соединений	Сернистый натрий	Серебро	Из цианистых растворов
IV. Электролитич. осаждение	Электролиз с нерастворимыми анодами	Медь и цинк из серноокислых растворов (золото и серебро из цианистых растворов редко) Свинец (ртуть и сурьма — в стадии лабор. исследований)	Регенерация растворителя (в процессе электролиза) На катоде: 1) плотный осадок в случае меди и цинка, 2) чешуйки и кристаллы в случае свинца, золота и серебра Из раствора $Na_2S$ . Ванна с диафрагмой
V. Осаждение нагреванием с разложением химич. соединений	Перегретый водяной пар	Медь	Из аммиачных растворов
VI. Осаждение адсорбцией	Древесный уголь	Золото, серебро	Из цианистых растворов углем, порошком и кусками
VII. Осаждение восстановлением	Древ. опилки и другие отбросы в автоклавах	Медь	При нагревании и высоком давлении
	Уголь, сернистый газ, сернокислое закисное железо	Золото	Из раствора хлорного золота после выщелачивания хлоринацией

гается освинцовыванием его при действии уксусноокислой соли  $(Pb(CN)_2CO_2)$ . Комплексный анион, встречающийся с поверхностью цинка, вступает в следующую реакцию цементации:

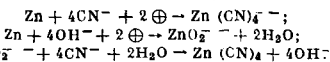


На поверхности другого элемента пары, которым обычно является свинец, происходит в результате растворения цинка в цианиде и щелочи

восстановление водорода, так как потенциал восстановления последнего значительно ниже, чем натрия (или другого металла, образующего комплексную соль).



Водород в момент восстановления связывает кислород, если последний присутствует в растворе, а избыток его выделяется на поверхности цинка. Выделение водорода в результате реакции растворения (в известных пределах) имеет большое значение, т. к. он связывает кислород, поступающий с растворами или поглощаемый ими в течение процесса осаждения (особенно в экстракторах), и этим не допускает растворения золота (к-рое сделалось бы возможным в присутствии кислорода), а также окисления цинковой стружки. Соответственно реакции восстановления водорода на поверхности анода происходит растворение цинка, вызывающее переход его в раствор в форме комплекса или сначала в форме цинкнат-иона, к-рый затем переходит в ион цианистого комплекса согласно ф-лам:



Обработка и плавка осадка. Дальнейшая обработка продукта, полученного в результате осаждения, производится различными способами в зависимости от состава осадка. Детальное описание этих способов приводится в статьях по металлургии соответствующих металлов. Сводка основных методов обработки осадков приводится в табл. 4.

Табл. 4. — Обработка осадков, полученных в результате гидрометаллургических процессов.

Металл	Характер осадка	Метод обработки и плавки
Цинк	Крупнокристовый металл Сирп	Плавка в отражательной печи
		Плавка в закрытых графитовых тиглях
Медь	Катод (из сервнистойной реакции) Оксид меди (из аммиачного процесса)	Отправляются на медерافیровочные э-ды для переплавки в отражательных печах и отливки в вафербарсы
Золото и серебро	Осадки из аппаратов Меррилла-Кроу и из экстракторов	Обработка серной к-той, сушка с прокаливанием и плавка или с флюсами или путем растворения после связывания со свинцом
То же	Амальгама после отжимки	Отгонка ртути в ретортах и плавка с флюсами

Лит.: Кемпбелл, Гидрометаллургия цветных металлов, М., 1934; Плагксин И. и Сустанов В., Гидрометаллургические методы обработки медистых песчаников Урала, М., 1931; Плагксин И., Металлургия золота, серебра и платины, ч. 1, М.—Л., 1935; Плагксин И. и Фишнова Ц., Гидрометаллургия ртутных руд и концентратов, М.—Л., 1932; Барбосов Н. и др., Гидрометаллургия цинка и меди, Свердловск, 1934; Юханов Д., Медные гидрометаллургические заводы США, М., 1932; Макаевский Г., Электротехническое получение цинка из руд в Америке, Л., 1929; Раэлюсон, Электролитическое осаждение и гидрометаллургия цинка, М., 1932; Таггарт А., Справочник по обогащению полезных ископаемых, Гл. Гидрометаллургия, пер. Масленкина, под ред. Белоголова, пер. с англ., т. 2, М.—Л.—Новосибирск, 1933; Эткин и Хэд В., Теория и практика цинкового электролитического процесса, пер. с англ., М.—Л., 1933; Дерначев Д., Гидрометаллургия меди, окисленных руд Конгас-Днартасского месторождения, М.—Л.,

1932; Ги про р е т м е т, Материалы по электролитургии цинка по способу Грей-Фолла и Ананода, М., 1931; также, Материалы по электролитургии цинка по способу Тентона, под редакцией Г. Макаевского, М., 1934; также, Материалы по электролитургии цинка, под ред. Г. Макаевского, М., 1934; Агесников В., Гидрометаллургия руд Ваур-Уанна, М.—Л., 1932; Аветисян Х., Изучение процесса выщелачивания сульфидных медных минералов сернистой кислотой жидкой, «Металлургия», 1933, № 1, стр. 10; Юханов Д., Успехи электролитургии меди за последние годы, «Тех.-инж. вестн.», М., 1924, № 1, стр. 786; Асесев Н. и др., Опыт гидрометаллургической обработки пермских медистых песчаников, «Цветные металлы», М., 1930, 2; Цейдлер А., Осаждение меди иелевным скралом в Каппертове, «Металлургия», Л., 1931, 1; Лидделл Д., Handbook of Non-Ferrous Metallurgy, v. «2», N. 2, 1928, P. 114; Lehrbuch d. Metallkunde, B. 1—2, Lpz., 1926—27; Greenwall W., The Hydrometallurgy of Copper, N. Y., 1912; Liddell D. A. Doan, Principles of Metallurgy, N. Y., 1932; Hayward, Outline of Metallurgical Practice, N. Y., 1929; Sullivan J. C., Chemistry of Leaching Chalcoite, «Bur. of Mines», Techn. Pap., Wash., 1931; Sullivan J. C., Chemistry of Leaching Sphalinite, ibid., 1930, 487; Sullivan J. C., Chemistry of Leaching Bornite, ibid., 1931, 486; Keyes H., Innovation in Copper Leaching, ibid., 1929, 24; Sullivan J. C., Factors Involved in the Heap Leaching of Copper Ores, «Bur. of Mines», 1930, 322; Sullivan J. C. Oldright G., The Dissolution of Cuprite in Sulphuric Acid in a Ferric Sulfate Solution, «Bull. of Min. a. Metall. Eng.», 1927, 1927; Sullivan J. C., Bayard K., Extraction of Soluble Copper from Ores in Leaching by Percolation, ibid., Infr. Circ., Wash., 1931, 3073; Bell G., Leaching Practice a. Costs at the New Cornelia Mines, ibid., 1930, 6303; Oldright a. others, Precip. of Lead a. Copper from Solution, «Bur. of Mines», Wash., 1928, 247; Schott A., Die Verarbeitung Kupfererz, Kalk, und Magnesiahaltiger Erz, a. Met. u. Metall. u. Erz, Halle a/S., 1922, H. 4, 5, 6; Benedict C. A., Kennen H., Ammonia Leaching of Calumet a. Hecla Fallings, «Trans. of the Amer. Inst. of Min. a. Metall. Eng.», 1924, 1927; Schott A., Die Ammoniakleaching von Kupfererz, «Metall u. Erz», Halle a/S., 1927, 331, H. 14; Duggan J., Flotation a. Leaching of Copper Ores at Kennicott Alaska, «Eng. a. Min. a. Metall. Eng.», 1932, 1932; Schott A., W., Leaching Mixed Oxide a. Sulphide Copper Ores at Inspiration, ibid., 1929, Oct., Oldright H. a. Scott W., Slime Treatment a. Electrolytic Precipitation at Inspiration, ibid., 1929, Oct.; Keyes H., Development of a Copper Extraction Process, ibid., 1929, 14 [Литература по гидрометаллургии благородных металлов см. в статьях Золото, Металлургия, Платина, Медь, Серебро, Металлы Цинкования, Цинк и Истия и процессы; Хлоринация; Шаим; Амальгамация (Дополнительный том); Гидрометаллургия меди; Цинк; Ртуть].

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПЛАНОВАЯ КОМИССИЯ (ГОСПЛАН) СССР.** В пятом томе ТЭ изложена история развития плановой системы Союза ССР, как она сложилась преимущественно в течение восстановительного периода. Переход к широкой социалистич. реконструкции нашего народного хозяйства обнаружил недостаточность прежних форм планирования и имел своим последствием реорганизацию системы Госплана. В начальный период реконструкции в составе ответственных и отчасти руководящих сотрудников Госплана образовалась контрольно-оценочная группа вредителей из числа буржуазно-меньшевицких, эсеровских и калесных специалистов. Эти тогда еще неработающие вредители подчинили своему влиянию работавших в отдельных звеньях аппарата коммунистов, скатившихся к правому оппортунизму, и пытались проводить через разные инстанции мероприятия, направленные к расширению и укреплению капиталистич. элементов в городе и особенно в сельском хозяйстве, и затормозить темпы и успехи социалистич. строительства.

Развернутое социалистич. наступление на капиталистич. элементы по всему фронту и построение фундамента социалистич. экономики в период первой пятилетки вызвали необходимость реорганизации Госплана и перестройки его плановой работы. В этой перестройке решающую роль сыграли указания XV съезда партии и Т. Сталина, подчеркивавшего в своем докладе на съезде: «Наши

планы есть не планы-прогнозы, не планы-догадки, а планы-директивы, которые обязательны для руководящих органов и которые определяют направление высшего хозяйственного развития в будущем, в масштабе всей страны» [XV съезд ВКП(б), stenographic. отчет, стр. 67]. Ряд последующих указаний т. Сталина обеспечил планированию массовую основу и сделал его одной из сильнейших движущих пружин всего социалистического строительства. Такие сталинские указания, как: «настоящее плановое руководство развертывается лишь после составления плана», или «всякий план есть лишь первое приближение, к-рое надо уточнить и исправлять на основе практического опыта его проведения», или «производственный план есть живая и практическая деятельность миллионов людей» — навсегда останутся основами социалистического планирования.

Плановая система в СССР опирается на плановые ячейки, имеющиеся на каждом предприятии. В отраслевом разрезе эти плановые ячейки подчиняются вышестоящим органам; в конечном счете их работа регулируется плановыми управлениями наркоматов. Территориально нижней плановой единицей являются райпланы; к концу 1934 г. в ряде областей начали создаваться сельпланы. Вся плановая система несмотря на то, что административно не связана в один организм, представляет собой одно целое. В этом отношении огромную роль играют методологич. указания и лимиты, разрабатываемые в Госплане СССР. В 1934 г. Госплан СССР сделал в этой области большой шаг вперед. Вместо отдельных спорадических указаний Госплан разработал в 1934 г. общую систему форм, показателей и методологии составления всего народнохозяйственного плана на 1935 г. как по республикам, так и по каждой отрасли хозяйства. Эти указания во многом упростили и дисциплинировали всю работу над составлением плана 1935 г. (изданы отдельной книгой).

После составления плана второй пятилетки вопросы методологии планирования получили в Госплане особо тщательную разработку. Этому в значительной мере способствовали и реорганизация Госплана в 1930 г. и укрепление плановой системы новыми кадрами. В 1930 г. партийно-комсомольская прослойка в аппарате Госплана составляла 24,2%. К концу 1932 г. этот процент поднялся до 68,4. Обновление аппарата увеличило не только удельный вес партийного ядра, но и в значительной мере увеличило и инженерно-технич. прослойку. В настоящее время в составе номенклатурных работников Госплана инженеры, консультанты, агрономы и врачи составляют 25,9%, экономисты — 33,4%. В несколько меньшей степени, но все же в достаточно больших размерах было проведено укрепление аппарата всей плановой системы. Чрезвычайно большую помощь оказали в этом созданные в последние годы плановые учебные заведения. В 1930 г. в Москве и Ленинграде было создано два первых плановых ин-та. Сейчас плановые ин-ты имеются в Москве, Ленинграде, Харькове, Новосибирске, Самаре, Минске и Самарканде; кроме того в Баку, Тифлисе, Эривани и Воронеже при соц.-экономич. вузах имеются плановые факультеты. Для подготовки руководящего состава плановых работников в 1931 г. в Москве создана Плановая академия. За 1930—1934 гг. плановыми вузами союзного подчинения было выпущено почти 2 тыс. чел. Новый набор в эти плановые вузы в 1934 г. составил ок. 1200 чел.

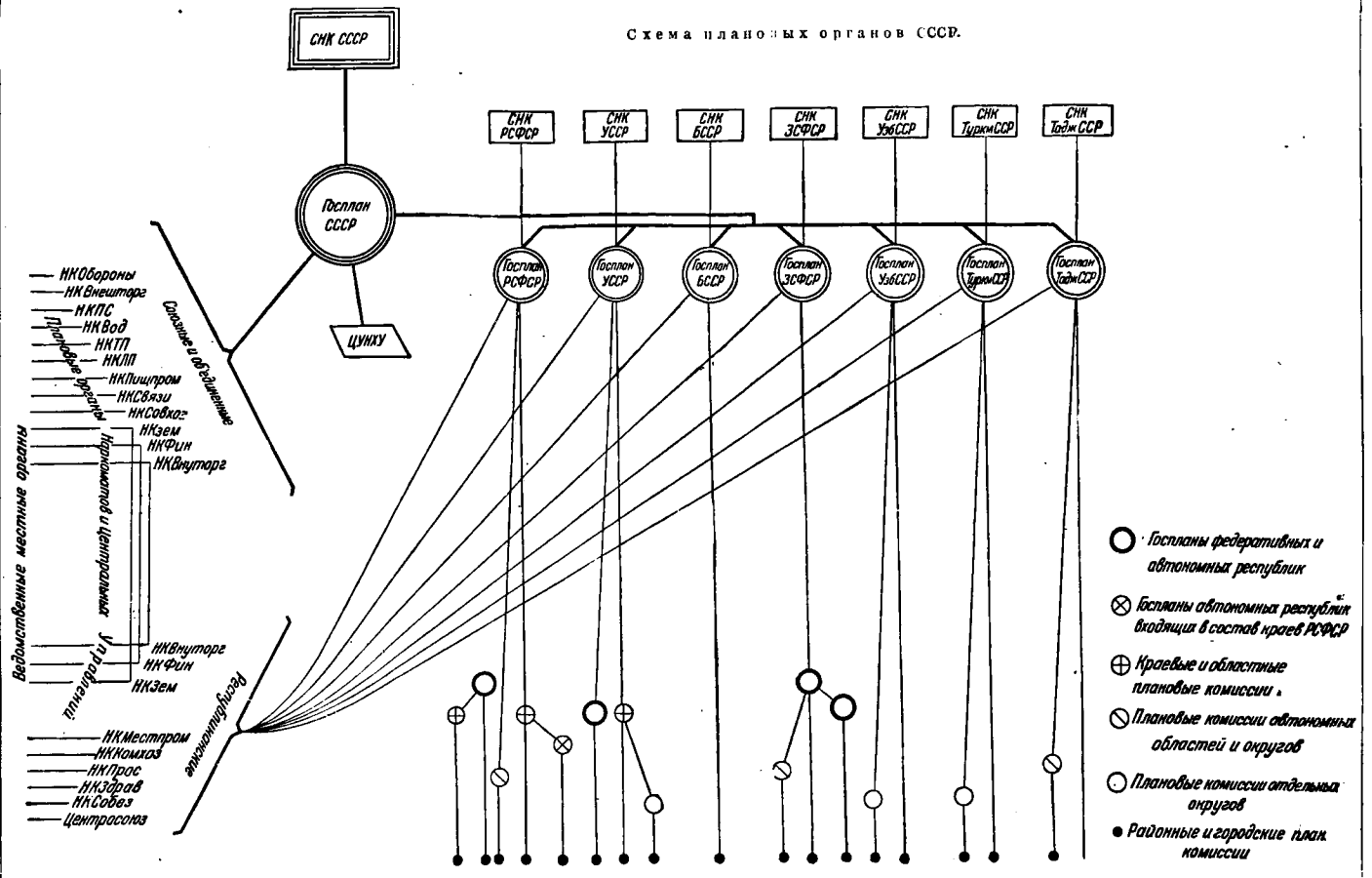
Структура Госплана, изложенная в V т. ТЭ, подверглась в последующие годы решительному преобразованию. Коренная реорганизация Госплана была проведена в 1930 г., когда было создано девять секторов: 1) производственный, 2) энергетич., 3) строительств., 4) обращения, 5) труда, культуры и науки, 6) реконструкции районов, 7) экономико-статистический, 8) оборон. и 9) организационный. В основном эта структура сохранилась и в последующие годы с небольшими изменениями. Наиболее существенным изменением было преобразование экономико-статистического сектора в Центральное управление народнохозяйственного учета (ЦУНХУ). Однако уже к 1934 г. стало очевидно, что такая структура не отвечает новым условиям хозяйственного развития. Система планирования была насквозь проникнута функциональностью. Это заметно сказывалось на плановой работе Госплана и в еще большей степени на плановой работе ведомств (НКЗ, НКСовхозов, НКЛегпром и др.). Особенно неудовлетворительно было поставлено планирование животноводства, причем планы поголовья скота, кормовой базы, капиталовложений и кадров были не согласованы между собой. Потребовалось в 1934 г. специальное постановление ЦК партии об организации работ над единым комплексным планом животноводства, чтобы выправить это положение.

На протяжении 1934 г. перестройка работы Госплана была направлена в основном к одной цели — ликвидации функционалки и к переходу от функционального планирования к комплексному. Такие вопросы, как труд и быт, цены, себестоимость, финансы, технич. политика, кадры, не входившие ранее в сферу работы производственных секторов, теперь стали органич. частью их работы. В соответствии с перестройкой работы Госплана постановлением ЦИК и СНК СССР от 5 апреля 1935 г. была реорганизована и структура аппарата Госплана. Согласно новой структуре в составе Госплана организованы отделы синтетич. планирования и отделы, планирующие отдельные отрасли народного хозяйства. В отделе синтетического планирования разрабатываются соответствующие разделы единого народнохозяйственного плана, основные межотраслевые и межрайонные проблемы народного хозяйства и вопросы методологии планирования. Всего в Госплане организовано 5 отделов синтетического планирования: 1) сводный отдел производства (с секторами: экономии и технич. производства); 2) отдел капитальных работ (с секторами: сводного плана капитальных работ, строительной индустрии и гидротехнич. строительств.); 3) отдел районного планирования; 4) отдел материальных балансов и снабжения материалами и 5) отдел финансового плана (с секторами: финансовой политики, бюджета и народного дохода). Отдел районного планирования делится на сектора, охватывающие группы областей СССР. Так например, сектор южных районов охватывает Украину, Крым, Курскую и Воронежскую области, Азово-Черноморский и Северокавказский края. Сектор северных районов охватывает Северный край, Якутскую АССР и территорию Гл. управления Северного морского пути.

Планирование отдельных отраслей народного хозяйства организовано в следующих 16 отделах: 1) топливно-энергетический, 2) горной и металлургич. пром-сти, 3) машиностроительной пром-сти, 4) химич. пром-сти, 5) лесной пром-сти, 6) легкой пром-сти, 7) пищевой пром-сти, 8) местной пром-сти и промкооперации, 9) сельского



Схема плановых органов СССР.



ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПЛАНОВАЯ КОМИССИЯ (ГОСПЛАН) СССР

хозяйства, 10) совхозов, 11) ж.-д. транспорта, 12) водного транспорта, 13) товарооборота, 14) внешней торговли, 15) культуры и 16) жилищно-коммунального хозяйства. Помимо этого в Госплане организованы самостоятельные секторы: 1) обороны, 2) труда и кадров, 3) стройматериалов, 4) автотранспорта и авиационного транспорта, 5) связи, 6) здравоохранения, 7) подготовки плановых кадров. Одновременно был ликвидирован президиум Госплана. Вместо президиума при председателе Госплана организована плановая комиссия в составе 76 чел. Члены комиссии назначаются СНК СССР из руководящих работников Госплана и местных плановых комиссий, а также деятелей науки, техники и культуры независимо от их участия в работе отдельных ведомств и учреждений. Проведенная организационная перестройка Госплана обеспечивает усиление синтетич. планирования и методологич. руководства плановыми органами на местах и более глубокий и всесторонний охват отраслей социалистич. хозяйства.

Система работы Госплана опирается на широчайшее использование материалов ведомств и мест. Приступая к составлению годового плана, Госплан разрабатывает ориентировочные лимиты по производству, капиталовложениям и другим основным показателям по отдельным отраслям хозяйства и республикам. Эти лимиты, формы планов и методологич. указания рассылаются ведомствам и республиканским Госпланам. Разработка полученных лимитов сочетается с разработками планов на предприятиях и в районах на основе тщательного анализа выполнения плана в текущем году и учета имеющихся резервов. В IV квартале планы ведомств и республик поступают в Госплан СССР в окончательном виде, после чего происходит согласование их между собой и составляется единый народнохозяйственный план по всему Союзу. Наряду с перспективным планированием на Госплан возложен ряд крупных заданий по текущему оперативному планированию. Так, постановлением СНК СССР от 10 июня 1934 г. Госплану поручено составление годовых и квартальных балансов и планов распределения материалов для строительства и производства. Госплан помимо этого дает заключения по строительным сметам, по проектам крупнейших сооружений, участвует в районной планировке и т. д.

Приведенная выше схема построения плановой системы показывает в общих чертах взаимоотношения между Госпланом СССР и плановыми органами республик и ведомств. Как видно из схемы, Госплан, будучи непосредственно подчинен СНК СССР, осуществляет методологическое руководство госпланами союзных республик. Административно же республиканские госпланы подчинены своим совнаркомам. Непосредственное руководство всей работой по контролю над выполнением плана и всей системой учета осуществляет Центральное управление народнохозяйственного учета (ЦУНХУ) Госплана СССР. В отличие от плановой системы, которая административно не подчинена Госплану Союза, вся система учета строго централизована и подчиняется ЦУНХУ. Система ЦУНХУ при Госплане СССР помимо текущего учета проводит ряд крупнейших работ по специальным заданиям правительства. К их числу нужно отнести переписи скота, переписи промышленных предприятий, переписи оборудования, переписи населения и т. д. Чрезвычайно большое значение имеет проведенное ЦУНХУ в 1934 г. сокращение отчет-

ности. В ряде отраслей промышленности отчетность сокращена на 40—80%. Основное внимание ЦУНХУ направлено на укрепление лизового учета, для чего на основе специального постановления правительства организованы учетные инспектуры. Одновременно ЦУНХУ проводит ряд больших методологич. работ в области синтетических расчетов. В частности разработана методология баланса спроса и предложений, народного дохода и его перераспределения (по физич. объему). Широко поставлены бюджетные обследования рабочих, колхозников и служащих. При Госплане имеется специальный Ин-т экономич. исследований, занимающийся разработкой проблем методологич. планирования второй пятилетки, экономики капиталистич. стран и др.

Лит.: Стал и И. Вопросы ленинизма, 19 изд., М., 1933; К у и б и ш е в В. Десять лет Госплана СССР, «План», 1935, 2—3; его же, Об организации планирования, «План», 1935, 2—3, 1936, 4; Струмилин С., Проблемы планирования, Л., 1932. А. Айзенберг.

**ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ**, репродуктор, электроакустич. аппарат для воспроизведения звука в данном помещении или на открытом пространстве. Воспроизведение осуществляется путем преобразования энергии подводимого к Г. тока звуковой частоты в энергию звукового излучения. Г. является последним звеном в цепи звуковоспроизводящих аппаратов. Г. имеют ряд различных применений, определяющих различные требования технического и эксплуатационного порядка. Главнейшие области применения Г.: 1) звуковое кино, 2) воспроизведение граммофонной записи (для замены оркестра в общественных местах), 3) индивидуальные и коллективные радиоприемные установки, 4) городская трансляционная сеть (т. е. установленные на улицах и площадях), 5) информационная служба (напр. на вокзалах), 6) специальные виды телефонной связи (например диспетчерская), 7) обслуживание парадов, демонстраций, физкультурных праздников и т. п., 8) особые случаи непосредственной передачи речи на значительные расстояния, 9) использование в качестве источника звука для исследовательских целей, 10) использование в качестве источника звука в *электромузыкальных инструментах* (см.), 11) усиление речи ораторов. Звукоизлучатели, дающие какой-либо особый звук, напр. постоянный тон той или иной высоты, служащий для подачи звуковых сигналов, не являются Г. в обычном понимании этого термина и здесь не рассматриваются.

Попытки построить громкоговорящий телефон делались задолго до изобретения электронной лампы. В виду того что мощность телефонных токов безусловно недостаточна для получения значительного звукового эффекта, изобретательская мысль естественно обращалась к принципу «вентиля», т. е. к идее управления некоторым достаточно мощным источником энергии посредством маломощных телефонных токов. Наиболее интересное воплощение эта идея получила в т. н. пневматическом Г. и в Г., основанном на эффекте Ионсона-Раабка. В пневматич. Г. (напр. Г. сист. Гувенера) вытекающая из отверстия струя сжатого воздуха (или вообще какого-либо газа под давлением больше атмосферного) модулируется слабыми телефонными токами, для чего выходное отверстие снабжено заслонкой, управляемой электромагнитным устройством, питаемым телефонными токами. Т. о. мощность последнего расходуется только на движение заслонки, звук же создается за счет энергии сжатого воздуха. В Г., основанном на эффекте Ионсона-Раабка, имеется две трудящиеся части

металлич. лента и охватываемый ею вращающийся барабан из полупроводника. Лента связана с излучающим органом — диафрагмой того или иного устройства, которая все время натянута силой, равной силе трения между лентой и цилиндром. При приложении к ленте и цилиндру некоторой разности потенциалов возникает сила, принимающая ленту к цилиндру, вследствие чего изменяется сила трения, а следовательно и сила, действующая на диафрагму. Под действием изменяющейся силы диафрагма приходит в движение, соответствующее изменению разности потенциалов между лентой и цилиндром. Расход мощности в цепи телефонного тока (лента-цилиндр) ничтожен; звук создается за счет энергии двигателя, вращающего цилиндр. Недостатками обеих описанных систем являются: 1) наличие постоянного шумового фона (свист истекающей струи в первой системе и шум от трения ленты о цилиндр — во второй) и 2) громоздкость вспомогательного оборудования. Пневматич. Г. не потерял своего значения до сих пор времени и применяется в специальных случаях.

С изобретением *электронной лампы* (см.) и развитием усилительной техники развитие Г. направилось исключительно по линии разработки электромеханич. устройств. Первым образцом Г. был электромагнитный телефон обычного устройства, но более солидной конструкции, снабженный *рупором* (см.). Применение рупоров известно с незапамятных времен, а потому естественно было воспользоваться этим простым прибором и для Г. Однако качество рупорного Г. в виде телефона оказалось весьма низким, и он быстро уступил свое место т. н. диффузорным Г., в которых роль звукоизлучателя играет относительно большая диафрагма, выполняемая в виде бумажного конуса. Диффузорные Г. с электромагнитными механизмами довольно долго держались на рынке, не утратив своего значения и до сих пор. Самый механизм, т. е. движущий орган, претерпел значительные видоизменения, сводившиеся к его улучшению, гл. обр. в отношении повышения чувствительности. Однако диффузорные электромагнитные Г. не смогли удовлетворить быстро повышающимся требованиям, и на смену им явился т. н. *электродинамический* (правильнее — *магнитноэлектрический*) диффузорный Г. (США). Появление этого типа (1924) знаменует определенный этап развития Г. не только потому, что он является весьма удовлетворительным и с современной точки зрения, но и вследствие того, что при разработке его впервые были отчетливо поставлены технич. требования к Г. и указаны пути к их удовлетворению [1]. Электродинамич. Г. отличается от электромагнитного тем, что диффузор его приводится в движение подвижной катушкой (англ. термин «moving coil»), расположенной в сильном постоянном магнитном поле. Это различие обуславливает ряд важных технич. преимуществ электродинамич. Г. Одновременно появились т. н. *блаттхаллеры* (Германия, 1924) [2], т. е. электродинамические Г. с большим плоским диффузором, приводимым в движение зигзагообразным проводником, скрепленным с диффузором по всей своей длине и расположенным в магнитном поле. Этот тип замечатель гл. обр. тем, что м. б. построен для очень больших мощностей. Несколько позже появились Г., напоминающие блаттхаллер, но отличающиеся наличием лишь одного прямого проводника, проходящего по середине удлиненного прямоугольного диффузора волнистой конструк-

ции (Riffellautsprecher). В течение ряда лет диффузорные электродинамические Г. имели исключительное применение; сохранившиеся модели электромагнитных Г. удержались на рынке исключительно вследствие дешевизны. При всех своих достоинствах электродинамич. Г. во-первых, значительно дороже электромагнитных, а во-вторых, требовали источника постоянного тока для питания обмотки возбуждения. Поэтому делались неоднократные попытки заменить электромагнит постоянным магнитом. Эта задача не так давно успешно разрешена (Англия, 1930), и электродинамич. Г. с постоянными магнитами получили широкое распространение. Дешевизна электромагнитных Г. заставляла все время изыскивать пути его принципиального улучшения при сохранении его достоинств. Такие пути намелись с появлением т. наз. «системы с неограниченной амплитудой», вышедшей в виде промышленного образца ок. 1929 г. (Америка) [3]. Этот тип Г., известных под названием и *н д у к т о р н ы х*, мог бы в ряде случаев конкурировать с электродинамич. Г. в отношении качества. Рупорные Г. также эволюционировали. Около 1928 г. (Америка) [4] была разработана модель электродинамич. рупорного Г., отвечающая весьма высоким требованиям как в качественном отношении, так и в отношении высокого КПД, превышающего КПД диффузорных Г. раз в десять. С появлением этого образца была восстановлена репутация рупора, скомпрометированного в самых первых образцах Г. К недостаткам этого типа Г. следует отнести лишь большие габариты, затрудняющие в ряде случаев их применение.

В течение ряда лет производились также разработка *электростатических Г.*, основанных на явлении электростатич. притяжения под действием приложенной разности потенциалов двух пластин, из к-рых одна подвижная и служит звукоизлучающим органом. Две промышленные модели электростатич. Г. появились в 1929 г. (Америка) [5] и 1931 г. (Германия) [6]. Однако распространения они не получили. За самое последнее время в связи с предельно высокими требованиями к качеству воспроизведения выяснилось, что удовлетворить этим требованиям посредством одного единственного Г. не представляется возможным. В частности затруднение заключается в воспроизведении наиболее высоких звуков. Это затруднение преодолевается в настоящее время т. н. *комбинированными Г.*, в к-рых в одно целое соединены не менее двух Г.: один — нормального типа, второй — специально предназначенный для воспроизведения наиболее высоких звуков. В качестве таких специальных Г. нашли применение рупорные Г. с небольшим рупором: электродинамический (США, 1930) [7] и пьезоэлектрический (США, 1933) [8], основанный на известном пьезоэлектрич. эффекте, заключающемся в том, что некоторые кристаллы испытывают механич. напряжения и соответствующие деформации при приложении к определенным граням этих кристаллов некоторой разности потенциалов (см. *Пьезоэлектричество*). Наконец за самое последнее время (США, 1934) [9] намечена возможность выполнить наиболее высокие требования в одном приборе. Подводя итоги развития Г., нужно указать, что достигнутые за 12 лет крупные успехи неразрывно связаны с все более и более глубоким пониманием происходящих в Г. физич. процессов.

**Технические характеристики и основы теории Г.** Основное требование, предъявляемое в настоя-

щее время к  $\Gamma$ , состоит в том, чтобы  $\Gamma$  воспроизводил звук без искажений. Иначе говоря, звук, воспроизводимый  $\Gamma$ , должен быть неотличим от оригинального звука, какова бы ни была его природа. Звук как физическое явление принято характеризовать величиною т. н. избыточного, или звукового, давления, представляющего собою приращение давления против среднего (атмосферного), происходящее вследствие звуковых колебаний. При звуке, представляющем собою т. н. чистый тон, звуковое давление есть синусоидальная функция времени, т. е.

$$p = p_0 \sin \omega t, \quad (1)$$

где  $p_0$  — амплитуда давления;  $\omega$  — круговая частота явления, равная  $2\pi f$ ;  $f$  — частота, выражаемая числом колебаний в сек. или в Hz. Амплитуда давления характеризует силу тона, частота — высоту его. В случае более сложного периодического колебания звуковое давление выражается не простой гармонич. ф-ией (1), а рядом Фурье

$$p = \sum_1^n p_0 k \sin(k\omega t + \varphi_k), \quad (2)$$

где  $k$  — порядковый номер члена ряда или номер гармоники,  $\varphi_k$  — фазный сдвиг. В еще более сложном случае непериодич. процесса (к к-рому, строго говоря, относятся все действительные звуки) математич. выражением служит уже не ряд, а интеграл Фурье. Удобным графич. изображением соотношения (2) служат т. н. спектры, т. е. графики, по оси ординат к-рых отложены величины  $p_0 k$ , а по оси абсцисс — частота. Очевидно, что ряд Фурье даст только ряд точек в такой системе координат, — это будет линейный спектр; интеграл же Фурье даст сплошную линию, т. е. сплошной спектр. Эта терминология вполне соответствует оптической. Ухо есть аппарат, реагирующий именно на звуковое давление, чем и обусловлен выбор этой величины для описания звуковых явлений (см. *Слух*). Самым существенным для практики является то обстоятельство, что ухо способно слышать, т. е. воспринимать как звук не всякие колебания воздуха, а лишь те, частота которых заключена в пределах примерно  $30 \div 15000$  Hz (средние статистич. данные). Вторым не менее важным свойством слухового аппарата является его неспособность отмечать разные сдвиги между отдельными компонентами звукового давления. Требование неискаженного воспроизведения можно выразить след. образом: для неискаженного воспроизведения необходимо, чтобы амплитуды всех гармоник звукового давления звука, воспроизводимого  $\Gamma$ , были равны амплитудам соответственных гармоник оригинального звука. Равным образом д. б. равны и частоты соответствующих гармоник. Иначе говоря, требуется, чтобы спектры воспроизведенного и оригинального, или, как говорят, в точного и первичного, звуков совпадали. Кроме того очевидно, что это требование распространяется лишь на слышимый диапазон, т. к. вне этого диапазона требование неискаженного воспроизведения теряет всякий смысл. Формулированное т. о. требование можно выразить соотношением

$$p_2 = p_1, \quad (3)$$

где  $p_2$  — вторичное давление,  $p_1$  — первичное давление, и предполагается, что и то и другое выражено спектром в виде ф-ии (2). Но кроме

$\Gamma$  в процессе воспроизведения звука участвуют еще микрофон и усилитель. Предположим (как оно и должно быть), что работа обоих приборов характеризуется тем, что они дают ток, прямо пропорциональный первичному давлению, т. е.

$$i = k p_1, \quad (4)$$

где  $k$  — постоянная, характеризующая чувствительность микрофона и коэф. усиления усилителя. Сопоставление (3) и (4) дает

$$p_2 = \frac{i}{k} \quad \text{или} \quad \frac{p_2}{i} = k', \quad (5)$$

т. е. давление, создаваемое  $\Gamma$ , должно быть пропорционально питающему его току. Отношение  $\frac{p_2}{i}$  называется чувствительностью  $\Gamma$  по току. Заметим, что и  $p_2$  и  $i$  выражаются целым рядом членов, представляющих собою колебания различной частоты, лежащей в большинстве случаев в пределах всего слышимого диапазона. Требование пропорциональности распространяется на все составные части сложного звука. Иначе говоря, мало требовать пропорциональности между давлением, создаваемым  $\Gamma$ , и питающим его током; нужно еще, чтобы коэф. пропорциональности был одинаковым для всех частот, т. е. не зависел бы от частоты. Если это требование не будет выполнено, то гармоник, частота которых соответствует меньшим значениям коэф-та  $k'$ , будут преуменьшены по сравнению с первичным звуком и обратно. Такого рода искажения, зависящие от неодинаковости чувствительности  $\Gamma$  на различных частотах, носят название частотных искажений. Зависимость чувствительности  $\Gamma$  от частоты называется частотной характеристикой  $\Gamma$ . Эта важнейшая характеристика должна графически представляться в идеальном случае прямой, параллельной оси абсцисс, т. е. оси частот. Эта прямая и была бы график. изображением постоянной величины. В действительности частотные характеристики  $\Gamma$  все еще далеки от этого идеала, и к-рому они однако заметно приблизились за последние годы.

Соотношения для удовлетворения основного требования — отсутствия частотных искажений — должны выбираться на основе следующих соображений. Протекающий по рабочей обмотке  $\Gamma$  ток  $i$  создает механич. силу  $F$ , действующую на подвижную часть его. В результате действия перемещенной силы  $F$  подвижная часть приходит в колебательное движение, определяемое величиной колебательной скорости  $\dot{\xi} = \left(\frac{d\xi}{dt}\right)$ , если  $\xi$  — перемещение подвижной части. Излучатель, механически связанный с подвижным органом  $\Gamma$ , колеблясь с определенной скоростью  $\dot{\xi}$ , создает в окружающем пространстве звуковое давление  $p_2$ . Т. о., учитывая эти отдельные этапы работы  $\Gamma$ , можем представить выражение (5) для чувствительности в виде

$$\frac{p_2}{i} = \frac{F}{i} \cdot \frac{\dot{\xi}}{F} \cdot \frac{p_2}{\dot{\xi}} = k'. \quad (6)$$

Первое из этих трех отношений определяет электрические свойства  $\Gamma$ , второе — механические и третье — акустические. Задача очевидно заключается в том подборе этих соотношений, чтобы произведение их, т. е. чувствительность, было постоянной величиной, т. е. не зависело бы от частоты. Некоторые из этих соотношений задаются самой природой вещей; прочие необходимо должным образом подобрать. Рассмотрим для

примера диффузорный, в частности электродинамический, Г. Для диффузора небольших размеров довольно сложная теория этого вопроса дает приближенное выражение:

$$p_2 \cong k_1 \omega \xi, \quad (7)$$

$$t. e. \quad \frac{p_2}{\xi} \cong k_1 \omega.$$

Иначе говоря, при постоянной скорости диффузора создаваемое в нек-рой точке пространства (обычно подразумевается точка на оси диффузора) давление растет пропорционально частоте. Далее, в электродинамич. системе сила, действующая на подвижную катушку по закону Био-Савара, равна

$$F = Hli, \quad (8)$$

$$t. e. \quad \frac{F}{i} = Hl = \text{Const},$$

где  $H$  — напряженность магнитного поля,  $l$  — действующая длина проводника в катушке. Подставляя имеющиеся, независящие от нашего усмотрения соотношения (7) и (8) в общее условие (6), находим:

$$\frac{F}{i} \cdot \frac{\xi}{F} \cdot \frac{p_2}{\xi} = Hl k_1 \omega \frac{\xi}{F} = k'.$$

Иначе говоря, д. б.:

$$\frac{\xi}{F} = \frac{k'}{h_1 H l \omega} = k'' \frac{1}{\omega}, \quad (9)$$

т. е. при постоянной по величине силе скорость д. б. обратно пропорциональна частоте. Выясним возможность выполнения этого требования. Для этого представим подвижную систему вместе с излучателем в виде материальной точки. Это равносильно допущению, что вся подвижная система является твердым, неспособным к деформации телом. Заметим далее, что подвижная система должна крепиться посредством тех или иных упругих деталей и удерживаться ими в некотором среднем положении. На основании этих соображений можем написать дифференциальное уравнение движения подвижной части Г.:

$$m\ddot{\xi} + q\xi = F; \quad (10)$$

здесь  $m$  — сосредоточенная действующая масса подвижной системы,  $q$  — упругость закрепления системы (упругость равна отношению силы к вызываемой этой силой деформации точки приложения силы),  $\xi$ ,  $\dot{\xi}$  — соответственно — перемещение и ускорение подвижной части,  $F$  — приложенная сила. Предполагая, что сила синусоидальна и вызывает синусоидальное же перемещение, т. е. предполагаая решение в виде

$$\xi = \xi_0 \sin \omega t,$$

получим для скорости, отбрасывая член, определяющий собственные колебания, следующие выражение:

$$\dot{\xi}_0 = \frac{F_0}{\omega m - \frac{q}{\omega}} \quad \text{или} \quad \frac{\dot{\xi}_0}{F_0} = \frac{1}{\omega m - \frac{q}{\omega}}; \quad (11)$$

здесь  $\dot{\xi}_0$  и  $F_0$  — соответственно — амплитуды (т. е. наибольшие значения) скорости и силы. Как видим, соотношение (11) удовлетворяет условию (9), если можно пренебречь членом  $\frac{q}{\omega}$

по сравнению с членом  $\omega m$ , т. е. если выполнено условие

$$\omega m \gg \frac{q}{\omega}.$$

Это же условие м. б. записано в виде

$$\sqrt{\frac{q}{m}} \ll \omega. \quad (12)$$

Но  $\sqrt{\frac{q}{m}} = \omega_0$  есть резонансная частота системы. Из ф-лы (11) следует, что при резонансе скорость получает бесконечные значения. На практике это не происходит из-за наличия нек-рого трения, а гл. обр. из-за того, что коэф.  $q$  зависит от перемещения и резко возрастает при переходе известного предела, допускаемого конструкцией. Итак, получается следующий важный вывод. Для устранения частотных искажений в малом диффузоре Г. нужно понизить резонансную частоту подвижной системы за пределы рабочего (т. е. слышимого) диапазона. При соблюдении этого условия

$$\frac{\xi}{F} \cong \frac{1}{\omega m}$$

и чувствительность Г.

$$\frac{p_2}{i} = Hl k_1 \omega \frac{1}{\omega m} = k_1 \frac{Hl}{m} = \text{Const}.$$

Резонансная частота системы определяется отношением упругости к массе; для понижения резонансной частоты следует либо увеличивать массу, что очевидно невыгодно, т. к. понижается чувствительность, либо уменьшить упругость, что всегда и делают. Во всех предыдущих рассуждениях сделан ряд значительных упрощений и приближений; в частности нужно указать, что соотношение (7) справедливо лишь для частот порядка до 1 000 Нз. Этим между прочим объясняется тот факт, что диффузорные электродинамич. Г. не в состоянии воспроизводить наиболее высокие частоты.

Обратимся к электромагнитному Г. Как выяснено, упругость подвижной системы следует делать минимальной. Но в электромагнитном Г. рабочим органом является железный якорь, находящийся близ полюсных наконечников магнита. Если бы упругое закрепление якоря было ослаблено, то он был бы притянут магнитом и прилип бы к полюсным наконечникам. Следовательно в электромагнитных Г. по необходимости приходится достаточно упруго закреплять якорь, чтобы он мог противостоять притяжению магнита. Вследствие этого повышается резонансная частота подвижной системы, а следовательно ухудшается частотная характеристика Г., в частности воспроизведение низких частот. Теперь ясно преимущество электродинамич. Г., в к-ром это затруднение отсутствует: его катушка изготовлена из немагнитного материала и не подвержена воздействию магнитного поля, пока по ней не проходит ток. Новая система индукторных электромагнитных Г. отличается именно тем, что в ней возможна прилипания якоря к полюсным наконечникам совершенно исключена соответствующим расположением деталей; это позволяет уменьшить в желаемой мере упругость подвижной части, отсюда — и преимущество этой системы.

В отношении рупорных Г. ограничимся изложением готовых выводов этой теории: 1) чувствительность рупорных Г. может быть сделана гораздо более высокой, потому что они работают в области частот, близкой к резонансной; иначе

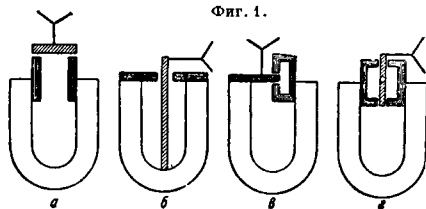
говоря, резонансная частота расположена посреди рабочего диапазона; 2) хорошая частотная характеристика, т. е. малая зависимость чувствительности от частоты, достигается введением в систему большого полезного затухания, обусловленного излучением. Величиной затухания легко управлять путем изменения соотношения площадей диафрагмы и входного отверстия рупора; 3) наибольшие затруднения представляет повышение качества рупорного Г. в отношении воспроизведения высоких частот; те меры, к-рые приходится принимать для улучшения характеристики в области высоких частот (увеличение отношения площадей диафрагмы и входного отверстия рупора, повышение резонансной частоты), ведут к ухудшению воспроизведения низких частот; 4) в отношении низких частот затруднения кроются в устройстве рупора: для удовлетворительного воспроизведения низких частот необходим большой рупор, т. е. длинный и медленно расширяющийся.

В заключение необходимо коснуться вопроса о т. н. нелинейных искажениях. До сих пор мы ограничивались требованием отсутствия частотных искажений, т. е. требованием независимости от частоты чувствительности Г. Но кроме того необходимо, чтобы чувствительность, т. е. отношение давления к току, не зависела и от абсолютных значений этих величин. Это означает, что давление д. б. прямо пропорционально току. Аналитически это условие представляется линейной ф-ией, т. е. ф-ией первой степени, выражающей у-ие прямой. Только при выполнении этого условия м. б. достигнуто совпадение спектров первичного и вторичного давлений. Если же давление связано с током нелинейной зависимостью, напр.  $p_a = ai + + bi^2$ , т. е. у-ием какой угодно кривой, то легко убедиться, что спектр давления не будет соответствовать спектру тока. Для оценки получающихся при подобных соотношениях нелинейных искажений служит амплитудная характеристика, представляющая собой зависимость давления от тока. При отсутствии искажений эта характеристика представляется на графике в виде прямой, проходящей через начало координат. Устранение нелинейных искажений в Г. является относительно простым делом, поэтому подробные разъяснения этого вопроса здесь не приводятся.

**Современные образцы Г.** В настоящее время применяются гл. обр. следующие Г. 1) Обычные электромагнитные. Общедоступные по цене, невысокие по качеству; применяются исключительно в индивидуальных радиоприемных установках. 2) Электромагнитные и индукторные Г. Более дорогие, более высокого качества; применяются в индивидуальных установках. 3) Электродинамические диффузорные Г. с подвижной катушкой. Наиболее распространенный тип индивидуального Г.; более мощные модели имеют также широкое применение в звуковом кино. 4) Блаттхалеры. Тяжелая модель очень большой мощности. Применяется в крупных звуковых кинотеатрах, а также для вещания на открытом воздухе для покрытия больших площадей и расстояний. 5) Рупорные электродинамические Г. Крупные модели высокого качества и с большим кпд; применяются в звуковом кино и для вещания на открытом воздухе. 6) Комбинированные Г. Агрегаты из нескольких Г. особо высокого качества. Применяются в специальных установ-

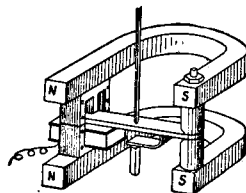
ках, но получают тенденцию к более широкому распространению.

1. **Электромангнитные (обычные)** Г. состоят из следующих основных частей: постоянного магнита, полюсных наконечников с насаженными на них рабочими катушками, железного якоря, являющегося рабочим органом Г., связанным с диффузором и приводящим последний в движение. Действие электромагнитного Г. состоит в том, что при прохождении по катушкам переменного тока звуковой частоты создаваемый катушками магнитный поток, в зависимости от направления тока, то складывается с потоком постоянного магнита то вычитается из него. Вследствие этого изменяется результирующий магнитный поток, проходящий через якорь, а следовательно и действующая на якорь сила. Под действием переменной силы якорь, а с ним и диффузор приходят в колебательное движение.

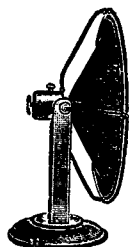


Фиг. 1.

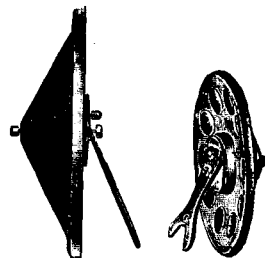
В конструкции электромагнитных Г. наибольший интерес представляют устройство и расположение полюсных наконечников и якоря, или так наз. магнитная схема. На фиг. 1 приведены четыре типичные схемы. По схеме а были построены выпущенные советской промышленностью Г. Д-2, Ди и Д-5. По более совершенной дифференциальной схеме е были построены «Рекорд» (фиг. 2 и 3), «Заря» (фиг. 4). Схема а является излюбленной американской схемой; у нас эта схема применена в Г. ТМ.



Фиг. 2.



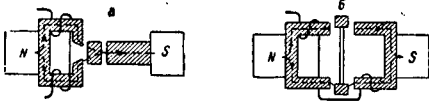
Фиг. 3.



Фиг. 4.

2. **Электромангнитные Г. с неограниченной амплитудой («индукторные»).** Основные элементы в этом типе те же, что и в предыдущем; разница заключается в том, что якорь закреплен на специальных подвесах, т. ч. движение его может совершаться не по направлению к полюсу, а вдоль полюса, параллельно его поверхности. Этим исключается возможность прилипания якоря к полюсным

наконечникам, а следовательно и необходимость упругого закрепления якоря. Индукторные Г. могут осуществляться также в различных вариантах магнитной схемы; типичные схемы изображены на фиг. 5. Схема а (Англия, 1930) применяется также в герм. «фрайшвинчерах». Схема б

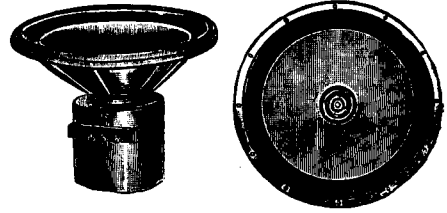


Фиг. 5.

представляет собой систему известного Г. Фарранд (США), являющегося наиболее совершенным, но и наиболее дорогим представителем этого класса приборов.

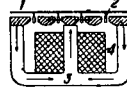
3. Электродинамический диффузорный Г. состоит из следующих основных частей (фиг. 6): электромагнит (или постоянный магнит с кольцевым воздушным зазором), в к-ром помещена подвижная рабочая катушка 1, жестко связанная с диффузором 2. Электромагнит состоит из железной магнитной цепи 3, 4 и катушки возбуждения 5. Магнитная цепь выполняется в различных видах: в виде круглого штампованного стакана либо в виде скобы, согнутой из полосового железа. В обеих конструкциях применяются круглые центральные сердечники 3, между боковой поверхностью к-рых и стенками отверстия в магнитной цепи образуется кольцевой зазор. Напряженность магнитного поля в зазоре составляет у различных образцов 5 000÷10 000 эрстед при мощности возбуждения 5 ÷ 20 W. Постоянный ток для возбуждения доставляется специальным выпрямителем, обычно кенотронным, а иногда купроксным. Современные постоянные магниты дают поле до 2 000 эрстед (при зазоре 1,5 мм). Подвижные катушки делают обычно малого сопротивления; необходимый при этом понижающий трансформатор монтируется часто вместе с Г. Диффузоры изготовляются из бумаги и представляют собой конус с углом порядка 100° между образующими. Дам. основания обычно порядка 200 мм. Диффузорные Г. обязательно монтируются на т. н. акустическом экране б, назначение которого — улучшить отдачу прибора на низких частотах. Это относится также и к индукторным Г. Экран в применении к обычным электромагнитным Г. не приносит никакой пользы, т. к. эти Г. вообще не способны к воспроизведению тех низких частот, при которых акустич. экран оказывает свое действие. Акустический экран представляет собой доску до 1 м<sup>2</sup> (дальнейшее увеличение практически бесполезно) с отверстием в середине. Часто в качестве экрана используется передняя стенка ящика, в котором монтирован Г. вместе со своим выпрямителем. Диффузорные электродинамич. Г. воспроизводят диапазон частот порядка 50—7 000 Нз. Кпд их порядка 1—3%, подводимая электрич. мощность же свыше порядка 3 W. На фиг. 7 и 8 показаны

советские «динамики» Киевского завода и завода «Профрадио».

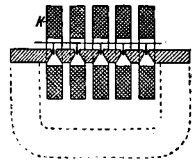


Фиг. 8.

4. Блаттхаллер состоит из диффузора в виде большой гофрированной алюминиевой пластины 1 (фиг. 9), в к-рой на изолированных заклепках прикреплена поставленная на ребра и изогнутая зигзагом жесткая металлич. лента 2, служащая подвижным проводником. Прямолинейные участки ленты входят в зазоры магнитной цепи 3, образующиеся между соседними по-



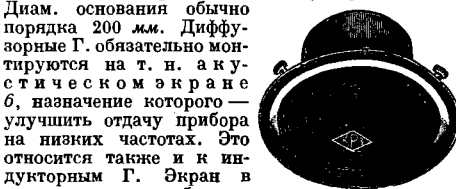
Фиг. 9.



Фиг. 10.

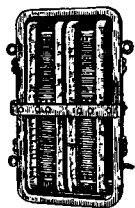
люсными наконечниками. Катушки возбуждения 4 расположены в старой конструкции на ярме магнитной цепи; в новой конструкции (фиг. 10) катушки к захватывают воздушные зазоры так, что диффузор расположен внутри катушек; эта конструкция позволяет получить значительные напряженности магнитного поля, доходящие до 20 000 эрстед. Блаттхаллеры обладают высоким качеством воспроизведения и м. б. построены очень больших размеров и на очень значительные мощности. Так например, одна из моделей потребляет 800 W электрич. мощности (звуковой частоты); при этом ток в ленте, получаемый от соответствующего пониженного трансформатора, достигает 120 А (фиг. 11). Работа такого Г. слышна на несколько км.

5. Рупорные электродинамические Г. состоят из магнитной цепи с кольцевой щелью и из легкой (алюминиевой) диафрагмы, к которой прикреплена подвижная катушка, входящая в кольцевой зазор. Диафрагме придается особая форма (напр. коническая или сферическая), обеспечивающая средней части диафрагмы достаточную жесткость. Диафрагма закрывается крышкой с отверстием, к которому примыкается рупор. Для того чтобы воздух, сжимаемый в объеме пазы диафрагмы, не препятствовал ее движению, центральный сердечник обычно высверливается. Выходное отверстие механизма (головки) громкоговорителя имеет часто в начальной своей части кольцевое сечение; такое устройство улучшает воспроизведение высоких частот (фиг. 12 и 13; на фиг. 12: 1 — алюминиевая диафрагма, 2 — жестко связанная с ней подвижная катушка, 3 — магнитная цепь, имеющая форму тела вращения, 4 — отверстие, выс-



Фиг. 7.

шею порядка 3 W. На фиг. 7 и 8 показаны

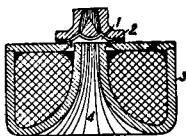


Фиг. 11.

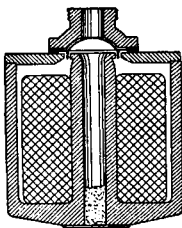
верленное в центральном сердечнике). Рупоры обычно применяются экспоненциальные (т. е. такие, сечения которых изменяются по закону

$$S = S_0 e^{mx},$$

где  $S_0$  — начальное (входное) сечение,  $S$  — сечение на расстоянии  $x$  от начала,  $m$  — показатель возрастания сечения). Для хорошего воспроизведения низких частот рупор должен иметь большие размеры. С целью сокращения габари-



Фиг. 12.



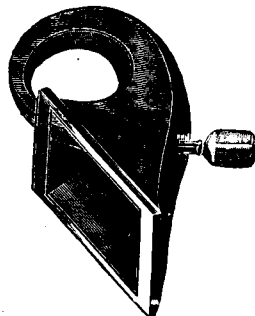
Фиг. 13.

тов ось рупора часто делают изогнутой (фиг. 14). Рупоры изготавливаются из дерева, металла, папье-маше, пробки и других материалов. Сечение рупора бывает круглым и прямоугольным. Рупорные Г. воспроизводят диапазон порядка 100 ÷ 8 000 Hz. Замечателен высокий кпд этого

типа Г.; он имеет порядок 20—30% и м. б. доведен до 50% и даже выше, что позволяет получить желаемый звуковой эффект при относительно малых электрич. мощностях. Г. рупорные м. б. построены на подводимую мощность порядка сотен ватт.

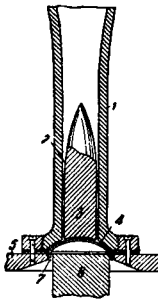
6. Комбинированные Г. составляются обычно из двух единиц; одна из них, служащая для воспроизведения низ-

ких частот, представляет собой чаше электродинамич. диффузорный Г. с очень большим диффузором. Такой Г. совершенно неспособен к воспроизведению высоких частот; для последней цели служит вторая составная часть комплекта — специальный высокочастотный Г. В качестве высокочастотных Г. применяются рупорные Г. особого устройства. Электродинамич. высокочастотный Г. (фиг. 15, где 1 — конический рупор, 2 — входное кольцевое отверстие, 3 — диффузор, 4 — мембрана, 5 — корпус, 6 — сердечник, 7 — подвижная катушка) имеет очень маленькую и чрезвычайно легкую подвижную систему (т. е. подвижную катушку с диафрагмой). Диаметр диафрагмы всего лишь ок. 25 мм. На фиг. 16 показан

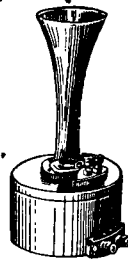


Фиг. 14.

внешний вид того же Г. Пьезоэлектрич. высокочастотный Г. имеет диафрагму, изготовленную из вырезанных и склеенных определенным образом кристаллов сегнетовой соли (двойная виннокаменная соль калия и натрия), обладающую очень высокой диэлектрич. постоянной. Устройство диафрагмы таково, что при приложении между определенными ее точками некоторой разности потенциалов диафрагма изгибается. Рупоры в обоих описанных типах Г. отличаются малыми размерами: высокие частоты, для к-рых эти Г. предназначены, отлично излучаются



Фиг. 15.



Фиг. 16.

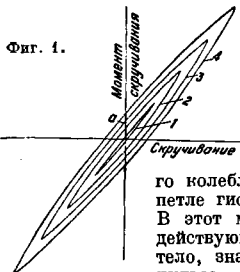
малыми рупорами. Для воспроизведения высоких частот могут также применяться и электростатич. Г. Комбинированные Г. включают обычно в специальную схему, разделяющую токи различных частот т. о., что токи низкой частоты поступают в низкочастотный Г., а высокой частоты — в высокочастотный. Помощью комбинированных Г. удается воспроизвести диапазон порядка 30—12 000 Hz, т. е. почти весь слышимый диапазон.

Лит.: 1) Rice С. а. Kellogg E., Notes on the Development of a New Type of Hornless Loud Speaker, «JAIEE», 1925; 2) Riegger H., Zur Theorie des Lautsprechers, «Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern», В., 1924, В. 3, Н. 2; 3) Харкевич А., К вопросу о новой системе электромагнитных громкоговорителей, «Журн. техн. физ.», Л., 1932, т. 2; 4) Wentz E. a. Thurges A., A High Efficiency Receiver for a Horn Type Loud Speaker of Large Power Capacity, «Bell System Technical Journal», N. Y., 1928, 1; 5) Greaves V., K r a n z F., C r o z i e r W., The Kyle Condenser Loud Speaker, «Proceed. of the Institute of Radio Engin.», N. Y., 1929, v. 17; 6) V o g t H., Ueber die Erzeugung von Schallvorgänge durch das elektrostatische Feld, «Ztschr. f. techn. Phys.», Lpz., 1931, В. 12; 7) B o o t w i c k L., An Efficient Loud Speaker for the Higher Audible Frequencies, «Journ. of the Acoustical Society of America», N. Y., 1930, v. 1; 8) B a l l a n t i n e S., A Piezoelectric Loud Speaker for the Higher Audio Frequencies, «Proceed. of the Inst. of Radio Engin.», N. Y., 1933, v. 21, 10; 9) O l s o n H., A New Cone Loud Speaker for High Fidelity Sound Reproduction, «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», N. Y., 1934, v. 22.—Д р я з в е н И., Электроакустика в широкополосности, М., 1932; Х а р к е в и ч А., Электроакустич. аппаратура, Л., 1933; Р о в е н б е р г Л., Основы технич. акустики Харьков, 1934; Handb. d. techn. Akustik, hrsg. v. E. Waltmann, В. 1, 2, Lpz., 1931—34; W e s t W. Acoustical Engineering, London, 1932; P o p p E., Elektromagnetische Lautsprecher-Antiiefsysteme, В., 1927. А. Харкевич.



**ДЕМПФИРОВАНИЕ** крутильных колебаний колчатых валов, тушение вибраций, возникающих в этих валах под действием периодически изменяющихся вращательных моментов поршневых двигателей. Крутильные вибрации возникают в колчатых валах при наличии их критич. оборотов (см. *Скорость критическая*). Эти вибрации гасятся: 1) упругим гистерезисом (см.) материала вибрирующего вала, 2) трением в коренных и шатунных подшипниках вала, 3) трением поршней и крейцкоффов, 4) ударами в зазорах подшипников и поршней, 5) специальными приборами, т. н. демпферами, действие к-рых основано на поглощении импульсов сил, возбуждающих вибрации, при помощи сил трения или при помощи упругого гистерезиса тел, обладающих особенно высокими демпфирующими свойствами (резина). Если возникающие вибрации происходят при отсутствии упомянутых в п. 5 приборов, то относительное значение перечисленных факторов в Д. вибраций выразится приблизительно след. обр. 1) Упругий гистерезис демпфирует 60—65% возбуждающих импульсов; 2) трение в подшипниках демпфирует 15—20% этих импульсов; 3) трение поршней и крейцкоффов 5÷6% и 4) удары в зазорах 8÷10%. Наиболее важным из перечисленных демпфирующих факторов является упругий гистерезис, поскольку последний определяет величину напряжений материала вибрирующего тела. Определим эти напряжения, а также ту работу, к-рую поглощает упругий гистерезис.

Процесс поглощения импульсов действующих сил при синхронизации естественного периода колебания соответствующей части двигателя с периодом изменения этих сил происходит след. обр. Допустим, что в начале этой синхронизации упругий гистерезис данного колеблющегося тела равен



Фиг. 1.

го колеблющегося тела равен моменту гистерезиса  $I$  (фиг. 1). В этот момент импульс сил, действующих на вибрирующее тело, значительно больше импульса этого гистерезиса. Этот импульс поэтому соответ-

ственно усилит размах колебания вибрирующего тела. Напряжения материала последнего при этом возрастут. Возрастает также и гистерезис до

значения напр. 2 (фиг. 1). Если и при этом следующий импульс окажется больше импульса гистерезиса 2, то размах колебания увеличится еще больше. Напряжения вибрирующего тела и его упругий гистерезис также соответственно увеличатся и т. д. до тех пор, пока напр. 4-я петля гистерезиса по своему импульсу не сравняется с импульсом внешних сил, действующих на вибрирующее тело в течение одного периода



Фиг. 2.

Фиг. 3.

колебания. После этого каждый новый импульс сил, действующих на вибрирующее тело, поглощается гистерезисом последнего, и дальнейшего увеличения амплитуды колебания и напряжений материала этого тела не происходит. Импульсы напряжений материала при этих колебательных движениях можно изобразить, как показано на фиг. 2. Величина импульса гистерезиса равна заштрихованной площади, показанной на фиг. 3, у которой кривая ABC является зеркальным отображением кривой CDE. Импульс гистерезиса можно изобразить и как показано на фиг. 4. Здесь ординаты равны разности между косинусоидой  $\cos \frac{1}{T} 2\pi$  (фиг. 3) и фактич. ординатой гистерезиса. Полученная т. о. кривая м. б. принята синусоидой с амплитудой  $a$ , отмеченной на фиг. 1, 2 и 3. Импульс гармонич. сил тех из составляющих гармоник  $n$ -го порядка с амплитудой  $Q_n$  (см. *Гармонический анализ*), к-рые вызывают соответствующие вибрации при синхронизации естественного периода колебаний вибрирующего тела, равен  $2 \frac{I_n}{\pi} Q_n$  (см. *Скорость критическая*). Т. к. импульс гистерезиса вибрирующего тела определяется также синусоидой (фиг. 4) с амплитудой  $a$ , то величина его



Фиг. 4.

напишется в виде  $2 \frac{h_n}{\pi} a$ . Т. о. при установившемся вибрационном движении, т. е. при вибрациях, в течение  $n$ -рых всякий дополнительный импульс сил, вызывающих эти вибрации, поглощается полностью импульсом упругого гистерезиса вибрирующего тела,

$$2 \frac{h_n}{\pi} a = 2 \frac{h_n}{\pi} Q_n, \text{ т. е. } a = Q_n.$$

На фиг. 4 кроме синусоиды гистерезиса показана также синусоида напряжений материала вибрирующего тела. Эти напряжения значительно превышают силы упругого гистерезиса. Определение этих напряжений можно произвести след. обр. Работа сил упругого гистерезиса представляет собой работу внутренних молекулярных сил вибрирующего тела, причем эти силы в каждой точке тела пропорциональны величине напряжения в этой точке. Обозначив эти силы на единицу площади через  $h$  кг/см<sup>2</sup>, мы получим формулу для определения их в случае круглого вала diam.  $d_2$  см с сверлением  $d_1$  см:



Фиг. 5.

Работа сил упругого гистерезиса представляет собой работу внутренних молекулярных сил вибрирующего тела, причем эти силы в каждой точке тела пропорциональны величине напряжения в этой точке. Обозначив эти силы на единицу площади через  $h$  кг/см<sup>2</sup>, мы получим формулу для определения их в случае круглого вала diam.  $d_2$  см с сверлением  $d_1$  см:

$$h_{max} = \frac{Q_n R \cdot d_2}{\frac{\pi}{16} (d_2^4 - d_1^4)} = \frac{16M \cdot d_2}{\pi (d_2^4 - d_1^4)} \text{ кг/см}^2$$

и

$$h = h_{max} \cdot \frac{2\varrho}{d_2}$$

Здесь  $\varrho$  см — расстояние точки от оси вала,  $Q_n$  — амплитуда гармонич. внешних сил, возбуждающих вибрацию вала,  $Q_n R = M$  — момент этих сил и  $h_{max}$  — сила гистерезиса на внешней поверхности вала. Работа сил гистерезиса, соответствующая заштрихованной площадке на фиг. 5, определяется следующим интегрированием:

$$A = \frac{1}{2} \int_{-1/2 d_2}^{1/2 d_2} 2\pi \varrho d\varrho \cdot h_{max} 2 \frac{\varrho}{d_2} \cdot \varrho d\varphi = \frac{1}{4} \pi (d_2^4 - d_1^4) h_{max} \cdot \vartheta$$

Здесь  $\vartheta$  — угол скручивания на единицу длины вала. Этот угол равен  $\vartheta = 2 \frac{\tau}{G} \cdot \frac{1}{d_2}$ , где  $\tau$  кг/см<sup>2</sup> — наибольшие напряжения скручивания и  $G$  — модуль скольжения,  $n$ -рый равен для стали 850 000 кг/см<sup>2</sup>. Т. о.

$$A = \frac{1}{32} \pi \left( \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \right) \cdot \frac{16M \cdot d_2}{\pi (d_2^4 - d_1^4)} \cdot 2 \frac{\tau}{850 000} \cdot \frac{1}{d_2} = \frac{M \tau}{850 000 d_2} \text{ кгс.м.}$$

Работа всей петли гистерезиса равна  $4A$ . Для всего вала, длина  $n$ -рого равна  $l$ , эта работа равна  $4Al$ . На единицу веса вала приходится работы гистерезиса

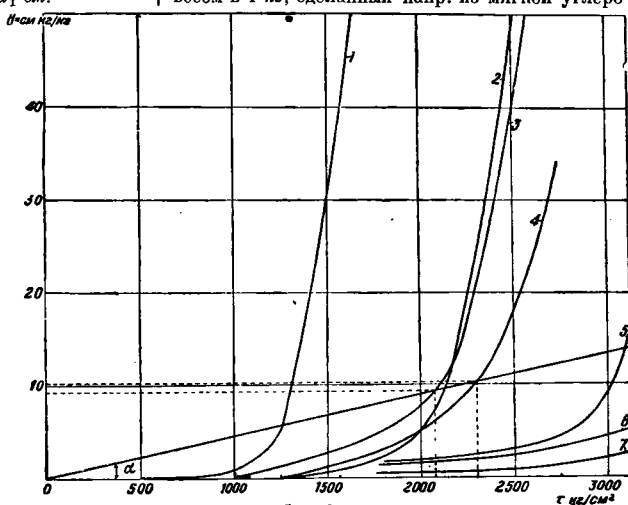
$$\frac{4Al}{w} = \frac{4Al}{\frac{\pi}{4} (d_2^3 - d_1^3) l \cdot 0,00077} \frac{\text{кгс.м.}}{\text{кг}}$$

где  $w$  — вес вала в кг. Т. о. на каждый кг веса вала и на каждое полное колебание мы имеем работу упругого гистерезиса, равную

$$H = \frac{4Al}{w} = 0,00077 \frac{M \tau}{d_2 (d_2^3 - d_1^3)} \frac{\text{кгс.м.}}{\text{кг}}$$

Эта ф-ла вполне точно выражает зависимость между силами, возбуждающими крутильные колебания стального вала, упругим гистерезисом и напряжениями скручивания вала. Она однако недостаточна для решения поставленной нами задачи определения зависимости между упругим гистерезисом и напряжениями материала.

Большие работы по определению упругого гистерезиса крутильных колебаний были проделаны герм. инж. Фёпфлем при помощи специально сконструированной им для этого машины. На фиг. 6 показаны полученные им при этом диаграммы упругого гистерезиса для различных материалов, дающие величину этого гистерезиса в единицах  $H = \text{кгс.м./кг}$  на каждое колебание для крутильных напряжений  $\tau$  от 0 до 3 000 кг/см<sup>2</sup>. На этой диаграмме кривая 1 дает зависимость  $H$  от  $\tau$  для мягкой углеродистой стали; кривая 2 — для мягкой стали марки RMB; кривая 3 — для углеродистой стали, закаленной при 81,° и отпущенной при 500°; кривая 4 — для мягкой стали марки NCA; кривая 5 — для стали колеччатых валов; кривая 6 — для закаленной пружинной стали; кривая 7 — для стали шариковых подшипников. Согласно этим диаграммам стержень весом в 1 кг, сделанный напр. из мягкой углеро-



Фиг. 6.

дистой стали, при скручивании его от  $\tau = -1 250$  кг/см<sup>2</sup> до  $\tau = +1 250$  кг/см<sup>2</sup> дает петлю гистерезиса, равную 5,5 кгс.м./кг. Тем же гистерезисом обладает напр. и сталь для колеччатых валов, стержень из  $n$ -рой весом также в 1 кг скручивается от  $\tau = -2 800$  кг/см<sup>2</sup> до  $\tau = +2 800$  кг/см<sup>2</sup>. Выводы, к которым пришел в своих исследованиях Фёпфлем, основываются на предположении, что величина упругого гистерезиса, т. е. способность какого-либо материала превращать в тепло энергию колебательных движений, зависит только от величины напряжений, вызываемых в этом материале при этих движениях, и не зависит от общего количества переменных нагрузок,  $n$ -рым

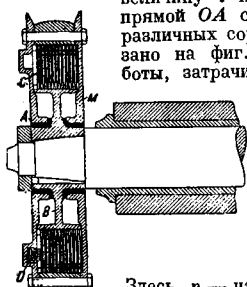
подвергается испытываемый материал, и от частоты этих нагрузок. Кривые Фёпла в связи с выведенной нами ф-лой упругого гистерезиса позволяют легко определить максимальные напряжения скручивания, возникающие в коленчатом вале двигателя под влиянием какой-либо составляющей гармоник вращательных моментов. Пусть diam. приведенного вала будет  $d_2$ , diam. его сверления  $d_1$  и пусть максимальное значение гармоник момента, возбуждающего колебания вала, будет  $M$ . Из нашей ф-лы мы получим

$$\frac{H}{\tau} = 0,00077 \frac{M}{d_2 (d_2^3 - d_1^3)}$$

Если масштаб величин  $H$  на диаграммах Фёпла в  $m$  раз больше масштаба величин  $\tau$ , то

$$tg \alpha = m \frac{H}{\tau} = 0,00077m \frac{M}{d_2 (d_2^3 - d_1^3)}$$

Определив т. о. угол  $\alpha$  и построив его на фиг. 6, мы сразу же определим как величину  $H$ , так и величину  $\tau$  по точкам пересечения прямой  $OA$  с кривыми Фёпла для различных сортов стали, как показано на фиг. 6. Что касается работы, затрачиваемой двигателем на



Фиг. 7.

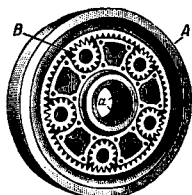
Д. вибраций коленчатого вала упругим гистерезисом материала последнего, то эта работа выразится следующей ф-лой:

$$N = \frac{0,00077M\tau n w}{100 \cdot 75 d_2 (d_2^3 - d_1^3)} = \frac{M\tau n w}{d_2 (d_2^3 - d_1^3)} 10^{-7} \text{ л. с.}$$

Здесь  $n$  — частота колебаний вала в ск. и  $w$  — вес приведенного вала в кг. Как уже было упомянуто, при отсутствии специальных приспособлений демпфирующее действие упругого гистерезиса выражается в поглощении 60 ÷ 65% импульсов, возбуждающих вибрации. Остальные 35—40% поглощаются трением в подшипниках и пр. Существует ряд специальных приспособлений, т. н. демпферов, назначением к-рых является поглощение б. или м. значительной доли импульсов, возбуждающих вибрации. Англ. инж. Ланчестер предложил для этой цели демпфер, изображенный на фиг. 7. Этот демпфер, предназначенный для ослабления крутильных вибраций коленчатых валов многоцилиндровых двигателей, с успехом применяется в двигателях сист. Даймлер. Он состоит из небольшого маховика  $M$ , свободно вращающегося на бронзовых вкладышах  $A$ , сидящих с обеих сторон втулки другого, внутреннего, маховика  $B$ , заклиненного на свободном конце коленчатого вала двигателя. Маховик  $M$  на внутренней поверхности своего обода и маховик  $B$  на его наружной поверхности несут ряд тонких дисков  $C$ , прижатых пружинами  $D$  друг к другу и закрепленных попеременно то на маховике  $M$  то на маховике  $B$ . Т. о. половина дисков может вращаться с маховиком  $M$  и другая половина их — с маховиком  $B$ . При вращении коленчатого вала маховик  $B$  вращается с последним и увлекает за собой вследствие трения дисков  $C$  друг о друга маховик  $M$ . При возникновении крутильных вибраций в коленчатом вале начинает происходить нек-рое относительное перемещение маховиков  $M$  и  $B$  по отношению друг к другу, причем трение между дисками  $C$  поглощает часть каждого импульса сил, возбуждающих эти крутильные вибрации.

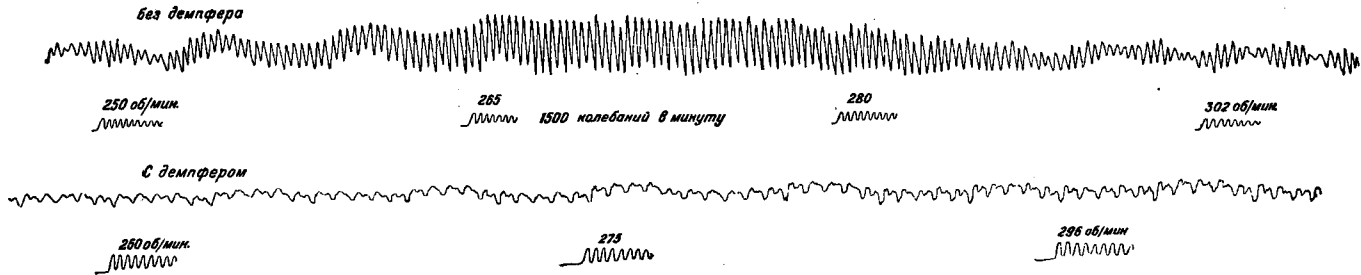
Остающаяся часть этого импульса возбуждает в коленчатом вале соответственно менее интенсивные вибрации. Пространство между маховиками заполняется вязким смазочным маслом. Описанный антивибратор не устраняет т. обр. крутильных вибраций, а лишь смягчает их. Устранить эти вибрации он и не может, так как вообще, чтобы действовать, антивибратор д. б. приведен в колебательное движение.

Демпфер сист. Санднера показан на фиг. 8. К свободному концу коленчатого вала присоединяется часть демпфера, несущая в соответствующих гнездах  $B$  пять или более шестеренок, находящихся в зацеплении с зубчаткой свободно посаженного тяжелого обода  $A$ . Гнезда, в к-рых вращаются шестерени, сообщаются каждое двумя каналами  $a$  с пустотелым валом машины, в к-ром находится соответствующее число камер, закрытых выпускными клапанами, находящимися под регулируемым давлением пружин. Свободное пространство между зубьями шестеренок и внешне-го обода демпфера заполняется маслом под давлением из маслопровода смазочной системы двигателя. Когда во время вибрации вала начинают происходить относительные перемещения обода  $A$ , масло под значительным давлением выжимается из соответствующей стороны гнезд  $B$ . Возникающие при этом усилия гасят вибрации вала. Фиг. 9 показывает две торсионграммы, снятые на валу 10-цилиндрового двигателя Дизеля в 3 000 л. с. при числе оборотов вала 230 ÷ 300 в мин. Первая торсионграмма показывает возникновение сильных вибраций вала без демпфера при числе оборотов вала 260 ÷ 285. Вторая торсионграмма показывает значительное уменьшение вибраций при тех же оборотах того же вала с демпфером Санднера.

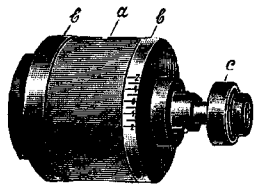


Фиг. 8.

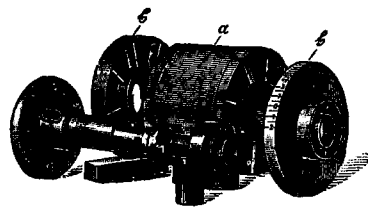
Существует несколько других аналогичных конструкций демпферов, употребляемых для стационарных, автомобильных, авиационных и морских двигателей. Особый вид демпфера представляет собой эластичный демпфер, показанный на фиг. 10 и 11. Он состоит из резинового цилиндра  $a$ , зажато между двумя дисками  $b$ , из к-рых левый присоединен к свободному концу коленчатого вала. Другой из этих дисков, не связанный с валом, имеет возможность свободно колебаться, вращаясь в шарикоподшипнике с и скручивая резиновый цилиндр попеременно то в одну то в другую сторону. Максимальные напряжения кручения испытываются резиновым цилиндром  $a$  в его крайнем левом сечении. Упругий гистерезис резины поглощает при этом значительную часть гармонических моментов, возбуждающих колебания коленчатого вала. При малом модуле скольжения ( $G = 8-10 \text{ кг/см}^2$ ) резина обладает очень большим упругим гистерезисом, что дает возможность при относительно малом весе демпфера (0,1 ÷ 0,2 кг на л. с. двигателя) значительно смягчать (до 50% и более) крутильные колебания коленчатых валов автомобильных, авиационных и стационарных двигателей. Работа упругого гистерезиса такого демпфера определяется по углу скручивания резинового цилиндра. Длина последнего подбирается таким образом, чтобы собственный период его крутильных колебаний равнялся собственному периоду коленчатого вала. При резонансе



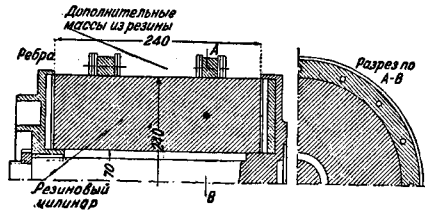
Фиг. 9.



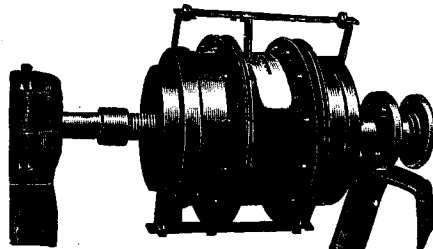
Фиг. 10.



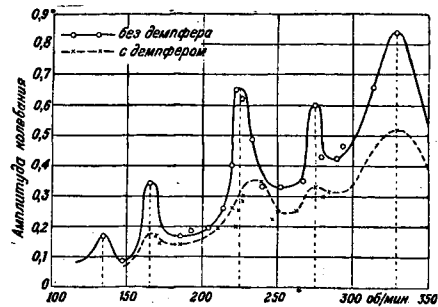
Фиг. 11.



Фиг. 12.



Фиг. 13.



Фиг. 14.

колебания последнего раскручивают демпфер до тех пор, пока его угол скручивания не приобретет максимального значения, при к-ром упругий гистерезис демпфера поглощает энергию гармоник, возбуждающих колебания вала. При этом сдвиг фаз между гармониками, возбуждающими колебания вала, и гармониками колебаний демпфера равен  $90^\circ$ . Если демпфер закрепляется на валу обоими концами, то длина его при том же числе собственных колебаний становится вдвое больше, что дает возможность соответственно сократить диаметр демпфера. Такой демпфер изображен на фиг. 12 и 13, показывающих демпфер 500-сильного 6-цилиндрового четырехтактного дизеля. На фиг. 14 показаны колебания колечкастого вала двигателя в месте соединения его с демпфером в зависимости от количества оборотов вала в мин. Кривая, вычерченная сплошной линией, показывает 4 критич. колебания вала, возникающие при отсутствии демпфера и при  $n = 166, 222, 276$  и  $332$  оборота вала в мин. Кривая, вычерченная пунктиром, показывает колебания того же вала при включенном демпфере. Для более точного регулирования собственного числа колебаний демпфера к нему присоединяют дополнительные массы из резины, как показано на фиг. 12 и 13.

Лит.: Мартенс Д., Динамика поршневых двигателей, М., 1932; Vosse P., Resonanz-Dreherschwingungsdämpfer mit Werkstoffdämpfung, Abt. d. Wöhler-Institut, Braunsch., 1932, H. 13; Föppel W., Resonanz-Dreherschwingungsdämpfer mit Werkstoffdämpfung für Kurbelwellen von Dieselmotoren, ztschr. d. VDI., 1933, J; Föppel O., Becker E. u. Heydekampff G., Die Dauerprüfung d. Werkstoffe, B., 1929; Föppel O., Grundzüge d. technischen Schwingungslehre, 2 Aufl., B., 1931. J. Мартенс.

**ДЕЦИМЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ**, электромагнитные волны, длина которых  $\lambda$  лежит в пределах  $10-100$  см (соответствующая частота колебаний  $f = 3000-300$  МГц). Д. в. являются частью ультракоротковолнового диапазона, наибольшая длина волны к-рого равна  $10$  м (см. *Ультракороткие волны*). Большой интерес к Д. в., появившийся за последние годы, объясняется возможностью получения сравнительно больших напряженностей, их пригодностью для быстродействующей передачи и гл. обр. новыми данными в их распространении за пределами геометрич. видимости.

Распространение Д. в. При распространении Д. в. в пределах геометрич. видимости электрич. поле в точке приема можно рассматривать, как и в случае ультракоротких волн (УКВ), как результат суперпозиции прямого и отраженного от почвы лучей, причем амплитуда и фаза последних определяются при помощи коэф-тов Френеля, зависящих от плоскости поляризации электрич. поля (горизонтальной или вертикальной), взаимного расположения обоих пунктов связи и электрич. свойств почвы (см. *Ультракороткие волны*). Типичный для большинства излучающих устройств УКВ подъем над поверхность раздела на высоту порядка длины волны для устройств Д. в. обычно превышает длину волны в несколько раз, что и определяет собой характер лучистой диаграммы излучения.

Неравенство  $\frac{4\pi r^2}{\omega} \gg \epsilon_2$ , удовлетворяющееся при УКВ только для наиболее длинных волн УКВ диапазона и то лишь для случая их распространения над морской водой, при Д. в. не выполняется ни при каких условиях. Для Д. в. справедливо обратное неравенство  $\frac{4\pi r^2}{\omega} \ll \epsilon_2$ , показывающее, что для Д. в. имеет место преобладание

токов смещения над токами проводимости ( $\epsilon_2$  — диэлектрич. постоянная почвы,  $\gamma_2$  — проводимость почвы,  $\omega$  — угловая частота). Осуществленная в 1931 г. Дарборм радиотелефонная связь через Ламанш (Кале—Дувр, расстояние  $30$  км) на волне  $\lambda = 18$  см [1], опыты, поставленные в 1931 г. во Всесоюзном электротехнич. ин-те по радиосвязи на волне  $\lambda = 33$  см на расстояниях  $15$  км (Москва—Люберцы) [2], работы Клавье по установлению дуплексной радиосвязи между аэродромами в Saint-Inglevert (Франция) и Lyme (Англия) на расстоянии  $56$  км на волне длиной  $17$  см [3] и другие показали возможность применения Д. в. для радиосвязи на расстояниях, лежащих в пределах геометрич. видимости с мощностями порядка  $0,1-0,2$  W. Распространение Д. в. за пределами геометрич. видимости было впервые экспериментально установлено в 1932 г. Маркони [4] при опытах радиосвязи между горой Rocco di Fara (Италия) и маяком Cape Figari (Сардиния) на расстоянии, превышающем расстояние до горизонта в  $2,3$  раза (расстояние между обоими пунктами  $295$  км, высоты  $750$  и  $840$  м), при излучаемой мощности, не превышающей нескольких W. Ослабление напряженности электрич. поля вблизи линии горизонта и его последующее возрастание при дальнейшем увеличении расстояния, что подтвердилось и опытами ВЭИ [2], а также наличие замираний, на к-рое указывает Маркони, дают основание истолковывать распространение Д. в. за пределами геометрич. видимости как результат рефракции Д. в. в нижних слоях атмосферы, обусловленной градиентом ее плотности. Нет основания предполагать, что в распространении Д. в. может играть какую-либо существенную роль ионизация атмосферы.

Излучение Д. в. Применение Д. в. дает возможность осуществления сравнительно значительных напряженностей при сравнительно малых геометрических размерах излучающих устройств. Употребляемые при работах с метровыми волнами излучающие устройства, состоящие из одного активного и нескольких пассивных вибраторов, расположенных в одной плоскости, при работах с Д. в. не употребляются вследствие своей малой эффективности (по сравнению с устройствами другого типа). Наибольшее употребление имеют устройства, состоящие из одного активного питаемого вибратора, помещенного внутри параболич. отражателя, выполненного или в виде параболоида вращения [1] или в виде параболич. цилиндра [4]. Последний, хотя и дает меньшую эффективность, но представляет значительное преимущество в смысле простоты изготовления. Наиболее выгодное фокусное расстояние этих зеркал равно  $\sim \frac{\lambda}{4}$ .

Увеличение напряженности электрич. поля на фокальной оси, достигаемое при употреблении зеркал с расстояем в  $150-200$  см, при волнах длиной порядка  $50-60$  см достигает  $3-4$  раз. Опыты показали, что для получения такого же эффекта направленности зеркала с успехом можно выполнять не в виде цельных металлических листов, а состоящими из отдельных вибраторов, расположенных на расстояниях порядка  $\frac{\lambda}{10}$  один от другого. На фиг. 1 показан общий вид зеркала, с к-рым работал Маркони. Имеются также указания на возможность применения для Д. в. антеннообразных антенн Ширекса-Мени, к-рые при этих частотах дают достаточно хорошие результаты [5]. Излучающие и приемные вибраторы обычно осуществляют как симметричные длиной

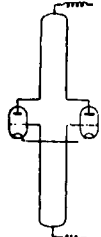
ок.  $\frac{\lambda}{2}$  или несколько меньше. Иногда их снабжают небольшими металлическими дисками, симметрично расположенными на концах, что диктуется между прочим стремлением приблизиться к точечному излучателю и равномерному (по длине) распределению тока. При наличии этих емкостей длина вибратора сокращается. Питание вибраторов производится при помощи *фидеров* (см.), как состоящих из двух параллельных проводов, так и трубчатых. Расчет этих фидеров не представляет собой каких-либо особенностей по сравнению с короткими волнами, что же касается их настройки, то она обычно осуществляется путем подбора связи с вибратором или его перемещением по фидеру.

Генерирование Д. в. осуществляется как при помощи электровакуумных приборов, так и искровым методом. Генераторы первого типа м. б. разбиты на два основных класса: 1) генераторы, природа колебаний к-рых

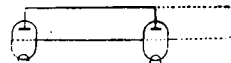
существенно зависит от периодич. изменений «электронного облачка» внутри лампы, частота к-рых зависит от напряжений, приложенных к лампе; 2) генераторы, частота колебаний к-рых определяется параметрами контура, приложенного к лампе (контурные колебания). Возбуждение колебаний в этих генераторах обусловлено наличием у них падающей характеристики. Общезвестная схема Баркгаузена-Курца, предложенная в 1919 г. для генерации незатухающих колебаний (фиг. 2), принадлежит к генераторам первого типа [8]. Эта схема состоит из трехэлектродной лампы и приключенной между

анодом и сеткой лехеровой системы (см. *Измерения*, *Измерения в радиотехнике*) с перемещающимся по ней емкостным мостом. На сетку лампы подается достаточно высокий положительный потенциал (порядка 100 В), а на анод нулевой или весьма малый потенциал того или иного знака. По воззрениям Баркгаузена возбуждение такой схемы обуславливается колебательным движением электронов (электронного облачка) около положительной заряженной сетки. Надо однако полагать, что для упорядочения электронного движения требуется резонансное возбуждение контура, т. е. требуется, чтобы время одной полной циркуляции электрона было равно или близко к одному из собственных периодов системы, образуемой лампой и приключенной к ней лехеровой системой. В частном случае колебательным контуром могут служить подводы к лампе, индуктивности и емкости самих электродов и т. п. Действительно при изменении сеточного напряжения или расстройке контуров интенсивность колебаний быстро падает. Приравняв время одной циркуляции электрона периоду возбуждаемых колебаний, Баркгаузен вывел формулу  $\lambda^2 E_0 = \text{Const.}$  (1)

Постоянная, стоящая в правой части, зависит от размеров электродов лампы. Если изменять длину лехеровой системы и находить каждый раз оптимальные (в смысле интенсивности колебаний) значения  $E_0$ , то получаемые результаты достаточно хорошо удовлетворяют ф-ле (1). В дальнейшем схема Баркгаузена-Курца подвергалась различным изменениям (непринципиального характера). Для увеличения мощности различными авторами был разработан ряд схем параллельной работы нескольких ламп. Наибольшее распространение получила схема, показанная на фиг. 3а, напоминающая собой схему Хольборна (см. *Пуш-Пуш*), отличающаяся от нее потенциалами сетки и анода, и схема, предложенная М. Греховой (фиг. 3б), представляющая собой лехерову систему с несколькими



Фиг. 3а.

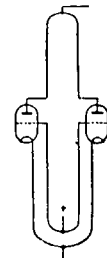


Фиг. 3б.

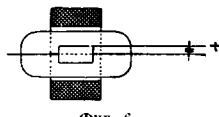
лампами, включенными на расстоянии длины волны одна от другой. Для целей эксплуатации более удобными являются генераторы с внутренними колебательными контурами, образованными спиральными сетками, подобными сеткам, имеющимся у ламп типа Ж-9, Р-5, Г-1, Ж-3 и у некоторых других типов ламп Глазаспиром СССР, у которых сетка не имеет закорачивающей траверсы. На фиг. 4 показана одна из ламп подобного типа, разработанная в ВЭИ в 1932 г. М. Греховой. Вертикальный проводник, присоединенный к сетке лампы, является антенной и одновременно служит для подвода напряжения на сетку [7]. Основным недостатком вышеописанных



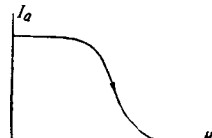
Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 6.



Фиг. 7.

генераторов является их чрезвычайно низкий КПД (порядка нескольких процентов) и малая колебательная мощность, не превышающая 1 Вт. Значительное преимущество представляет схема Маркони с настраиваемой цепью накала (фиг. 5), к-рая дает при длинах волны порядка  $\lambda = 60$  см колебательную мощность порядка 3—4 Вт [8]. К этому же классу генераторов относятся устройства, использующие *магнетроны* (см.), представляющие собой двухэлектродную лампу с цилиндрическим анодом, помещенную в аксиальное магнитное поле (фиг. 6). Характеристика магнетрона при постоянном анодном напряжении ( $E_a = \text{Const.}$ ), показывающая зависимость анодного тока от напряженности магнитного

поля, имеет вид, изображенный на фиг. 7. Колебания возникают при работе на сгибе характеристики при полях, несколько больших критических. Этот тип генераторов по своей природе весьма близок к генератору Баркгаузена-Курца. Приращивая, как и в случае колебания Баркгаузена-Курца, время полной циркуляции электрона периоду колебаний, Окабе [9] дал выражения для длины волны

$$\lambda \approx \frac{11\,000}{H}, \quad (2)$$

где

$$H \geq H_{кр.} = a \sqrt{E_a}.$$

Ф-ла (2) м. б. представлена в виде

$$\lambda^2 E_a = \text{Const}. \quad (3)$$

Случкий и Штейнберг нашли, что при поворотах оси магнетрона относительно направления магнитного поля на небольшие углы порядка нескольких градусов, интенсивность колебаний несколько возрастает [10].

Значительно больший эффект дает применение магнетронов с анодами, разрезанными по образующим на две равные половины (разрезной магнетрон), соединенные между собой. При положении оси этого магнетрона, составляющей небольшой угол с направлением магнитного поля, возникают сравнительно интенсивные колебания. Кильгор, исследовавший эти колебания, названные им спиральными, установил зависимость их частоты от  $E_a$  и  $H$ . Полученные им мощности при длинах волн 20—25 см не превышали нескольких W [11].

На совершенно отличном принципе основана работа разрезного магнетрона, помещенного в строго аксиальное магнитное поле; такой магнетрон дает контурные колебания, частота которых определяется электрическими постоянными колебательного контура, образованного полуанодами и соединяющим их проводником (фиг. 8), и поэтому относится к генераторам 2-го класса [12]. Колебательная способность такого магнетрона основана на наличии падающих областей в характеристиках вида:

$$\begin{aligned} I_{a_1} &= f(E_{a_1} - E_{a_2}), \\ I_{a_2} &= f(E_{a_2} - E_{a_1}), \end{aligned} \quad (4)$$

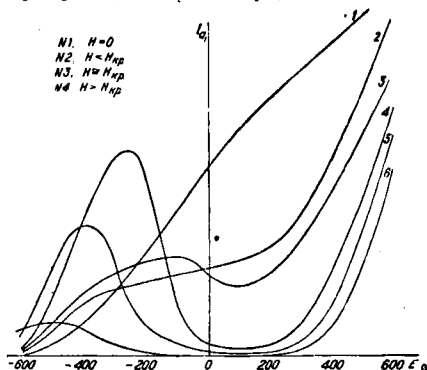
где  $I_{a_1}$  и  $I_{a_2}$  — токи полуанодов,  $E_{a_1}$  и  $E_{a_2}$  — потенциалы анодов (относительно катода).

На фиг. 9 показано типичное семейство характеристик вида  $I_{a_1} = f(E_{a_1} - E_{a_2})$ ; характеристики вида  $I_{a_2} = f(E_{a_2} - E_{a_1})$  расположены симметрично по отношению к оси ординат и м. б. легко построены графич. путем. Из кривых видно, что при нек-ром значении напряженности магнитного поля (близкого к  $H_{кр.}$ ) появляются падающие части, интервал и крутизна к-рых сначала увеличиваются с увеличением  $H$ , а затем при дальнейшем увеличении поля исчезают. Условие возникновения колебаний, выведенное для случая контура с сосредоточенными постоянными, имеет вид:

$$S > \frac{L}{RC}, \quad (5)$$

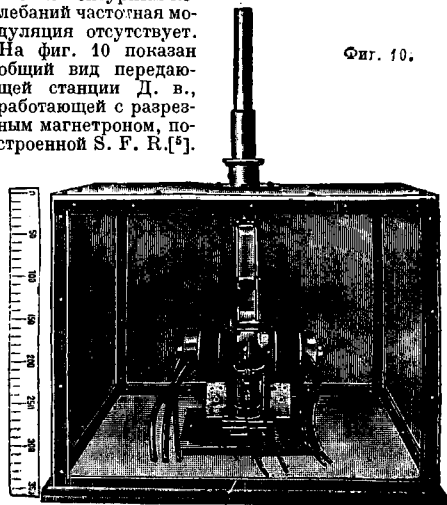
где  $S$  — крутизна характеристик при  $E_{a_1} = E_{a_2}$ . Разрезной магнетрон дает возможность легкого получения колебательных мощностей порядка десятков W при длинах волн 50—70 см и

кпд порядка 15—30%. Применение разрезного магнетрона для генерирования Д. в. в настоящее время является по сравнению с другими способами наиболее эффективным. Модуляция генераторов Д. в. легко осуществляется обыч-



Фиг. 9.

ным способом Хисинга (см. *Модуляция*), причем модуляция амплитуды колебаний генераторов первой группы связана также и с изменением частоты этих колебаний [см. ф-лы (1) и (3)] в случае же контурных колебаний частотная модуляция отсутствует. На фиг. 10 показан общий вид передающей станции Д. в., работающей с разрезным магнетроном, построенной S. F. R. [6].



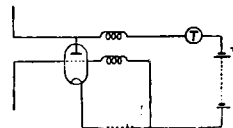
Способ генерирования Д. в. при помощи искрового разряда, осуществленный впервые еще Герцем, находит себе некоторые применение в несколько видоизмененном виде еще и в настоящее время. Для увеличения среднезаключаемой мощности и получения возможности телефонной модуляции искровой промежуток обычно питается от генератора высокой частоты. Тем не менее большое заглушение получаемых колебаний и связанный с этим широкий спектр частот, трудность получения мощностей, превышающих несколько W, делают этот способ генерации Д. в. мало эффективным и затрудняют его практич. использование [13]. Однако этот способ нашел

себе применение для получения еще более коротких волн в *массовом излучателе* (см.) Глаголевой-Аркадьевой [14].

Прием Д. в. Методы приема, применяемые в обычной радиотехнике, применяют и для приема Д. в., сохраняя и в этой области названия детекторный, суперрегенеративный и пр., хотя обоснования этого пока не существует. Самым простейшим приемником Д. в. является приемник с кристаллич. детектором (с малой внутренней емкостью); при этом детектор включается в пучность тока настраиваемого вибратора и соединяется с телефоном *T* через высокочастотные дроссели *D* (фиг. 11). Чувствительность такого приемника весьма мала (несколько  $mV/m$ ), поэтому он используется исключительно на передатчиках как индикатор колебания и модуляции. Меднозакисные детекторы вследствие своей весьма большой емкости для приема Д. в. неприменимы. Для целей связи обычно применяются ламповые приемники, которые несравненно чувствительнее и устойчивее детекторных. Такие типы приемников, применяемых в области более длинных волн, как регенеративные, супергетеродинные и др., для приема Д. в. не м. б. пока использованы, т. к. требуют поддержания большой стабильности частоты как у приемника, так и у передатчика, а вопрос о стабилизации частоты устройств Д. в. пока не решен.

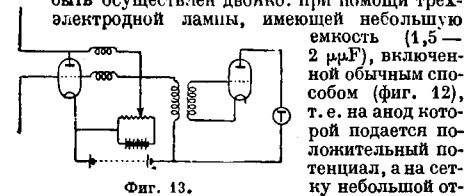


Фиг. 11.



Фиг. 12.

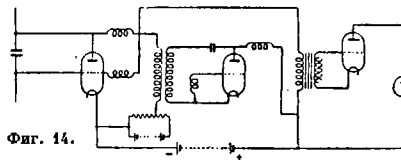
Наиболее употребительными являются ламповый приемник, работающий в детекторном режиме, и суперрегенеративный приемник. Ламповый приемник, работающий как детектор, может быть осуществлен двойно: при помощи трехэлектродной лампы, имеющей небольшую емкость (1,5 — 2  $\mu F$ ), включенной обычным способом (фиг. 12), т. е. на анод которой подается положительный потенциал, а на сетку небольшой отрицательный или нулевой потенциал. Высокая частота подводится от настроенного вибратора при помощи небольшой лехеровой системы к сетке лампы [15]. Чувствительность приемников подобного типа составляет несколько десятых долей  $mV/m$ , поэтому они используются лишь для приема полей достаточно большой напряженности (напр. для местного контроля работы передатчика).



Фиг. 13.

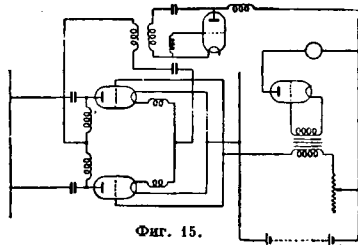
Значительные преимущества в этом отношении представляет схема, в которой трехэлектродная лампа включается по схеме тормозящего поля (как для генерации колебаний), показанной на фиг. 13 [16, 17]. Обычно для наиболее эффективного действия приемников данного типа необходим точный подбор анодного напряжения и тока накала (при этом потенциал сетки существенного значения не имеет) [18]. В этой схеме м. б. использованы только те лампы, к-рые сами способны генерировать принимаемый ими диапазон частот. Чувствительность таких приемников лежит в пределах от 80 до 150  $\mu V/m$ .

Наиболее эффективными и употребительными в настоящее время являются приемники суперрегенеративного типа (лучше сказать: аналогичные обычным суперрегенераторам), одна из схем к-рых показана на фиг. 14. На сетку или анод трехэлектродной лампы, включенной подобно генератору Баркгаузена-Курца, подается переменная эдс с частотой, лежащей далеко за пределами слышимости (обычно порядка  $3 \cdot 10^6$  Hz). Проводя аналогию с обычным суперрегенератором (см. *Суперрегенеративный прием*), можно дать такое описание действия этого приемника: благодаря воздействию переменной эдс рабочая точка приемника перемещается по характеристике вверх и вниз. Вследствие нелинейности характеристики создается большое число боковых частот и следовательно ряд резонансов



Фиг. 14.

н их столбиков, из которых и состоит резонансная кривая приемника. Вследствие этого приемники данного типа имеют весьма тугую настройку, и на их работе не сказывается нестабильность частоты как передатчика, так и самого приемника. Отметим, что это воззрение весьма вероятно, но еще не проверено. Специфич. признаком работы суперрегенератора является характерный шорох, который получается вследствие нерегулярности возникновения генерации приемника под воздействием наложенной эдс.



Фиг. 15.

При наличии принимаемого сигнала, частота которого совпадает или достаточно близка к частоте колебаний, генерируемых приемником, колебания последнего увлекются, и шорох прекращается. Поэтому при достаточно хорошо настроенном приемнике и сигналах достаточной интенсивности шорох отсутствует. Путем подбора соответствующего режима можно создать условия, при к-рых шорох отсутствует и без принимаемого внешнего поля. Опыт работы Маркони, ВЭИ и др. показал, что наложение суперной частоты на анод (а не на сетку) делает приемник более чувствительным, а сам прием более устойчивым и чистым. На фиг. 15 показана схема суперрегенеративного приемника, применяемого Маркони, отличительной чертой к-рого является применение двух ламп, имеющих разделенное питание и органы регулировки, чем достигается возможность установления точной симметричности работы этой схемы, к-рая дает весьма хорошие результаты.



Смотря на довольно многочисленные и интенсивные работы по приему Д. в настоящее время еще нет достаточно обоснованных теорий работы приемников того или иного типа. Этот пробел объясняется гл. образом отсутствием достаточно твердо установленной картины электронных процессов, происходящих в генераторах с трехэлектродными лампами, включенными по Барнгаузену-Курцу. Надо полагать, что для целей приема окажутся пригодными также и разрезные магнетроны, которые м. б. осуществлены для работы в слабых магнитных полях и с весьма небольшими напряжениями на анодах.

Лит.: 1) D a r b o r d, «L'onde électrique», P., 1932, т. 11, 122, p. 53; 2) Введенский Б. и Аренберг А., «Распространение ультракоротких волн», М., 1934; 3) С i a v i e r, «L'onde électrique», P., 1934, т. 13, 147, p. 401; 4) M a r c o n i, «Marconi Review», 1933, 40; 5) Bulletin de la Société Française Radio Électrique, P., 1933, 7; 6) B a r k h a u s e n u. K. u r z, «Phys. Ztschr.», Lpz., 1920, В. 21, p. 1; 7) Грехова и Бовшевцев, «Техника радио и слабого тока», Л., 1932, 4, стр. 269; 8) L a d n e r A. a. S t o n e r C., Short Wave Wireless Communication, L., 1932; 9) O k a b e, «Journal In. El. Eng. Japan», 1928, p. 234; O k a b e, «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», N. Y., 1928, v. 16, p. 745; 10) Случкий и Штейнберг, «ВРХО», 1926, т. 58, стр. 395; 11) K i l g o r e, «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», N. Y., 1932, v. 20, p. 1748; 12) M e g a w, «Journal of the Institution of Electrical Engineers», L., 1933, v. 72, p. 326; 13) B u s s e, «Jahrbuch d. drahtlosen Telegraphie u. Telephonie», В., 1926, В. 23, p. 97; 14) Лард в е л а р к а д е в а, «Струны ГЗС», М., 1924, 2; 15) S a r r a t a, «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», N. Y., 1923, v. 20, p. 1615; 16) H o l l m a n n, «Ztschr. f. Hochfrequenz Technik», В., 1933, В. 42, p. 89; 17) H o l l m a n n, ibid., 1933, В., 42, p. 185; 18) H o l l m a n n, «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», New York, 1934, v. 22, May. А. Аренберг, М. Славоборк, Ю. Шеня.

**ДОБАВКИ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ**, естественные или искусственные материалы, к-рые в порошкообразном состоянии прибавляются к воздушной извести или портланд-цементу для изменения их свойств или служат сырьем для получения бесклинкерных цементов. По химич. составу Д. г. разделяются на кислые и основные. Кислые Д. г., самая обширная группа этих материалов, содержат в преобладающем количестве кислотные окислы  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ; кремнекислота  $\text{SiO}_2$ , вступающая в реакцию с  $\text{CaO}$  воздушной извести или портланд-цемента, обуславливает способность воздушной извести отвердевать в воде, а портланд-цементу дает устойчивость в морских и минерализованных водах. Естественные кислые Д. г. делятся на вулканические и осадочные [см. *Вязкие вещества* (Доп. том), *Цемент*, *Пуццоланы*]. Для определения качества кислых Д. г. (или их активности) существуют методы химические и физико-механические. Химические методы основаны на определении активной (или аморфной) кремнекислоты кислотной добавки и сводятся к нахождению кремнекислоты, растворимой в щелочах (соде, едких натре или кали), или в определении того количества извести, к-рое способна поглотить кислая добавка из насыщенного раствора извести (метод поглощения). Физико-механич. метод основан на определении механич. свойств растворов извести или портланд-цемента с кислотной добавкой. Для быстрого определения механич. прочности указанных растворов м. б. применен метод ускоренного твердения, состоящий в том, что опытные образцы подвергают ускоренному твердению в термостате с  $t^\circ = 80^\circ$  в течение определенного, но короткого (в часах) времени. Кислая добавка считается тем активнее, чем большую механич. прочность она показывает при оптимальной дозировке.

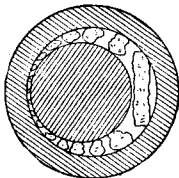
Основные Д. г. — искусственные материалы, в которых основные окислы  $\text{CaO} + \text{MgO}$

преобладают над кислотными  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ . К ним принадлежат гранулированные основные доменные шлаки — отходы производства чугуна на минеральном топливе, — обладающие способностью в порошкообразном состоянии при затворении водой медленно твердеть. В смеси с воздушной известью и портланд-цементом они обнаруживают явления, аналогичные при добавке кислых Д. г. Для оценки качества основных гранулированных доменных шлаков существуют методы, аналогичные для оценки качества кислых гидравлических добавок, изложенные в ОСТ НКТП 6364/305.

Лит.: Методы испытаний кислых гидравлических добавок, Комиссия по добавкам ИТС силикатной промышленности, Москва, 1931, вып. 1; К и н д л и в. и О к о р о в о в С., Строительные материалы, 1934, М. — И.; К у з н е ц о в А., Производственный контроль в цементной промышленности, 1934, М. — Л.; Т а р а н и н В., Гидравлические вязкие вещества, 1934, М. — Л.; D o r s c h K., Chemie d. Zemente, В., 1932; S c h o c h K., Die Mörtelbindstoffe, 4 Aufl., Berlin, 1928; K ü h l H. u. K n o t h e W., Die Chemie d. hydraulischen Bindemittel, Berlin, 1945. В. Таранин.

## ДРОБЛЕНИЕ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ (см.

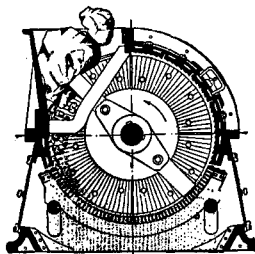
*Дробление*), две стадии механич. превращения кусков и обломков разных материалов и веществ в щебенку и мелочь, а затем и в порошок желаемой степени тонины. Д. и. играют большую роль в следующих отраслях промышленности: вязких веществ, грубой и тонкой керамики, стеклоной, горной, металлургической, химической и осуществляется в соответствующих дробильных и измельчающих аппаратах. При этом степень дробления и последующего измельчения варьируется в самых широких пределах и зависит от назначения измельяемого вещества.



Фиг. 1.

Д р о б л е н и е. Для дробления служат дробилки челюстные или щековые, конические и молотковые, а также дробильные валцы. Для предварительного измельчения в крупку служат бегуны, шаровые мельницы, а для окончательного измельчения в тонкий порошок применяют центробежные, маятниковые, трубчатые, сепараторные мельницы. Из челюстных дробилок наиболее известна дробилка Блена (см. *Дробилки*). Конические дробилки Гетса (см. *Дробилки*), Саймонса и др., распространенные в США, производят дробление материалов в промежуточные ребристым быстро вращающимся эксцентрично конусом и неподвижной ребристой стеной ступы-коробки. Схема работы конич. дробилки изображена на фиг. 1. Молотковые дробилки обладают или одним быстро вращающимся валом, снабженным 3—8 радиально насаженными стальными молотками (сист. «Zets»), или двумя быстро вращающимися в разные стороны валами с насаженными на них 4—14 стальными молотками (сист. «Титан»). Молотки, вращающиеся с большой скоростью, под действием центробежной силы принимают радиальное направление и дробят поступающий материал. Производительность их 30—60 т/ч и более при расходе силы 1—1,5 а. с. на 1 т. Применимы для хрупких и твердых материалов. На фиг. 2 изображен разрез молотковой дробилки. Для предварительного и окончательного измельчения в крупку служат бегуны и шаровые мельницы. Бегуны (см.) применимы как для сухого, так и для мокрого измельчения в крупку. Для окончательного измельчения мелочи или крупки в тонкий

порошок служат поставы и измельчающие мельницы различных систем (указаны выше). Поставы, состоящие из двух горизонтальных жерновов с насечкой на внутренней поверхности, из которых один вращается, измельчают крупку, растрягивая ее в промежуток между жерновками. Производительность их колеблется в широких пределах в зависимости от свойств материала, степени тонкости помола и пр., в среднем 1,0—1,5 т/ч при расходе 16—25 л. с. Применяются для сырья и добавок тонкой керамики. Центробежные мельницы, основанные на применении центробежной силы быстро вращающихся стальных шаров или валцов, размалывают и перетирают крупку шарами (сист. Фуллер, Руллета) или вальцами (системы Кент, Максекон), прижимаемыми центробежной силой к внутренней поверхности стального кольца. Ниже приведена



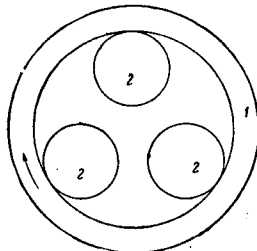
Фиг. 2.

производительность мельниц Фуллера, Руллета и Максекона.

Тип мельницы . . . . .	Фуллер	Руллета	Максекон
Производительность, т/ч	6—7	2	3—5
Потребная мощность, л. с.	60—70	25	25 и более

Эти мельницы применимы для тонкого перемола в керамич. пром-сти и для вяжущих веществ. На фиг. 3 изображена схема работы трехвальцевой мельницы (1—стальное кольцо, 2—вальцы). На фиг. 4а и 4б показаны разрезы трехвальцевой мельницы сист. Максекон, где 1—кожух, 2—вальцы, 3—опоры для валцов, 4—закрепление опор, 5—крышка кожуха, 6—глядельки, 7—люк, 8—засыпная воронка, 9 и 10—регуляторы, 11—канал для продуктов помола, 12—шпиль, 13—пружинки, прижимающие вальцы к кольцу.

Маятниковые мельницы, имеющие один или несколько висящих на валу конич. формы маятников, размалывают и перетирают мелочь и крупку в промежуток между поверхностями стального кольца и прижимаемых к нему центробежной силой быстро вращающихся маятников. Производительность их 3—4 т/ч при расходе энергии 60—65 л. с. Применяются для перемола вяжущих веществ и керамич. сырья. Сепараторные и трубчатые мельницы—см. Шаровые и трубные мельницы.



Фиг. 3.

Теория действия челюстной дробилки (Блена) и дробильных валцов—см. Дробилки.

Наибольшая сила удара шара в трубных или шаровых мельницах будет в том случае, если действующие на него силы—центробежная и

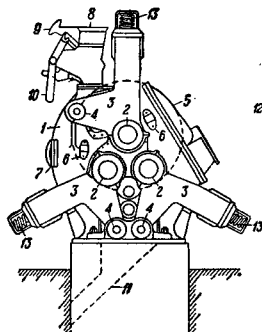
собственный его вес—будут равны. Максимальное число об/м. мельницы

$$n = \sqrt{\frac{g \cdot 302 \cdot 2}{r \cdot \pi^2}} = \sqrt{\frac{g \cdot 302 \cdot 2}{d \cdot \pi^2}} = \frac{42,3}{\sqrt{d}}$$

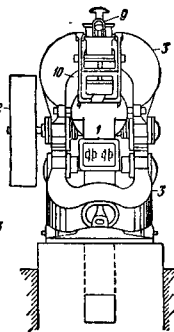
где  $g = 9,81$  м/сек,  $r$ —радиус мельницы,  $d$ —ее диаметр. На практике число об/м. этих мельниц берут равным

$$n = \frac{32}{\sqrt{d}}$$

Теория дробления и измельчения. В основу еще не вполне разработанной теории Д. и и. легли два основных закона, установленных Риттингером и Ником. Закон Риттингера основывается на положении, что работа, затрачиваемая при Д. и и., пропорциональна



Фиг. 4а.



Фиг. 4б.

вновь полученной поверхности измельченного материала. Действительно, если для разделения кубика с ребром в 1 см одной плоскостью необходимо затратить 1 кгсм работы, то для разделения того же кубика на 8 кубиков с ребрами в 1/2 см потребуется провести 3 плоскости и затратить 3А кгсм работы. При дроблении того же кубика на 27 кубиков с ребрами 1/3 см потребуются разделить первоначальный кубик 6 плоскостями и затратить 6А кгсм работы. При дальнейшем дроблении первоначального кубика на  $n^3$  кубиков с ребрами в 1/н см необходимо провести 3 (n—1) плоскостей и затратить 3А (n—1) кгсм работы, а также при раздроблении того же кубика на  $m^3$  кубиков с ребрами в 1/м см потребуются провести 3 (m—1) плоскостей и затратить 3А (m—1) кгсм работы. И в результате работа, затрачиваемая при дроблении, будет прямо пропорциональна степени измельчения, так как отношение затраченных работ будет равно

$$\frac{3A(n-1)}{3A(m-1)} = \frac{n-1}{m-1}$$

или при достаточно больших значениях  $n$  и  $m$  это отношение

$$\frac{n-1}{m-1} \approx \frac{n}{m}$$

Герзам разработал дальше закон Риттингера и установил для работы на 1 см<sup>3</sup> при дроблении куба с ребром  $D$  см до кубиков с ребрами  $d$  см Ф-лу

$$W = 3A \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \text{ кгсм.}$$

Ввиду же того, что при дроблении получаются обычно частицы неправильной формы, вводится коэф.  $k$ , и ф-ла будет иметь вид:

$$W = 3kA \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \text{ кесм,}$$

причем Ричардс установил для  $k$  значения 1,2—1,7. Закон Кика дает положение, что работа, затрачиваемая при дроблении, прямо пропорциональна объему или весу материала. Отсюда следует, что усилие, необходимое для раздробления, прямо пропорционально площади поперечного сечения, а работы прямо пропорциональны кубам линейных размеров, т. е.

$$\frac{W}{W_1} = \frac{V}{V_1} = \frac{L^3}{L_1^3},$$

где  $W$  и  $W_1$  — работы,  $V$  и  $V_1$  — объемы,  $L$  и  $L_1$  — ребра. Многочисленные опыты показали, что в машинах, действующих раздавливанием или ударом, более подтверждается теория Кика, а в машинах, действующих истиранием (скальваниями), — теория Риттингера. Следовательно обе теории дополняют друг друга. В дальнейших исследованиях основной закон дробления формулировался так: энергия, поглощенная определенным количеством раздробленных частиц, пропорциональна поверхности их и весу. В результате при определении все сводилось к находящемуся методу измерения поверхности раздробленных и измельченных частиц. Метод ситового анализа не подходил, т. к. давал большие отклонения от истинного размера частиц, выражая их в средней арифметич. величине предельных сит. Наиболее подходящим методом нужно признать метод Мартина, заключающийся в химич. растворении материала с поверхности, которое характеризуется количеством растворенного материала и скоростью растворения, т. е. элементами, могущими быть определенными и вычисленными.

Лит.: В а д л е р В. и М а н-К э б В., Основные процессы в аппаратах химич. производств, перев. с англ., М.—Л., 1933; О р г а н М., Механич. обогащение руд, М.—Л., 1931; Б у д н и к о в П., Керамическая технология, ч. 1, Харків—Киев, 1932; Теория и практика дробления и тонкого измельчения, Сборник статей под ред. Г. Егорова, Л.—М.—Новосибирск, 1932; Л е в е н с о н Е., Машины для обогащения, М.—Л., 1933; К а с а т к и н А., Основы процессов и аппараты химич. технологии, ч. 1, 1935, М.—Л.; «Цемент»; «Строительные материалы»; N a s k e К., Zerkleinerungsrichtungen u. Mahlanlagen, Lpz., 1926; F i s c h e r H., Technologie des Scheidens, Mischens und Zerkleinerns, Lpz., 1920; B l a n c G., Technologie der Brecher, Mühlen und Siebvrichtungen, B., 1928; «Zement», B.; «Tonindustrie-Zeitung», B.; «Rock Products», Chicago. В. Тарарин.

**ЗОЛЫ И ТОПЛИВНЫЕ ШЛАКИ**, остатки от сжигания минеральных топлив или мусора в котельных установках и в различного рода топках. Эти остатки в зависимости от химич. состава минеральной части топлива и достигнутой  $t^\circ$  при сжигании получаются или в виде пылкового порошка, или в виде частично оплавленных кусков, или же в виде расплавленной массы плавящего строения. В процессе сжигания топлива сначала происходит удаление влаги в нем, затем его газификация и выгорание органич. части, или собственно сжигание топлива. В тоже время по мере повышения  $t^\circ$  в минеральной части топлива идут реакции разложения карбонатов ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) и других соединений, затем в зависимости от наличия других компонентов и их количества и при существовании определенных термич. условий совершаются реакции образования новых соединений, а именно: моно- или даже бисиликатов, алюминатов и др. Указанные новообразования, а также не вошедшие в новые соединения компоненты в зависимости от наличия плавней, об-

разуя легкоплавкие смеси, или эвтектики, дают или полное расплавление, или спекание и начало размягчения, или же совершенно неспешную рыхлую массу; все эти виды образований вследствие неравномерного распределения  $t^\circ$  в разных местах топки могут получаться одновременно. Помимо того в случае нарушения в процессе сжигания в золе и шлаках подмешивается несгоревшее топливо. Так протекает процесс при сжигании на колосниковых решетках; в случае сжигания топлива в пылевидном виде происходит быстрое и полное сгорание частиц топлива и достигается более высокая  $t^\circ$ , что и обуславливает больший процент спекания и оплавления минеральных топливных остатков. При сжигании топлива на колосниковых решетках уносится (унос) с приходящими газами незначительная часть пылкой золы в виде тонкой пыли, при сжигании же в пылевидном виде уносится не менее 50% ее.

По химич. составу и строению З. и т. ш. должны быть отнесены к соединениям силикатов. Химич. их состав приводится в таблице.

Главными составными частями в золах и шлаках являются  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , в силу чего к ним можно применить все результаты и выводы изучения диаграммы трех и четырех веществ на основе методов физико-химич. анализа. З. и т. ш. в зависимости от своего химич. состава и полученных при сжигании топлива соединений обладают различной  $t^\circ$  и разделяются (по Киршу) на огнеупорные ( $s^\circ$  выше  $1200^\circ$ ) и легкоплавкие ( $s^\circ$  ниже  $1200^\circ$ ). О плавкости золы см. *Спр. ТЭ*, т. III, стр. 357. Объемный вес каменноугольного шлака в зависимости от его пористости колеблется в пределах 800—650  $\text{кг/м}^3$  и торфяного 800—1000  $\text{кг/м}^3$ .

По химич. составу золы представляют собой силикаты и, обладая тем или другим процентом активной, способной к растворению кремнекислоты, являются искусственными пуццоланч. веществами (по ОСТ внесены в число кислых, искусственных и гидравлич. добавок). Степень гидравлической золы зависит также от происхождения и рода топлива. На гидравлич. свойства золы влияет еще способ золоудаления из топок (сухой или мокрый), а также степень и скорость их охлаждения. Зола горючих сланцев при условии определенного химич. состава и соответствующего количества извести,  $\text{CaO}$ , а также достигнутых  $t^\circ$  (не выше  $1100^\circ$ ) является гидравлич. вяжущим веществом, способным самостоятельно схватываться и твердеть. Таковы золы горючих сланцев Веймарского месторождения, содержащие 38—39%  $\text{CaO}$ , а также некоторых сланцев Каширского месторождения. Получаемое из них гидравлич. вяжущее вещество по своим свойствам очень близко к роман-цементу. Присутствие серного ангидрида,  $\text{SO}_2$ , в них д. б. учитываемо во всех случаях применения как гидравлич. добавок или вяжущих веществ (сланцевый цемент).

Золы благодаря своим гидравлич. свойствам применимы или в качестве гидравлич. добавок при изготовлении известково-золевых цементов [см. *Цемент, Вяжущие вещества* (Доп. том)] или же в качестве самостоятельного гидравлич. вяжущего вещества. Шлаки топливные благодаря своей пористости и невысокому объемному весу ( $650—1000 \text{ кг/м}^3$ ) применяются в качестве легкого (теплого) заполнителя при изготовлении легких бетонов и изделий из них, например искусственные безобжиговые теплобетонные камни (см. *Строительные материалы*). Шлаки из газогене-

раторов окавались пригодными для обесфеноливания сточных вод. За последние годы выявлено значение золы как катализатора благодаря наличию щелочи и солей, особенно железа.

(20 мм высоты, 7 мм основание), помещается на огнеупорной пластине после подсушивания и прокаливания при 600° в печь; ВТИ используется как газовой, так и криптоловой печи; подогрев

Состав золы и топливных шлаков (в %).

Наименование золы и шлаков	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Щело- чи
Донецкого антрацита								
Бовоно-хрустальск.	22,28	17,96	34,86	8,45	2,51	6,78	—	1,02
»	52,12	32,12	9,33	0,87	1,09	0,25	—	0,85
Шахтинского . . . .	46,91	26,61	17,94	2,62	1,90	0,65	—	2,03
Уральского кам. угля								
Кивеловско-губахин.	38,28	30,50	25,33	1,40	0,43	1,39	—	0,47
»	31,70	17,03	20,67	12,40	3,63	11,81	—	2,42
Подмоск. кам. угля								
Товарного . . . . .	36,40	41,53	8,37	2,27	0,54	0,58	—	Следы
» . . . . .	35,44	32,44	19,78	4,75	0,50	6,48	0,21	—
Бобринского . . . .	37,10	40,83	16,22	1,85	0,69	3,15	0,22	—
» . . . . .	45,01	44,88	6,72	1,56	0,70	1,18	0,20	—
Щекинского . . . . .	49,45	38,00	10,68	0,75	—	0,79	0,24	—
Торфа								
Шатурского . . . . .	54,76	27,77	11,99	5,25	0,59	0,72	—	—
Горючих слан- цев								
Веймарского . . . .	34,29	11,50	9,10	36,17	1,17	3,06	—	—
Каширского . . . . .	40,80	8,85	11,64	24,84	0,20	0,69	—	—
Мусоросжига- тельн. Моск. ст.								
Летних . . . . .	73,90	3,74	6,46	7,79	1,23	0,11	—	3,32
Зимних . . . . .	69,60	10,92	6,69	9,17	1,50	0,69	—	4,54

Потери при прокаливании золы горючих сланцев: Веймарского—3,2%, Каширского—3,3%; З. и т. ш. мусоросжигательн. станции: летних—0,54%, зимних—0,50%.

Лит.: Суровцев В., Золы и шлаки как сырье для стройматериалов, М.—Л., 1933; В. С. О. К. И. П. Сланцевая зола и применение ее в строительстве, Самара, 1933; Лагунов Г., Шлаки и золы как сырье для производства стройматериалов, «Научные основы индустриализации строительства», 1932, 2—3; «Строительные материалы», М.; «Горючие сланцы», М.; «Тол-Industrie-Zeitung», В. Таварин, В. Таварин.

**Зола.** Исследование золы сводится к определению химич. состава,  $t^{\circ}$ , реже — ее химич. активности. В СССР определяют (в %) SiO<sub>2</sub>; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; TiO<sub>2</sub>; MnO; CaO; MgO; SO<sub>3</sub>; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O и иногда редкие элементы. Об определении золы см. *Каменный уголь*, т. IX. Методика исследования камня каменных углей. Распределение золы констатируется рентгеновскими снимками. На базе химич. состава предложены ф-лы для подсчета коэф-та огнеупорности золы Простом (1897 г.), Донатою (1924 г.) и др. Ф-ла Проста оказалась непригодной для золы с высоким % железа. Все ф-лы дают только примерное представление о степени плавкости золы, определяемой исключительно экспериментальным путем при действии высоких  $t^{\circ}$  на пирамидки из золы в особых печах или микропирометрическим методом нагрева небольших количеств золы на платиновой пластинке. Констант (1913 г.) применял криптоловую печь. Bureau of Mines (в Америке) исследовало влияние степени измельчения золы, размеров сформированных пирамидок, склеивающего материала (декстрина), скорости нагрева и особенно газовой среды, играющей очень важную роль, и выработало американский стандартный метод исследования золы, применяемый и у нас. В общих чертах исследование ведется след. образом. Изготовленная в лаборатории зола формуется с раствором декстрина в пирамидки

няется прибор Бунте-Баума-Риринга, построенный на этом же принципе. Испытуемый стержень из золы при подогреве передает с помощью сложного механизма гамму изменений пишущему прибору, при этом вычерчивается кривая, характеризующая поведение золы вплоть до достижения жидкоплавного состояния. Одни золы дают сначала медленно, затем быстро загибающуюся вниз кривую при  $t^{\circ}$  ок. 1 200° ( $t^{\circ}$  откладывается по оси абсцисс), другие показывают плавное понижение кривой и лишь ок. 1 500° быстрый наклон и т. д. Метод дает сходимость до 5° и ценные указания, но для практич. целей он слишком сложен. Микропирометрич. способ по Дольху и Пехмоллеру дает результаты в несколько мин. Пробу золы помещают на расширенный спай термометра платина—платина-родий в небольшой печи из огнеупорного материала и подогревают лучистой теплотой вольтовой дуги, установленной над спаем. Усиление или ослабление нагрева достигается перемещением вольтовой дуги вверх или вниз, наблюдение осуществляется с помощью лупы (этим прибором сделано между прочим интересное наблюдение улетучивания части золы подмосковского угля при  $t^{\circ}$  ок. 900°). Проверка метода показала что он принципиально верен, но в приборе получаются неточные определения.

Вопросы влияния золы топлив при высоких  $t^{\circ}$  на огнеупорные материалы и методы лабораторного испытания на химическую активность были освещены в работах ВТИ. Были испытаны методы плавкости смесей золы и огнеупорных материалов и взаимного поверхностного воздействия. Принцип метода ВТИ заключается в определении степени

ведется в полувосстановительной среде с постепенным подъемом  $t^{\circ}$  (примерно 5° в мин.); наблюдение ведется через боковую трубку с помощью оптического пирометра типа Курльбаума и Хольборна или измерением термометра платина — платина-родий. Точность измерений — до 10°; при этом отмечается: 1)  $t^{\circ}$  начала деформации (закругления острой вершины и наклоны ее), 2)  $t^{\circ}$  размягчения (при которой пирамидка сплавляется в шарик или верхушка наклоняется, опускается до подставки), 3)  $t^{\circ}$  жидкоплавного состояния, когда вся масса растекается по подставке. Характерны как эти  $t^{\circ}$ , так и интервалы между ними. При таком способе не получается полной картины изменения золы. Хюблер еще в 1914 г. предложил аппарат «Фюзиметр», дающий график, изображение процесса плавления золы. В последнее время в Германии приме-

коррозии в зоне, соприкасающейся с золами и шлаками. В кирпиче высверливалось углубление с определенным объемом, к-рое заполнялось известным количеством золы или шлака; после нагрева поворачивали кирпич вниз и повторно нагревали до расплавления золы, которую затем удаляли, измеряя по охлаждению изменение объема. Кривые изменений объема в зависимости от  $t^\circ$  характеризуют степень стойкости материала. Такие кривые полученные были для шлака и золы антрацитового штыба, торфа и уноса при воздействии их на кирпичи 8 марок. Характер кривых для золы антрацита отличается от таковых для золы торфа и уноса. Они значительно выше, причем разница в  $t^\circ$  размягчения доходит иногда до  $300^\circ$ . В общем шамотные кирпичи не показали значительной разницы между марками при воздействии золы торфа, резко реагируя лишь на  $t^\circ$  выше  $1300^\circ$ . Ошима и Фукуда наблюдали различное влияние золы для нек-рых видов топлива: удаление ее из кокса усиливало реакционную способность, из древесного угля, наоборот, уменьшало ее. Долгое время золу считали только балластом, затрудняющим технич. использование топлива и понижающим экономич. эффект. Несомненно, что зола иногда вызывает зашлаковывание топок, обилие металлич. частей, разрушение кладки. Зола кокса обуславливает увеличенный расход материалов, уменьшение производительности доменных печей. Перевозка, удаление золы, тепловые потери от нее дают сотни млн. руб. убытков для народного х-ва. Иногда зола является даже угрозой окружающему. Напр. крупная электротрансраль с суточным потреблением 120 вагонов угля при 20% золы (при пылевидном сжигании, когда получается до 70% летучей золы) покроем за год пространство  $\varnothing$  в 2 км золным покровом в 5 см. Мерами борьбы является снижение зольности топлива путем обогашения и др. Для борьбы с вредным влиянием золы в топках и газогенераторах применяется охлаждение колосников, подбор типа генераторов со спуском расплавленной золы, правильный подбор топки и т. д.

Зола находит себе применение, во-первых, как добавка при изготовлении цемента, во-вторых, после извлечения горючих частей для изготовления плит, пустотелых кирпичей.

Удаление из золы и шлаков остатков топлива достигается сухим или мокрым путем или комбинацией их, также электромагнитическими способами. Распространены сепараторы, напр. типа «Колумбус», с применением тяжелых жидкостей или воды со замученной глиной. По герм. данным в каменноугольной золе промышленных топок находится до 30, а на паровозных и до 45% негоревших частей. Лабораторным путем выявлена в Мосхимэнергострое возможность использования золы бобринских углей для комплексной переработки ее.

Лит.: Орлово Н., «Химия твердого топлива», 1933; Нефедьева О., Уваров В., «ИТИ», М., 1927, 10/33; Падучков Н., там же, 1928, 5/35; Нефедьева О., Падучков Н., там же, 1928, 5/48; Крэм В., Методика отбора средних проб огазовых остатков «ГЖ», 1920, 10; Godfrey W. H. и м. у., Fuel Testing, L., 1932; Dolich M., Die Untersuchung d. Brennstoffe u. ihre rechnerische Auswertung, Halle a/S., 1932; Donath E., Die Verfeuerung d. Mineralkohlen u. die Aufbereitung d. Feuerungsrückstände, Dresden, 1924; Bunte K., Ваум К., «Das Gas- u. Wasserfach», Моб., 1928; Ваум К., Ваум К., ibid., 1928, 5; Arch. f. Wärmewirtschaft, В., 1928, p. 370; Симеке В., Соуфалик Ф., Веранек З., «Feuerungstechnik», Лpz., 1934, I; Sinnat F., «Ass. Intern. Mater. Congress», Zurich, 1932, p. 358; Dawe A., «Fuel», 1932, 3; Nicholls P., Selvig W., «Fuel», 1933, 5, 6, 7, 8, 9, 10 (большая работа по плавкости золы); «Hot Gas», 1932,

p. 171; Kosaka J., Toda H., «J. Ch. I. Jap. Supp.», 1934, v. 37; Oshima J., Fukuda J., «Proc. 3 Intern. Conf. Bitum. Coal», Pittsburg, 1933; В. А. Гр., «Ст. у. Лз.», 1924, II, 39; В. А. Гр., «Berat. d. Chemist. Inst.», p. 345, 384; В. А. Гр., «Gas- u. Wasserfach», Моб., 1926, p. 909, 943; Cobb Sutcliffe A., Branson Bent, «Gas Journal», L., 1927, p. 896, 901, 905; Braunholtz Nave B. Bristol, ibid., 1929, p. 896, 901, 905; Jones King Sinnat, «Fuel Res. Board Techn. Pap.», 1930, 25; Das Ascheproblem, «Arch. f. Wärmewirtschaft», В., 1931, p. 68, 70; В. А. Гр., «Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas et de la Belgique», Leyde, 1929, p. 399, 1931, p. 49; King J. A., Crossley H., Methods for the Quantitative Analysis of Coal Ash, «Fuel Research Phys. Chem. Survey», L., 1933, 28; Fieldner E. A., Hall A., Feild A., «Bul. Bureau of Mines», Wash., 1918. А. Шахов.

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ** в машиностроении, инструмент и приспособления, применяемые в машиностроении для измерения линейных и угловых размеров, проверки формы обрабатываемых деталей и контроля тех же элементов готовой продукции. Все И. и. можно разделить на два больших класса: бесшкальные и шкальные И. и. Бесшкальные И. и. не имеют собственной шкалы и могут т. о. служить либо для переноса размеров с инструментов, снабженных шкалой, на измеряемый предмет или обратно, либо для снятия размеров или формы изделия с И. и. Шкальные И. и. снабжены в той или иной форме шкалой и дают возможность определять абсолютные размеры измеряемых величин. По способу увеличения точности отсчета можно различать механические и оптические И. и.: у первых отчет производится невооруженным глазом, у вторых применяются различные опич. методы уточнения отсчетов.

Теория измерений. Все измерения в машиностроении сводятся в конечном счете к сравнению линейных размеров, углов и форм (контуров, взаимного расположения элементов формы) изделия с соответственными элементами нек-рого образца, принимаемого при данном измерении за эталон. В этом расширенном смысле слова эталонами будут как простая масштабная линейка с делениями, так и калибр, как плитки Иогансена, так и длина световой волны определенной частоты колебаний. Как видно из этого перечисления, эталон м. б. представлен как физич. телом, ограниченным мерными поверхностями или снабженным на своей поверхности отметками (обычно штрихами), так и условным физич. представлением (длиной световой волны). Наши внешние чувства, применяемые при измерениях (гл. образом зрение, во вторую очередь мускульное чувство и осязание), позволяют с б. или м. удовлетворительной степенью точности установить лишь факт равенства, совпадения двух измеряемых величин или явлений. Каждый раз, когда появляется необходимость суждений о численной величине отклонения измеряемой величины от эталона, точность измерения резко падает; поэтому все точные И. и. основаны на процессе уравнивания тем или иным способом измеряемой величины с эталоном, а определенная величина отклонения вводится лишь как вспомогательное средство для повышения точности за пределом непосредственного отсчета. Рассматриваемое под этим углом зрения напр. измерение микрометром сводится к двум операциям: 1) уравнивание длины измеряемого предмета с мерной длиной микрометра — расстоянием между мерными плоскостями шпинделя и наковальни — путем ввинчивания шпинделя и 2) определение совпадения штрихов на гильзе с отметкой на хвостовике корпуса. Глазомерное определение сводится в данном случае к определению

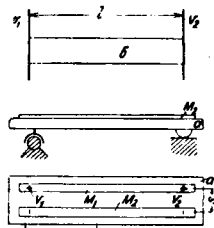
несовпадения штрихов в долях наименьшего деления гильзы. В случае проверки напр. диам. вала по нормальному кольцу отклонения размеров определяются мускульным чувством по сравнительной легкости движения эталона (кольца) по валу; поэтому этот способ является значительно менее точным, чем измерение при помощи предельных калибров, где необходимость суждения о величине отклонения заменяется простым констатированием прохождения или задерживания изделия соответственным калибром.

Границы точности определения совпадения размеров изделия с данным эталоном обуславливаются в конечном счете остротой восприятия упомянутых выше трех внешних чувств. Наименее поддается численному определению острота мускульного чувства, к-рое к тому же наиболее сильно зависит от утомления. Точность определения совпадения размеров возрастает в этом случае с уменьшением величины зазора между поверхностями и зависит от их состояния (степень гладкости и смазка); наибольшая точность м. б. достигнута при проверке равенства кольца и вала, обработанных до равенства в пределах  $\pm 0,25 \mu$ , с высоко полированными поверхностями и без всякой смазки. В этом случае можно обнаружить легко отклонения в диам. на  $0,5-0,8 \mu$ . Присутствие смазки сильно понижает точность восприятия и искажает результаты, которые зависят в этом случае не только от величины зазора, но и от свойств смазочного слоя. Присутствие смазки позволяет например ввести пробку с диам. до  $5 \mu$  большим диам. кольца в последнее, причем тугость посадки уменьшается с увеличением диаметра кольца лишь сравнительно медленно. Наощупь наибольшей точностью отличается определение уступа, образуемого острым краем полированной плоскости. Уступ в  $20 \mu$  легко различается сравнительно грубым осязанием: при хорошо развитом осязании возможно заметить уступ высотой в  $5 \mu$  и менее. Существенным фактором являются чистота и степень полировки поверхности и острота края уступа. Определение наощупь абсолютной или даже сравнительной высоты уступа весьма мало точно. Наибольшим применением пользуется при измерениях зрение. Физиологические свойства нашего глаза таковы, что присутствие света на темном фоне им определяется со значительно большей остротой, чем его отсутствие на светлой поверхности. Объясняется это тем, что наименьшим элементом сетины, воспринимающим свет, являются колбочки, имеющие поперечник порядка  $2,5 \mu$ , что при фокусном расстоянии глаза в  $35 \text{ мм}$  дает минимальный угол зрения в  $\frac{2,5}{53000} = 0,0000715$ , или  $15,6''$ . Под равным или большим углом зрения д. б. видима темная черта на светлом фоне с тем, чтобы ее изображение на сетине закрыло целый ряд колбочек и дало отчетливую и резкую картину черты. Принимая нормальное расстояние ясного зрения в  $250 \text{ мм}$ , получаем минимальную толщину черты шкалы, равной  $0,0000715 \cdot 250 \cong 0,03 \text{ мм}$ . Светящаяся точка или черта на темном фоне будет обнаружена глазом в противоположность этому при любой величине угла зрения, т. к. раздражение зрительных нервов производит не темнота, т. е. отсутствие света, а самый свет. Поэтому достаточно, чтобы хотя ничтожная часть колбочки была освещена достаточно сильным источником света, чтобы вызвать раздражение соответственного нерва и дать картину светлого пятна величиной с колбочку. В силу этого свой-

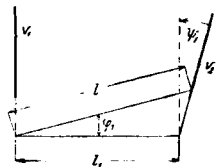
ства сетины мы только и в состоянии напр. видеть звезды, т. к. их угловая величина практически равна 0. Несовпадение двух штрихов может одинако быть обнаружено уже в том случае, когда угловое смещение их на сетине равно половине наименьшего угла зрения, т. е. около  $0,015 \text{ мм}$ , так как вследствие шахматного расположения колбочек при этом картины штрихов будут восприниматься двумя смещениями на полтолщины колбочек рядами их.

Всякий И. и. представляет собой т. о. компаратор, сравнивающий размеры измеремого предмета с употребляемым при данном измерении эталоном. Поэтому теория измерений основывается гл. образом на теории компаратора, к-рая и будет вкратце изложена ниже. По способу перемещения сравниваемых величин можно различать трансверсальные, или поперечные, и лонгитудинальные, или продольные, компараторы: в первых эталон и измеряемый предмет лежат рядом друг с другом, а во вторых они располагаются последовательно один за другим.

Трансверсальный компаратор состоит в основном из салазок *a* (фиг. 1), на к-рых лежат оба сравниваемых масштаба  $M_1$  и  $M_2$ , и визирного приспособления, состоящего из двух визиров (микроскопов)  $v_1$  и  $v_2$ .



Фиг. 1.



Фиг. 2.

удерживаемых на постоянном расстоянии  $l$  балкой *b*. Для производства измерения приходится сдвигать либо салазки *a* либо балку *b* с визирами на величину  $s$  расстояния между осями обоих масштабов. Предположим, что линии визиров  $v_1$  и  $v_2$  (фиг. 2) наклонены друг к другу на угол  $\varphi_1$ , а ось масштаба составляет с нормалью к  $v_2$  угол  $\varphi_2$ ; ошибка измерения  $f_1 = l - l_1$ ; по закону синусов

$$\frac{l}{\sin(90^\circ + \varphi_1)} = \frac{l_1}{\sin(90^\circ - \varphi_1 - \varphi_2)}$$

т. е.

$$f_1 = l \left[ 1 - \frac{\cos(\varphi_1 + \varphi_2)}{\cos \varphi_1} \right];$$

разлагая оба cos в ряд и сохраняя по два первых члена, имеем

$$f_1 = l \left\{ 1 - \left[ 1 - \frac{1}{2} (\varphi_1 + \varphi_2)^2 \right] \cdot \left( 1 + \frac{1}{2} \varphi_1^2 \right) \right\};$$

отбрасывая при перемножении члены с степеиями углов большими 2-й, имеем окончательно

$$f_1 = \frac{l}{2} (\varphi_1^2 + 2\varphi_1\varphi_2). \quad (1)$$

т. е. возникающие при этом ошибки суть второго порядка малости относительно углов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ ; при  $\varphi_1=0$ ,  $f_1 = 0$  независимо от  $\varphi_2$ ; при  $\varphi_2=0$ ,  $f_1 = \frac{l}{2} \varphi_1^2$ . Для сравнения двух эталонов можно передвигать как визир, так и измеряемые бруски. Получающиеся при этом ошибки зависят гл. обр. от непараллельного перемещения соответственных частей компаратора. Рассмотрим

сначала перемещение точки  $A$  (фиг. 3), находящейся на салазках на расстоянии  $a$  от оси направляющей; конечное положение салазок определяется независимо от формы пути длиной нормали  $s$  и углом  $\varphi$ , составляемым нормалью в конечном положении с первоначальным. Сдвиг  $f_A$  точки  $A'$  в направлении измеряемой величины равен

$$f_A = a - BC = a - BA' \cos \varphi,$$

а т. к.

$$BA' = a - DB = a - s \operatorname{tg} \varphi,$$

то

$$f_A = a(1 - \cos \varphi) + s \operatorname{tg} \varphi \cos \varphi;$$

разлагая  $\cos \varphi$  в ряд и отбрасывая все члены за исключением первых двух и полагая  $\operatorname{tg} \varphi \cos \varphi = \sin \varphi = \varphi$ , получаем

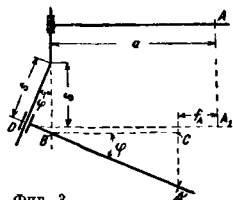
$$f_A = \frac{a}{2} \varphi^2 + s\varphi. \quad (2)$$

Т. к. ошибка измерения  $f_A$  равна разности ошибок для точек  $v_1$  и  $v_2$ , находящихся на расстояниях  $a$  и  $b$  от направляющих, получаем

$$f_A = \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) \varphi^2 = \frac{l}{2} \varphi^2, \quad (3)$$

т. е.  $f_2$  является ошибкой второго порядка малости. Однако сдвиг каждой отдельной точки,

т. е.  $f_A$ , уже представляет собой ошибку первого порядка. Величина угла  $\varphi$  зависит как от кривизны направляющих в целом, так и от местных неровностей. Обозначая отклонения поверхностей направляющих от геометрической оси  $AB$  (фиг. 4)



Фиг. 3.

через  $u$ , получим (считая поверхность салазок идеальной плоскостью)

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{u_2 - u_1}{n},$$

где  $u$  и  $n$  относятся к крайним точкам опоры салазок. В том случае, когда сами салазки имеют свои выпуклости и вогнутости, максимальное значение угла  $\varphi$  наступит тогда, когда в одной крайней точке выпуклость  $u_3$  салазок придется на выпуклость  $u_1$  направляющих, а в другой — выпуклость  $u_4$  салазок на вогнутость  $u_2$  направляющих, тогда

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{u_1 + u_2 - (u_3 - u_4)}{n} \approx \frac{2u}{n}, \quad (4)$$

где  $u$  — средняя величина выпуклости, а  $n$  — длина салазок. До сих пор мы предполагали, что перекоз имеет место только в горизонтальной плоскости. Рассмотрим перекоз в вертикальной плоскости; он вызовет перемещение визируемой точки  $A$  в  $A'$  (фиг. 5), равное  $f'_A$  и определяемое из ур-ия

$$f'_A = A'B + BA_1 = k \operatorname{tg} \psi + f_A + a \left(1 - \frac{1}{\cos \psi}\right),$$

где  $k$  — высота оси балки над измеряемыми масштабами; полагая  $\operatorname{tg} \psi = \varphi$ , разлагая  $\frac{1}{\cos \psi}$  в ряд и подставляя значение  $f_A$  из ф-лы (2), получаем

$$f'_A = k\psi + s\varphi + \frac{a}{2}(\varphi^2 - \psi^2),$$

откуда ошибка измерения при вертикальном перекозе  $f'_A$ , равная разности ошибок обоих визиров, определяется из выражения

$$f'_A = \frac{l}{2}(\varphi^2 - \psi^2). \quad (5)$$

Из последнего выражения видно, что влияние обоих перекозов диаметрально противоположно, но ограничивается ошибками второго порядка малости. Влияние изгиба балки, несущей визирные приборы в горизонтальной плоскости, весьма незначительно и выражается ф-лой

$$f_A = \frac{l}{4} \chi^2, \quad (6)$$

где  $\chi$  — угол между касательной к упругой линии балки в местах прикрепления визиров. Влияние скручивания балки при сохранении прямолинейности оси ее выражается ф-лой

$$f_A = -\frac{h^2}{2l} \xi^2, \quad (7)$$

где  $\xi$  — угол поворота обоих сечений балки, содержащих визирные приборы, а  $k$ , как и раньше, — высота нейтральной линии над плоскостью измерения. Изгиб балки в вертикальной плоскости влечет за собой появление ошибки  $f_A$ , определяемой ур-ием

$$f_A = k \operatorname{tg} \chi_1 = k \left( \chi_1 + \frac{\chi_1^3}{3} + \dots \right) \approx k\chi_1, \quad (8)$$

т. е. в этом случае уже появляется ошибка первого порядка малости, которая, вообще говоря, не м. б. приравнена нулю. При перемещении тележки, содержащей сравнимые меры, все ошибки, вызываемые деформацией последней и неправильностью направляющих, сводятся к перекосам в обоих направлениях и выражаются ф-лой

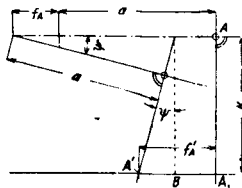
$$f_A = \frac{l}{2}(\varphi^2 + \psi^2), \quad (9)$$

где  $\varphi$  и  $\psi$  — углы перекоса измеряемой длины в горизонтальной и вертикальной плоскостях под суммарным воздействием неправильностей направляющих и деформаций тележки.

Изгиб балки, несущей визирные приборы, обусловливается помимо неправильностей в направляющих, вызывающих появление в ней изгибающих усилий, гл. обр. неравномерностью распределения  $t^\circ$  по высоте балки. Предполагая линейное распределение  $t^\circ$  по высоте балки и называя  $\Delta t$  — разность  $t^\circ$  обоих крайних волокон,  $h$  — высоту балки,  $l$  — мерную длину ее,  $\alpha$  — коэф. расширения материала, получаем угол поворота двух крайних сечений

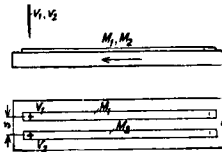
$$\chi_1 = \frac{l \cdot \alpha \Delta t}{h}. \quad (10)$$

Для того чтобы составить себе представление о допустимых величинах факторов, влияющих на ошибки измерения, положим  $l = 1000$  мм,  $f = 1$  мк,  $k = 400$  мм,  $h = 200$  мм,  $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6}$  (сталь), длина салазок  $n = 400$  мм, тогда из ур-ия (1), полагая  $\varphi_1 = \psi_1$ , имеем  $\varphi_1 = \psi_1 < 3'$ ; из ур-ия (3)  $\varphi < 5'$ , для чего достаточно, чтобы неровности и неправильности направляющих от средней линии не превышали 0,3 мм, — условие, как видим, легко выполнимое; из ур-ия (5)  $\psi < 5'$ ;

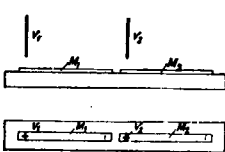


Фиг. 5.

из (6)  $\chi < 7^\circ$ ; из (7)  $\xi < 12'$ ; из (8)  $\chi < 0,0087' < 0,52''$  — условие, уже трудно выполнимое, т. к. в этом случае по высоте балки  $l^0$  должна сохраниться постоянная в пределах до  $0,045^\circ$ ; наконец из (9) при  $\varphi = \psi$  получаем  $\varphi < 3,5'$ , наковое условие легко выполнимо, т. к. оно требует сохранения правильности рабочих поверхностей направляющих и салазок в наименьшем случае с точностью до  $\pm 0,2$  мм. Трансверсальный компаратор непригоден для сравнения штриховых мер с малыми расстояниями между делениями, а следовательно для сравнения между собой употребляемых в технике масштабов. Для этой цели существуют продольные (лонгитудинальные) компараторы, основным признаком которых является перемещение визирных линий вдоль масштабов, причем каждая визирная



Фиг. 6.



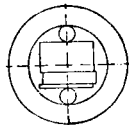
Фиг. 7.

направлена на деления одного масштаба. По способу расположения сравниваемых мер различают компараторы с рядом расположенными мерами  $M_1, M_2$  (фиг. 6) и с мерами, лежащими друг за другом (фиг. 7). Подробное исследование показывает, что при первом расположении, при перемещении визирных приспособлений  $v_1, v_2$  из всех источников появления ошибок имеются три первого порядка, из которых две ошибки пропорциональны высоте  $k$  направляющих визирного аппарата над плоскостью измерений, а одна пропорциональна расстоянию  $s$  между масштабами, остальные ошибки — второго порядка малости. При перемещении тележки с масштабами имеется один лишь источник ошибки первого порядка, пропорциональной  $s$ . При продольном компараторе с последовательным расположением сравниваемых мер при передвижении визирных приборов может возникнуть одна ошибка первого порядка, пропорциональная  $k$ , тогда как при перемещении тележки с масштабами все ошибки лежат в пределах второго порядка малости. Из приведенной выше краткой теории компараторов м. б. сделаны следующие весьма важные для теории И. и. выводы. 1) Во всех вообще случаях измерения выгоднее перемещать не визирные линии (или вообще линии или плоскости, определяющие данный размер), но сравниваемые величины (масштаб и измеряемый предмет); 2) в случае необходимости перемещения визирных линий следует стремиться к возможно уменьшению как расстояния от направляющей плоскости перемещения визиров до плоскости измерений, так и расстояния между сравниваемыми длинами; 3) при применении принципа продольного компаратора, т. е. во всех тех случаях, когда необходимо сравнивать измеряемую длину с эталоном с мелкими масштабными делениями (громоздкое большинство всех измерений в машиностроении), необходимо устанавливать обе сравниваемых длины по одной линии, параллельной оси перемещения их (т. н. п р и н ц и п А б б е). Уменьшение расстояний  $k$  и  $s$  м. б. достигнуто не только физич. способом, напр. при измерении размеров кольцевого надибра набором мерных плиток с двумя шариками

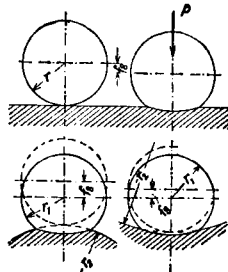
или цилиндрами (фиг. 8), но и чисто оптически, напр. совмещением изображения измеряемого предмета в фокусе микроскопа с изображением штриха микрометрич. окуляра. При точных измерениях большое значение имеет величина давления между измеряемыми предметами и мерными поверхностями. Это усилие  $P$  вызывает: 1) общее укорочение  $\Delta l$  длины измеряемого предмета и частей И. и., подверженных сжимающим усилиям  $\sigma$  по закону Гука:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{FE}, \quad (14)$$

где  $E$  — модуль упругости,  $F$  — площадь поперечного сечения соответствующей детали И. и.; 2) деформации изгиба и кручения как всего И. и. в целом, так и отдельных его деталей; 3) местные деформации в точках соприкосновения мерных поверхностей И. и. и измеряемого предмета. Влияние первого фактора вообще ничтожно; при давлениях порядка 1—2 кг, принятых в измерительной практике, и при сечении измеряемого объекта напр. в  $5 \text{ см}^2$  относительное укорочение составляет для стального эталона  $0,95 \cdot 10^{-7} - 1,9 \cdot 10^{-7}$ , т. е. на 1 м длины всего 0,1—0,2 м. Влияние деформации самого И. и. трудно поддается учету, величина же вызываемой этим фактором ошибки м. б. весьма велика; для ее исключения необходимо стремиться сохранять давление при всех измерениях постоянным и величину его уменьшить до предела, обеспечивающего неизменно плотное прилегание мерных поверхностей. Тарировка шкал И. и. и сличение с эталоном должно производиться под тем же давлением. Влияние третьего факта в случае определенной формы мерных поверхностей легко поддается учету по ф-лам



Фиг. 8.



Фиг. 9, 10 и 11.

Герца. Называя  $f_s$  ошибку в  $\mu$  на одной поверхности соприкосновения, имеем: 1) В случае соприкосновения шаровой поверхности с плоскостью (фиг. 9)

$$f_s = \sqrt[3]{\frac{9(1-m^2)^2 P^2}{4rE^2}} \approx 0,76 \sqrt[3]{\frac{P^2}{r}}, \quad (12)$$

где  $r$  — радиус кривизны шара в см,  $P$  — сила в кг,  $m$  — коэф. Пуассона (0,3),  $E$  — модуль Юнга (для стали 2 100 000 кг/см<sup>2</sup>). В том случае, когда материалы соприкасающихся тел обладают различными модулями упругости  $E_1$  и  $E_2$ , в ф-лу (12) на место  $E$  подставляют величину  $E' = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}$ . 2) В случае соприкосновения двух шаровых поверхностей с радиусами  $r_1$  и  $r_2$  (фиг. 10) имеем

$$f_s = 0,76 \sqrt[3]{P^2 \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}, \quad (13)$$

ф-ла (13) справедлива для касания двух выпуклых шаровых поверхностей. В случае соприкосновения выпуклой поверхности радиуса  $r_1$  с вогнутой радиуса  $r_2$  (фиг. 11) знак у  $r_2$  меняется.



3) Для случая соприкосновения шара с цилиндрич. поверхностью

$$f_8 = 1,5\psi (1 - m^2) \frac{P}{Ea}, \dots \quad (14)$$

где  $a$  — большая полуось эллипса касания, равная для обеих выпуклых поверхностей ( $r$  — радиус шара,  $R$  — радиус цилиндра),

$$a = \xi \sqrt{\frac{3(1-m^2)PRr}{E(2R+r)}}; \quad (15)$$

для соприкосновения шара с вогнутой цилиндрич. поверхностью Ф-ла (15') принимает вид

$$a = \xi \sqrt{\frac{3(1-m^2)PRr}{E(2R-r)}}; \quad (15')$$

коэф-ты  $\psi$  и  $\xi$  в ур-иях (14), (15) и (15') находятся по табл. 1 в функции фиктивного угла  $\theta$ .

Табл. 1.—Значения  $\xi$  и  $\psi$  в Ф-ии угла  $\theta$ .

$\theta$ . . .	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
$\xi$ . . .	1,128	1,284	1,486	1,754	2,138	2,731	3,778	6,612	$\infty$	$\infty$
$\psi$ . . .	1	1,12	1,25	1,39	1,55	1,74	1,98	2,30	2,90	$\infty$

который в случае обеих выпуклых поверхностей определяется из ур-ия

$$\cos \theta = \frac{r}{2R+r},$$

а для шара по вогнутой цилиндрич. поверхности

$$\cos \theta = \frac{r}{2R-r}.$$

Для стали ( $E = 2\,100\,060 \text{ кг/см}^2$ ) ошибка в  $\mu$  (при  $R$  и  $r$  в см) обращается для обеих выпуклых поверхностей в

$$f_8 = 0,6 \frac{\psi}{\xi} \sqrt{\frac{P^3(2R+r)}{Rr}}; \quad (16)$$

а для шара по вогнутой цилиндрич. поверхности в

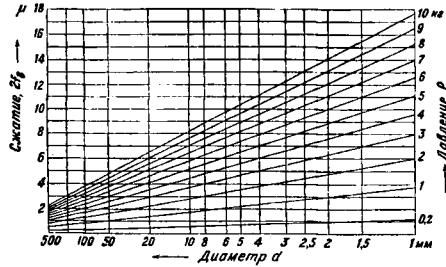
$$f_8 = 0,6 \frac{\psi}{\xi} \sqrt{\frac{P^3(2R-r)}{Rr}}. \quad (16')$$

4) Для случая цилиндрич. поверхности, опирающейся на плоскость, величина  $f_8$  не м. б. найдена по Герду теоретич. путем. Г. Бохманом опытным путем для этого случая выведена для стальных поверхностей ( $E = 2\,150\,000 \text{ кг/см}^2$ ) зависимость вида

$$f_8 = 0,017 \frac{P}{L} \sqrt{\frac{L}{r}}. \quad (17)$$

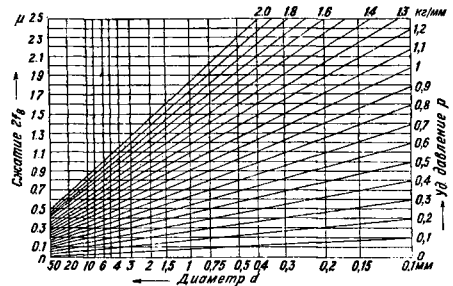
где  $L$  — длина в см соприкасающейся образующей цилиндрич. мерной поверхности. Величина полного укорочения эталона с шаровыми или цилиндрич. мерными поверхностями при сжатии между двумя плоскостями равна  $2f_8$ . Величины  $2f_8$  в Ф-ии давления  $P$  кг или удельного давления  $p$  кг/мм длины образующей и диам.  $d$  шаровых или цилиндрич. поверхностей даны в виде графиков на фиг. 12 для стальных эталонов с двумя шаровыми поверхностями, сжимаемыми между стальных плоскостями, а на фиг. 13 для цилиндрич. эталонов. Влияние  $L$  на точность измерений длин настолько значительно, что не м. б. оставлено при б. или м. точных работах без внимания. Наиболее благоприятным является тот случай, когда эталон и измеряемый предмет сделаны из материала с одинаковым коэф-том расширения. Тогда для достижения точности измерений достаточно, чтобы их  $t^\circ$  были равны (напр. для стали при требуемой точности  $1 \cdot 10^{-5}$  достаточно равенства  $t^\circ$  в пределах  $\pm 0,9^\circ$ ). Для достижения

равенства  $t^\circ$  необходимо в случае точных измерений (например порядка  $1 \cdot 10^{-6}$ ) выдерживать эталоны и измеряемые предметы в течение нескольких часов на металлч. подставке в помещении с незначительным суточным колебанием  $t^\circ$  и кроме того во время самих измерений принимать ряд мер для уменьшения влияния на них  $t^\circ$  тела лица, производящего измерения. С этой последней целью для захватывания измеряемых объектов применяют деревянные щипцы, экранированные рукоятки из теплоизоляционной массы,



Фиг. 12.

теплоизолированные перчатки, ставят перед И. и экраны из специальных сортов стекла, не пропускающих тепловых лучей (например робонное стекло). Гораздо сильнее сказывается влияние  $t^\circ$  при измерениях изделий, материал которых отличается по своему коэф-ту расширения от эталона. В этом случае помимо равенства  $t^\circ$



Фиг. 13.

необходимо либо производить измерения при нормальной  $t^\circ$ , при которой выверены эталоны, либо вводить в результаты измерений поправку на  $t^\circ$ , равную

$$f_8 = [(a_1 - a_2) (t - t_n) - a_2 \Delta t] L, \quad (18)$$

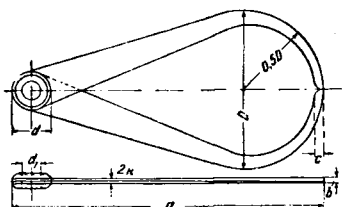
где  $a_1$  и  $a_2$  — линейные коэффициенты расширения материалов эталона и измеряемого объекта,  $t$  — средняя темп-ра измерения,  $t_n$  — нормальная темп-ра,  $\Delta t$  — разница темп-р измеряемого предмета и эталона ( $\Delta t > 0$ , если измеряемый предмет теплее). Из ур-ия (15) следует, что даже считая  $\Delta t = 0$ , при  $a_1 - a_2 = 0,1 \cdot 10^{-5}$  (возможная разность коэф-та двух различных образцов углеродистой стали) темп-ра измерений не должна отклоняться для измерения с точностью  $1 \cdot 10^{-6}$  более чем на  $1^\circ$  от нормальной. За нормальную темп-ру в СССР, США и большинстве европ. стран принято  $20^\circ$ , в Великобритании  $16,67^\circ$ , во Франции обычно  $0$ . Обе последние

страны в последнее время примкнули к международной темп-ре 20°, но калибры, изготовленные раньше 1931—32 гг., выверены при указанных выше  $t'$ . Коэф-ты линейного расширения различных тел приведены в табл. 2.

Табл. 2.— Коэффициенты линейного расширения различных тел.

Наименование материала	$\alpha \cdot 10^6$
Сталь углеродистая . . . . .	1,15—1,20
Сталь мягкая . . . . .	1,20
Мягкое железо (чистое) . . . . .	0,93
Чугун . . . . .	1,04—1,1
Сортовое железо . . . . .	1,1—1,15
Никелевая сталь (20% Ni) . . . . .	1,88—1,1
» » (30% Ni) . . . . .	1,06—0,6
» » (36% Ni—двар) . . . . .	0,1
Никель . . . . .	1,28
Кварцевое стекло . . . . .	0,05
Медь . . . . .	1,65—1,7
Латунь . . . . .	1,8—1,85
Бронза . . . . .	1,70—1,80
Нейзильбер . . . . .	1,80—1,90
Алюминий . . . . .	2,8—2,4
Платина . . . . .	0,88
Платина-иридий (8:2) . . . . .	0,83
Иевское стекло 69 III . . . . .	0,59—0,6
» » 1565 III . . . . .	0,35—0,36

Механические И. и. А. Бесшкальные механические И. и. по самому роду своего устройства могут служить исключительно для сравнительных измерений. Все бесшкальные механические И. и. можно подразделить на две группы: 1) И. и. с подвижными измерительными частями, служащие исключительно для переноса



Фиг. 14.

линейных или угловых размеров с изделия на эталон или обратно, 2) И. и. с неподвижными (по крайней мере во время измерения) измерительными частями, служащие для сравнения размеров или формы изделия с теми же элементами самого И. и. К первой группе относятся кронциркули, нутромеры (танцмейстеры), полуатанцмейстеры, разметочные циркули, малки, бесшкальные (простые) глубиномеры и т. д. Обыкновенный кронциркуль (фиг. 14) состоит из двух изогнутых, плоских, упирающихся к концам ножек, соединенных зацепкой или затяжным винтом. Для плавного и равномерного трения полезно между ножками в шарнире прокладывать тонкую латуновую шайбу. Кронциркуль служит для снятия наружных размеров; точность измерений кронциркулем равна  $\pm 0,3-0,5$  мм. Главнейшими источниками ошибок являются неправильная установка на измеряемом предмете и неправильный отчет по масштабу снятого размера. Неправильная установка заключается гл. обр. в том, что линия, соединяющая центры измерительных концов ножек, не лежит на измеряемой длине, в частно-

сти при измерении расстояния между двумя параллельными плоскостями не перпендикулярна к ним. Ошибка установки  $\Delta L$  (фиг. 15) может лежать как в плоскости ножек (фиг. 15, А), так и перпендикулярно к ней (фиг. 15, В). В первом случае истинная длина  $L_0$  определяется из ур-ия

$$L_0 = \sqrt{L^2 - \Delta L^2} \approx L - \frac{\Delta L}{2L} \Delta L, \quad (19)$$

где  $L$  — установка кронциркуля; т. о. ошибка измерения  $\Delta L = L_0 - L$  равна

$$\Delta L = -\frac{\Delta L}{2L} \Delta L; \quad \frac{\Delta L}{L} = -\frac{1}{2} \left( \frac{\Delta L}{L} \right)^2. \quad (19')$$

Принимая величину перекоса  $\frac{\Delta L}{L} = 0,1$ , получаем  $\frac{\Delta L}{L} = -0,005$ , т. е. ошибка достигает 0,5%. При перекосе в направлении, перпендикулярном ножкам, ошибка увеличивается вследствие влияния ширины ножек  $b$  (фиг. 15, В), длина  $L_0$  и б. определена из ур-ия

$$L_0 = L \cos \varphi - b \sin \varphi; \quad \sin \varphi = \frac{\Delta L}{L};$$

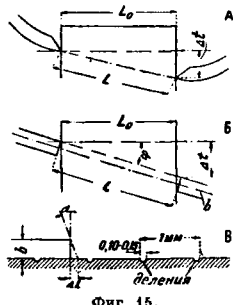
$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \left( \frac{\Delta L}{L} \right)^2} \approx 1 - \frac{\Delta L^2}{2L^2};$$

$$L_0 = L - \frac{\Delta L}{L} \left( \frac{\Delta L}{2} + b \right); \quad \Delta L = -\frac{\Delta L}{L} \left( \frac{\Delta L}{2} + b \right). \quad (20)$$

Принимая, как выше, величину перекоса  $\Delta L = 0,1 L$ , а  $b = 0,2 L$ , получаем  $\frac{\Delta L}{L} = 0,025$ , т. е. ошибка от неправильной установки возросла до 2,5%. Ошибка при отсчете на масштабе происходит как от неправильности в оценке десятых долей мм (субъективная ошибка порядка  $\pm 0,1-0,2$  мм), так и от параллакса. Последняя ошибка может быть определена по фл-е (фиг. 15, В)

$$\Delta L = b \operatorname{tg} \alpha, \quad (21)$$

где  $\alpha$  — угол параллакса, при не особенно тщательном отсчете легко достигающий значения 5—6°; в этом случае ошибка  $\Delta L$  достигает величины 0,1 б. Размеры кронциркулей (по В. Пивовару) приведены в табл. 3 (фиг. 14).



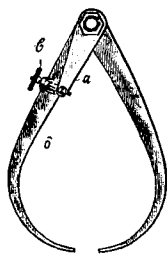
Фиг. 15.

Табл. 3.— Размеры кронциркулей (в мм)

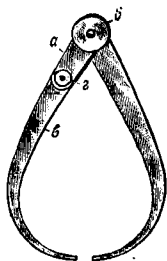
Длина $a$	$D$	$c$	$b$	$d$	$d_1$	$2k$
75	39	2,0	2,0	10	3,5	2,0
100	52	2,5	2,5	12	4,0	2,5
125	65	3,0	3,0	14	5,0	3,0
150	78	3,5	3,5	16	5,5	3,5
200	104	4,0	4,0	18	6,0	3,5
250	130	4,0	4,0	10	7,0	4,0
300	158	4,5	4,5	25	8,5	4,5
400	208	4,5	5,0	80	10,0	4,5
500	260	4,5	5,0	35	12,0	5,0

Для возможности более точной установки иногда снабжают кронциркули установочным винтом; в этом случае на общем шарнире кронциркуля сидит добавочная ножка а (фиг. 16), вращающаяся с гораздо более сильным трением, чем измерительная ножка б, связанная с первой установочным винтом в. Другая система точной

установки ножек кронциркуля изображена на фиг. 17а и 17б; здесь также имеется добавочная ножка а, к-рая м. б. втянута наглухо в шарнир гайкой б; измерительная ножка в отжимается все время наружи сильной пружиной, прикрепленной к добавочной ножке. Точная установка достигается вращением гайки е (фиг. 17б),

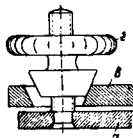


Фиг. 16.

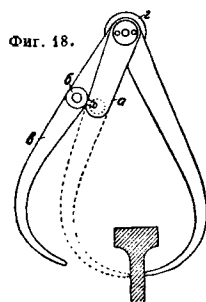


Фиг. 17а.

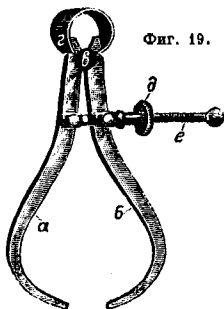
ходящей по винту, укрепленному в добавочной ножке а, и перемещающей своим конусом ножку в. Зачастую желательно измерить толщину стенки, снабженной по краям ребордой, так что вынуть кронциркуль, не растворяя его, невозможно. Для этой цели пользуются специальным кронциркулем (фиг. 18), снабженным запираемой в шарнире добавочной ножкой а, с к-рой скрепляется при помощи входящего в прорез винта с гайкой б измерительная ножка в. После установки ножек барашком в закрепляют добавочную ножку, после чего, отпуская гайку б, отводят ножку в и вынимают кронциркуль; вводя обратно винт в прорез, получаем искомый размер. Весьма удобен пружинный кронциркуль (фиг. 19), у к-рого верхние части обоих измерительных ножек а и б, опирающихся на цилиндрич.



Фиг. 17б.



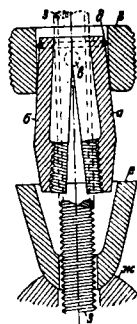
Фиг. 18.



Фиг. 19.

шарнир в, соединены сильной пружиной в, стремящейся развести ножки. Установка на размер производится гайкой б и винтом в, опертыми на стоечки, приклепанные к ножкам. Для быстроты установки гайка делается зачастую раздвижной (фиг. 20); в этом случае она состоит из двух половин а и б, снабженных резьбой только на своей нижней части; сверху они соединяются двумя полуцапфами в, вращающимися в выемках кольца г, снабженного на наружной поверхности накаткой и служащего для вращения гайки. Верхние части половин гайки схвачены кольцевой пружиной д, разводящей нижние

концы и позволяющей т. обр. свободно передвигать гайку по винту. В рабочем положении гайка входит нижним концом в кончик шайбы е, опирающуюся на прикрепленную к ножке стойку ж, которая под влиянием пружины, разводящей ножки кронциркуля, сжимает нижнюю часть гайки и т. обр. заставляет ее захватить нарезки винта а. Для кузнечных работ применяют кронциркули с длинными ручками, предохраняющими руки от жара поковки; на фиг. 21 изображен такой двойной кронциркуль для установки двух различных размеров, например черного и окончательного размера поковки. Главной областью применения кронциркуля является измерение наружных размеров, однако, заведя его ножки одна за другую (фиг. 22), им можно также пользоваться для измерения внутренних размеров; при этом, в особенности для малых размеров, сильно страдает точность, так как неизбежно получается перекос концов измерительных ножек (фиг. 23); при измерении напр.



Фиг. 20.

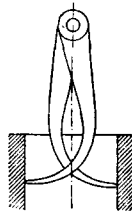


Фиг. 21.

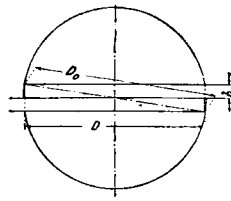
диам. отверстия истинный диам.  $D_0$  определяется из измеренного  $D$  и ширины лезвия ножки  $b$  по ф-ле

$$D_0 = \sqrt{D^2 + 4b^2} \approx D + \frac{2b^2}{D}, \quad (22)$$

т. е. при измерении диам. в 20 мм ножками в 2 мм толщины получается ошибка в 0,4 мм, или в 2%.



Фиг. 22.

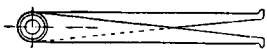


Фиг. 23.

Для измерения внутренних размеров применяются преимущественно нутромеры, или танцмейстеры (фиг. 24), имеющие прямые, слегка изогнутые на концах ножки. Ошибки измерения внутренних размеров при помощи танцмейстера те же, что и при измерении кронциркулем внешних размеров, с той лишь разницей, что для перекосов в обеих плоскостях пригодна ф-ла (16), если принять для второго случая перекоса обозначения фиг. 25. При измерении диаметра отверстий перекос в плоскости ножек оказывает то же влияние, что и раньше, а игра  $\Delta l$  в поперечном направлении (фиг. 26) обуславливает неточность, определяемую выражением

$$D_0 \approx \sqrt{D^2 + \frac{\Delta l^2}{4}} \approx D + \frac{\Delta l^2}{8D}, \quad (23)$$

т. е. значительно меньшую, чем для случая измерения расстояния между параллельными плоскостями. В конструктивном отношении нутромеры совершенно аналогичны кронциркулям; их так же точно делают пружинными, простыми, с точной установкой и с дополнительной ножкой для



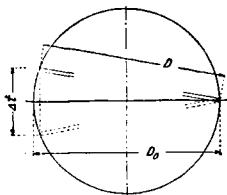
Фиг. 24.

измерения напр. диаметров отверстий с выточкой. Для измерения расстояний между двумя плоскостями, обращенными в одну сторону (напр.

двумя уступами), применяют полутанцмейстеры с одной прямой ножкой (переставной или постоянной) и одной искривленной на конце, как у обыкновенного нутромера (фиг. 27а), или же с концами обеих ножек, загнутыми в одну сторону (фиг. 27б). Способ измерения изображен на фиг. 28; ошибка зависит от глубины  $\Delta l$  постановки второй ножки и численно равна

$$L_0 - L = \Delta L \approx - \frac{\Delta l}{2L} \quad (24)$$

Для измерения глубин служат г л у б о м е р ы бесшкального типа, состоящие из круглого стержня *a* (фиг. 29), перемещающегося в одной из двух канавок линейки *b* (в средней части или на конце) и закрепляемого в нужном положении винтом *e*. На

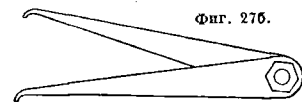


Фиг. 26.

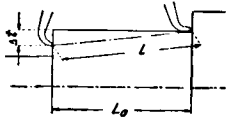


Фиг. 27а.

фиг. 30 изображен бесшкальный раздвижной штихмас, состоящий из плотно входящих друг в друга стаканов *a* и *b*, из к-рых наружный *a* укреплен в ручке *e*, а внутренний может ходить в наружном, причем пружина *e* постоянно стремится выдвинуть его наружу. Внутренний стакан *м. б.* закреплен при помощи винта *д*, нажимающего через стержень *з* на медный сухарик *e*. Штихмас сжимается до размера меньшего, чем испытуемое отверстие, и вводится в последнее, после чего винт *д* отпускают, и стакан *б* выдвигается наружу, замеряя в точности diam. отверстия; затем винт *д* затягивают, штихмас вынимают из отверстия, и полученный размер замеряют каким-либо шкальным И. и. Перенос угловых величин производится различного рода м а л ь к а м и, представляющими собой две переставляемые под любым углом линейки (фиг. 31), скрепляемые винтом. Большой универсальностью обладает двой-



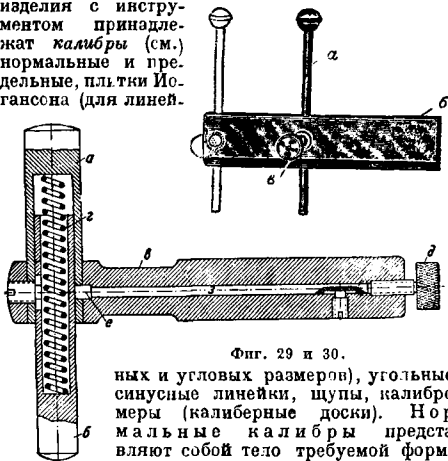
Фиг. 27б.



Фиг. 28.

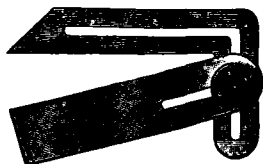
ная малка (фиг. 32), состоящая из двух стальных линейек, соединенных шарнирной планкой.

К бесшкальным И. и. для непосредственного измерения размеров путем сличения изделия с инструментом принадлежат калибры (см.) нормальные и сменные, плитки Иогансона (для линейек).



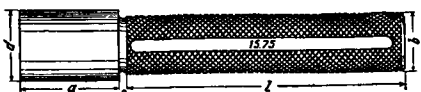
Фиг. 29 и 30.

ных и угловых размеров), угловые, синусные линейки, щупы, калибромеры (калиберные доски). Нормальные калибры представляют собой тело требуемой формы с обработанными возможно близко к номинальному размеру мерными поверхностями (вал, отверстие, расстояние между двумя плоскостями). Нормальные калибры применяются обычно лишь для целей контроля или установки других И. и., так как измерение с их помощью изделий сопряжено с чисто субъективным суждением (наощупь) о величине отклонений от заданного размера. В зависимости от формы мерительной поверхности нормальные калибры делаются самых различных видов. Пробки, обладающие цилиндрической мерной поверхностью, представляют собой



Фиг. 31 и 32.

точно обработанный цилиндр, снабженный ручкой; пробки малых размеров делаются заодно с ручкой (фиг. 33а и 33б), более крупные



Фиг. 33а и 33б.

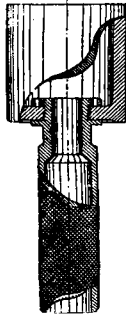
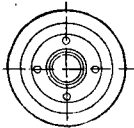
Ø 40 мм — составные (фиг. 33в) для удобства обработки мерной части. Пробки Ø > 80 мм делают для облегчения пустотелыми (фиг. 33г). Составная пробка состоит из мерной части *a* (фиг. 33в), насаженной на ручку *б* и закрепленной гаикой

*a*; шпонка *c* удерживает пробку от вращения. Размеры пробок из одного куска с ручкой дном (по Малегиину) в табл. 4. Для  $\varnothing > 20$  мм удоб-

Табл. 4.—Размеры пробок (в мм).

Рабочий диам. <i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>l</i>	Нанатка (число зубцов на 1 дм.)	Форма по фиг.
0,5—1,5	10	5	1	50	60	3 и
1,5—2,5	12	5,5	1	55		
2,5—3,5	12	6,5	1,5	60		
3,5—5,0	15	8	1,5	60		
5,0—7,5	15	8	1,5	65		
7,5—10	18	8	1,5	68		
10—12,5	20	9,5	1,5	70	50	33б
12,5—15	25	12	2	75		
15—17,5	25	14	2	75		
17,5—20	25	16	2	75		
20—22,5	25	19	2	75		
22,5—25	25	21	2	75		
25—30	25	24	2	75	80	
30—40	30	30	2	80		

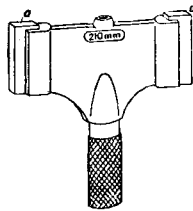
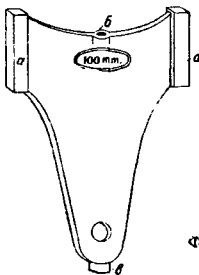
нее вместо пробок применяют плоские калибры и штихмасы. Плоский калибр (фиг. 34) представляет стальную пластинку, на одном конце к-рой с обеих сторон имеются две реборды *aa*, внешние стороны к-рых обработаны точно по номинальному диаметру. Для контроля и возможности правки калибр снабжен двумя центральными отверстиями *b* и *c*. Для диам. между 100 и 250 мм применяют плоские калибры типа, изображенного на фиг. 35; у этого калибра мерные плоскости *a*, сделанные из специальной стали, вставлены в корпус из простой поделочной стали. При еще больших диаметрах и плоские калибры оказываются слишком тяжелыми и неудобными и приходится прибегать к помощи штихмассов стержней с находящимися на концах мерными поверхностями цилиндрич. (фиг. 36) или шпа-



Фиг. 33в.

Фиг. 33г.

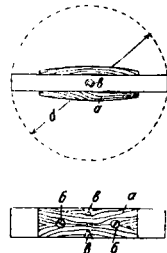
ровой (фиг. 37) формы; в обоих случаях центр или ось поверхности лежит на оси штих-



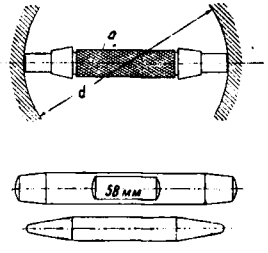
Фиг. 34 и 35.

маса. Для предохранения штихмассов от теплоты руки их одевают деревянными накладками *a* (фиг. 36), прикрепленными винтами *b*, или снабжают рубашкой из пластмассы или ро-

говой резинки *a* (фиг. 37). Для обработки и последующей проверки цилиндрич. штихмасы снабжают двумя центральными отверстиями *c* (фиг. 36). Для менее точных измерений на в-дча зачастую собственными силами изготовляют штихмасы из



Фиг. 36.



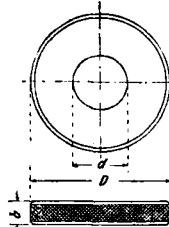
Фиг. 37 и 38.

стальных прутков с закаленными концами (фиг. 38). Для осуществления внутренних цилиндрич. мерных поверхностей пользуются нормальными кольцами (фиг. 39); размеры их указаны (по Малегиину) в табл. 5.

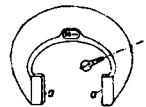
Табл. 5.—Размеры нормальных колец (в мм).

Рабочие диам. <i>d</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	Нанатка (число зубцов на 1 дм.)
До 2	25	3	80
2 — 3	28	4	
3 — 5	30	4,5	
5 — 7,5	32	5	60
7,5 — 11,5	35	6	
11,5 — 16,5	38	6,5	
16,5 — 20,5	44	8	50
20,5 — 25,5	50	8	
25,5 — 31,5	57	9,5	
31,5 — 38	64	9,5	40
38 — 44,5	71	11	
44,5 — 50	77	11	
50 — 57	85	11	
57 — 62	95	12	
62 — 70	100	12	
70 — 76	108	12	
76 — 82,5	112	12	
82,5 — 89	120	12	
89 — 100	147	12	
100 — 112,5	152	12	
112,5 — 127	165	12	
127 — 140	185	12	
140 — 152	195	12	

В том случае, когда вес колец оказывается слишком большим (обычно при  $\varnothing > 100$  мм), пользуются скобами (фиг. 40), у к-рых мерные поверхности представляют собой две плоскости *a*, находящиеся на требуемом расстоянии друг от друга.



Фиг. 39.



Фиг. 40.

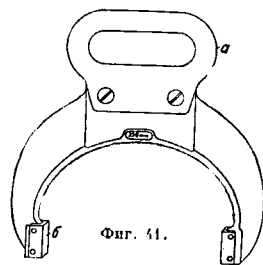
с ними и уменьшения влияния тепла рук снабжают рукоятками *a* (фиг. 41) из теплоизоляционных материалов. Корпус таких скоб часто делают из более дешевого материала (напр. из

стального литя или ковкого чугуна), а мерные плоскости *б* располагают на съемных колодочках из закаленной инструментальной стали. Точность изготовления нормальных калибров см. ОСТ (по классам точности): 1202—I; 1203, 1204—II; 1205—III; 1220—IV; 1219—V и табл. 6.

Табл. 6.— Допуск на неточность изготовления нормальных калибров в  $\mu$  (по DIN 236 и 237).

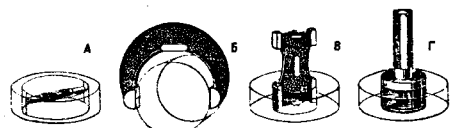
Диам., мм	Пробка	Кольцо	Диам., мм	Пробка	Кольцо
1—3	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	36—42	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$
3—6	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	42—50	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$
6—10	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	50—60	$\pm 1,8$	$\pm 2,5$
10—14	$\pm 1,3$	$\pm 1,8$	60—70	$\pm 1,8$	$\pm 2,5$
14—18	$\pm 1,3$	$\pm 1,8$	70—80	$\pm 1,8$	$\pm 2,5$
18—24	$\pm 1,3$	$\pm 1,8$	80—90	$\pm 2,3$	$\pm 3,3$
24—30	$\pm 1,3$	$\pm 1,8$	90—100	$\pm 2,3$	$\pm 3,3$
30—36	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$			

Описанные 4 типа нормальных калибров различаются по роду прилегания мерных поверхностей: тогда как у штихмасов прилегание мерных поверхностей к изделию совершается лишь в двух точках (фиг. 42, А), у скоб прилегание совершается по двум образующим, т. е.



имеет линейный характер (фиг. 42, Б), у плоских калибров прилегание имеет место по участку поверхности — поверхностное прилегание (фиг. 42, В), а у пробки и молот по всей поверхности тела, т. е. носит объемный характер (фиг. 42, Г).

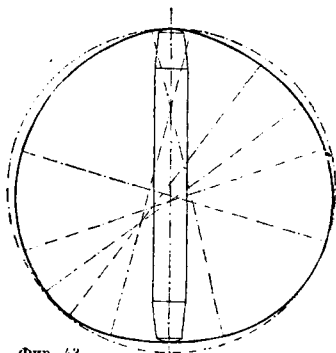
В связи с различными типами прилегания находятся и различные источники ошибок при измерениях. Штихмас дает лишь расстояние между двумя точками, т. о. хотя, с одной стороны, он позволяет промерять всю поверхность точка за точкой и определить этим путем отклонения от требуемых размеров, с другой стороны, измерения им не дают никакой возможности заключить о пра-



Фиг. 42.

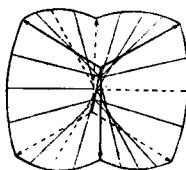
вильности формы исследуемого предмета. Так, некруглая форма отверстия, имеющего очертание, изображенное на фиг. 43, не м. б. обнаружена при помощи штихмаса. Число геометрич. фигур, обладающих этим свойством, бесконечно велико. Точно так же штихмас не дает исходных точек для суждения о правильности отверстия по его оси, так как при эквидистантности противоположных образующих криволнейность их штихмасом обнаружена быть не может. Попытки уничтожить это отрицательное свойство штихмасов путем увеличения количества мерных поверхностей не приводят к цели в том случае, когда мерные площадки расположены под равными углами; на фиг. 44 приведена одна из бесконечного ряда форм (т. н. эквидистантная фигура), неправильность к-рой не м. б. обнару-

жена замером трехконечным штихмасом с равноугольными ветвями. В том случае, если мерные поверхности отстоят друг от друга на неравные углы, для возможности вращения штихмаса эквидистантная фигура должна иметь столько равностоящих лопастей, сколько раз содержит-

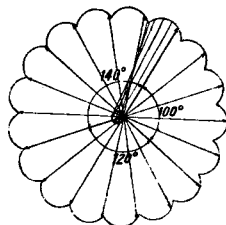


Фиг. 43.

ся в  $360^\circ$  наибольший делитель всех углов; на фиг. 45 изображена эквидистантная фигура для углов  $140^\circ$ ,  $100^\circ$  и  $120^\circ$ . Ясно, что в этом случае возможность случайного образования при обработке именно такой фигуры исчезающе мала.

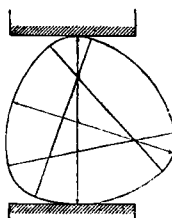


Фиг. 44.



Фиг. 45.

Измерение цилиндрич. объектов скобами с двумя плоско-параллельными мерными поверхностями также не свободно от этих ошибок. На фиг. 46 изображена одна из бесчисленных форм тел равной толщины, отступление которой от круга не м. б. обнаружено замером скобой. Особенно ненадежен замер скобами в том случае, когда самый способ обработки производится между двумя параллельными поверхностями (напр. обкатка или бесцентровое шлифование) и т. о. способствует образованию тел равной толщины. Положительным качеством скоб является возможность проверить местные отступления в толщине по различным диаметрам изделия.



Фиг. 46.

Плоские калибры в зависимости от способа их обработки имеют насаие с измеряемым отверстием либо линейного (если радиусы кривизны мерных поверхностей меньше радиуса отверстия) либо плоскостного (в случае равенства радиусов) типа. Линейный тип сопрякосования вызывает возможность возникновения ошибок, свойственных измерениям штихмасами, с той разницей, что

при плоском калибре возможно легче обнаружить отклонение образующих поверхностей от прямолинейности. При поверхностном соприкосновении возможность этого рода ошибок уменьшается вместе с увеличением дуги соприкосновения, но возникает новый источник ошибок, вызываемый тем, что мерная поверхность может перекрывать случайные впадины в изделии, наличие которых т. о. пройдет при измерении незамеченным. Этот источник ошибок возрастает с увеличением дуги соприкосновения и достигает максимального значения при дуге в  $360^\circ$ , когда поверхностный тип переходит в объемный. Этот последний тип соприкосновения, осуществляемый мерной пробкой или кольцом, в сущности устанавливает только наличие шести точек, лежащих на окружности требуемого радиуса в двух достаточно удаленных сечениях; отступления остальных точек поверхности от цилиндра при этом не м. б. обнаружены посредством мускульного чувства, на пользование к-рым основаны гл. обр. способы измерения неподвижными калибрами. Наиболее верным способом для обнаружения неправильности измеряемой цилиндрич. поверхности является комбинация поверхностного и точечного или линейного способа измерений. Тело, к-рое с одинаковымзором входит в мерное кольцо и в мерную скобу одинаковых размеров, несомненно представляет собой цилиндр круглого сечения, так как круг представляет собой единственную фигуру, которая удовлетворяет одновременно обоим условиям. Рассмотренные выше источники ошибок — чисто геометрического характера и имеются налицо в случае абсолютно жестких изделий и калибра. Упругость действительно применяемых материалов вводит новые источники ошибок в измерении. При измерении штихмасом ошибка зависит от смятия шаровых поверхностей и вдавливания их в изделие, а также и от сокращения длины штихмаса под влиянием продольных усилий и изгиба. Ошибка от смятия мерных поверхностей, равная  $2f_8$ , м. б. определена по ф-ле Герца (16''); она тем меньше, чем больше радиус кривизны мерной поверхности приближается к радиусу цилиндра. Сила  $P$ , действующая по оси штихмаса, определяется из усилия  $Q$  проталкивания штихмаса через отверстие по ф-ле

$$P = \frac{Q}{\mu}, \quad (25)$$

где  $\mu$  — коэф. трения штихмаса об измеряемую поверхность. Как видно из ф-лы (25), уменьшение коэффициента трения вредно отражается на точности измерения штихмасом, поэтому для точных измерений необходимо вытирать поверхности досуха. Величина  $\mu$  колеблется в пределах 0,05—0,33 (см. *Физика и технология трения*, Сухое трение) и следовательно

$$P = (3 \div 20) Q.$$

Ошибка от уменьшения  $f_{10}$  длины калибра вследствие сжатия силой  $P$  определяется из ф-лы (11):

$$f_{10} = \frac{Pl}{FE}, \quad (26)$$

а ошибка  $f_{11}$ , происходящая от изгиба штихмаса в самом невыгодном случае (точечные мерные поверхности и сила  $P$ , приложенная в середине), м. б. получена из ур-ния

$$f_{11} = \frac{P \cdot l^3}{1728 E I^2}. \quad (27)$$

В случае мерных шаровых поверхностей с радиусом, равным радиусу цилиндра, ошибка  $f_{11} = 0$

для всех обычно встречающихся на практике величин  $P$ . Ошибки  $f_{10}$  и  $f_{11}$ , вообще говоря, невелики; напр. для штихмаса длиной 50 см при  $Q = 1$  кг и  $P = 10$  кг при диам. стержня штихмаса, равном 2 см,  $f_{10} = 0,76 \mu$ ,  $f_{11} = 0,64 \mu$ ; при уменьшении диам. стержня до 1 см ошибки возрастают до  $f_{10} = 3,04 \mu$ ,  $f_{11} = 0,146 \mu$ . Угругие деформации скоб в виду сложности их форм труднее поддаются математич. учету. Предполагая нейтральную ось скобы в форме дуги  $180^\circ$  круга радиуса  $r$  и форму сечения ее, изменяющейся по закону тела равного сопротивления прямоугольного сечения с наибольшей высотой  $h$  и толщиной  $b$ , имеем величину  $f_{12}$  расхождения концов под действием силы  $P$ , приложенной у концов дуги,

$$f_{12} = \frac{-2Pr}{\xi Ehb - P}, \quad (28)$$

где  $\xi = 1 - \frac{r}{h} \ln \frac{2r+h}{2r-h}$ ; значения для некоторых отношений  $\frac{r}{h}$ , встречающихся в И. и., приведены ниже:

$r : h$	$\xi$	$r : h$	$\xi$
1,0	0,6931	2,5	0,1868
1,25	0,3774	3,0	0,09842
1,50	0,03972	4,0	0,00525
2,0	0,02164	5,0	0,00338

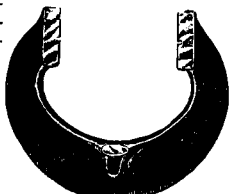
Величина  $P$  определяется, как и выше, по ф-ле (25), где  $Q$  — вес скобы, сложенный с усилием проталкивания (при подводе скобы сверху);  $f_{12}$  при встречающихся на практике условиях может достигать довольно значительных размеров. Так, при  $r = 20$  см,  $h = 5$  см,  $b = 1,2$  см,  $Q = 4$  кг,  $P = 25$  кг, для чугунной скобы ( $E = 1\,000\,000$  кг/см<sup>2</sup>) ошибка достигает значения 0,317 мм, т. е. величины, которой при сколько-нибудь точных измерениях пренебрегать никоим образом нельзя. Из этого следует недопустимость проверки крупных мерительных скоб плитками Иогансона, так как при этом  $P$  весьма мало и следовательно показания скобы в работе будут сильно отличаться от ее контрольного размера. Отсюда также ясно, какое крупное значение имеет постоянство  $P$ , т. е., иными словами, силы  $Q$  и коэф-та  $\mu$ ; поэтому необходимо при точных промерах следить, чтобы скоба проходила только под влиянием своего собственного веса, а измеряемые поверхности были насколько возможно сухими. Идеальным поверочным калибром для скоб был бы диск слегка овальной формы, разные диаметры которого с достаточной точностью были бы замерены на мерительной машине и отмечены на его периферии. Поворачивая постепенно диск и замечая то место, где скоба проходит под влиянием собственной тяжести, можно определить, чему будет равен диаметр замеряемого при тех же условиях вала. Угругие деформации нормальных калибров с касанием поверхностного и объемного типа еще труднее поддаются учету. Во всяком случае относительно нормальных пробок и колец доказано, что кольцо м. б. до 5  $\mu$  меньше соответствующей пробки, и тем не менее в присутствии смазки и при непрерывном движении возможно ввести их один в другой. Если их оставить на некоторое время в покое, то слой смазки будет выдвигать и пробку заест в кольце. Т. о. предписываемый большинством фирм, изготовляющих калибры, способ проверки посадки нормальной пробки и соответствующего кольца в присутствии жидкой смазки и при непрерывном движении неправилен, так как не позволяет выявить неравенства размеров. Если пробку довести

притиркой до такого состояния, что она в сухом состоянии вводится плотно в кольцо, то можно быть уверенным, что размеры их одинаковы в пределах  $\pm 0,25\mu$ ; увеличение размера кольца на  $0,5-0,8\mu$  вызывает заметное облегчение посадки.

Предельные калибры представляют собой для каждого размера пару калибров, из которых один соответствует наименьшему, а другой наибольшему допустимому для данного изделия размеру (см. *Калибры и Допуски* в машиностроении). Конструкция предельных калибров не отличается от нор-

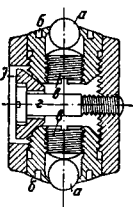


Фиг. 47а.



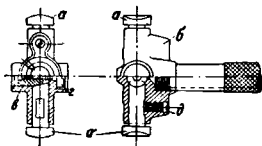
Фиг. 47б.

мальных с той разницей, что они соответственно способу применения часто соединяются парно в один калибр. При этом обе мерные поверхности могут лежать либо на противоположных концах (фиг. 47а) либо последовательно одна за другой (фиг. 47б). Тогда как нормальные калибры всегда делаются с неподвижными мерными поверхностями, предельные ка-



Фиг. 48.

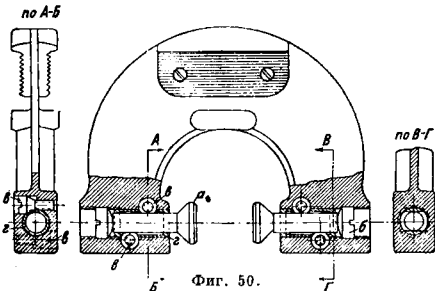
либры, значительно более сильно подверженные износу, снабжают часто переставными мерными поверхностями, что позволяет как уничтожить действие износа, так и подогнать калибр под размер, соответствующий требуемой посадке. На фиг. 48 изображен переставной штихмас системы Педерсена. Мерными поверхностями служат два стальных закаленных шарика *a*, укрепленные во втулочках *b* винтами *e*; после установки втулочек на требуемое расстояние они застопориваются винтом *e* с конусом *d*. На фиг. 49 представлен переставной калибр Иогансона



Фиг. 49.

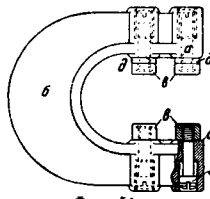
ка снабжены центровочными отверстиями, позволяющими установить калибр на центрах для целей измерения и последующей доводки. Скоба с переставными мерными поверхностями сист. Гоммельера изображена на фиг. 50. Мерные болты *a* переставляются в продольном направлении винтами *b* и застопориваются каждый двумя винтами *ee*, сжимающими стальную разрезную втулочку *e*, в к-рой ходит болт *a*. В случае отклонения мерных поверхностей болтов от

параллелизма можно, приведя предварительно вращением болтов *a* мерные поверхности к параллельности в плоскости скобы, выправить непараллельность в перпендикулярной плоскости перемещением заднего конца болта *a*, которое сделано возможным путем среза втулки *e*,



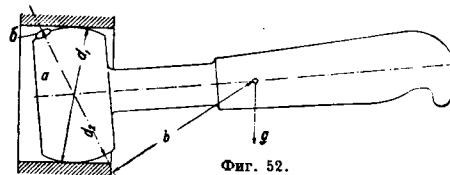
Фиг. 50.

как показано на разрезе, по В—Г. Весьма удобная система скобы со сменными мерными поверхностями изображена на фиг. 51; опорные плоскости *aa* скобы *b* обработаны плоско-параллельно, на них опираются стальные закаленные и отшлифованные мерные гайки-копачки *e*, удерживаемые на месте винтами *e*. Для изменения расстояний между мерными поверхностями применяют сменные прокладки *d*, которые из-



Фиг. 51.

готавливаются различной калиброванной толщины наборами из 40 штук, позволяющими установить требуемый размер с точностью до  $0,0025 \text{ мм}$ . Цена мерных гаек настолько невысока, что в случае их износа выгодно сменить их, чем перекалибровать калибр. Идеальное с точки зрения теории измерений решение вопроса о предельном калибре для отверстий предложено SKF (фиг. 52).



Фиг. 52.

Калибр состоит из сферич. проходной части *a* diam.  $d_1$ , равного наименьшему допустимому размеру отверстия, на к-рой оставлена сферич. пуговка *b* diam.  $d_2$ , равного наибольшему диаметру. Пуговка ориентирована определенным образом относительно рукоятки, имеющей поэтому несимметричную форму, приспособленную для захвата рукой. Ясно, что если калибр м. б. задерживается пуговкой от поворачивания под действием веса ручки, то diam. отверстия в испытываемой точке лежит в пределах допуска, и в тех же пределах лежит некрутость отверстия. Измерение, повторенное в различных точках отверстия, даст полную картину его точности. Поворачивание калибра происходит под влиянием исключительно его веса, т. е. с постоянным



моментом, равным  $db$ , что также конечно способствует точности измерений. К классу бесшкальных И. и. относятся также измерительные плитки (мерные плитки, плитки Иогансона), представляющие собой металл. пластинки или брусочки призматич. или цилиндрического сечения с двумя плоскопараллельно отшлифованными мерными поверхностями, находящимися на точно определенном расстоянии друг от друга. Главнейшей особенностью измерительных плиток является их способность взаимной притирки, т. е. прилипания двух плиток, сдвинутых вместе по мерным плоскостям. Сила прилипания, обусловленная повидимому молекулярными силами тончайшей пленки воды между обеими поверхно-

входящие в набор плитки, можно составить любую длину с точностью, определяемой как точностью производства самих плиток, так и наиболее тонкой из имеющихся в наборе градаций. Полный набор плиток Иогансона состоит из 103 плиток: 49 шт. 1,01—1,49 мм через 0,01 мм, 49 шт. 0,50—24,50 мм через 0,50 мм, 4 шт. 25—100 мм через 25 мм и 1 шт. в 1,005 мм. При помощи этого набора можно составить любую длину в пределах 1—2 мм через 0,01 мм и 2—500 мм через 0,005 мм. До настоящего времени неизпользованными по точности являются измерительные плитки Иогансона. Величины гарантированных максимальных отклонений (в  $\mu$ ) плиток различных фирм от номинального размера указаны в табл. 7.

Табл. 7.—Гарантированные наибольшие отклонения плиток.

Фирма	Класс точности	Размеры плиток, мм																
		20	25	30	40	50	75	100	100—125	125—150	150—175	175—200	200—250	250—300	300—400	400—500		
Иогансон	AA	0,045	0,05	0,055	0,065	0,08	0,12	0,16	0,2	0,24	0,28	0,32	0,4	0,48	0,64	0,8		
	A	0,08	0,09	0,1	0,12	0,15	0,22	0,3	0,37	0,45	0,52	0,6	0,7	0,9	1,2	1,5		
	B	0,15	0,15	0,2	0,2	0,25	0,4	0,55	0,65	0,8	0,95	1,1	1,4	1,7	2,2	2,7		
	C	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	2,6	2,0	2,4	3,2	4,0		
Гоммельверке	E00	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,20	0,22	0,25	0,28	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60		
	E0	0,24	0,25	0,26	0,28	0,3	0,35	0,40	0,45	0,5	0,55	0,60	0,70	0,8	1,0	1,2		
	E1	0,6	0,6	0,65	0,7	0,75	0,85	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,5	3,0		
	E2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	2,8	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0		
Цейсс	E3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7	8	10	12		
	E4	6,0	6,3	6,5	7,0	7,5	8,5	10	11	13	14	15	17	20	25	30		
	I	0,25	0,3	0,30	0,35	0,40	0,15	0,7	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,5	1,7	2,4		
	II	0,25	0,3	0,30	0,35	0,4	0,45	0,65	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,5	1,7	2,4		
К. Мар (по DIN)	III	0,6	0,7	0,75	0,8	0,9	1,1	1,4	1,5	—	2,0	2,2	2,5	3,0	—	—		
	IV	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,2	2,8	—	—	—	—	—	—	—	—		
Питтер	Эталонные	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,25	0,31	0,38	0,43	0,5	0,55	0,68	0,8	0,8	0,45	1,0	
	Рабочие	0,22	0,24	0,27	0,32	0,37	0,50	0,62	0,75	0,85	1,0	1,50	1,85	1,6	2,10	2,6		

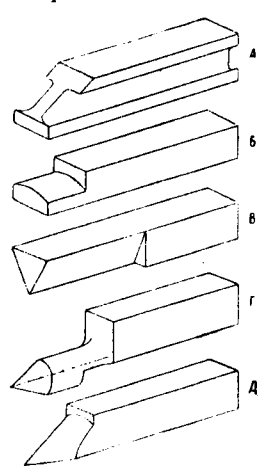
стями, зависит от степени полировки и точности соприкосновения поверхностей, достигая 30 кг/см<sup>2</sup>, нормально однако следует считать ее равной 6—7 кг/см<sup>2</sup>, что соответствует приблизительно найденному Диксоном и Джолли сопротивлению воды на разрыв, равному 7,3 кг/см<sup>2</sup>. Способность притирки является хорошим критерием плоскостности соприкасающихся поверхностей: при зазоре 0,3—0,5  $\mu$  притирка становится невозможной. Сила прилипания зависит от качества жидкости, образующей пленку, максимальное значение получается при водяной пленке, которая всегда образуется самостоятельно конденсацией влаги, находящейся в воздухе; при смазке поверхностей маслом сила сцепления уменьшается до 3—4 кг/см<sup>2</sup>. Совершенно сухие и обезжиренные поверхности почти не прилипают друг к другу. Толщина получающейся при притирке пленки весьма мала и почти не зависит от состава жидкости. Очень точные повторные измерения, произведенные по этому вопросу в Национальной физической лаборатории в Лондоне, показали, что толщина пленки при тщательной притирке равна 0,008—0,005  $\mu$ . Пераром получены данные, указывающие на то, что длина нескольких притертых калибров меньше суммы длин отдельных калибров, т. е. что жидкая пленка имеет как бы отрицательную толщину—0,06  $\mu$ ; эти данные однако не подтверждаются другими исследователями и повидимому должны быть отнесены на счет необычной отделки мерных плоскостей. Постоянство и малая толщина притирочной пленки позволяют соединять путем притирки несколько плиток в один эталон, обладающий более чем достаточной для практич. целей точностью. Комбинируя т. о. различные

Теоретически максимальная ошибка набора из некоторого числа плиток равна сумме возможных ошибок отдельных плиток, но практически она бывает меньше, т. к. ошибки всегда частично компенсируются. Применяя специальный набор плиток с градацией 1,001—1,009 мм через 0,001 мм, возможно при плитках высшего класса точности составлять размеры с точностью до 0,001 мм. Для ударения наборов плиток во время работы применяют особые струбиночки, вроде изображенной на фиг. 53, которые делают длиной 40—2 000 мм. Применение измерительных плиток при контроле других И. и. непосредственно для измерения изделий весьма разнообразно. Притирая к концам набора приставные боковинки различных форм (фиг. 54), можно получить подобие штангенциркуля для наружных (боковинка фиг. 54, А) или внутренних (фиг. 54, В) измерений; применяя боковинки (фиг. 54, В), можно производить измерения внутреннего диаметра нарезок и выточек; боковинка фиг. 54, Г служит для центровки, а фиг. 54, Д— в качестве чертилки. Для последней цели набор притирают к ножке, имеющей строго определенную высоту, и получают рейсмус с точной высотой острия чертлочки от поверхности размерочной плиты (фиг. 55). Некоторые примеры применения измерительных плиток даны на фиг. 56: для проверки шаблонов (фиг. 56а), для проверки фасонных обработанных поверхностей (фиг. 56б), для измерения наружного диаметра нарезки



Фиг. 53.

(фиг. 56в), для проверки штихмаса (фиг. 56г). Измерительные плитки более грубого типа весьма удобны для применения непосредственно в мастерских, гл. обр. при разметке и при наладке различных станков. Прimitивным типом точных измерительных плиток являются т. н. щупы, представляющие собой набор из тонких стальных пластинок, отшлифованных до определенной толщины, складываемых обычно в форме перочинного ножа (фиг. 57); пластинки щупов делают обычно 0,05—1,00 мм через 0,05 мм (первые пять иногда через 0,01 мм) или в дюймовой мере 0,0015—0,025 дм. через 0,001 дм.



Фиг. 54.

Они служат для проверки зазоров, причем тонкие размеры в виду их гибкости пригодны для замера зазоров между цилиндрич. поверхностями.

Наиболее известным угломерным бесшкальным И. и. является угольник (фиг. 58), состоящий из более толстого прямоугольного бруска (пятка) а, в к-рый заделана более тонкая линейка б, имеющая строго перпендикулярные к нижней и верхней поверхностям пятки края. Т. к. проверка угольником производится на просвет, то для точных измерений необходимо, чтобы край линейки был скошен; только в этом случае луч света сможет пройти через мельчайшие зазоры. Установлено, что щель в 3 м легко обнаруживается при испытании на просвет; при особенно благоприятных условиях эта граница м. б. уменьшена до 1 м, причем столь узкие щели кажутся окрашенными вследствие явления интерференции. То же явление мешает различить щели < 0,6 м, так как они кажутся черными. Т. о. точность  $\delta$

в угловых ск. измерения прямых углов угольником достигает приблизительно  $\delta \approx \frac{66^\circ}{l}$ , где  $l$  — длина линейки в см. Для проверки угольников часто пользуются точно выверенным цилиндром (фиг. 59), т. к. при условии точности самой цилиндрич. поверхности и наличии правильной ильи контрольной плиты факт совпадения ребра линейки угольника, приставленного с противоположных сторон цилиндра, с образующими последнего служит доказательством



Фиг. 55.

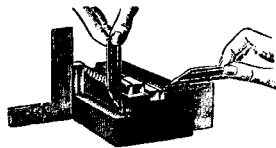


Фиг. 56а.



Фиг. 56г.

как правильности угольника, так и перпендикулярности основания цилиндра к его образующим. Для измерения часто встречающихся на практике углов в 60, 45, 135, 120° применяют постоянные малки (фиг. 60). Для точного построения углов через 1' Иогансон делает по типу измерительных плиток наборы угломерных плиток (фиг. 61а), представляющих собой прямоугольные, притирающиеся боковыми сторонами брусочки, у к-рых два или четыре угла скошены под точно известным углом. Комбинируя различные углы путем притирки плиток попарно, можно получить все углы 10—226° через 1' с большой точностью. Набор состоит из 85 плиток: 15 с четырьмя скосами под углами 10—11° через 1', 40 (из к-рых 1 прямоугольная плитка, 6 с четырьмя скосами и 33 с двумя скосами) с углами 1—90° через 1° и наконец 30 с двумя скосами 89—90° через 1'. Углы в пределах 10—101° составляются из одной градусной и одной

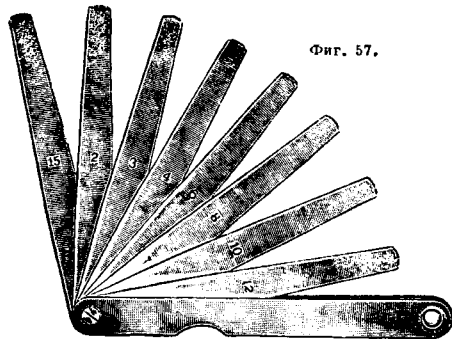


Фиг. 56б.



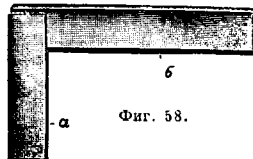
Фиг. 56в.

минутной 10°-ной плитки (фиг. 61а), от 100 до 146° — из тех же плиток, только градусная плитка



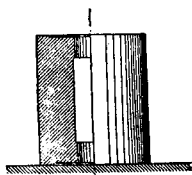
Фиг. 57.

притирается противоположной стороной (фиг. 61б), а 89—226° при помощи одной градусной плитки и одной минутной 89°-ной (фиг. 61в). Несмотря на большую достижимую этими плитками точность они мало привились на практике, гл. обр. в виду необходимости визуального контроля, не всегда удобного, и по причине малой длины мерных поверхностей, особенно нежела-



Фиг. 58.

тельной при угломерных измерениях. Упрощенный тип угломерных шаблонов изображен на фиг. 62. Очень точный способ измерения углов и конусов дает комбинированное применение точных цилиндров и измерительных плиток. Основой этого способа является синусная линейка.



Фиг. 59.



Фиг. 66.

ка, принципиальная схема к-рой изображена на фиг. 63; из схемы ясно, что угол  $\varphi$  определяется из ур-ия

$$\sin \varphi = \frac{(h_1 - h_2) + (d_1 - d_2)}{L}$$

к-рое в случае обычного равенства  $d_1$  и  $d_2$  обра- щается в

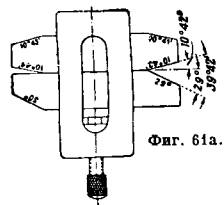
$$\sin \varphi = \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (29)$$

Ошибка  $\Delta\varphi$  угла равна

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta d_1 + \Delta d_2}{L \cos \varphi} + \frac{(h_1 - h_2) \Delta L}{L^2 \cos \varphi} \quad (30)$$

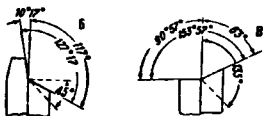
Т. о., принимая  $\Delta h = \Delta d = 0,001$  мм,  $\Delta L = 0,005$  мм,  $L = 100$  мм, получим при угле  $5^\circ$  ошибку в  $4,4 \cdot 10^{-5}$  или ок.  $9''$ , а при угле в  $45^\circ$  приблизительно в  $21''$ .

Ошибка  $\Delta\varphi$  сильно возрастает с приближением угла  $\varphi$  к  $90^\circ$ , т. ч. применять синусную линейку выгодно лишь до углов, не превышающих  $75^\circ$ . Способ этот, как видим, при легко дости- жимых степенях точности составляющих И. и. элементов дает очень высокую точность измерения.



Фиг. 61а.

Синусная линейка сист. Йогансона изображена на фиг. 64; оба цилиндра удерживаются винтами, повернутыми под  $45^\circ$  в тело линейки; отверстия в теле линейки помимо облегчения ее служат для ее закрепления после установки на вертикальном угольнике. Мерная длина равна 100 мм. Другим методом построения углов является комбинация из двух цилиндров различных радиусов  $r_1$  и  $r_2$  (фиг. 65), разделенных концевой мерой определенной длины  $L$ . Обозначая угол между



Фиг. 61b и 61v.



Фиг. 62.

касательными по обоим цилиндрам через  $2\varphi$ , имеем

$$\sin \varphi = \frac{r_1 - r_2}{r_1 + r_2 + L} = \frac{d_1 - d_2}{d_1 + d_2 + 2L}$$

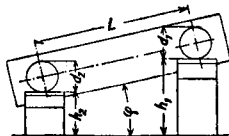
или

$$L = \frac{(1 - \sin \varphi) d_1 - (1 + \sin \varphi) d_2}{2 \sin \varphi} \quad (31)$$

Ошибка  $\Delta\varphi$  угла равна

$$\Delta\varphi = \frac{(\Delta d_1 + \Delta d_2)(1 + \sin \varphi) + \Delta L 2 \sin \varphi}{(d_1 + d_2 + 2L) \cos \varphi} \quad (32)$$

Напр. для  $d_1 = 50$  мм,  $d_2 = 25$  мм,  $L = 25$  мм,  $\sin \varphi = 0,20$ ,  $\cos \varphi = 0,98$ , при  $\Delta d_1 = \Delta d_2 = \Delta L = 0,002$  мм ошибка  $\Delta\varphi = 4,6 \cdot 10^{-5} \approx 9''$ . На практике этот метод применяется напр. для наладки линейек проверочного шаблона для конусов, изображенного на фиг. 66; действие прибора ясно из фиг. 66.



Фиг. 63.

К бескальным И.

и. следует отнести также все инструменты, служащие для проверки формы изделий: линейки для выверки прямолинейности граней, плиты для выверки плоскостей и всевозможные лекала (см) и шаблоны для проверки



Фиг. 64.

сложных профилей и контуров. Линейки и плиты представляют собой обычно стальной закаленный брусок призматич. сечения, у которого все четыре продольные грани или по крайней мере две узкие точно обработаны. Линейки такого типа мало точны вследствие значительного прогиба их под влиянием собственного веса. В случае линейки, подпертой на концах, прогиб  $F$  в середине определяется в см из ф-лы  $F = \frac{p 5l^4}{384 E I}$ , где  $p$  — вес п. см, равный  $b \cdot h \cdot 0,0078$  кг ( $b$  — толщина,  $h$  — высота линейки в см),  $l$  — длина в см,  $E = 2 400 000$  кг/см<sup>2</sup> (для стали) и  $I = \frac{bh^3}{12}$  см<sup>4</sup>. Подставляя, получаем в более удобном виде

$$f_{13} = 580 \frac{L^4}{h^2} \quad (33)$$

где  $f_{13}$  в  $\mu$ ,  $L$  в м и  $h$  в см. Т. о. при линейке длиной в 1 м, сечением  $60 \times 12$  мм прогиб будет равен 16  $\mu$ . Ур-не упругой линии стержня длиной  $2l$  постоянного сечения, лежащего на двух горизонтальных опорах, расположенных симметрично на расстоянии  $a$  от середины стержня (фиг. 67), на участке  $AB$  имеет вид

$$y = \frac{p}{EI} \left[ \left( \frac{l}{4} - \frac{a}{2} \right) x^2 + \frac{x^4}{24} \right], \quad (34)$$

а на участке  $BC$

$$y = \frac{p}{24EI} \cdot [4la^2 - l^4 + 4lx(l^2 - 3a^2) + (l-x)^4] \quad (35)$$

Исследование уравнения (35) показывает, что наименьший прогиб будет иметь место при  $a = 0,5537l$ , в каком-то случае

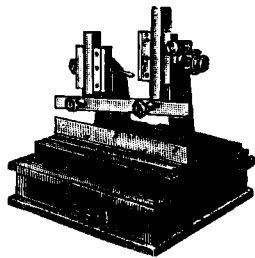
$$y_{max} = \frac{0,10429p l^4}{384EI}$$

или

$$f_{13} = 12,1 \frac{L^4}{h^2}, \quad (36)$$

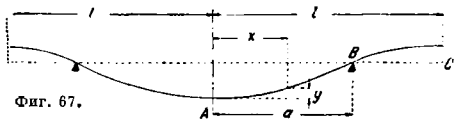
где  $f_{13}$  в  $\mu$ , а  $L$  и  $h$ , как и раньше, в м и см; в этом случае прогиб упомянутого выше метра равен всего 0,33 м, т. е. не может влиять на точность визуальных наблюдений. Точным линейкам небольших размеров (до 150 мм) придают

ножеобразную форму, изображенную на фиг. 68. Наблюдением световой щели можно уловить отклонения до  $3 \mu$ , а при особо благоприятных условиях даже до  $1 \mu$ . Еще меньшие отклонения (до  $0,1 \mu$ ) можно обнаружить, проводя линейкой в направлении лезвия ее по испытуемой плоскости и рассматривая след, оставленный линейкой. Линейки крупных размеров целесообразно делать в форме балки равного сопротивления, подпертой в таких точках, чтобы обеспечить наименьшую и постоянную деформацию линейки (фиг. 69). Для выверки плоскостей применяются контрольные



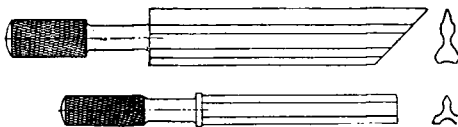
Фиг. 66.

ные плиты: для более грубых работ — чугунные шабренные плиты, ошибка изготовления к-рых при безукоризненной работе при размере  $1,0 \times 0,60$  м может достигать  $1,5-2 \mu$  от идеальной плоскости, обычно же бывает значительно больше. Для очень точных работ из-



Фиг. 67.

готавливают стальные закаленные и зеркально отполированные контрольные плиты небольших размеров обычно диам.  $150-190$  мм с точностью до  $0,25 \mu$ ; эти плиты обладают способностью притирки и применяются преимущественно для работ с измерительными плитками. Еще



Фиг. 68.

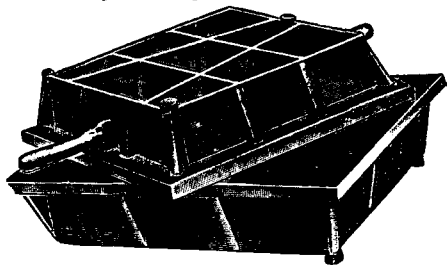
большей точностью (до  $0,1 \mu$ ) при диаметре  $60$  мм отличаются стеклянные контрольные плитки, изготавливаемые оптич. фирмами и служащие преимущественно для контроля плоскостей путем наблюдения интерференционных полос. Этот способ дает возможность заметить отклонения



Фиг. 69.

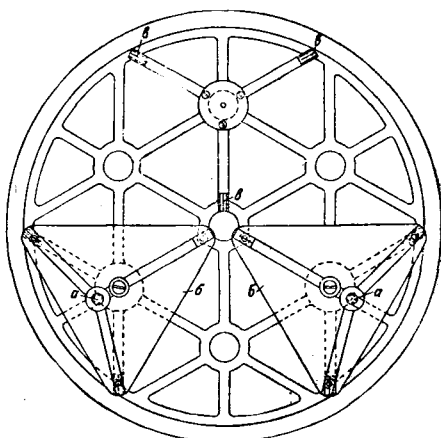
от плоскости порядка  $0,3 \mu$ . Чугунные контрольные плиты должны обладать возможно большей жесткостью и постоянством формы. Первое достигается путем снабжения плиты достаточным количеством рационально расположенных высоких ребер (фиг. 70); второго стремится достигнуть искусственным старением материала плиты и расположением плиты на статически определенных опорах с тем, чтобы распределение веса на отдельные опоры, а следовательно и деформа-

ции оставались постоянными при изменении положения опор. У плит малого и среднего размера это достигается постановкой их на три ножки, расположенные приблизительно в точках опор для наименьших деформаций. Нижняя часть большой круглой прецизионной плиты, стати-



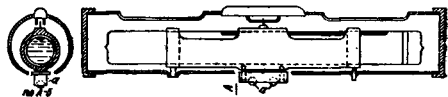
Фиг. 70.

чески определимо опертой в девяти точках, изображена на фиг. 71; каждая из трех шаровых опор  $a$ , на к-рых лежит плита, расположена на треугольной плите  $b$ , к-рая в свою очередь передает статически определенно свою долю опорной реакции трем шарикам, катающимся в трех ско-



Фиг. 71.

данных в одной точке V-образных канавках  $e$ . Для поверки плоскостей и выверки прямолинейности направляющих кроме сличения с контрольными плитками и линейками м. б. применены следующие методы. 1) Проверка уровнем (см.); применяя чувствительный уровень, смонтированный



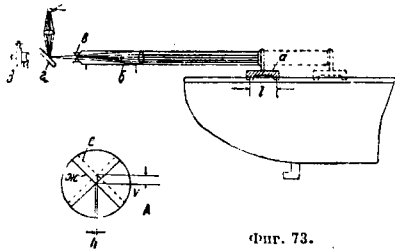
Фиг. 72.

в оправе с короткой базой, можно измерить отклонения от прямолинейности порядка  $0,1 \mu$ . Уровни применяются с радиусом  $R = 60 \div 150$  м, а расстояние  $l$  между точками опоры базы, образованное двумя или тремя шариками  $a$  (фиг. 72), делают порядка  $10-20$  мм. Тогда наименьшая

ошибка  $\delta$  в  $\mu$ , вызывающая отклонение пузырька на 1 деление, равное  $r$  мм (обычно 2—2,5 мм), определяется по формуле

$$\delta = \frac{r \cdot l}{R}, \quad (37)$$

где  $r$  и  $l$  в мм, а  $R$  в м. Проведем промеры по всей длине исследуемой линии, передвигая уровень каждый раз на длину базы, можно определить, вычертив график ошибок, наибольшее отклонение  $f$ . 2) При проверке методом автоколлимации вместо уровня на испытуемую линейку, станину или плиту ставят небольшие салазки  $a$  (фиг. 73) с короткой базой  $l$  мм, на  $n$ -рых укреп-

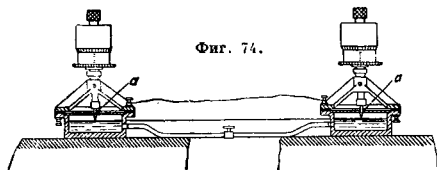


Фиг. 73.

лено плоское зеркальце, отбрасывающее обратно лучи света, посылаемые коллиматором  $b$  с фокусным расстоянием  $F$ . В окуляре будут видны два изображения креста нити  $c$ , расположенного в трубе коллиматора: одно, менее отчетливое,  $e$  (фиг. 73, А), отраженное от зеркальца на салазках  $a$  лучом света, отбрасываемым стеклянной пластинкой  $g$ , а другое, более резкое,  $ж$ , даваемое тем же лучом света на обратном ходу после его отражения от зеркальца на салазках. В случае перпендикулярности зеркальца к оси коллиматора оба изображения нити перекрывают друг друга; всякое смещение их в горизонтальном  $h$  или вертикальном  $v$  направлениях м. б. измерено в мм микрометрич. окуляром  $\delta$  с точностью  $v_{мин}$ . Величина отклонения в  $\mu$  направляющих от прямолинейности на длине мерных салазок  $l$  в горизонтальном  $\delta_h$  или вертикальном  $\delta_v$  направлениях м. б. получена из ф-л

$$\delta_v = \frac{v \cdot l}{F}, \quad \delta_h = \frac{h \cdot l}{2F}, \quad (38)$$

где  $v$ ,  $h$  и  $l$  в мм, а  $F$  в м. Наименьшая замеченная ошибка, напр. при длине фокуса 0,5 м,  $l = 50$  мм,  $v_{мин} = 0,02$  мм, получается порядка 1  $\mu$ . Для более грубой проверки поверхности плит можно с успехом применять гидростатич. уровень с ртутью (фиг. 74), причем отклонения от горизонталь-



Фиг. 74.

ности определяются перемещением микрометрич. шпindelей  $a$  до момента соприкосновения их острия с поверхностью ртути. Самый контакт определяется лучше всего при помощи замыкающей электрич. цепи, образованной сухой батареей, гальванометром, станной машины, ртутью

в чашке и отизолированным от последней микрометрич. винтом. Этот метод дает возможность заметить отклонения порядка 3—5  $\mu$ . Проверка сложных профилей производится лекалами и шаблонами (см. *Лекала*). К этому же роду измерений сводится в основе проверка правильности винтовых нарезов и зубчатых колес. Однако в виду специфичности применяемых при этом методов эти И. и. рассматриваются ниже отдельно; методы и И. и. для проверки зубчатых колес см. *Зубчатые колеса*.

Б. Шкальные, или штриховые, механические И. и. характеризуются, с одной стороны, наличием шкалы, показывающей непосредственно в числах измеряемую величину, а с другой — применением исключительно механич. приспособлений для увеличения точности отсчета. Простейшими типами шкальных И. и. являются для измерения длин масштабы и масштабные линейки, для углов — транспортиры. Масштаб состоит из стальной закаленной линейки (фиг. 75),



Фиг. 75.

на которой нанесены деления, обычно с одной стороны в мм, с другой — в англ. дм. (надпись «London»). Размеры их (в мм):

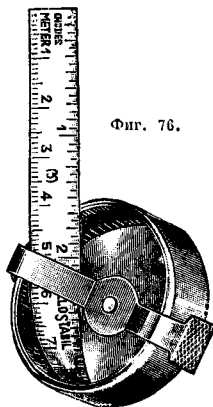
Мерная длина . . . . .	100	150	200	250	300	400	500	1000
Ширина . . . . .	18	18	22	22	28	30	30	40
Толщина . . . . .	0,5	0,5	0,7	0,7	1,0	1,0	1,5	2,0

Толщина штрихов у масштабов, предназначенных для службы в цехах, равна 0,10—0,15 мм; т. о. точность отсчета равняется 0,3—0,5 мм. Для более точных измерений применяют масштабные линейки, изготовленные из стальных полированных брусков, на которых нанесены деления (обычно только одно: или в мм или в дм.). Размеры их в мм приведены ниже:

Мерная длина . . . . .	500	1000	1500	2000	3000	4000
Ширина . . . . .	30	40	45	50	55	60
Толщина . . . . .	6	8	9	10	11	12

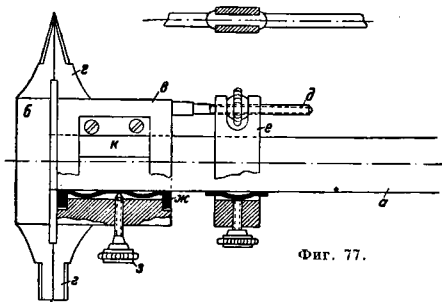
Точность делений для контрольных масштабных линеек равняется  $\pm 0,05$  мм на 1000 мм

длины, для цеховых масштабов достаточно пониженная точность порядка  $\pm 0,15$  мм на 1000 мм. Толщина штрихов контрольных линеек равна 0,05—0,08 мм. Очень удобны так называемые масштабы Роллстабиль (фиг. 76), состоящие из тонкой стальной ленты, слегка согнутой в поперечном сечении, что придает ей достаточную жесткость для того, чтобы сохранять прямолинейную форму до длины в 2 м; одновременно она обладает способностью легко изгибаться в продольном направлении и обездвижен т. обр. в себе преимуществу ленточных и жестких масштабов. Для непосредственного измерения углов применяются



Фиг. 76.

транспортиры (см.), получившие однако вследствие малой точности и гл. обр. неудобства отсчетов весьма малое применение в машиностроении. Следующая группа шкальных И. и обнимает собой инструменты, у которых измерение производится перемещением движка, причем результат измерения отсчитывается непосредственно на шкале. Основным инструментом этого класса является штангенциркуль, или штанген (штангель), состоящий из линейки  $a$  с делениями (фиг. 77), снабженной поперечной



Фиг. 77.

$b$ , образующей неподвижную ножку, и из рамок, или движка  $a$ ,двигающейся по линейке и несущей подвижные ножки  $г$ . Для тонкого перемещения движка последний снабжен винтом  $д$ , гайка которого вращается в прорезе обоймы  $e$ , закрепляемой на линейке винтом; движок снабжен пружиной  $ж$ , удерживающей его от переноса при движении и препятствующей сдвигу его по линейке при закреплении движка винтом  $д$ . Отсчет расстояния между мерными поверхностями ножек производится по шкале, нанесенной на линейке  $a$ , с помощью нониуса  $ж$  (см. *Верьер*). У прецизионных штангенов нониус делается для отсчета  $0,02$  мм при  $1/2$ -мм деления шкалы, у обыкновенных — деление 1-мм и нониус для  $0,1$  мм. Ошибки штангенов согласно приказа ВСНХ № 1350 от 11/V 1930 г. не должны превышать след. величин (в мм):

Точных штангенов до 500 мм	0,02
» » » 1000 »	0,04
Технич. » с нониусом 0,1 до 1000 мм	0,1
» » » 0,05 до 500 »	0,05
» » » до 1000 »	0,10

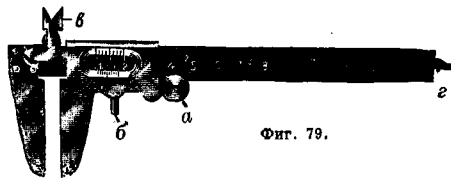
Изображенный на фиг. 78 штанген с нониусом на  $0,02$  мм имеет 1-мм деления, обуславливающие более длинный нониус, отсчет по которому однако облегчен в виду более крупных делений. Для внутренних измерений служат концы ножек, обделанные уступами; внешние цилиндрич. поверхности их имеют в сумме определенную толщину, обычно 5 или 10 мм, которая  $d$ . б. прибавлена при измерении внутренних размеров к показанию нониуса. Технический штанген типа



Фиг. 78.

«Колумбус» изображен на фиг. 79, передвижение движка совершается колесиком  $a$ , вращаемым большим пальцем руки, а закрепление—рычажком  $б$ , ножевидные ножки  $в$  служат для внутренних измерений;  $с$  движком связан пруток  $г$ ,

ходящий в канавке линейки и служащий глубомером. Ошибка штангенов от давления  $m$ . б. определена как сумма ошибок от изгиба линейки



Фиг. 79.

и обеих ножек, считааемых для простоты телами равного сопротивления изгибу. Суммарная ошибка (фиг. 80):

$$f_{13} = l - l_1 = 2r \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + 2f',$$

где  $r$  — длина ножки,  $\theta$  — угол поворота крайних сечений линейки на мерной длине  $l_1$ ,  $f'$  — стрела прогиба ножки под действием силы  $P$ .

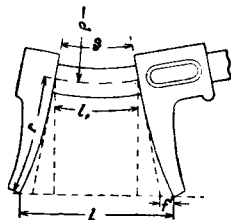
$$2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \cong \operatorname{tg} \theta \cong \theta = \frac{I_1}{c} = \frac{PrI_1}{EI_1}; f' = \frac{8Pr^3}{Eb_2h_2^3},$$

где  $I_1 = \frac{b_1h_1^3}{12}$  — момент инерции линейки шириной  $h_1$  и толщиной  $b_1$ ;  $b_2$  и  $h_2$  — толщина и ширина ножки у основания. Окончательно имеем

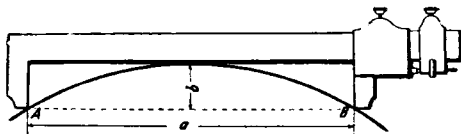
$$f_{13} = \frac{4Pr^2}{E} \left[ \frac{3l_1}{b_1h_1^3} + \frac{4r}{b_2h_2^3} \right]. \quad (39)$$

Каков порядок малости ошибки, видно из того, что у прецизионного штангена, имеющего следующие размеры:  $r = 6,0$  см,  $b_1 = b_2 = 0,25$  см,  $h_1 = 2,4$  см,  $h_2 = 2,0$  см, при  $l_1 = 100$  мм и  $P = 1$  кг, ошибка  $f_{13} = 21 \mu$ , т. е. лежит в пределах точности отсчета ( $\frac{1}{50}$  мм), которая является т. о. иллюзорной.

Вообще штангены при тщательном выполнении и умелом пользовании могут давать измерения самое большее с точностью до  $0,03$ – $0,05$  мм. Малая длина ножек штангена не позволяет непосредственно измерять диаметры, превышающие удвоенную длину ножек. В этом случае можно измерять расстояние  $AB = a$  (фиг. 81) при



Фиг. 80.



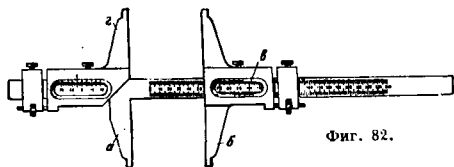
Фиг. 81.

условию одновременного касания окружностью ребра линейки. Зная длину ножек  $b$ , можно определить диам.  $D$  изделия по ф-ле

$$D = \frac{a^2}{4b} + b. \quad (40)$$

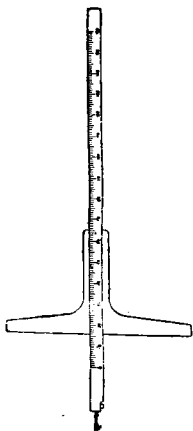
Существуют штангены, предназначенные для измерения шкивов, у которых шкала градуирована по ф-ле (40) непосредственно в диаметрах. На фиг. 82 изображен двойной штанген, заменяющий предельные калибры и применяющийся при

работах по грубым допускам, когда точность, даваемая штангенном, бывает достаточной. Между неподвижной ножкой *a* и основной подвижной *b* устанавливают по нониусу *e* наибольший

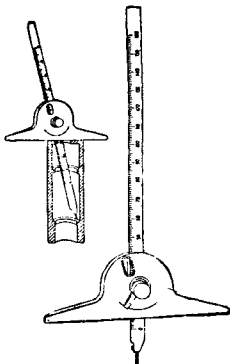


Фиг. 82.

допустимый размер изделия; сдвигая вспомогательную ножку *e* на величину допуска, получают с другой стороны штангена браковочный размер. Для измерения углублений служит штанген-глубомер (фиг. 83), отличие которого от нормального штангенциркуля состоит в том, что неподвижная ножка отсутствует, а подвижная заменена поперечиной. Для возможности измерения положения внутренних уступов в отверстиях с меняющимися диаметрами име-

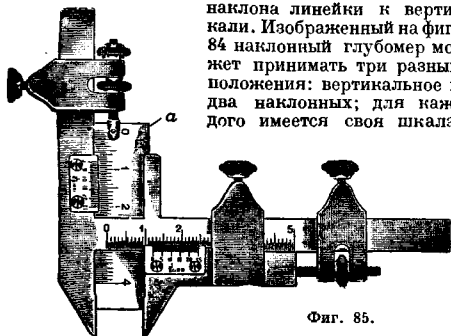


Фиг. 83.



Фиг. 84.

ются наклонные глубомеры, у которые деления увеличены пропорционально  $\frac{1}{\cos \varphi}$ , где  $\varphi$  — угол наклона линейки к вертикали. Изображенный на фиг. 84 наклонный глубомер может принимать три разных положения: вертикальное и два наклонных; для каждого имеется своя шкала,



Фиг. 85.

причем окошечко для отсчета в рамке устроено так, что допускает отсчет только по той шкале, которая соответствует установленному наклону.

Для измерения толщины зубцов по желанию штанген-зубомер (фиг. 85), который состоит из нормального штангена с добавлением перемещающейся параллельно мерным поверхностям ножек линейки *a*, посредством которой устанавливается глубина измерения от головки зубца. Зная диаметр начальной окружности  $d_0$  (фиг. 86) и определив измерением наружный диаметр колеса  $d_1$ , получаем при числе зубцов колеса, равном *z*, величину установки *a* для измерения толщины зубца на начальной окружности:

$$a = \frac{d_1}{2} - \frac{d_0}{2} \sqrt{1 - \frac{1}{4z^2}}; \quad (41)$$

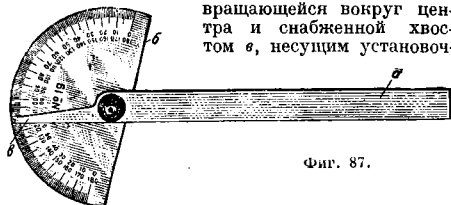
толщина *b* зуба по хорде, выраженная в толщине  $t_1$  по начальной окружности, равна

$$b = d_0 \sin \frac{t_1}{d_0} \approx t_1 \left( 1 - \frac{t_1^2}{24z^2} + \frac{1}{160z^4} - \dots \right); \quad (42)$$

приближенная ф-ла для *b* дана в предположении толщины зубца, равной  $\frac{1}{2}$  шага, окружная толщина  $t_1$  равна

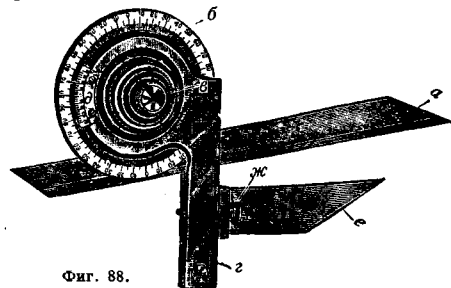
$$t_1 = d_0 \frac{\varphi}{2} = d_0 \arcsin \frac{b}{d_0} \approx b \left( 1 + \frac{1}{24z^2} + \frac{3}{640z^4} + \frac{15}{21504z^6} + \dots \right). \quad (43)$$

Для угловых измерений применяются протракторы, или угломеры (фиг. 87), состоящие из линейки *a*, вращающейся вокруг центра и снабженной хвостом *e*, несущим установоч-



Фиг. 87.

ную черту, и разделенной на градусы дуги *b*. Точность отсчетов равна  $\pm 0,5'$ . Для более точных измерений применяют угломеры типа, изображенного на фиг. 88. Снабженная продольным

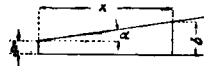


Фиг. 88.

пазом линейка *a* имеет продольное перемещение в соответственном пазу лимба *b* и закрепляется в любом положении верхней кнопкой *e*. Подвижная линейка *e*, снабженная нониусом *d* для от-

счетов с точностью 5', закрепляется в требуемом положении нижней из трех кнопок  $e$ ; средняя кнопка служит для точной установки. Съемная поперечная линейка  $e$ , образующая прямой угол с подвижной линейкой  $e$ , служит для измерения острых углов; она закрепляется винтом  $ж$  и м. б. при необходимости снята.

В следующем классе шкальных И. и. для увеличения точности измерений применяются различные механические приспособления, основанные на использовании свойств клина, винта, рычагов, зубчатых колес и жидкостных индикаторов. Клиновой И. и. использует свойство клиновидных поверхностей (при достаточно малом угле



Фиг. 89.

клина) совершать значительные продольные перемещения при малом изменении толщины. Толщина  $b$  клина в расстоянии  $x$  (фиг. 89) от тонкого конца, с толщиной  $b_0$ , равна

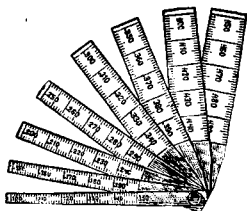
$$b = b_0 + x \operatorname{tg} \alpha; \quad db = \operatorname{tg} \alpha dx,$$

т. е. при постоянном угле  $\alpha$  перемещение пропорционально приращению толщины. В простей-



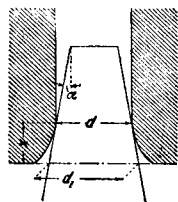
Фиг. 90.

шей форме клин используется для клиновых щупов (фиг. 90) и клиновых дыромеров (фиг. 91). И. и. вставляется в измеремое отверстие или щель с легким давлением, и отметка, приходящаяся против



Фиг. 91.

обреза отверстия или щели, указывает диаметр или толщину их. Геометрическая точность отсчета может быть увеличена до беспредельности путем уменьшения угла  $\alpha$ ; однако при уменьшении этого угла возникает два источника ошибок, вскоре уничтожающих всю выгоду при-



Фиг. 92.

менения малых углов. Первая причина — увеличение распора клина при уменьшении угла, вызывающее ввиду точечного или линейного прикосновения мерных поверхностей сильно меняющееся в зависимости от материала, качества обработки и искусства измерителя сминание поверхностей соприкосновения. Второй источник ошибок заключается в том, что обычно концы отверстий не бывают строго цилиндрическими до самого

$$\text{края, а слегка расширяются; в этом случае показание } d_1 \text{ (фиг. 92) И. и. ошибочно на величину}$$

$$\Delta d = d_1 - d = x \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $x$  — длина скоса от обреза отверстия. Несмотря на эти недостатки клин в форме конуса является единственным И. и. для измерения очень тонких отверстий. Игломер изображен на фиг. 93; для постоянства давления при

измерениях нажим иглы совершается заключенной в кожузу  $a$  пружиной, отсчет перемещения иглы  $b$  совершается по нониусу  $e$ , пределы из-



Фиг. 93.

мерений 0,1—3,0 мм через 0,01 мм. Другой тип клинового дыромера, свободный от ошибки, обусловленной расширенными краями отверстий, изображен на фиг. 94; мерные поверхности двух



Фиг. 94.

гошек  $a$ , стягиваемых пружиной, раздвигаются клином  $b$ ; перемещения последнего отсчитываются по нониусу и дают диаметр с точностью отсчета до  $\pm 0,01$  мм; реальная точность измерения этим инструментом конечно ниже.

Винтовые И. и., в которых измерение длин производится отсчетом углов поворота винта, в виду ряда преимуществ получили широкое распространение. Из теории винта известно, что осевое перемещение его  $x$  равно

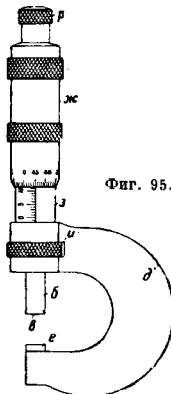
$$x = nh = n_0 h + \frac{\alpha}{360} h; \quad (44)$$

ошибка равна

$$\begin{aligned} f_{14} = \Delta x &= n_0 \Delta h + \frac{h \Delta \alpha}{360} + \frac{\alpha}{360} \Delta h = \\ &= \left( n_0 + \frac{\alpha}{360} \right) \Delta h + \frac{h}{360} \Delta \alpha, \end{aligned} \quad (45)$$

где  $n$  — число оборотов винта,  $h$  — шаг,  $n_0$  — число целых оборотов и  $\alpha$  — угол дополнительного (дробного) поворота винта. Из ф-лы (44) видно, что при уменьшении шага винта  $h$  для данного перемещения  $x$  требуется больше оборотов  $n$ , т. е. точность отсчета при этом увеличивается.

Однако трудность изготовления винтов с очень мелким шагом, их легкий износ и большая нежность ограничивают уменьшение  $h$  пределом 0,5 мм, к-рый и является наряду с шагами 1,0 мм и  $1/40$  дм. (0,635 мм) наиболее употребительным в микрометрич. винтах. Ошибка измерения  $f_{14}$  зависит при большой величине перемещения  $x$  в значительной мере, как видно из ф-лы (45), от ошибки хода  $\Delta h$  и в меньшей степени от ошибки измерения угла  $\alpha$ . При очень малых перемещениях, наоборот, ошибка шага отступает на задний план по сравнению с ошибкой  $\Delta \alpha$ . Наиболее широко распространенным винтовым И. и. является микрометр, или пальмер, общий вид которого изображен на фиг. 95, а продольный разрез — на фиг. 96. Главной частью его служит микрометрический винт  $a$ , который имеет с одной стороны точную нарезку, а с другой представляет собой гладкую скалку  $b$ , снабженную плоской и перпендикулярной к оси ме-

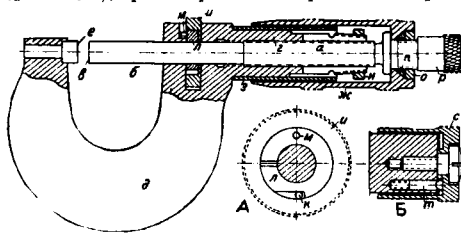


Фиг. 95.

рикулярной к оси ме-

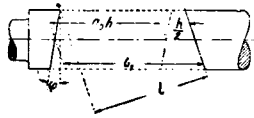


рительной поверхностью  $e$ . Винт ходит в гайке  $e$ , являющейся частью дугообразной рамки, или дуги,  $d$ ; на свободном конце последней укреплен пятак  $e$ , передняя мерная плоскость  $n$ -рой д. б. параллельна плоскости  $e$ . Перемещается винт вращением барабана  $a$  и  $ж$ ; целые обороты отсчитываются по переднему урезу барабана на нанесенной на гильзе  $z$  полумиллиметровой шкале; части оборотов, дающие непосредственно перемещения в  $0,01$  мм, — по разделенному на 50 частей скошенному переднему краю барабана и нулевой черте, проведенной на гильзе. Шпиндель винта  $a$  м. б. закреплен в приданном ему положении зажимным кольцом  $u$  (фиг. 96, А); при повороте его вправо цилиндр



Фиг. 96.

$n$ , перекатываясь в клиновидном вырезе внутреннего разрезного кольца  $л$ , сжимает последнее и т. о. затягивает его на скалке винта, а т. к. кольцо  $л$  заstopорено от вращения шпильком  $м$ , входящим в вырез рамки  $д$ , то и микрометрич. винт оказывается закрепленным. В случае износа винта и получения им излишней игры в гайке  $e$  последняя м. б. поджата гайкой  $н$ , навинчивающейся на конич. нарезку, нарезанную на конце гайки  $e$ , разрезанной для облегчения пружинения. Если после регулировки гайки барабан не устанавливается на 0 при сопрясающихся мерных поверхностях, то он м. б. повернут относительно винта  $a$  путем ослабления гайки  $о$ , навинчивающейся на хвостовик микрометрич. винта и удерживающей посредством конич. шайбы  $п$  барабан  $ж$ . Постоянство мерного давления обеспечивается т. н. трещеткой  $р$ , изображенной отдельно на фиг. 96, Б. Она состоит из храповой муфточки  $с$ , свободно вращающейся на хвостовике микрометрич. винта  $a$ , и пружинной цилиндрич. собачки  $т$ , сидящей в углублении хвостовика; собачка захватывает при вращении муфточки  $с$  винт  $a$  до тех пор, пока крутящий момент



Фиг. 97.

не превышает величину, отвечающую мерному давлению  $\sim 1$  кг. При возрастании давления храповичок начнет проскальзывать, показывая этим, что максимальное мерное давление достигнуто. Геометрич. ошибка показаний микрометра вызывается: 1) ошибкой шага винта  $\Delta h$ , 2) ошибкой делений барабана  $\Delta a$ , 3) неперпендикулярностью мерных поверхностей к оси шпинделя. Ошибки шага и делений при тщательном изготовлении м. б. уменьшены до  $\pm 1$   $\mu$  (Цейсс). Ошибка  $f_{15}$  при отклонении мерной плоскости от перпендикуляра к оси на угол  $\varphi$  (фиг. 97), при сопрясающихся мерных поверхностях (т. е. при микрометре на 0), при ходе шпинделя, соответствующем отсчету по микрометру  $l_1$ , равна

$$f_{15} = l - l_1,$$

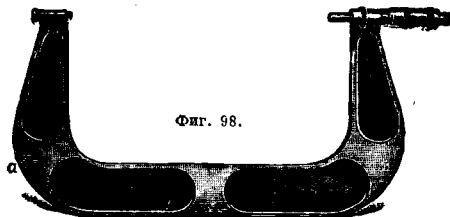
где  $l$  — действительная толщина измеряемого объекта. Величина  $f_{15}$  колеблется в зависимости от угла  $\alpha$  поворота мерных поверхностей. При  $\alpha = 2n\pi$  ошибка  $f_{15}$  достигает минимума, равного

$$f_{15, \min} = l - l_1 = l - l \cos \varphi \approx - \frac{lg^2}{2}; \quad (46)$$

при  $\alpha = (2n_0 + 1)\pi$  ошибка достигает максимума, равного

$$f_{15, \max} = -d \operatorname{tg} \varphi - l(1 - \cos \varphi) \approx -d\varphi - \frac{lg^2}{2}, \quad (47)$$

где  $d$  — диаметр скалки микрометрического винта. Насколько эта ошибка значительна, видно из того, что при  $\varphi = 5'$ ,  $d = 6$  мм и  $l = 20$  мм  $f_{15}$  колеблется между  $0,03$   $\mu$  при  $\alpha = 2n\pi$  и  $10,8$   $\mu$  при  $\alpha = (2n_0 + 1)\pi$ . Ошибки от прогиба скалки под действием мерного давления м. б. вычислены по Ф-ле (28); на точности измерений отъезжаться не столько абсолютная величина ошибки, сколько ее непостоянство, вызванное изменением силы  $P$ . Наилучшим способом проверки микрометров является применение предложенных фирмой К. Цейсс плоско-параллельных стеклянных пластинок точно известной толщины. Зажимая такую пластинку между мерными поверхностями микрометра и сравнивая отсчет барабана с известной до  $0,3$   $\mu$  толщиной пластинки, определяем общую ошибку измерения, а рассматривая интерференционные фигуры, образовавшиеся на мерных поверхностях, можем судить о степени их плоскости и параллельности друг другу. Для того чтобы иметь возможность проверить взаимную параллельность мерных поверхностей при различных дробных углах поворота шпинделя (т. е. перпендикулярность их к оси), пластинки делают набором из 4 шт., причем толщины их отличаются на  $\sim 1/8$  мм, а именно 12,000; 12,120; 12,250 и 12,370 мм, т. ч. шпиндель испытывается в четырех положениях через  $\sim 90^\circ$ . У микрометров первого класса при этом число интерференционных полос не д. б. больше 3. Трудность изготовления достаточно точных микрометрических винтов с длиной хода более 25 мм заставляет ограничивать этой величиной диапазон измерений микрометров. Поэтому для измерения размеров, больших 25 мм, необходимо иметь набор микрометров, из к-рых каждый перекрывает диапазон в 25 мм, т. е. микрометр размером 25—50 мм, 50—75 мм и т. д. Для увеличения диапазона микрометры размером  $> 100$  мм часто снабжают сменными  $a$  (фиг. 98) или передвинжными пятками, уменьшающими скалками через 25 мм мерную длину



Фиг. 98.

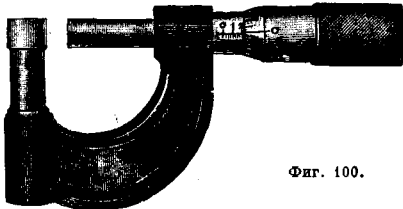
микрометра; установка пятки проверяется каждый раз посредством прилагаемой концевой меры. Для измерения толщины листов на значительном расстоянии от края применяют микрометры с большим вылетом (фиг. 99); для определения толщины стенок труб микрометры снабжают цилиндрич. поперечной пяткой (фиг. 100). Иногда для измерения значительных длин де-

ляют т. н. штанген-микрометры (фиг. 101), к-рые должны быть однако признаны целесообразными в виду невозможности использовать точность микрометра по причине малой жесткости всей системы [см. ур-ие (39)].



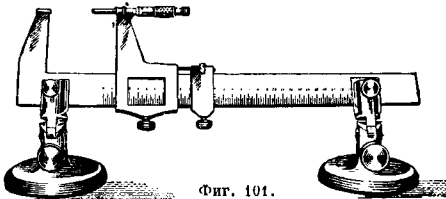
Фиг. 99.

Весьма целесообразной, напротив, является комбинация микрометра с мерным индикатором, изображенная на фиг. 102; пятка микрометра сделана подвижной и прижимается постоянным усилием  $\sim 1$  кг к измеряемому предмету; отклонения пятки от нулевого положения указываются в окошечке индикатора стрелкой на шкале (фиг. 102а), разделенной на  $0,002$  мм, на-глаз можно легко отсчитывать  $\mu$ . После установки барабана микрометра на целый штрих отсчитывают третий десятичный знак



Фиг. 100.

по индикатору. Для измерения внутренних размеров применяют штанген-микрометры типа, изображенного на фиг. 103; эта конструк-

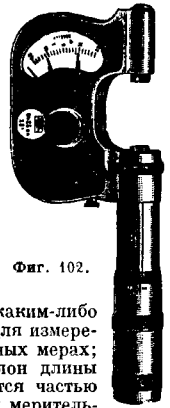


Фиг. 101.

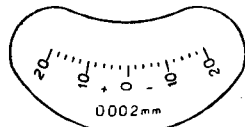
ция однако должна быть признана также неудачной (отсутствие жесткости и нарушение второго принципа Аббе); микрометрический штихмас, типа, приведенного на фиг. 104, следует признать, напротив, весьма удачно сконструированным И. и. (выполнен второй принцип Аббе). Он состоит из небольшого винтового штихмаса А, винт которого имеет рабочий ход, в  $13$  мм и служит для измерения отверстий  $\varnothing 50-63$  мм. Увеличение диапазона достигается навинчиванием ряда наставок (фиг. 104, В), представляющих собой концевые меры  $\alpha$  большой точности, заключенные в футлярах б; вне употребления мерный стержень втягивается пружиной в футляр, и т. обр. мерные поверхности его защищены от повреждений. Степень завинчивания наставки не отражается на точности мерной длины

составного штихмаса, т. к. она определяется суммой длин мерных стержней, прижимаемых друг к другу пружинами  $\epsilon$ , не зависящими от степени затяга втулок. Точность измерения  $\pm 0,005$  мм.

Микрометрические глубомеры (фиг. 105) представляют собой комбинацию глубомера с микрометрич. винтом; для увеличения диапазона применяются сменные мерные болты  $\alpha$ ; для измерения глубины уступов микрометрич. головку  $\beta$  можно ввинтить в отверстие на конце перекладчины  $\epsilon$ ; точность измерений в виду неадекватности определения момента касания—порядка  $0,01-0,02$  мм. Дальнейшим усовершенствованием микрометра являются мерительные машины, служащие как для сравнения данной меры с каким-либо постоянным эталоном, так и для измерения непосредственно в линейных мерах; в этом последнем случае эталон длины в том или другом виде является частью мерительной машины. Всякая мерительная машина состоит из станины или салазок, на к-рых укреплены обычно неподвижная микрометрич. бабка, несущая винт, и перемещающаяся индикаторная бабка, указывающая мерное давление. Все разнообразие конструкций мерительных машин сводится гл. обр. к способам управления ошибок микрометрич. винта и к конструкции индикаторной бабки. На фиг. 106а изображена микрометрич. бабка мерительной машины сист. Ньюолл. Микрометрич. винт  $\alpha$  (прямоугольная нарезка 20 ниток на 1 дм.) перемещается в гайке  $\beta$ , неподвижно закрепленной в бабке  $\epsilon$ . Для уничтоже-

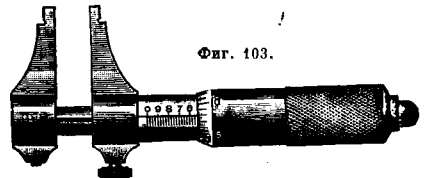


Фиг. 102.

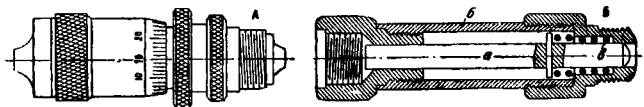


Фиг. 102а.

ния мертвого хода винта перед главной гайкой помещена короткая гайка  $\delta$ , прижимаемая и первой пружинкой  $\delta$ . Передний конец микрометрич. винта снабжен плоской мерной площадкой  $\epsilon$ ,



Фиг. 103.

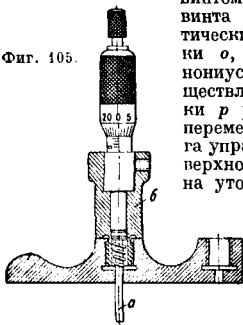


Фиг. 104.

а на его задний конец насажен барабан  $\omega$ , разделенный на 500 частей; т. о. одно деление соответствует перемещению шпинделя на  $0,0001$  дм.; с помощью нониуса  $\alpha$ , перемещающегося вслед за барабаном по линейке  $\kappa$ , можно отсчитывать

0,00001 дм. (0,25  $\mu$ ). Незначительные повороты барабана производятся винтом *л*, опирающимся на планку *м* и ходящим в ручке *и*, затягиваемой после грубой установки винта на втулке барабана винтом *к*. Коррекция ошибок винта производится автоматически перемещением стойки *о*, несущей линейку к нониусу. Перемещение осуществляется поворотом втулки *р* рычагом *с* и тягой *т*, перемещение же самого рычага управляется фасонной поверхностью *у*, выработанной на утолщении *ц* винтового шпинделя; отклонение *е* от цилиндрич. поверхности соответствует в каждой точке ошибке винта при повороте его на данный угол. Т. о. это

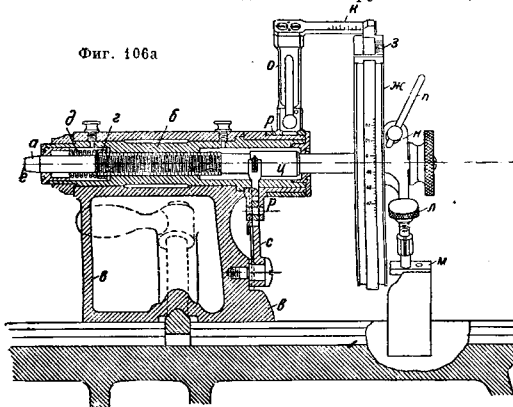
Фиг. 105.



способные при надлежащей конструкции исправлять как периодическую, так и прогрессивную ошибку винта. Индикаторная бабка (фиг. 106б) состоит из главной бабки *а* и вспомогательной *б*, служащей для точной установки первой при помощи микрометрич. винта *в*. Мерный плунжер *г* находится постоянно под давлением пружины *д*.

способные при надлежащей конструкции исправлять как периодическую, так и прогрессивную ошибку винта. Индикаторная бабка (фиг. 106б) состоит из главной бабки *а* и вспомогательной *б*, служащей для точной установки первой при помощи микрометрич. винта *в*. Мерный плунжер *г* находится постоянно под давлением пружины *д*.

Фиг. 106а

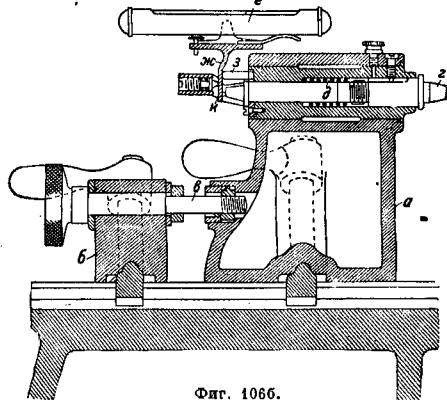


Для того чтобы при всех измерениях плунжер всегда находился в одном и том же положении, имеется индикатор, состоящий из уровня *е*, укрепленного в рамке *жс*, опирающейся своим хвостом на неподвижную опору *з* и посредством шарика *к* на конец плунжера *г*; пружина *л* прижимает хвост рамки к обоим опорам. Ясно, что если установить однажды плунжер так, чтобы пузырек уровня стоял на 0, то, приводя его при последующих измерениях снова на 0, мы можем быть уверены, что плунжер занял прежнее положение с точностью

$$f_{10} = a \sin \alpha \cong \alpha a, \quad (48)$$

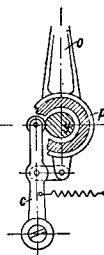
где *a* — расстояние между опорами (0,1 дм.) и  $\alpha$  — чувствительность уровня ( $\frac{1}{4000} - \frac{1}{6000}$ ), *f*<sub>10</sub> колеблется в пределах 0,000025—0,000016 дм. (0,65—0,4  $\mu$ ). Достоинством этой системы с перемещающимся продольно винтом является простота; недостаток, присущим этой системе вообще, — перемещение барабана и вращение мер-

ной поверхности. Оба эти недостатка уничтожены в микрометрич. бабке мерительной машины Национальной физической лаборатории в Лондоне

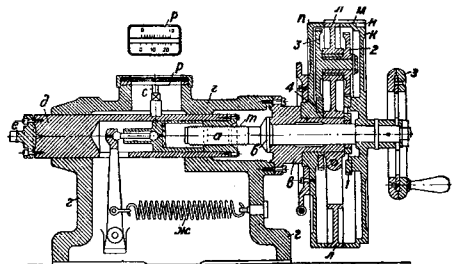


Фиг. 106б.

(фиг. 107). Микрометрич. винт *а* (20 ниток на 1 дм.) опирается заплечиком *б* на втулку *в*, привинченную к бабке *г*. Мерный плунжер *д*, несущий мерный наконечник *е*, прижимается к винту практически постоянной силой пружины *жс*.



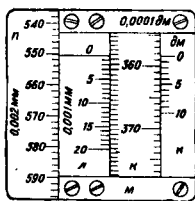
На задний конец винта *а* насажен маховичок *з* и мерный барабан *к*, имеющий здесь более сложное устройство, чем обыкновенно, так как машина должна служить для измерений как в дюймовой, так и в метрич. мере. Первый барабан *к* разделен с правой стороны на 500 частей, т. о. одно деление соответствует перемещению плунжера на 0,0001 дм. Неподвижный барабан *л*, укрепленный на втулке бабки, несет рамку *м* с нониусами (изображена отдельно на фиг. 108); помещающийся с правой стороны в выточке барабана *к* нониус *н* позволяет отсчитывать 0,00001 дм. Левая сторона барабана *к* разделена на 635 частей; т. о. 1 деление соответствует пе-



Фиг. 107.

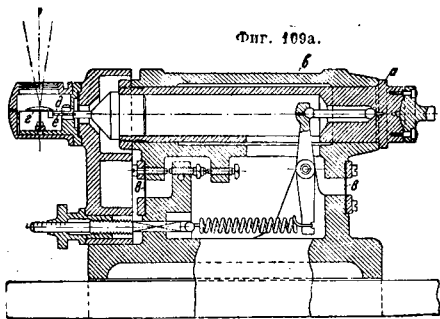
ремещению шпинделя на  $\frac{25,4}{20 \cdot 635} = 0,002$  мм; нанесенный на барабане *л* нониус в 20 делений

позволяет отсчитывать 0,0001 мм. Описанное устройство, позволяя определять всегда дробные доли 0,002 мм, не дает возможности (в виду сложного отношения дм к мм) отсчитать три первых десятичных знака числа мм, соответствующего данному положению шпинделя. Для этого устройство третий барабан *n*, разделенный на 500 част. (каждое деление соответствует 0,002 мм), приводимый во вращение системой зубчатых колес 1, 2, 3 и 4 с передачей  $\frac{140 \cdot 127}{112 \cdot 125} = 1,27$ ; т. о. он совершит за один оборот винта,



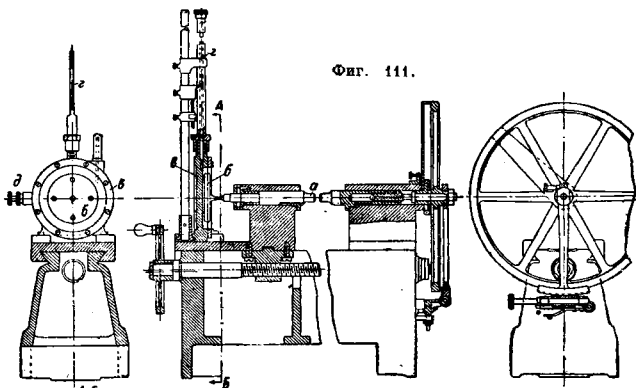
Фиг. 108.

соответствующий перемещению  $\frac{25,4}{20} = 1,27$  мм, как раз 1,27 оборота; один оборот его соответствует точно перемещению плунжера  $\delta$  на 1 мм. На фиг. 108 отсчет по диску *n* дает 0,550 мм, по нониусу *а* 0,0003 мм; т. о. дробная часть составляет 0,5503 мм; целое число мм (41) и двадцатых долей дм. ( $\frac{32}{20} = 1,6$  дм.) определя-



Фиг. 109а.

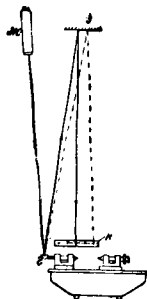
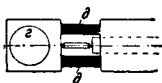
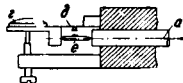
ется по шкале *p*, по к-рой двигается скрепленный с плунжером индекс *с*. Это же устройство применяется для коррекции ошибок микрометрич. винта: прорезу шкалы *p* придают такую форму, чтобы ходящий в нем палец индекса с поворачивал плунжер  $\delta$  (а следовательно и гайку *т* микрометрического винта) на необходимый для коррекции угол от среднего положения. Задняя мерительная машины снабжена оптич. индикатором. Плунжер *а*, плотно вставленный во втулку *б*, может слегка качаться в продольном направлении за счет деформации двух листовых пружин *вв*; перемещения его вызывают угловые отклонения зеркальца *г*, прикрепленного к бабке на двух тонких листовых пружинах  $\delta$  (фиг. 109б) и опирающегося своим весом через ножевую упорку *е* на задний конец плунжера *а*. Угловое отклонение  $\gamma$  зеркальца, вызываемое перемещением  $\Delta l$  плунжера, определяется ур-нем  $\gamma = \frac{\Delta l}{a}$ , где



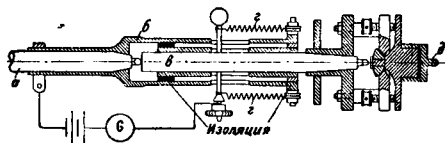
Фиг. 111.

*a* — вертикальное расстояние между пружинками  $\delta$  и упоркой *е*. На зеркальце падает луч от лампы *ж* и после отражения от зеркала *а* на потолке он дает на неподвижной шкале *к* изображение натянутой перед объективом лампы нити. Перемещение *b* этого изображения по шкале равно  $b = 2L\gamma = 2L \frac{\Delta l}{a}$ , где *L* — длина пути лу-

Фиг. 109б.



ча от зеркальца *г* до шкалы *к*. При расстоянии  $a = 2,5$  мм,  $L \approx 5$  м отклонение *b*, соответствующее перемещению плунжера на 1  $\mu$ , равно 4 мм. Электрический индикатор мерительной машины сист. Шоу изображен на фиг. 110; на конец мерительного плунжера *а* насажена



Фиг. 110.

гильза *б*, в которой перемещается изолированный электрически контактный стержень *в*, оттягиваемый постоянно от мерной поверхности плунжера *а* пружинками *г*. На конце контактного стержня прикреплена мерная плоскость  $\delta$ ; когда последняя упрется в измеряемый предмет, дальнейшее продвижение плунжера *а* вызовет пере-

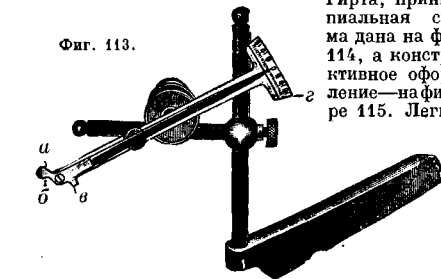
мещение стержня *в*, причем в момент его соприкосновения с поверхностью мерного плунжера *а* замыкнется цепь, состоящая из батареи и гальванометра или телефона. Точность повторных

наблюдений при тщательном оберегании контактных поверхностей от пыли равна  $0,05 \mu$ . Ж и д — костный и индикатор мерительной машины сист. Рейнкеера изображен на фиг. 111; мерный плунжер *a* опирается своим задним концом на тонкую металлическую мембрану *b*, укрепленную в передней части бронзовой коробки (месс-долы) *e*, к верхней части которой присоединена капиллярная стеклянная трубка *e*. Площади сечений трубки и мембраны подобраны т. о., чтобы перемещение плунжера вызвало увеличенное в 10 000 раз перемещение столба жидкости; установка последнего на 0 производится ввинчиваемым в коробку плунжером *d*.

Следующим классом механических И. и. являются инструменты, основанные на применении для увеличения точности принципа рычага. Простейшим И. и. этого типа является толщесмер (фиг. 112), представляющий собой в основном пропорциональный циркуль, длинная ножка которого движется по дуговой шкале, указывающей до  $0,1 \text{ мм}$  расстояние между мерными поверхностями коротких ножек.

Наиболее важной областью применения рычажных И. и. являются мерные индикаторы рычажного типа и мерные рычаги. Простейший тип мерного рычага изображен на фиг. 113; он состоит из вращающегося на оси легкого рычажка, имеющего три контактные точки *a*, *b* и *e*, равно отстоящих от оси. Соотношение плеч выбрано т. обр., что каждое деление шкалы *g* соответствует отклонению точек контакта на  $0,02 \text{ мм}$  (или  $0,001 \mu$ ). Применяется И. и. этого типа г. о. при установке инструментов и изделий на станках. Типичным образцом рычажного индикатора является м и н и м е т р

Гирта; принципиальная схема дана на фиг. 114, а конструктивное оформление — на фигуре 115. Легкая



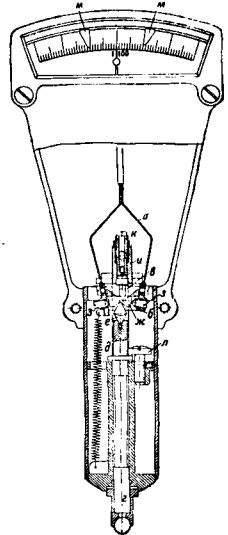
Фиг. 113.

стрелка *a* прикреплена к колодочке *b*, опирающейся на неподвижную ножкувую опору *e* и поддерживаемой мерным плунжером *g*; пружина *d* стремится всегда повернуть колодочку влево. Под влиянием подъема плунжера *e* измеряемый предметом колодочка и стрелка начинают поворачиваться направо, причем величина перемещения конца стрелки  $\delta = \Delta s \cdot \frac{L}{l}$ , где  $\Delta s$  — перемещение мерного плунжера, а *l* и *L* — плечо рычага колодочки и длина стрелки. Делая отношение *L* достаточно большим путем уменьшения *l*, получают передаточные числа до  $1 : 1\,000$ ; т. о. перемещению плунжера на  $1 \mu$  соответствует отклонение конца стрелки на  $1 \text{ мм}$ ; для этого при длине стрелки в  $100 \text{ мм}$  плечо *l* д. б. сделано равным  $0,1 \text{ мм}$ . Достигнуто это разное опорных точек: подвижная опора *e* (фиг. 115), опирающаяся

нижним конич. концом на углубление в мерном плунжере *e*, верхним ножевым концом опирается на опорную призму *ж*, зажатую двумя установочными винтами *z* в средней части колодочки *б*. Неподвижная ножевая опора *e*, снабженная посредние вырезом для пропуска призмы *ж*, опирается в две V-образные выемки по краям колодочки *б*. Верхняя опора *e* помещается в мостике *и*, прикрепленном к рамке прибора; она может для установки на 0 перемещаться с помощью винта *к*. Винт *л* слу-

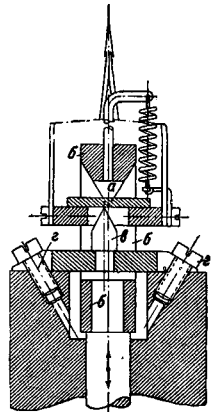


Фиг. 114.



Фиг. 115.

жит для ограничения подъема плунжера, т. к. излишний подъем приведет к неизбежной поломке прибора. Из устройства колодочки видно, что перемещением призмы *ж* посредством винтов *z* можно по произволу делать плечо *l* сколь угодно малым. В рычажном индикаторе системе SIP (Société Genevoise d'instrument de physique), в принципе совершенно сходном с описанным, обращены лишь функции опор: верхняя *a* (фиг. 116), соединенная рамкой *б* с мерным плунжером, сделана подвижной, а нижняя *e*, перемещаемая установочными винтами *z*, неподвижна. Преимущество — невозможность поломки системы даже при излишне сильном нажиме на мерный плунжер. Мерный индикатор «талитин» основан на применении дифференциального барабана *a* (фиг. 117) с радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , охватываемого двумя тонкими боковыми стальными полосками *bb*, прикрепленными к корпусу *e* прибора, и средней полоской *e*, один конец которой оттягивается пружиной *d*, а другой прикреплен к мерному плунжеру *e*. Стрелка *ж* длиной *L* прикреплена к барабану. Всякое перемещение *s*

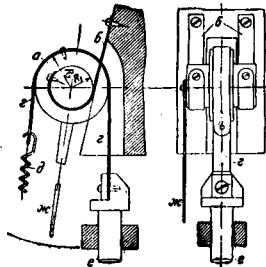


Фиг. 116.

плунжера вызовет поворот барабана на угол  $\alpha$  и соответственное отклонение стрелки  $\delta$ , равное

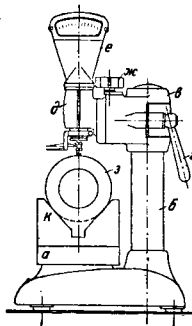
$$\alpha = \frac{s}{R_2 - R_1}; \quad \delta = \frac{sL}{R_2 - R_1}. \quad (49)$$

Т. о. путем уменьшения разности диаметров ступеней барабана можно, не уменьшая их абсолютных размеров, добиться значительного передаточного числа. Основное назначение мерных индикаторов (как рычажного, так и других описанных ниже типов) — служить компаратором

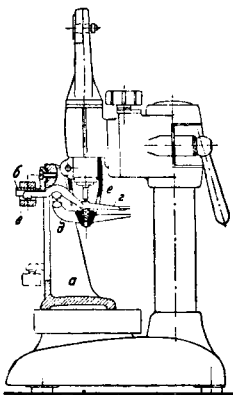


Фиг. 117.

для сравнения незначительных отклонений размеров измеряемого объекта от эталона. Для этого индикатор устанавливают в специальном штативе, состоящем из плоского столика  $a$  (фиг. 118) с колонкой  $b$ , по к-рой перемещается головка  $e$ , зажимаемая в требуемом положении винтом  $г$ . В салазках  $д$  зажимается индикатор  $e$ ; тонкая установка последнего по высоте производится микрометрическим винтом  $ж$ , перемещающим салазки. Измеряемый предмет  $з$  кладется в соответственном образом выполненную подставку  $к$ . После установки индикатора на 0 по эталону он непосредственно показывает в долях мм. отступления в ту или другую сторону размеров измеряемого объекта



Фиг. 118.



Фиг. 119.

от требуемых. Для работы по допускам индикатор снабжается двумя передвижными индексами  $м$  —  $м$  (фиг. 115), указывающими наибольшее допустимое отклонение стрелки. Для измерения внутренних диаметров колец служит приспособление, изображенное на фиг. 119, состоящее из угловой подставки  $a$ , на которой закрепляется сменная упорка  $b$  для навешивания измеряемых колец  $e$ ; мерный рычаг  $д$ , опирающийся на неподвижную опору  $д$ , прилягую к надетой на хвостовик индикатора муфте  $e$ , прикасается своим свободным концом к мерному плунжеру и т. о. передает последнему отклонения измеряемых размеров. Область применения индикаторов в соединении с соответствующими приспособлениями весьма широка. На фиг. 120а

изображено применение индикатора для измерения наружных диаметров валов. Скоба  $a$  снабжена двумя мерными плоскостями  $б$ , наклоненными под углом  $60^\circ$ , мерный штифт  $e$  индикатора указывает непосредственно отклонения радиуса от требуемой величины.

Необходимо отметить, что применяемый в описанном индикаторе метод изменения круглых тел по двум касательным и одной точке является теоретически правильным в отличие от обычно применяемого метода двух касательных плоскостей или трех точек. Оба последних способа не дают возможности отличить эквидистантную фигуру от круга, тогда как только один круг является фигурой, обладающей свойством всегда проходить через неподвижную точку, касаясь постоянно двух неподвижных прямых; т. о. этот способ указывает всякое отклонение рассматриваемого размера от круговой формы. Обозначая радиусы двух сравниваемых тел  $r_1$  и  $r_2$  (фиг. 120б), угол между опорными плоскостями  $2\varphi$  и перемещение мерного штифта  $\Delta s$ , получаем перемещение центров

$$\overline{O_1O_2} = (r_1 - r_2) \frac{1}{\sin \varphi} = \frac{\Delta r}{\sin \varphi},$$

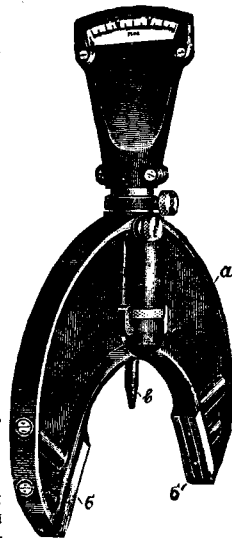
где  $\Delta r = r_1 - r_2$  — разность радиусов, равная  $0,5 \Delta d$  — половине разности диаметров сравниваемых тел,

$$\Delta s = \frac{\Delta r}{\sin \varphi} - \Delta r;$$

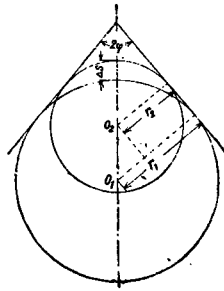
приравнявая  $\Delta s$  к  $\Delta d$  (отклонения мерного штифта непосредственно указывают разницу диам.), получаем

$$2\Delta r = \frac{\Delta r}{\sin \varphi} - \Delta r, \quad \sin \varphi = \frac{1}{3}, \quad 2\varphi = 38^\circ 56,5'.$$

При угле  $2\varphi = 60^\circ$  отклонения мерного штифта равны  $1/2$  разности диаметров. Недостатком способа является расклинивающее действие измеряемого предмета на мерные плоскости, в особенности при малых углах  $\varphi$ . Штатив для измерения проволоки изображен на фиг. 121; измеряемая проволока перекидывается через цилиндр  $a$  и отклонения диаметра показывается индикатором  $б$ ; второй индикатор  $в$  служит для установки штатива на требуемую высоту с помощью мерных плиток  $г$ . Приспособление для измерения внутренних диаметров цилиндра изображено на фиг. 122;

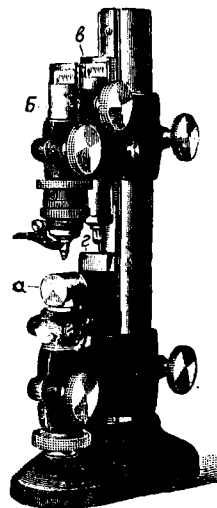


Фиг. 120а.



Фиг. 120б.

мерная головка опирается неподвижной опорой *а* на стенку измеряемого отверстия под давлением двух пружинящих шаровых упоров *б*, при этом подвижной мерной плунжер *в* через рычаги, заключенные в трубке *в*, передает плунжеру индикатора *д* отклонения диаметра отверстия. Упор *е* служит для фиксирования глубины измерения. Применение индикатора в соединении с точными направляющими для проверки прямолинейности и правильности наклона плоскостей дано на фиг. 123; при измерении углов наклона направляющими пользуются как синусовой линейкой. На том же принципе построено приспособление для выверки конусов. Мерительная машина рычажного типа изображена на фиг. 124; она служит для сравнения плоско-параллельных плиток. Для измерения последние вставляются



Фиг. 121.

ются между неподвижной опорой *а*, и шаровой мерной поверхностью *а* подвижной плиты *б*, к-рая прикреплена к неподвижной основной плите *в* на двух тонких листовых пружинах *г*. Подвижная плита прижимается к измеряемому предмету с постоянной силой грузом *д* посредством рычагов *е* и *ж*. Относительные перемещения плит *б* и *в* регистрируются стрелкой *з*, прикрепленной к обеим плитам тонкими стальными полосками *к* (фиг. 125), находящимися на расстоянии *б* друг от друга. Смещение *с* плиты *б* вызывает изгиб полосок по дугам радиусов *р* и *р + б*, причем угловое перемещение  $\vartheta$  стрелки *з* м. б. определено из соотношения  $\vartheta = \frac{e}{r} = \frac{e+s}{r+b}$ , откуда  $\vartheta = \frac{s}{b}$ ; соответствующее этому углу отклонение *б* конца стрелки длиной *L* определится из ур-ия:

$$\delta = \vartheta L = s \frac{L}{b}. \quad (50)$$

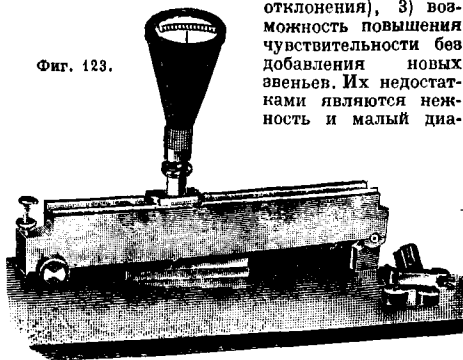
На конце стрелки *з* помещена рамка *л* с натянутой нитью, изображение к-рой с помощью объектива *м* с фокусным расстоянием *f* проектируется на шкалу *н*, отстоящую (оптически) на расстоянии *F* от средней точки объектива; т. о. перемещение  $\Delta$  изображения нити на шкале *н* оказывается увеличенным в  $\frac{F}{f}$  раз;

$$\Delta = s \frac{L}{b} \cdot \frac{F}{f}. \quad (51)$$

В мерительной машине Национальной физич. лаборатории (Лондон) общее увеличение было

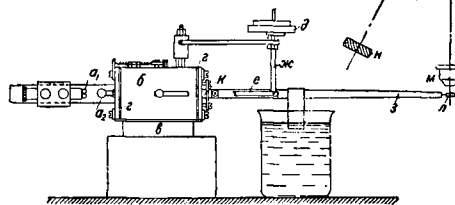
порядка 20 000; т. о. перемещению плиты на 0,1  $\mu$  соответствовало отклонение изображения нити в 2 мм. Большими преимуществами всех рычажных И. и. являются: 1) возможность посредством сравнительно несложных мероприятий уничтожить мертвый ход, 2) постоянно раз установленного передаточного числа (при малых углах отклонения), 3) возможность повышения чувствительности без добавления новых звеньев. Их недостатками являются нежность и малый диа-

Фиг. 123.

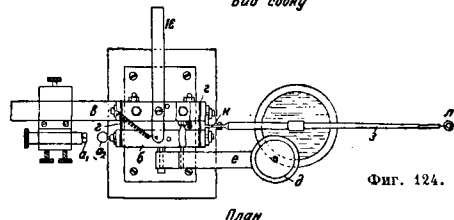


пазон измерений. Эти недостатки вызвали появление индикаторов шестереночного типа, обладающих меньшей точностью, но большим диапазоном измерений.

Индикатор шестереночного типа, называемый часто также мерным индикатором, мерными часами, мессуром, состоит из мерного плунжера *а* (фиг. 126а — внешний вид, фиг. 126б — вид сзади со снятой крышкой), на котором нарезана рейка, зацепляющаяся с шестеренкой *б*, сидящей на одной оси с зубчатым колесом, зацепляющимся с трибкой *в* на оси стрелки индикатора. Плунжер оттягивается вниз пружиной *г*, надетой верхним концом на вин-



Вид сбоку



Фиг. 124.

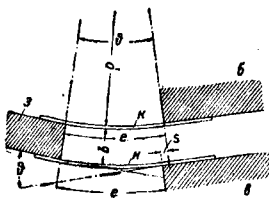
План

ченную в плунжер шпильку *д*, свободный конец к-рой ходит в прорезе стойки *е* и предохраняет т. о. плунжер от вращения. Для уничтожения мертвого хода шестеренка *б* прижимается к рейке

спиральной пружиной *ж*. Перемещение *s* плунжера вызывает отклонение  $\delta$  конца стрелки длиной *L*, равное

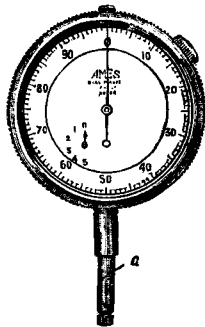
$$\delta = \frac{s}{r_1} \cdot \frac{r_2}{r_3} \cdot L, \quad (52)$$

где  $r_1, r_2, r_3$  — радиусы шестеренки *б*, ее зубчатого колеса и стрелочной трибки *в*. Коэф.

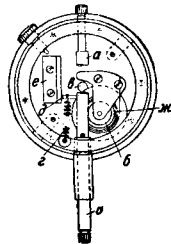


Фиг. 125.

увеличения индикатора с простой передачей делается порядка 40—100; при необходимости получения большего передаточного числа прибавляют еще одну пару зубчаток. Большая стрелка показывает обычно сотые доли мм, целые мм указываются маленькой стрелкой, насаженной на ось первой шестеренки. Посредством ряда приспособлений, аналогичных описанным выше, мерный индикатор м. б. приспособлен для целого ряда специальных работ, в качестве компаратора, при выверке взаимного положения частей машин и станков, для проверки правильности шага резьбы (фиг. 127, описание см. ниже), для внутренних и наружных измерений, для

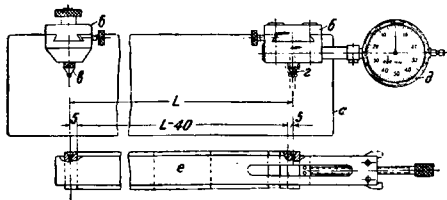


Фиг. 126а.



Фиг. 126б.

проверки отсутствия биения зубьев фрезера, для проверки параллельности двух плоскостей (фиг. 128) и т. п. Комбинирование рычага с зубчатой передачей дает возможность увеличить чувствительность индикаторов. На фиг. 129 изображен индикатор сист. Цейсса, у которого передача пе-

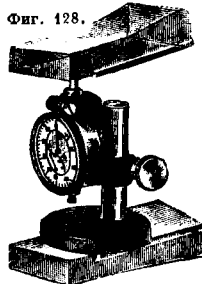


Фиг. 127.

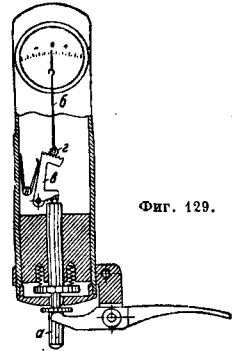
ремещений плунжера *а* стрелке *б* совершается посредством поворачиваемого плунжером зубчатого сектора *в*, зацепляющегося с трибкой *г* на оси стрелки. На этом же принципе основан т. н. п а с с а м е т р Цейсса, служащий для обмера диаметра валов. Он состоит из скобы *а* (фиг. 130), в *к*-ой помещаются переставная пятка *б*

и мерительный плунжер *в*, прижимаемый к измеряемому предмету пружинами  $e_1$  и  $e_2$ . Перемещения плунжера передаются зубчатому сектору  $\delta$ , поворачивающему зацепляющуюся с ним трибку *е* со стрелкой *ж*. Два индекса,

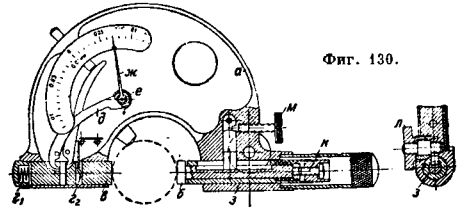
Фиг. 128.



Фиг. 129.

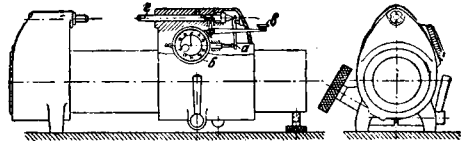


устанавливаемых на дифферлате, указывают границы допуска данного изделия. Установка пятки грубая, производится от руки, перемещением всей гильзы *а*, а тонкая—микрометрич. винтом *к*, перемещающим самую пятку *б*. Винт *г* служит для закрепления втулки *з*, а винт *ж*—пятки *б* в придан-



Фиг. 130.

ном им положении. Точность прибора колеблется в зависимости от величины в пределах 2—5  $\mu$ . Изображенная на фиг. 131 мерительная машина сист. Мара также основана на комбинации рычага *а* с мерным индикатором *б*, позволяющей отсчитывать на дифферлате последнего тысячные доли мм; клавиша *в* служит для отвода назад мерительного плунжера *г* перед измерением.



Фиг. 131.

Жидкостные компараторы, по идее сходные с устройством индикаторной бабки Рейтнера (см. выше), не получили значительного распространения гл. обр. в виду сильного влияния на них  $t^{\circ}$  и быстрого загрязнения стеклянного капилляра, делающего отсчеты затруднительными. Индикатор этого типа «рестометр» изображен на фиг. 132. Мессдоза *а* несет в верхней части капилляр *б*, перемещение  $\delta$  мениска в нем равно

$$\delta = (0,5 \div 0,35) \frac{D^2}{d^2} s, \quad (53)$$

где *s* — перемещение мерной поверхности мембраны, *D* и *d* — диаметры мембраны и капилляра.



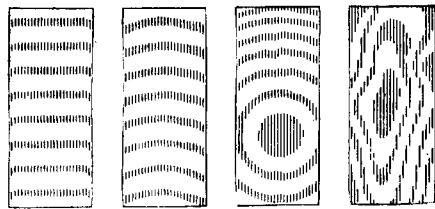
Общий коэф. увеличения колеблется в пределах 500—1200. Передвижные индексы  $e$  и  $z$  служат для указания допуска измеряемого размера. Для исправления высоты столба на  $t^\circ$  введен третий индекс  $d$ , устанавливаемый при тарировке прибора на уровень, занимаемой жидкостью при ненагруженной мессдозе; при колебаниях  $t^\circ$  достаточно перед опытом установить индекс  $d$ , связанный с индексами  $e$  и  $z$  на поверхность мениска, чтобы исключить влияние  $t^\circ$  на показания прибора.

**Оптические И. и.** представляют собой обширную группу приборов, у которых увеличение точности измерений достигается применением различных оптических систем.

**А. Бесшкальные** оптические измерительные инструменты охватывают собой различные приборы, основанные на применении явления *интерференции света* (см.)

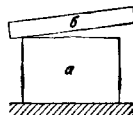
к измерительной технике. Простейшим прибором этого рода является плоско-параллельная стеклянная пластина, позволяющая производить с большой степенью точности различные сравнительные измерения, гл. обр. мерных плиток между собой и с другими объектами. Для проверки плоскости мерной плитки  $a$  (фиг. 133) достаточно накрыть ее плоско-параллельным стеклом  $b$ , наклонив последнее под очень малым углом к поверхности плитки. При рассмотрении в белом или монохроматич. свете в воздушном клине между  $a$  и  $b$  возникают интерференционные полосы (фиг. 134), дающие представление о степени плоскости исследуемой поверхности. В случае совершенной плоскости все полосы параллельны между собой и идут на равных расстояниях (фиг. 134, А); небольшой изгиб на ширине  $\sim 1$  мм у краев плитки не имеет практич. значения. Если полосы параллельно изогнуты и расстояния между ними равны (фиг. 134, Б), то поверхность образует часть цилиндрич. поверхности с образующей, параллельной линии центров кривизны полюс; выпуклость или вогнутость поверхности узнается по направлению движения полос при нажиме на стеклянную пластинку: если полосы двигаются в сторону выпуклости, поверхность также выпуклая, если в сторону вогнутости, то и поверхность вогнутая. Если полосы имеют общий центр (фиг. 134, В), то поверхность представляет собой часть шара; в случае выпуклой шаровой поверхности полосы при нажиме полосы двигаются от центра, при вогнутой — к центру. Полосы неправильной формы (фиг. 134, Г) позволяют заключить о неправильной поверхности плитки. Наибольшее отклонение от плоскости определяют, накладывая пластинку вплотную на поверхность плитки и считая число интерференционных полос

между наиболее высокими и низкими точками поверхности; каждая полоса в белом свете соответствует разности уровней в  $\sim 0,25 \mu$ . Этот же способ м. б. применен для сравнения длин и поверхностей двух концов мер приблизительно равной длины, для чего их притирают на плоскую подставку и затем покрывают стеклянной пластинкой; по виду интерференционных полос и их изменению при перемене плиток местами можно вывести заключения о степени параллельности их верхних поверхностей нижним и о разности длин. Для более точного измерения и сравнения концов мер применяют интерференционные компараторы и специальные интерферометры.

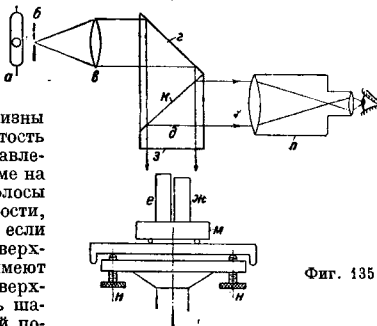


Фиг. 134.

Схема интерференционного компаратора Кестера (о теории прибора см. *Интерферометр*) изображена на фиг. 135; свет гелиевой лампочки  $a$  проходит через щель  $b$  и после коллимации линзой  $z$  отражается системой призм  $g, d$ . При этом часть лучей, отраженных от поверхности сравниваемых эталонов  $e$  и  $ж$  после интерферирования с лучами, отраженными от полупросеребрянной поверхности  $z$  призмы  $d$ , отражается полупросеребрянной поверхностью  $ж$  и направляется в зрительную трубу  $л$ . Измеряемые плитки притерты на плоскую подставку  $м$ , которой можно установочными винтами  $и$  придавать требующийся для получения достаточно ровных полос незначительный наклон. В случае параллельности поверхностей обеих плиток в зрительную трубу будет видна картина, изображенная на фиг. 135, А. При освещении смешанным светом отдельные полосы, получающиеся в результате комбинации интерференционных явле-



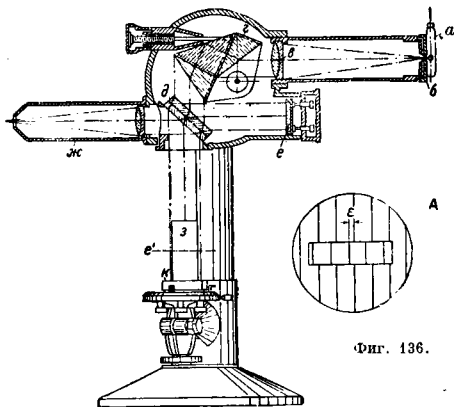
Фиг. 133.



Фиг. 135.

ний волн разных длин, имеют различные цветовые оттенки, причем отдельные полосы выделяются своей б. или м. яркой и своеобразной окраской. Если такая полоса замечена на эталонах  $e$  и  $ж$ , причем на первом она занимает положение  $AB$ , а на втором  $CD$ , то это показывает, что эти линии находятся на одинаковом расстоянии от поверх-

ности  $\epsilon$  (фиг. 135, В). Отмстив положение этих полос в окуляре зрительной трубы посредством передвижных нитей, переходят на освещение монохроматич. светом, поставив соответствующий светофильтр; сосчитав затем число полос между нитями и помножив это число на половину соответствующей длины волн, получают разность длин эталонов. В монохроматич. свете все полосы одинаково темного цвета; т. о. возможно лишь определить дробную часть числа смещения полос, для определения же целого числа приходится пользоваться смешанным цветом. Описанный метод пригоден лишь для сравнения длин двух эталонов, но с небольшим видоизменением им можно производить и измерения абсолютных длин. Прибором, специально приспособленным для измерений длин эталонов до 250 м.м длины, является интерферометр Кестера, изображенный на фиг. 136. Пучок света от крипто-



Фиг. 136.

новой лампы  $a$  проходит через щель  $b$  и линзу  $\epsilon$  коллиматора, затем отклоняется в вертикальном направлении призмой  $г$ , причем он одновременно разлагается на составляющие цвета. Вертикальный параллельный пучок монохроматического света падает на полусеребряную двойную стеклянную пластинку  $д$ , причем часть лучей отражается, падает на зеркальце  $e$ , отразившись, снова проходит через пластинку  $д$  и собирается в фокусе зрительной трубы  $ж$ . Другая часть лучей, прошедшая через пластинку  $д$ , отражается от поверхностей эталона  $з$  и столика  $к$ , и затем, отразившись от полусеребряной поверхности пластинки  $д$ , равным образом собирается в фокусе зрительной трубы. Придавая зеркальцу  $e$  небольшой наклон, можно заставить интерферировать оба пучка света, причем в зрительной трубе (при условии полной параллельности поверхностей столлика и эталона) будут видны две системы равностоящих параллельных полос, пересекающих эталон (фиг. 136, А) и столлик и смещенных на нек-рую дробную часть  $\epsilon$  расстояния между ними. Величина  $\epsilon$  м. б. измерена микрометрич. окуляром с точностью до двух и даже трех десятичных знаков. Образование интерференционных полос происходит так, как если бы поверхность отражения зеркальца  $e$  находилась в  $\epsilon'$ , при этом порядок смещения полос равен сумме порядков при интерференции двух пучков, отраженных от столлика и поверхности  $\epsilon'$  и от последней и поверхности эталона; ясно, что т. о.  $\epsilon$  соответствует порядку смещения полос, соответствующего пол-

ной длине эталона. Перенесение отражающей поверхности в плоскость  $\epsilon'$  (которую располагают приблизительно на  $1/2$  длины эталона) представляет ту выгоду, что 1) интенсивность обеих систем полос получается равной и 2) удваивается максимальная длина эталона, при к-рой вообще возможно получение интерференционных полос, ограниченная расстоянием между поверхностями отражения, равным 100—125 м.м. Определив дробные части смещения систем полос  $\epsilon^I, \epsilon^{II}, \epsilon^{III}, \epsilon^{IV}$  для четырех наиболее ярких линий спектра криптона, имеющих длины волн  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  и  $\lambda_4$ , определяют длину эталона методом совпадения, сущность которого заключается в следующем: истинная длина эталона равна

$$l = (N^I + \epsilon^I) \frac{\lambda_1}{2} = (N^{II} + \epsilon^{II}) \frac{\lambda_2}{2} = \\ = (N^{III} + \epsilon^{III}) \frac{\lambda_3}{2} = (N^{IV} + \epsilon^{IV}) \frac{\lambda_4}{2},$$

где  $N^I, N^{II}, N^{III}$  и  $N^{IV}$  — целые числа порядков интерференционных полос. Длина эталона обычно известна до  $\pm 0,001 \pm 0,002$  м.м, т. е. до  $\pm (5-10) \frac{\lambda}{2}$ ; пользуясь этим, принимаем какую-либо длину волны, например  $\lambda_1$ , за основную и определяем приближенное значение  $N^I$  как  $\frac{2l}{\lambda_1} = N_1 = N^I \pm (5 \pm 10)$ . Затем находят 21 точное значение длин, соответствующих порядкам интерференции  $N_1 - 10 + \epsilon_1, N_1 - 9 + \epsilon_1, \dots, N_1 + \epsilon_1, N_1 + 1 + \epsilon_1, \dots, N_1 + 10 + \epsilon_1$ , и для каждой найденной длины определяют точно порядок интерференции для трех остальных волн, причем целые части не играют роли, а важны лишь их дробные части, к-рые назовем  $\epsilon_1^{II}, \epsilon_2^{II}, \dots, \epsilon_{21}^{II}, \epsilon_1^{III}, \epsilon_2^{III}, \dots, \epsilon_{21}^{III}$  и т. д. Располагая их сериями, соответствующими основному порядку

$$\begin{array}{cccc} N_1 - 10 + \epsilon_1 & \epsilon_1^{II} & \epsilon_1^{III} & \epsilon_1^{IV} \\ N_1 - 9 + \epsilon_1 & \epsilon_2^{II} & \epsilon_2^{III} & \epsilon_2^{IV} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_1 + 10 + \epsilon_1 & \epsilon_{21}^{II} & \epsilon_{21}^{III} & \epsilon_{21}^{IV} \end{array}$$

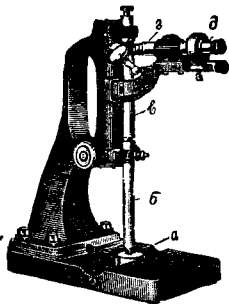
замечаем, какие значения соответствуют найденным на опыте  $\epsilon^I, \epsilon^{II}$  и  $\epsilon^{IV}$ ; найденный порядок  $N^I$  и будет истинным; находя затем соответствующие целые части  $N^{II}, N^{III}, N^{IV}$  остальных трех порядков и определяя длины эталона, выводим среднюю длину его, к-рую необходимо исправить на  $\epsilon'$ , на изменение длины волны в зависимости от  $\epsilon'$  и давления и на толщину пленки прикрики. Полученные результаты точны до  $\pm 0,02$  м. Практич. применение этого способа значительно облегчено Кестером, издавшим таблицы совпадения для четырех длин волн криптоновой лампы через  $0,01 \lambda_2$  для  $N = 0 \pm 10$ . Длины волн особенно ярких линий спектра, применяемых в технич. интерферометрии, приведены в табл. 8.

Б. Шкальные оптические И. и. значительно проще и удобнее в работе, чем интерференционные приборы и поэтому большее число их стало необходимой принадлежностью всякой точной заводской измерительной лаборатории. Эта группа И. и. может быть разбита на 3 класса: 1) И. и., основанные на оптич. увеличении шкал с применением луп и микроскопов, 2) те же, но с применением проекционных приборов и 3) зеркальные И. и. Уже простое пользование лупой позволяет повысить в 3—5 раз точность измерений в пределах, допускаемых ошибкой самого И. и. Прибором, основанным на непосредственном увеличении масштаба, является толщешер по Аббе, изображенный на фиг. 137. Измеряемый предмет кладется на наковаленку  $a$ ,

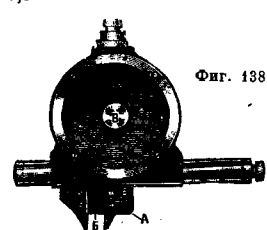
и на него опускается под действием собственного веса шуп *б*, в верхней части к-рого прикреплен Табл. 8.—Длины волн некоторых ярких линий спектра (в  $\mu$ ).

Излучающий элемент	Цвет линии	Длина волны	Исследователь
Кристон .	Желтая	0,58709154	Перар Бюро стандартов То же Венуа, Фабри и Перо
	Зеленая	0,55702822	
	Фиолетовая	0,4319580	
Кадмий .	Красная	0,42739696	Перар Майнльсон и Венуа
	Зеленая	0,50858220	
Ртуть . .	Синяя	0,47999085	Перар
	Желтая I	0,57906638	
Гелий . .	Желтая II	0,57695498	Перар
	Зеленая	0,54807430	
	Фиолетовая	0,43583250	
	Красная	0,6878149	
Гелий . .	Желтая	0,5875818	Меррилл
	Зеленая I	0,547736	
	II	0,5015675	

разделенный на 0,1 мм масштаб *в*. Отсчет показаний производится микроскопом *г* с увеличением в 50 раз. Целые и десятые доли мм отсчитываются по масштабу, а определение сотых и тысячных долей производится микрометрическим окуляром *д*. Столь высокая точность при простоте конструкции обусловлена тем, что в этом приборе выполнены оба принципа Аббе. На том же принципе основан оптический зубомер системы Цейсса (фиг. 138). Система измерения аналогична описанной выше (фиг. 86); перемещения мерной ножки *А* и ограничителя глубины *Б* измеряются по шкалам, нанесенным на связанных с ними стеклянных пластинах, рассматриваемых в лупу *В* с 35-кратным увеличением. Точность отсчета равна 0,02 мм, пределы применения—модуль 1,5—18 мм. Оптический угломер сист.



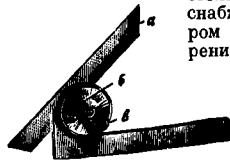
Фиг. 137.



Фиг. 138.

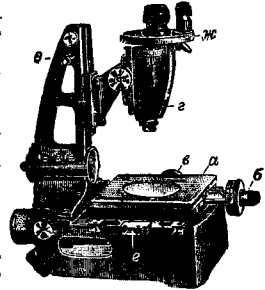
Цейсса изображен на фиг. 139; отсчет установки подвижной линейки *а*, закрепляемой рычажком *б*, производится по делениям, нанесенным на связанном с ней стеклянном диске и рассматриваемым в сильную лупу *В*. Наименьшее деление составляет 10', точность отсчета ~ 5'. Изображенный на фиг. 140 измерительный микроскоп предназначен для непосредственного измерения длин и углов. Он состоит из крепостного предметного столика *а*, перемещаемого двумя микрометрич. винтами *б* и *в* по взаимно перпендикулярным салазкам; в качестве визирного приспособления служит микроскоп *г* с увеличением в 30 раз, укрепленный на штативе *д*, на-

клоняемом на  $\pm 8^\circ$  от вертикали для удобства измерения винтовых нарезок. Микрометрич. винты имеют ход в 25 мм при точности отсчета  $\pm 0,005$  мм; границы перемещения продольных салазок увеличены до 75 мм путем вдвигания мерных плиток длиной 25 и 50 мм между упором *е* и несущими столик салазками. Микроскоп снабжен угломерным окуляром *ж*, допускающим измерение углов с точностью до 1'. Измерение длин сводится к перемещению измеряемого объекта с помощью микрометрич. винтов и сравнению отсчетов на барабанах после подведения последовательно концов

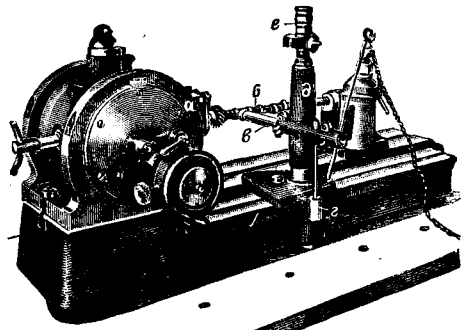


Фиг. 139.

измеряемого отрезка под пересечение нитей окуляра. Применение микрометрич. винтов ограничивает точность И. и.; для более точных инструментов применяют масштабы. Основанный на том же принципе, что и толщмер Аббе (см. выше), аппарат для измерения кулачковых валов (фиг. 141) состоит из оптич. или обыкновенной делительной головки *а* (устройство см. Делительные приборы), служащей для определения углов поворота кулачкового вала *б*, и аппарата, измеряющего радиальную отстояние поверхности кулачка от оси вращения. Этот последний аппарат состоит из плунжера *в*, прижимаемого к кулачку с постоянной силой грузом *г* и снабженного стеклянным, разделенным на мм масштабом, рассматриваемым в микроскоп *д*; дробные доли мм определяются окуляром *е* со спиральным микрометром. Микрометр состоит из вращающейся в фокусной плос-



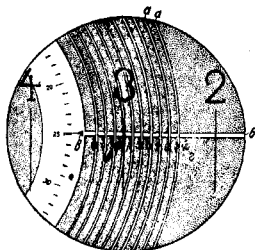
Фиг. 140.



Фиг. 141.

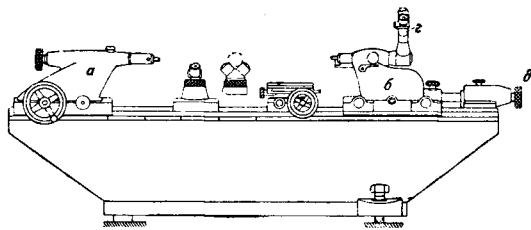
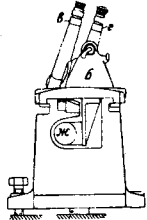
ности окуляра стеклянной пластинки с нанесенной на ней двойной архимедовой спиралью *а* (фиг. 142) с расстоянием между серединами витков, равным при данном увеличении 0,1 мм. Окружность пластинки разделена на 100 ч.; т. о. поворот ее на одно деление соответствует перемещению спирали в радиальном направлении

на 0,001 мм. Вторая неподвижная стеклянная пластинка несет светлую полосу *б*, ограничивающую поле наблюдения, индекс *в*, указывающий доли окружного деления и неподвижный масштаб *а*, указывающий десятые доли мм. Повернув микрометрическую пластинку т. о., чтобы измеряемый штрих пришелся как раз по середине между штрихами спирали



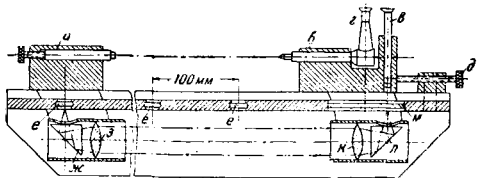
Фиг. 142.

по неподвижному масштабу, можно отсчитать десятые доли мм, а по окружным делениям — сотые и тысячные доли; десятые доли  $\mu$  легко м. б. определены на глазу. Изображенная на фиг. 142 установка соответствует расстоянию в 3,3248 мм. Точность спирали  $\pm 0,5 \mu$ , точность делений при шкале до 50 мм  $\pm 0,5 \mu$ , до 100 мм  $\pm 2 \mu$ , до 200 мм  $\pm 3 \mu$ . Дальнейшим развитием этого принципа



Фиг. 143.

является оптич. мерительная машина сист. Цейсса, общий вид к-рой изображен на фиг. 143, а схема устройства на фиг. 144. Машина состоит из неподвижной при измерении задней бабки *а* и измерительной бабки *б*, несущей микроскоп *в*

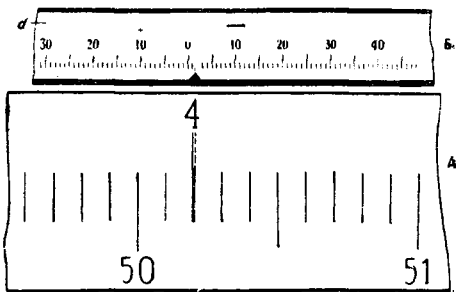


Фиг. 144.

и оптиметр *в* (описание см. ниже) и перемещаемой в пределах 100 мм вручную винтом *д*. Для измерений длин больше 100 мм задняя бабка перемещается скачками по 100 мм и устанавливается против вделанных в стальную линейку стеклянных пластинок *е* с нанесенными точно на расстоянии 100 мм друг от друга двойными штриховыми метками. Бабка *а* несет на особом плече под шкалой призму *ж* и коллиматор *з*; проектируемое последним в бесконечность изображение штриха пластинки *е* рассматривается укрепленной в бабке *б* оптич. системой, состоящей 1) из линзы *к* и призмы *л*, образующих действительное изображение штриха пластинки *е* в плоскости разделенного на 0,1 мм масштаба *м* и 2) из микроскопа *в*, в к-ром т. о. одновременно видны штрих

пластинки *е* и деления масштаба *м*. То обстоятельство, что плоскость масштаба не совпадает с плоскостью измерения, как того требует второй принцип Аббе, здесь сделано безвредно путем следующего приема. Известно, что всякая оптич. система имеет т. н. переднюю узловую точку; она характеризуется тем свойством, что незначительные качания системы вокруг этой точки не сопровождаются изменением в бесконечности изображения, лежащего в фокусной плоскости системы. Т. о. наблюдаемое при помощи оптич. системы подвижной бабки *б* находящейся в бесконечности изображение штриха пластинки *е* не будет перемещаться при вращении системы бабки *а* на небольшой угол вокруг узловой точки. Для системы, состоящей из коллимационной линзы и зеркала, эта точка лежит за фокусом на расстоянии, равном фокусному расстоянию. Т. о., помещая мерную точку (т. е. точку соприкосновения мерной поверхности задней бабки с измеряемым предметом) в узловую точку, мы исключим влияние перекосов бабки на результаты измерения; так как всякий поворот ее м. б. приведен к ступенчатому перемещению и вращению вокруг узловой точки, первое сопровождается соответственным равным перемещением мерной

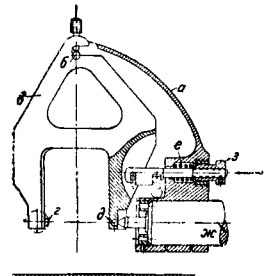
точки и штриха, а второе не вызывает никакого передвижения обеих точек. Измерение производится след. обр.: после грубой установки задней бабки помощью ручного маховичка и шкалы на передней грани станины на одну из 100-мм меток пластинок *е* устанавливаются мерную бабку сначала грубо вручную, затем винтом *д* до соприкосновения мерной поверхности плунжера оптиметра с поверхностью измеряемой концевой меры. Теперь, смотря в микроскоп, устанавливают бабку *б* т. обр., чтобы видимый в поле зрения микроскопа (фиг. 145, А) двойной штрих пластинки (штрих 4, т. е. 400 мм) встал точно посредине над ближайшим штрихом 100-мм шкалы (штрих 50,2 мм, т. е. в сумме 450,2 мм), теперь обе бабки установлены точно на определенное до десятых долей мм расстояние; отклонение от нее измеря-



Фиг. 145.

емой длины отсчитывается в 0,001 мм по шкале оптиметра (фиг. 145, Б), указывающего их с соответственным знаком + или — (на фиг. 145 — 0,0015 мм, т. е. полная длина 450,1985 мм). Постоянство мерного давления обеспечивается

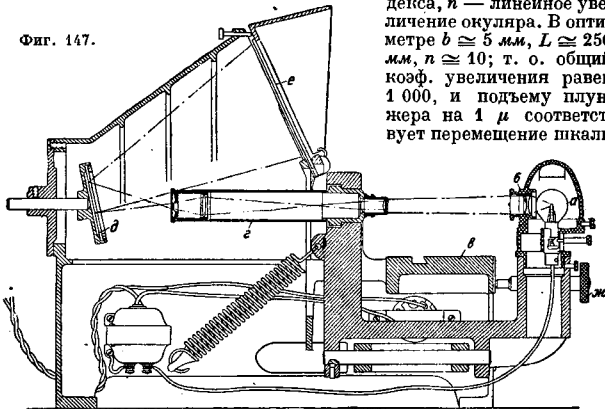
оптиметром, у которого оно ~200 г. При измерениях концевых мер для избежания ошибок от перпендикулярности мерных площадей к направлению измерения укладывают меру на подставки, допускающие незначительные угловые перемещения ее, и, слегка поворачивая меру в горизонтальной и вертикальной плоскостях, определяют наименьшее из показаний оптиметра. Для измерения внутренних размеров (напр. кольцевых калибров) при-



Фиг. 146.

меняют мерные скобы: одну — неподвижную, надеваемую на неподвижную бабку, и одну — подвижную (фиг. 146), надеваемую на измерительную бабку. Она состоит из станины *а*, закрепляемой на оправе оптиметра *ж* и подвешенной в ней на оси *б* скобы *в*, снабженной двумя шаровыми мерными поверхностями *г* и *д*, из которых одна *г* опирается на внутреннюю поверхность кольца, а другая *д* — на мерную поверхность плунжера оптиметра. Пружина *е*, регулируемая винтом *з*, обеспечивает хороший контакт между мерными поверхностями измеряемого предмета и скобы. Принцип проекций применяется главным образом для измерения сложных контуров. Изображенный на фиг. 147 компаратор Гартнес служит преимущественно для проверки формы винтовых нарезов. Он состоит из лампы *а*, снабженной конденсором *б* и бросающей сильный пучок света на исследуемый объект, помещаемый на переставляющихся по высоте центрах на столике *в*; силуэт измеряемой поверхности в увеличенном микроскопом *д* в виде после отражения от зеркала *д* изображается на матовом стекле *е*, на котором нанесены контуры, соответствующие в данном увеличении допускаемым отклонениям нарезов от правильной формы; наводка на фокус совершается наклоном всей оптической системы винтом *ж*. Применение светового

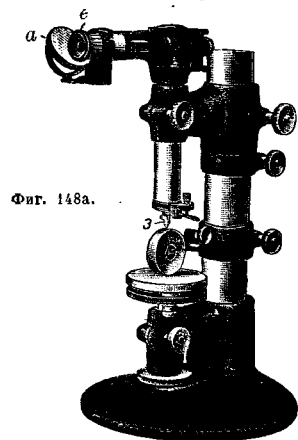
Фиг. 147.



пучку зеркальных *И. и.* большой точности. Типичным образчиком является оптиметр сист. Цейсса, внешний вид которого изображен на фиг. 148а, а оптич. схема на фиг. 148б. Обтрасываемые зеркальцем *а* лучи света проходят через призму *б* с полным внутренним отражением с начерченной на передней плоскости шкалой *б'*, затем отражаются призмой *в* в объектив *в* и после отражения от подвижного плоского зеркала *д* проходят тот же путь обратно, давая изображение шкалы *б* в фокальной плоскости окуляра *ж*, в к-рой также лежит стеклянная пластинка *б''* со штрихом-индексом. Зеркальце постоянно притягиваемое пружиной книзу, опирается на ножевую призму *ж* и мерный плунжер *з*, находящиеся друг от друга на расстоянии *в* мм. Перемещение плунжера на величину *с* вызывает отклонение зеркальца, сопровождающееся сдвигом *δ* изображения шкалы, равным

$$\delta = \frac{2s}{b} \cdot Ln, \quad (54)$$

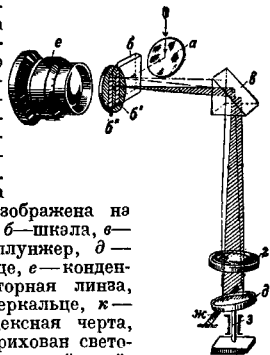
где *L* — длина пути лучей от зеркала до индекса, *n* — линейное увеличение окуляра. В оптиметре *б* ≈ 5 мм, *L* ≈ 250 мм, *n* ≈ 10; т. о. общий коэф. увеличения равен 1 000, и подъему плунжера на 1 μ соответствует перемещение шкалы



Фиг. 148а.

на 1 мм. Применение оптиметра так же распространено, как и аналогичных механич. рычажных индикаторов. Увеличение точности отсчета может идти путем увеличения угла отклонения луча при неизменном угле зеркала посредством включения промежуточного неподвижного зеркала. Эта схема применена напр. в цейссовском ультраоптиметре и в мерительной машине Рида. Оптическая схема ультраоптиметра изображена на фиг. 149: *а* — лампа, *б* — шкела, *в* — наковаленка, *г* — плунжер, *д* — подвижное зеркальце, *е* — конденсор, *ж* — коллиматорная линза, *з* — неподвижное зеркальце, *и* — объектив, *л* — индексная черта, *м* — окуляр; заштрихован световой пучок, изображающий крайнее деление шкалы (+83 μ) при наклоне зеркала на угол *α*. Степень увеличения *i* равна

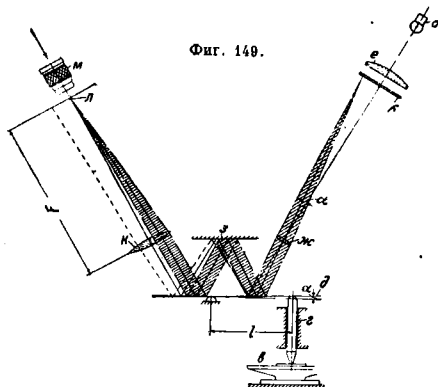
$$i = 4 \cdot \frac{F}{l} \cdot n \approx 5\,000,$$



Фиг. 148б.

го луча в качестве практически лишнего массы и прямолинейного рычага любой длины позволяет достигнуть в построенных по этому прин-

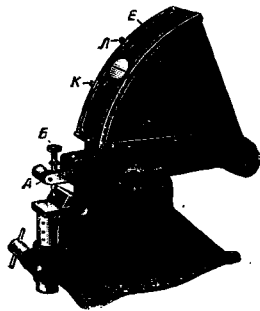
где  $n$  — линейное увеличение окуляра. Перемещению плунжера на  $1 \mu$  соответствует перемещение разделенной на  $0,2 \mu$  шкалы на  $5 \text{ мм}$ ; т. о. можно легко определять десятые доли  $\mu$  на глазо.



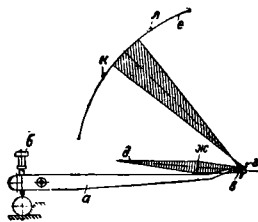
Фиг. 149.

Точность прибора настолько велика, что его необходимо экранировать при работе щирмами из робового стекла, задерживающего инфракрасные тепловые лучи.

Соединение оптич. и механич. рычагов проведено в более грубом, пригодном для контроля точности продукции в цехах, И. и. м. к р о л ю к с сист. Вернера. Общий вид прибора изображен на фиг. 150, а схема устройства — на фиг. 151. Механич. рычаг  $a$  с отношением плеч  $1:10$  передает перемещения  $s$  мерной поверхности винта  $b$  увеличенными в 10 раз на рычажок  $e$ , соединенный с вращающимся вокруг оси зеркальцем  $g$ ; последнее отбрасывает лучи света от лампочки  $d$  на цилиндрич. матовое стекло  $e$ , на котором появляются светлый круг с изображением нити, натянутой около линзы  $ж$ . Отношение длины рычажника  $e$  к радиусу стекла  $e$  равно  $1:50$ ; т. о. общее увеличение прибора  $i = 1000$  и изменения измеряемых размеров в  $\pm 1 \mu$  обнаруживаются без труда. Индексы  $k$  и  $л$  устанавливаются по шкале на допустимые отклонения размера изделия от нормального, устанавливаемого по калибру. Построенный по этому же принципу компаратор для концевых мер системы Дж. Сирса при общем коэффициенте увеличения, равном 26 400, позволяет измерять отклонения размеров в  $\pm 0,025 \mu$ .

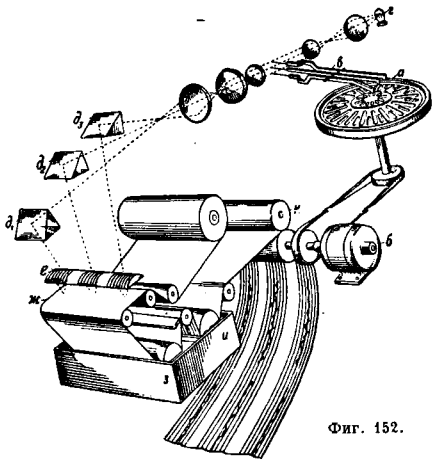


Фиг. 150.



Фиг. 151.

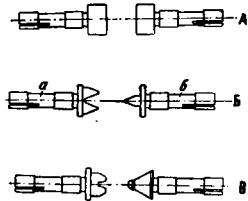
Интересный тип специальной мерительной машины с оптич. записью наблюдаемых результатов изображен на фиг. 152. Машина сконструирована для выверки параллельности трех кольцевых плоскостей микродвигателем  $b$ . На каждую из испытываемых плоскостей опирается конец легкого рычажка  $e$ , другой конец которого заканчивается тонкой проволочной, помещающейся в параллельном пучке световых лучей, испускаемых лампой  $g$ . Тень, даваемая каждой проволочкой, отбрасывается отдельной призмой  $d_1, d_2$  и  $d_3$ , после чего лучи собираются цилиндрич.



Фиг. 152.

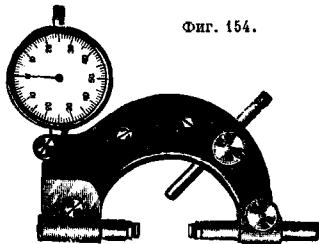
линзой  $e$ , дающей изображение на светочувствительной бумаге  $ж$ , сматываемой с рулона тем же двигателем. Для одновремениого нанесения сетки на бумагу на линзе  $e$  нанесен ряд тонких черных черт. Бумага проявляется и фиксируется в ваннах  $z$  и  $и$ , потом отжимается вальцами  $к$ , после чего мы имеем для каждой из трех плоскостей свою диаграмму отклонений, позволяющую судить о пригодности мембраны.

**Инструменты для измерения винтовой резьбы** представляют собой обособленную, сильно специализированную группу И. и. К. бесшкальных резьбовым И. и. принадлежат **винтовые калибры** (см.), отличающиеся от гладких калибров как формой мерных поверхностей, так и тем, что для измерения различных важных элементов винтовой нарезки (см.) приходится применять различные методы измерения. Для измерения диаметров нарезки среднего, наружного и внутреннего м. б. применены микрометры, снабженные для этой цели особыми насадками, вставляемыми в отверстия, высверленные в пятке и скалке микрометрич. винта. Измерение наружного диаметра производится плоскими вставками (фиг. 153. А), имеющими достаточно большую мерную поверхность, чтобы захватить с обеих сторон не меньше двух ниток. Для измерения внутреннего диаметра применяют



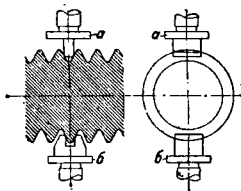
Фиг. 153.

насадки, состоящие из вставляемой в пятку гребенки *a* (фиг. 153, *B*) и вставляемого в микрометрич. винт конуса *b*, углы заострения и радиусы закругления *k*-рых меньше соответствующих измеряемой нарезки; т. о. соприкосновение мерных поверхностей происходит по дну нарезок. Для



Фиг. 154.

замера среднего диаметра применяют аналогичные насадки, имеющие правильный угол и укороченные мерные поверхности (фиг. 153, *B*), соприкасающиеся с измеряемой нарезкой по среднему диаметру ее. Применение мерного индикатора для сравнения нарезки с резьбовым эталоном показано на фиг. 154; в виду того что



Фиг. 155.

здесь обе мерные поверхности не вращаются, как в микрометре, возможно применение двух гребенок *a* и *b* соответственной формы (фиг. 155) вместо конуса на мерной скалке у микрометра. Очень точным способом измерения среднего диаметра нарезки при условии правильности угла ее является применение метода трех проволочек, заключающегося в том, что в нарезки помещают три калиброванные проволочки *a* (фиг. 156) diam. *d*, затем измеряется наружный размер *L* по проволочкам; тогда средний diam.  $D_{cp}$  нарезки м. б. определен по ф-ле

$$D_{cp} = L - d \left( 1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2} - \frac{\alpha h^2}{2\pi \alpha^2 D_{cp}} \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (55)$$

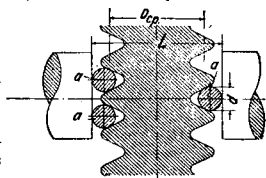
где  $\alpha$  — угол нарезки и  $h$  — шаг винта; последний член обозначает ошибку, происходящую вследствие косоного положения проволочек в нарезках. В табл. 9 приведены требуемые диаметры проволочек *d* и получаемые с ними результаты измерения *L* для метрич. и витвортовой резьбы с элементами по DIN. Точный И. и. для измерения диаметров нарезки при помощи оптиметров изображен на фиг. 157. Оба оптиметра *a* и *b* закреплены в мерном супорте *e*, перемещающемся по точным призматич. направляющим при помощи винтового шпинделя, вращаемого маховичком *z* или через червячную передачу кнопкой *ж*. Под оптиметрами расположены перемещаемые микрометрич. винты наковаленки *e* и *ж*; левая — плоская, правая — снабженная гребенкой соответственной формы. Плуцнер левого оптиметра имеет шаровой наконечник *з*, правый — плотно входящий в гребенку конич. палец *к*. Для установки прибора

Табл. 9. — Постоянные для измерений витвортовой резьбы методом 3 проволочек.

<i>D</i>	<i>h</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>h</i>	<i>d</i>	<i>L</i>
Метрическая по DIN 13/14 (мм)							
1	0,25	0,16	1,102	18	2,5	1,30	18,112
1,2	0,25	0,16	1,311	20	2,5	1,30	20,112
1,4	0,3	0,22	1,606	22	2,5	1,30	22,111
1,7	0,36	0,22	1,830	18	2,5	1,70	19,313
2,0	0,4	0,22	2,083	20	2,5	1,70	21,312
2,2	0,4	0,22	2,333	22	2,5	1,70	23,312
2,6	0,45	0,3	2,214	24	3	1,70	24,554
3	0,5	0,3	3,142	27	3	1,70	27,554
3,5	0,6	0,43	3,981	30	3,5	2,2	31,288
4	0,7	0,43	4,229	38	3,5	2,2	34,287
4,5	0,75	0,43	4,654	36	4	2,2	36,539
5	0,8	0,43	5,077	39	4	2,2	39,539
5,5	0,9	0,55	5,786	43	4,5	2,9	43,821
6	1	0,55	6,194	45	4,5	2,9	46,821
7	1	0,55	7,134	48	5	2,9	49,124
.8	1,25	0,78	8,446	52	5	2,9	53,123
9	1,25	0,78	9,446	56	5,5	2,9	56,366
10	1,5	0,78	10,068	60	5,5	2,9	60,366
10	1,5	0,98	10,668	56	5,5	3,5	58,167
11	1,5	0,98	11,668	60	5,5	3,5	62,167
12	1,75	0,98	12,333	64	6	3,5	65,409
14	2	1,30	14,870	68—84	6	3,5	$D_{T1}-1,408$
16	2	1,30	16,870	89—149	6	3,5	$D_{T1}-1,407$
Витвортовая по DIN 11/12 (мм.)							
1/8"	1,270	0,78	6,789	2"	5,645	3,5	52,747
1/4"	1,411	0,78	8,050	2 1/4"	6,350	3,5	58,070
3/8"	1,589	0,98	10,688	2 1/2"	6,350	3,5	64,419
7/16"	1,814	0,98	11,313	2 3/4"	7,257	4,3	71,851
1/2"	2,117	1,3	13,430	3"	7,257	4,3	78,201
5/8"	2,309	1,3	16,286	3 1/4"	7,816	4,3	86,656
3/4"	2,540	1,3	19,161	3 1/2"	7,816	4,3	90,006
7/8"	2,822	1,7	23,082	3 3/4"	8,467	4,85	97,572
1"	3,175	0,98	25,702	4"	8,467	4,85	103,722
1 1/16"	3,629	2,2	29,734	4 1/4"	8,835	4,95	109,483
1 1/8"	3,629	2,2	32,909	4 1/2"	8,835	4,95	115,833
1 1/4"	4,233	2,2	35,116	4 3/4"	9,237	5,7	123,914
1 1/2"	4,231	2,2	38,291	5"	9,237	5,7	130,264
1 5/8"	5,080	2,9	42,329	5 1/4"	9,677	5,7	135,910
1 3/4"	5,080	2,9	45,503	5 1/2"	9,677	5,7	142,260
1 7/8"	5,645	2,9	47,774	5 3/4"	10,180	5,7	147,536
2"	5,645	2,9	50,849	6"	10,180	5,7	154,187
1 7/8"	5,645	3,5	49,674				

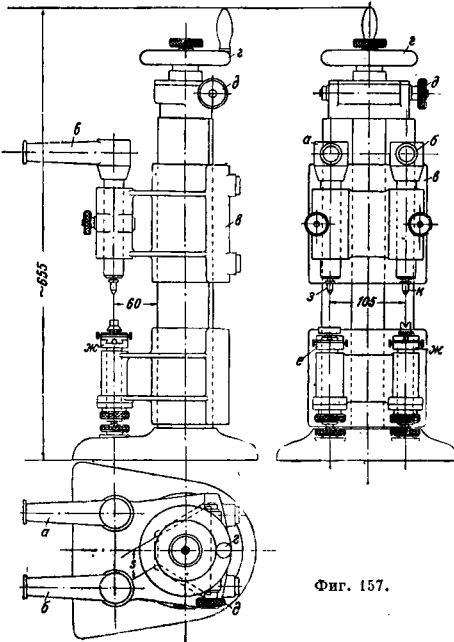
на 0 опускают супорт *e* до соприкосновения мерных поверхностей правого оптиметра *a*, и, регулируя кнопкой *ж*, устанавливают правый оптиметр на 0. Затем, поднимая или опуская наковаленку *e*, устанавливают также и левый оптиметр на 0. Для установки на требуемый размер поднимают супорт *e* и ставят на наковаленку *e* набор мерных плиток требуемой длины, после чего опускают супорт до соприкосновения с ним оптиметра *a* и его установки на 0; вводя испытуемый болт, отсчитывают на последнем непосредственно в 0,001 мм отклонения среднего диаметра от номинального.

Для измерения формы нарезки — ее угла и радиусов закруглений гребней и впадин — применяют преимущественно оптич. И. и., дающие быстро и с достаточной точностью величину отклонения от номинала. В частности описанный выше измерительный микроскоп сист. Цейсса (фиг. 140) приспособлен главным образом для этой цели. В этом случае окуляр его снабжается стеклянной пластиной, изображенной отдельно на фиг. 158, на которой нанесены тонкими прерывистыми штрихами в соответственном увеличении микроскопа масштабы контуры нарезок различного профиля и шага; сравнивая их с рассматриваемой



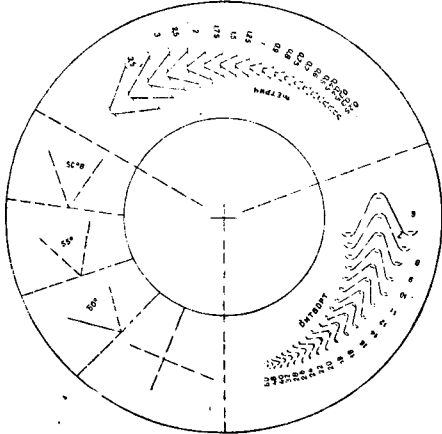
Фиг. 158.

в микроскоп нарезкой, замечаем ошибки профиля. Проекционные аппараты вроде описанного выше компаратора Гартнес (фиг. 147) также



Фиг. 157.

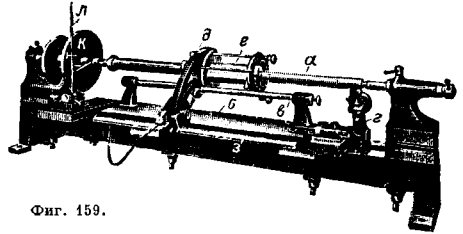
весьма удобны для этой цели. Следующим весьма важным элементом винтовой нарезки является шаг; для его измерения имеется значительное число различных аппаратов, к-рые м. б. разде-



Фиг. 158.

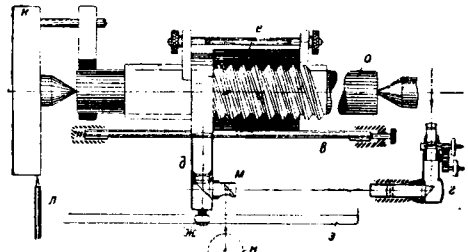
лены на два типа: одни измеряют ошибки шага на определенном целом числе витков посредством вводимых во впадины нарезки щупов, другие измеряют периодич. и прогрессивные ошибки на-

резки винта вместе с его гайкой. Прибор первого типа изображен на фиг. 127; он предназначен гл. обр. для испытания нарезки анкерных котельных болтов и состоит из плиты *а*, на к-рой укреплены две сточки *б* с переставными по высоте щупами: неподвижным *в* и подвижным *г*. Отклонения последнего в 0,01 мм непосредственно показываются на циферблате мерного индикатора *д*. Установку щупов на требуемое расстояние (какое-либо целое число шагов) производится набором мерных плиток *е*, к-рым по краям притерты две плитки с центральными углублениями, оси к-рых



Фиг. 159.

отстоят на 5 мм от плоскости притирки. Для измерения оба щупа устанавливаются по шкалам на сточках на  $\frac{1}{2}$  наружного диаметра болта над уровнем плиты, ватем болт подкатывается по плите к щупам, и последние вжимаются в углубления нарезки, индикатор показывает со знаком + или - ошибку шага на испытуемом интервале. И. и. для определения ошибки винтовых шпинделей совместно с гайкой сист. Цейсса, применяемый гл. обр. для исследования ходовых вин-



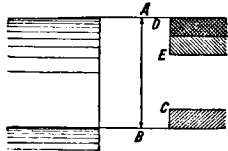
Фиг. 160.

тов различных станков, изображен на фиг. 159 (общий вид) и фиг. 160 (схема устройства). Шпиндель *а* зажимается между бабками токарного станка или между делительной головкой и рейт-штоком; на станине укрепляется плита *б*, несущая измерительные приборы: точную масштабную линейку *в* с миллиметровым (через 1 мм) и дюймовым (через 0,05 дм.) делениями, зрительную трубу *г* с окулярным микрометром и подвижной рукав *д*, скрепленный с гайкой *е* и опирающийся роликом *ж* на точную стальную линейку *з*. Отсчет целых оборотов и частей их винтового шпинделя производится либо делительной бабкой либо по рискам на диске *к* достаточно большого диаметра, подводимым под острие рейсмуса *л*. Передвижной рукав снабжен приспособлением для освещения масштаба, состоящим из полупосеребрянной стеклянной пластины *м* и лампы *н*. Для избежания ошибки из-за неизбежного колебания рукава *д* в плоскости измерений расстояние от масштаба в до оси шпинделя



берется равным фокусному расстоянию коллиматорной линзы рукава  $\delta$  (см. выше описание оптической машины сист. Цейсса). Отсчет перемещения рукава  $\delta$ , равного перемещению гайки  $e$ , отсчитывается при помощи микрометра, окуляра зрительной трубы по масштабу  $e$  с точностью до 0,01 мм или 0,0005 дм. по всей длине измерения. Окулярный микрометр снабжен двумя микрометрическими винтами, одним миллиметровым и другим дюймовым, помещенными в револьверной головке и подводимыми по очереди к рамке микрометра.

Значение точных измерений в металлообрабатывающей промышленности весьма велико. Лишь высокая точность обработки, возможная только при наличии точного И. и., дает возможность провести полную взаимозаменяемость частей, ведущую к значительному снижению стоимости готовых изделий при одновременном повышении их качества. Экономическое значение точных И. и. также не должно быть недооцениваемо, в особенности при работе по допускам. Общее

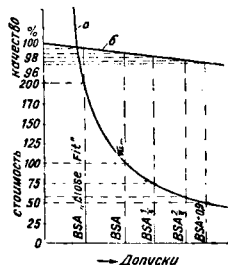


Фиг. 161.

допустимое отклонение размера  $\Delta$  готового изделия устанавливается жестко принятой системой посадки и размером детали (см. Допуски); для определения отклонений пользуются, как известно, предельными калибрами. Пусть  $A-B$  (фиг. 161) представляет собой все поле допусков, заштрихованная полоска  $C$  представляет собой допуск на неточность изготовления браковочной стороны калибра, полоска  $D$  — допуск на неточность изготовления проходного калибра и полоска  $E$  — припуск на истирание рабочих поверхностей проходного калибра в работе; т. о. реальный производственный минимальный допуск оказывается уменьшенным до размеров  $AB-(C+D+E)$ . Известно, что чем меньше реальный производственный допуск на неточность обработки, тем выше брак и стоимость производства. Последняя возрастает гиперболически с уменьшением реального допуска; т. о. при малых вообще величинах их всякое дальнейшее уменьшение будет весьма существенно отражаться на стоимости продукции без реального улучшения ее качества. В качестве примера на фиг. 162 приведена по исследованиям Герберта зависимость между стоимостью обработки (кривая  $a$ ) и качеством (механич. прочностью болтов на вырывание из нарезки, кривая  $b$ ) стандартной британской нарезки по допускам тугой нарезки (BSA Close Fit), нормальной (BSA) и расширенных на различную часть допуска ( $BSA + \frac{1}{3}$ ,  $BSA + \frac{2}{3}$  и  $BSA + 0,9$ ). Как видно из диаграммы, механич. качества нарезки падают весьма медленно с увеличением допуска, тогда как стоимость обработки колеблется чрезвычайно сильно, напри- ухждению на  $\sim 0,8\%$  соответствует падение стоимости обработки вдвое. Насколько велико уменьшение допуска изделия допусками калибров, видно напр. из того, что номинальный допуск вала I класса ( $B_1$ )  $\varnothing 60$  мм, равный 13  $\mu$ , уменьшен до 8  $\mu$ , допуск вала II класса ( $B_2$ ) того же диаметра, равный 20  $\mu$ , уменьшен до 11  $\mu$  и т. д. Из сказанного понятно стремление возможно уменьшить величину допусков самих измерительных калибров. Уменьшение допусков

калибров может вестись по двум направлениям: путем увеличения точности их изготовления и измерения, чем снижаются допуски на неточность изготовления калибров, и повышением твердости мерных поверхностей, позволяющим уменьшить припуск на износ; так, хромирование уменьшает износ в 10–15 раз, а наплавление сперттерных сплавов — в 30–50 раз по сравнению с закаленной стальной мерной поверхностью. Производство точных И. и. в дореволюционной России не существовало, если не считать некоторых военных  $\alpha$ -дво, производивших таковой только для собственных нужд, и весь И. и. импортировался из-за границы, гл. обр. из Германии, Швеции и Англии. В настоящее время в СССР в связи с подъемом машиностроительной и автотракторной промышленности особо возросла потребность в точных И. и. Для удовлетворения ее построен и пущен в ход гигант «Калибр», далеко превосходящий по размерам и производительности зап.-европ. заводы той же специальности. Производство точных штангенциркулей и угломеров освоено Сестрорецким з-дом им. Воскова; точные микрометры, не уступающие по качеству заграничным, выпускаются заводами «Красный инструментальщик», «Калибр» и Сестрорецким з-дом. Мерные плитки выпускаются з-дами «Красный инструментальщик» и «Калибр». В настоящее время импорт ограничивается гл. обр. оптическими И. и. высокой точности. Однако уже имеются советские конструкции оптиметров, микролюжков и пр., и недалеко то время, когда СССР будет полностью обеспечен высококачественным И. и. собственного производства.

Лит.: Общие сочинения. Рольф Ф. Калибры и точные измерения, пер. с англ., т. 1, Л.—М., 1933; Альцерович, Контрольно-измерительные инструменты и приборы в машиностроении. М.—Л., 1930; Волосяев Ф., Контрольно-измерительная лаборатория машиностроительного завода, Л.—М., 1932; Пьяров В. П., Поверочные и измерительные инструменты, ч. 1, 2, Л.—М., 1932–33; Малагян И., Тонарь-лекальщик, М.—Л., 1931; Макаревич И. и Соловьев Ф., Слесарь-лекальщик, М.—Л., 1932; Соколовский А., Технология машиностроения, вып. 1, 2 изд., Л.—М., 1933; Гриншпун И. и Токмаков К., Измерительные инструменты в металлопромышленности, М.—Л., 1932; Апарин Г., Измерительные инструменты и приборы в машиностроении, ч. 1, М., 1932, М.—Л., 1934; Бэни А., Измерительные приборы и инструменты, 2 изд., М.—Л., 1925; Соколов М., Инструментальное дело, Л.—М., 1933; его же, Слесарное дело, 5 изд., М.—Л., 1933; Бахрах Н., Измерительные инструменты механического производства, М.—Л., 1927; Поверочные и измерительные инструменты, об. статей под ред. Н. Хаблинского, М.—Л., М. 3, Организация измерительного хозяйства, об. перес. статей под ред. М. Школьников, М.—Л., 1933; Организация инструментального хозяйства, об. статей под ред. Ватшева, М., 1931; Шеленов В., Современный мерительный инструмент, его производство и применение, М., 1930; Взаимозаменяемость и практика ее применения, «Группы 0-ва германских инженеро-производственных», т. 1, М., 1926; В. Г. Гауэс, A. Fine Measurements, ч. 1, 2, Л., 1929; В. Г. Гауэс, Grundlagen u. Geräte technischer Längenmessungen, 2 Aufl., B., 1929; Oberg E. a. Jones F., Gauge Design a. Gauge Making, N. Y., 1920; Hamilton D., Gauge, Gauging a. Inspection, N. Y., 1918; Martin L. B., Optical Measuring Instruments, L., 1924; Вучичлуган М. Y., Principles of Interchangeable Manufacture, N. Y., 1924; Вегерд Г., Technische Winkelmessungen, 2 Aufl., B., 1930; Бüttner C., Der Lappvorgang bei der Herstellung von Messwerkzeugen, «Werkstattstechnik», B., 1931, Jg. 25, p. 113; Kurrein



Фиг. 162.

M., Messlechnik, «Werkstattdbücher», hrsg. v. E. Simon, H. 2, В. А., 1923; Berndt G., Damth Th. u. a., Der Austauschbau und seine praktische Durchführung, «Schriften des A.D.B.», hrsg. v. O. Klenke, 1923, 3, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

О-ва германских инженеров-производственников», М., 1926; В u c h i n g h a m E., Principles of Interchangeable Manufacture, N. Y., 1931; M a h r C., Die Grenzlehre, 5. Aufl., 1927; Gauge and Gaging, Warr, «American Machinist», 1924—25, в. 61, р. 127 E, 134 E, 145 E, 150 E, 180 E, 195 E; A l i s u p W., Gauging a. Interchangeable, «American Machinist», L., 1927, в. 66, р. 575; F r e n c h a. H e r s c h m a n n, Recent Experiments Relating to the Wear of Plug Gauges, «Transactions of the Am. Soc. for Steel Treat.», 1927; M a e p h a R., A History of the Finish of Plug Gauges, «American Machinist», L., 1927, в. 65; В a r r C., Cap-Limit Gauges, ibid., L., 1927, в. 66, р. 316 E; H a e s s l e r G., Making Built-up Gauges, ibid., L., 1924, в. 61, р. 354; Manufacture of Wickman Gauges, «Machinery», L., 1928, в. 33, 257, р. 397; B e r n d t G., Die Parallelität d. Messflächen verschiedener Messgeräten, «Feinmechanik und Präzision», В., 1927; в) Измерительные инструменты и приборы. 1. Проверка измерительных плиток Иогансона, М., 1932; Кан Э., Исследование свойств параллельных калибров, перевод с нем., М., 1933; Крылова Т., К вопросу об определении разности между механической и оптической длиной плоских концевых мер, «Временник Главной палаты мер и весов», Л., 1930, 4/16, стр. 137; Макевич А., Свойства концевых мер длины, «Временник Главной палаты мер и весов», М., 1933, в. 3, стр. 24; R o l l F. a. B a r r e l l H., Contact of Flat Surface, «Proc. of the Roy. Soc.», L., 1927, в. 116 A, р. 401; P a t o n G., Accuracy of Johansson Gauge Blocks, «American Machinist», L., 1925, в. 62, р. 106 E; Making Slip and Block Gauges of the Johansson Type, «Reports of the Nat. Phys. Labor.», L., 1924, 32; H a r d y W., Precision of the Fluid Surfaces, «Proc. of the Am. Soc.», L., 1912, 86 A, р. 610; A. B e r t e l l i, Parallel-Endmasse u. ihre Verwendung in der Praxis, «Werkstatstechnik», В., 1931, Jg. 25, H. 21, р. 494; г) Шаблон и декада. Бушцев А., Изготовление шаблонов, М.—Л., 1932; Синдеев С., Практика декального декада, М.—Л., 1931; М а л ы г и И., Тонарь-лекальник, М.—Л., 1931; М а к а р е в и ч И., Г о л о в е в Ф., С л о с а р - л е к а л ь н и к, М.—Л., 1932; З и м и н В., Построение слонных и фасонных калибров, «Станки и инструмент», М., 1931, 4/5, стр. 30; К вопросу о проверке фасонных шаблонов, «Предприятие», М., 1929, 5 (69), стр. 89; Соколов Б., Построение допусков в слонных пространственных контурных и совместных калибрах, «Вестник металлопромышленности», М., 1931, 1, стр. 33; д) Е l a s a e c K., K u t a y A. W., Graphische Verfahren zur Schablonenherstellung, «Werkstatstechnik», В., 1931, Jg. 25, H. 20, р. 329; д) Микрометры. З и м и н В. и П о л ь у к о в С., Исследования микрометров, «Станки и инструмент», М., 1933, 4, стр. 19; К у т а й А., Стандартизация микрометров, «ВС», 1933, 2 (60), стр. 43; В e t z W., An Improved Micrometer Depth-Gauge, «American Machinist», L., 1932, в. 76, 14, р. 470; S n o w W., Lapping Micrometers, ibid., L., 1918, в. 49, р. 380; в) в) К у т а й А., Lapping Micrometers, ibid., L., 1926, в. 64, р. 871; В e r n d t G., Genauigkeitsansprüche an Micrometer u. Fühlhebel, «Betriebe», В., 1922, 9, р. 280; H u b b e l C., Testing the Accuracy of Micrometers in Common Use, «American Machinist», L., 1920, в. 53, р. 209; M e c k e R., Eine einfache Methode zur Bestimmung des periodischen Fehlers von Micrometerschrauben, «Ztschr. f. Instrumentenkunde», В., 1922, В. 42, P. 147; В e r n d t G., Anwendung von Micrometernägeln, «Betriebe», В., 1924, В. 3, р. 574; Inspection of Micrometer Spindles of the Zeiss Works, «American Machinist», L., 1929, в. 70, р. 175; Manufacturing a Precision Tool (Micrometer), «American Machinist», L., 1923, в. 59, р. 903; Making the Almond Micrometer, ibid., L., 1920, в. 53, р. 605; е) М е р н ы е и д л ы н ы е а т л а т ы, М.—Л., 1932; 2. Выдачные измерительные приборы высокой точности. Иогансон, М., 1932, 2, стр. 23; Калиберная скоба с индикатором, «Станки и инструмент», М., 1932, 1, стр. 25; «Мессур» (конструкция шифроблатного микрометра), «Точная индустрия», М., 1931, 5/6, стр. 92; в) Интерференционные способы измерения. А л е к с а н д р о в И., Изготовление пробных стержней, Л., 1932; 3. Проверка измерительных методов. Иогансон, М., 1932; 3. Проверка методов измерения плоских калибров, «Техника и производство», М., 1928; е) же. Точность интерференционного измерения длины плоских концевых мер, «Временник Главной палаты мер и весов», Л., 1930, 4/16, стр. 101; Крылова Т., К вопросу об определении разности между оптической и механической длиной плоских концевых мер, там же, Л., 1930, 4/16, стр. 137; 4. Проверка калибров. М а л ы г и И., Интерференция, «Машиностроение», М., 1933, 3, стр. 3; G e h r n e E., Die Anwendung der Interferenzen in der Spectroskopie u. Metronomie, Brschw., 1906; К о с т е р с, Prüfung von Johansson-Endmassen mit Lichtinterferenz, «Feinmechanik», В., 1922, Jg. 1, H. 1—3; B e r n d t G., Interferenzmethoden zur Untersuchung von Endmassen, «Betriebe», В., 1921; B o u a s s e H., e t C a p t e g e Z., Interferenzen, «Revue d'Optique», P., 1923; а) Применение интерференции, «Revue d'Optique», P., 1923; W e b e r A., Eine neue Methode höchster Genauigkeit

zur interferometrischen Wellenlängen, «Physik. Ztschr.», В., 1928, В. 29, р. 233; P. A. G. S. а. В. о. u. d. H., Interference Methods of Standardization and Testing, Precision Block Gauges, «Scient. Papers of Bureau of Standards», Wash., 1922, v. 17, р. 677; а) Оптические И. и. Боруков В., Горизонтальные и вертикальные оптиметры, Харьков, 1933; Мазлумов К., Универсальный мерительный микроскоп, М.—Л., 1932; А р т а м о н о в И., К вопросу об юстировке оптиметра Пейса, «Измерительная техника и поверочные дела», М., 1930, 2, стр. 54; В а й с е и б е р Г. Советский оптико-технический завод, М., 1933, 3, стр. 10; Г а в р и л о в Е., Измерительные микроскопы и дулы, «Точная индустрия», М., 1931, 3/4, стр. 64; с о ж е и с, Проециционные и рисовальные приборы, там же, М., 1931, 1, 2, стр. 18 и 40; Л е в е н Ф., Оптиметр повышенной точности, «Точная индустрия», М., 1931, 7/8, стр. 149; С к а л о з у б о в В., Оптиметры и их назначение, там же, М., 1933, 4, стр. 8; С м и р н о в К., Оптический микрометр для тонких нитей, «Геодезист», М., 1931, 4, стр. 43; С м и р н о в В., Советский микролопе, «Оптико-механич. промышленность», М., 1933, 3 (20), стр. 173; и) Р е з ь б о в ы И. и. П е т р у с е в и ч О., Стандарты резьбы и резьбовых допусков, М., 1931; Г а в р и л о в Д., Резьба и ее взаимозаменяемость, М.—Л., 1933; Г о р о д е н к и И. и др., Взаимозаменяемость резьбовых изделий, М.—Л., 1932; С а в в и н Н., Допуски для резьбы, «ВС», 1929, 6 (18); В e r n d t G., Die Gewinde, ihre Entwicklung, ihre Messung u. ihre Toleranzen, В., 1925 (Erster Nachtrag, В., 1926); M a h r G., Die Gewindelohre u. der Gewinde-Austauschbarkeit, В., 1928; К г е л е и с с e Einfache Vorrichtung zur Messung von Gewindebohrern mit drei Nuten, «Verkehrstechnik», В., 1931, Jg. 25, р. 417; W e n d e F., Neues über Gewindemessungen, ibidem, В., 1931, Jg. 25, р. 297. Л. Павлушков.

**ИОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, тиратрон** (см.), трехэлектродный вакуумный прибор, в к-рый после отключения введено нек-рое количество инертного газа. Благодаря присутствию последнего чисто электронный разряд лампы превращается в дугу, и сеточное управление носит совершенно иной характер, чем у нормального триода. Действительно, подача на сетку электронной лампы того или иного потенциала сопровождается плавным увеличением или уменьшением анодного тока в больших пределах. Совершенно иная картина имеет место при управлении током в тиратроне. Если на анод тиратрона подано переменное напряжение, то он, будучи выпрямителем (см.), пропускает ток лишь за одну половину периода. При прохождении тока, когда пространство между катодом и анодом ионизировано, подача на

сетку отрицательного потенциала не может повлиять на величину тока, т. к. отрицательный заряд сетки целиком компенсируется положительными ионами. При перемене знака напряжения на аноде тиратрона ток через него автоматически прерывается, и происходит деионизация пространства между электродами. Если отрицательный заряд с сетки не снят, то при дальнейшем изменении потенциала анода с отрицательного на положительный ток вновь не возникает, т. к. сетка не дает возможности электронам, идущим с катода, ионизировать газовой промежуток. Действительно, до появления тока сетка тиратрона находится в совершенно одинаковых условиях с сеткой триода, так как в это время ионов нет. Ток не появится до тех пор, пока поле

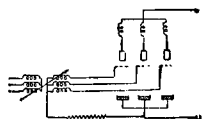
Фиг. 1.

вокруг катода отрицательно. Потенциал же поля есть функция анодного и сеточного напряжения. Иначе говоря, если на анод дать положительный потенциал  $e_a$ , а на сетку отрицательный  $e_g$ , то общее управляющее напряжение  $U$  будет:

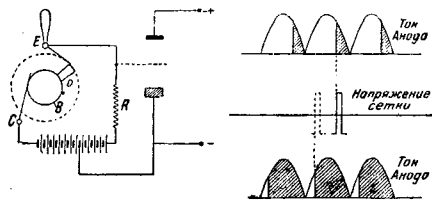
$$U = e_g + \frac{e_a}{\mu},$$

где  $\mu$  — коэф. усиления. Для тиратрона он равен отношению анодного напряжения к сеточному, при котором возникает ток. Однако обычно удобнее пользоваться обратной величиной  $\frac{1}{\mu}$ , называемой коэффициентом управления. Тиратроны, сконструированные т. о., что стенки баллона не влияют на процесс прохождения тока, имеют постоянный коэф. управления, нормальная величина которого равна примерно  $\frac{1}{\mu} = 100$ .

На фиг. 1 для сравнения приведены характеристики триода и тиратрона. Из вышесказанного очевидно, что сетка тиратрона не имеет возможности влиять на мгновенные значения тока, а может регулировать лишь начало его возникновения, т. е. изменять его среднюю величину. При подаче на анод тиратрона, постоянного по величине и направлению напряжения, сеточное управление вообще осуществлено быть не может. Здесь возможны только два состояния: или через тиратрон идет все время не изменяющийся ток или он вовсе не идет. Изменение среднего значения выпрямленного тока, а следовательно и напряжения в тиратроне м. б. произведено как при помощи коммутатора, приводимого во вращение синхронным мотором, так и фазовым регулятором. Соответствующие схемы выключения даны на фиг. 2 и 3. Тиратроны могут иметь как жидкий, так и накаленный катод. Наиболее актуальные их применения рассматриваются ниже.

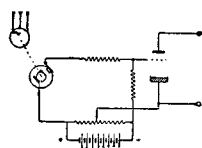


Фиг. 3.



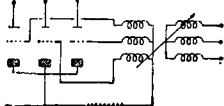
Фиг. 4.

**1. Регулирование напряжения.** При выпрямлении многофазного тока тиратроном имеется возможность путем изменения фазы сеточного потенциала регулировать величину выпрямленного напряжения. Сущность процесса при этом заключается в фиксировании начала возникновения тока, к-рое по произволу м. б. изменено. На фиг. 4 дана принципиальная схема регулирования напряжения при помощи синхронного коммутатора, сообщающего сеткам тиратрона положительные по отношению к катоду потенциалы. На вал синхронного мотора насажено изолированное от него проводящее кольцо В, по к-рому скользит щетка С. Кольцо имеет выступ D, соприкасающийся в определенный момент времени со щеткой E, соединенной с сеткой тиратрона. Положительный полюс управляющей батареи приключен к щетке С, отрицательный же через сопротивление R — к сетке тиратрона. Средняя точка батареи соединена



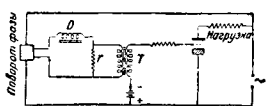
Фиг. 2.

с катодом. Щетка  $E$  м. б. передвинута по окружности на любой угол, чем меняется по фазе момент подачи на сетку положительного потенциала. Т. о. за один оборот мотора на сетке почти все время имеет место отрицательный по отношению к катоду потенциал, и только в момент импульсивного соприкосновения выступа  $D$  со щеткой  $E$  он приобретает положительный знак. При приложении к аноду тиратрона переменного напряжения через него пойдет ток, только начиная с момента подачи на сетку положительного потенциала, и прекратится автоматически, когда на напряжение на аноде будет равно нулю. Передвигая щетку  $E$ , можно уменьшать или увеличивать продолжительность прохождения тока, т. е. менять его среднюю величину. Осциллограмма, помещенная в правой части (фиг. 4), дает наглядное изображение вышеизложенного. Совершенно очевидно, что в случае большого снижения



Фиг. 5.

выпрямленного напряжения оно, так же как и ток, принимает сильно пульсирующий характер даже в случае применения многофазных схем, почему приходится прибегать к искусственному сглаживанию пульсации специально рассчитанными электрич. фильтрами, состоящими из нескольких звеньев, настроенных на высшие гармоники. Кроме синхронного коммутатора такая же регулировка напряжения м. б. осуществлена сеточным фазовым регулятором. Простейшая схема включения в случае трехфазного тока представлена на фиг. 5. При совпадении по фазе сеточного и анодного напряжений ток через аноды тиратрона пойдет совершенно так же, как при нормальном выпрямлении, при расхождении же фаз на  $180^\circ$  он не пойдет вовсе. Все промежуточные сдвиги по фазе дают уменьшение выпрямленного напряжения. Однако во избежание излишней загрузки сетки током, с одной стороны, и в целях наилучшей деионизации газового промежутка — с другой, эта простейшая схема обычно не применяется, а заменяется приспособлением,

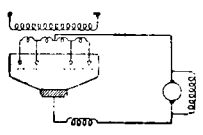


Фиг. 6.

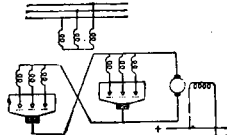
одной фазы дан на фиг. 6. Как видно, здесь вторичная обмотка фазового регулятора включена на дроссель  $D$  с замкнутым, сильно насыщенным железным сердечником и на сопротивлении  $r$ . Благодаря насыщению железа ток, идущий по цепи, приобретает импульсообразную форму. Включая параллельно сопротивлению трансформатор  $T$ , можно получить ударного вида эдс на сетке тиратрона.

2. Безреостатный пуск и регулирование скорости двигателей постоянного тока. Путем схемы управления тиратроном для регулирования напряжения возможно осуществить безреостатный пуск и регулирование скорости электромоторов постоянного тока как с шунтовой, так и с серийной характеристикой при сохранении за весь период пуска постоянного вращающего момента. Действительно, применяя многофазный тиратрон с соответствующим фильтром, можно путем изменения фазы сеточных потенциалов постепенно увеличивать, начиная с нулевого, значение вы-

прямленного напряжения и т. обр. постепенно повышать обороты электродвигателя. Интересно отметить, что в случае потребления двигателем за все время пуска постоянного по величине тока, необходимого для соблюдения неизменности момента вращения, активная мощность, забираемая по сети, растет пропорционально с увеличением выпрямленного напряжения, а подводимые к преобразователю  $VA$  остаются постоянными. Так обр. коэф. мощности установив в начале пуска весьма мал, к концу же он достигает нормальной величины. Некоторое улучшение коэф.-та мощности можно получить, применяя включение на одну фазу нескольких анодов тиратрона, находящихся под различными потенциалами, причем сначала работают аноды, находящиеся под малым напряжением, а после — имеющие нормальную его величину. Принципиальная схема включения для этого случая дана на фиг. 7. Практически достаточно выбрать напряжение пусковых анодов равным  $1/2$  нормальной для того, чтобы развернуть двигатель при коэф.-те мощности, имеющем среднее значение ок. 0,7. Если желательны не только регулировать и пускать электродвигатели, но и тормозить их, а также реверсировать, то м. б. применена схема, данная на фиг. 8. Как видно, здесь имеются два преобразователя, включенные крест-накрест.



Фиг. 7.

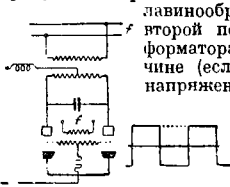


Фиг. 8.

Первый из них служит для пуска в ход и регулирования скорости двигателя при вращении его в нормальную сторону. В это время второй тиратрон заперт сетками. Если нужно двигатель затормозить, то первый тиратрон лишается возможности проводить ток, а второй выключается на работу в качестве преобразователя постоянного тока в переменный (см. ниже). Двигатель начинает генерировать электроэнергию, что заставляет его затормаживаться. После полной остановки можно постепенно развернуть двигатель в обратную сторону.

3. Преобразование энергии постоянного тока в энергия переменного тока. Первоначально считалось, что процесс выпрямления переменного тока помощью ионного электрического вентилля необратим, т. е. невозможно решение обратной задачи превращения постоянного тока в переменный. Действительно, если рассмотреть работу на сеть динамомашин постоянного тока, то, как известно, при переходе от генераторного режима к двигательному ток в якоре машины меняет свое направление на обратное, а напряжение не меняется ни по величине ни по знаку. Совершенно так же при работе синхронного генератора на сеть для перехода к двигательному режиму изменяется фаза тока. Т. к. обратный ионный вентиль может пропускать ток лишь в одном направлении, то необходимым условием преобразования постоянного тока в переменный является перемена знака, или фазы напряжения. Применение сеток в И. п. дало возможность разрешить и эту задачу. Простейшая схема преобразования постоянного тока в переменный дана на фиг. 9. Положительный полюс источника постоянного

тока подводится к средней точке обмотки однофазного трансформатора. Концы этой обмотки приключены к анодам двух тиратронов, сетки к-рых питаются от вспомогательного трансформатора, дающего переменное напряжение той частоты, к-рую желательно получить от преобразователя. Минус постоянного тока соединен с катодами обоих тиратронов. Сеточный трансформатор питает сетки напряжениями, сдвинутыми по фазе на  $180^\circ$ . Пусть в некий момент времени путем подачи положительного потенциала на сетку первого тиратрона сообщена возможность пропустить через него ток. Последний, возникшая лавинообразно, индуцирует во второй половине обмотки трансформатора эдс, равную по величине (если пренебречь падением напряжения в дуге первого тиратрона) напряжению постоянного тока. Т. обр. второй тиратрон будет находиться под потенциалом, вдвое большим, нежели напряжение источника

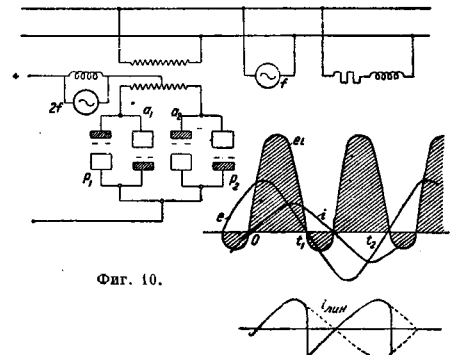


Фиг. 9.

постоянного тока. При подаче на сетку второго тиратрона положительного потенциала, а на сетку первого — отрицательного через второй тиратрон в начальный момент пойдет ток, вдвое больший тока первого тиратрона. Этот ток создаст такое падение напряжения на второй половине обмотки трансформатора, которое превзойдет по величине падение на первой половине, что в виду параллельного включения тиратронов приведет к прекращению тока через первый из них. По выравнивании потенциалов, приложенных к анодам, ток будет продолжать идти по второму тиратрону, т. е. первый окажется запертым отрицательным потенциалом сетки. Аналогично предыдущему в первой половине обмотки будет индуцироваться эдс, равная по величине напряжению источника постоянного тока. Совершенно очевидно, что результирующая эдс на всей обмотке трансформатора при прохождении тока по одному из тиратронов будет иметь один знак, а при прохождении по второму — противоположный, т. е. будет чисто переменной. Для наилучшего сохранения высокого потенциала параллельно обмотке трансформатора обычно приключается емкость. Вышеописанная схема преобразования приводится только для объяснения процесса преобразования; практически она почти не применяется, т. к. форма кривой переменного напряжения получается прямоугольной и мало пригодна для питания обычных потребителей. Кроме того такой преобразователь м. б. нагружен лишь на активное сопротивление, т. к. реактивного тока он пропустить не в состоянии. Действительно, при чисто реактивной нагрузке мощность, изменяясь с двойной частотой, должна была бы за полпериода быть один раз ввята от источника постоянного тока и один раз ему отдана, что преобразователем в виду неизменности направления в нем тока произведено быть не может. Для придания напряжению преобразователя синусоидальной формы и для покрытия реактивной мощности можно заставить преобразователь работать на один шины с синхронным генератором. Как показывает расчет, в этом случае даже при чисто активной нагрузке только для исправления формы кривой напряжения мощность генератора должна составлять 48% от мощности преобразователя. Кроме того на долю синхронной машины выпадает отдача

сети всей реактивной мощности, если нагрузка не чисто активна.

Для того чтобы дать возможность И. п. самому пропустить через себя реактивную мощность для отдачи ее источнику постоянного тока, обычно включается крестообразно по два тиратрона, как это указано на фиг. 10. Предположим, что вторичная обмотка трансформатора такого И. п. включена на нагрузку, требующую определенного сдвига по фазе, и форма вторичного напряжения каким-либо способом исправлена до правильной синусоиды. Рассмотрение процесса начнем с нулевого значения тока. При увеличении последнего вплоть до приобретения напряжением нулевого значения мощность будет отбираться от источника тока (осциллограмма фиг. 10). При этом сеточные потенциалы распределены так, что работает только тиратрон  $a_1$ , и ток идет по левой половине первичной обмотки трансформатора. В момент перехода напряжения через нуль положительный потенциал подается на сетку тиратрона  $P_2$ , а отрицательный на сетку  $a_1$ . Теперь ток пойдет через тиратрон  $P_2$  по правой половине первичной обмотки трансформатора, сохраняя свое направление по отношению к вторичной обмотке и изменив на противоположное по отношению к источнику тока. Это будет продолжаться до перехода тока через нулевое значение, когда нужно дать положительный потенциал на сетку тиратрона  $a_2$ , который и возьмет на себя нагрузку. В дальнейшем процесс будет продолжаться аналогично. Нижняя осциллограмма фиг. 10 дает форму кривой тока, идущего по цепи источника энергии. На фиг. 10 указано последовательное включение в цепь постоянного тока дросселя, на который работает син-

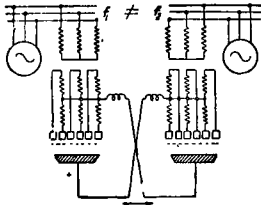


Фиг. 10.

хронный генератор, дающий напряжение двойной частоты. Такое включение при условии, что форма кривой напряжения вспомогательного генератора представляет собой выпрямленные синусоиды, гарантирует синусоидальность напряжения вторичной обмотки трансформатора. В этом случае мощность машины, дающей двойную частоту, равна лишь 19% от полезной мощности, переданной потребителю. При осуществлении И. п. энергии постоянного тока в энергию переменного тока путем вышеописанной схемы для большого числа фаз все вопросы разрешаются значительно проще, т. к. благодаря постоянству значений суммарной мощности отпадают большие колебания тока, отдаваемого источником.

4. Передача энергии постоянным током высокого напряжения. Возможность превращения постоянного тока в пере-

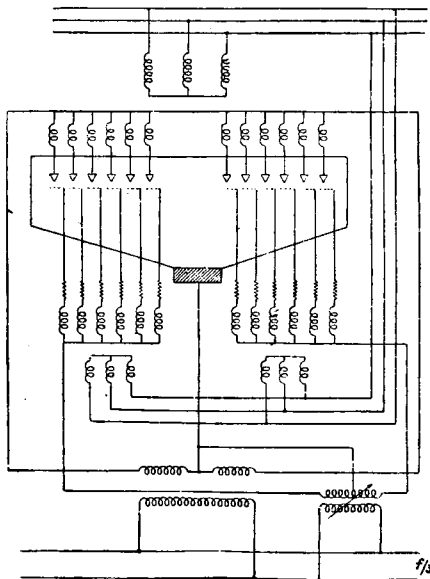
менный при помощи управляемого сетками И. п. открывает перспективы к передаче энергии постоянным током высокого напряжения. Простейшая схема, к-рая здесь м. б. применена, дана на ф.г. 11. Она состоит из выпрямительной установки на одном конце линии электропередачи и преобразовательной — на другом. Катод выпрямителя соединен с нулевой точкой трансформатора преобразователя. Для уничтожения высших гармоник в линию включены дроссельные катушки.



Фиг. 11.

Благодаря совершенной идентичности в выполнении передача энергии м. б. произведена в обе стороны. Частота переменного тока генераторной и приемной станции может и не совпадать. Для получения высоких напряжений, необходимых при передаче энергии, возможно каскадное включение тиратронов. С большим успехом здесь м. б. применены выпрямители Маркса (см. *Выпрямители*) с добавочным возбуждением дуги высокой частотой.

5. Преобразование частоты. Управляемый ионный прибор дает возможность превращения одной многофазной системы в другую, имеющую прежнее или новое число фаз,



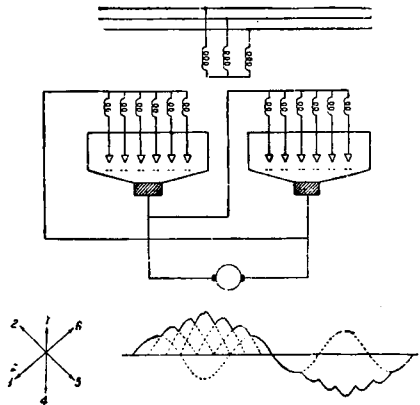
Фиг. 12.

с одновременным изменением частоты. Как пример такого преобразования может служить схема, сначала позволяющая выпрямить многофазный ток, а затем полученную энергию постоянного тока преобразовать в систему, имеющую любое число фаз и другую частоту, причем полученная частота м. б. как больше, так и меньше преобразуемой (фиг. 11). Здесь нет непосредственного преобразования частоты, а двойное превращение энергии. Промежуточным звеном между цепями различных частот служит выпрямитель. Из-за необходимости деионизации газового промежутка между электродами прибора после прекращения прохождения тока получаемая от преобразователя частота не может превышать 5 000 Hz. В частных случаях можно непосредственно путем применения только одного преобразователя произвести необходимое превращение. Так напр., схема фиг. 12 дает преобразование трехфазной системы с частотой  $f$  в однофазную с частотой  $f/3$ . Трехфазный трансформатор вторичной своей обмоткой включает двумя идентичными шести-фазными звездами, из к-рых каждая работает на группу по шести анодам преобразователя. Средние точки обеих звезд присоединены к концам обмотки однофазного трансформатора низкой частоты, средняя точка которого в свою очередь соединена с катодом преобразователя. Сетки каждой группы из шести анодов имеют двойное питание как со стороны высокой, так и низкой частоты. Фаза напряжения низкой частоты м. б. изменяема. Основной такт сеткам задает напряжение низкой частоты, которое, будучи включено последовательно с любой из фаз напряжения высокой частоты, в течение одного полуцикла низкой частоты заставляет поочередно работать аноды одной группы, а в течение другого — второй группы. В результате напряжение, имеющее место во вторичной обмотке однофазного трансформатора, имеет вид, близкий к трапеции, как это изображено на осциллограмме фиг. 13. Т. к.

завываемой (фиг. 11). Здесь нет непосредственного преобразования частоты, а двойное превращение энергии. Промежуточным звеном между цепями различных частот служит выпрямитель. Из-за необходимости деионизации газового промежутка между электродами прибора после прекращения прохождения тока получаемая от преобразователя частота не может превышать 5 000 Hz. В частных случаях можно непосредственно путем применения только одного преобразователя произвести необходимое превращение. Так напр., схема фиг. 12 дает преобразование трехфазной системы с частотой  $f$  в однофазную с частотой  $f/3$ . Трехфазный трансформатор вторичной своей обмоткой включает двумя идентичными шести-фазными звездами, из к-рых каждая работает на группу по шести анодам преобразователя. Средние точки обеих звезд присоединены к концам обмотки однофазного трансформатора низкой частоты, средняя точка которого в свою очередь соединена с катодом преобразователя. Сетки каждой группы из шести анодов имеют двойное питание как со стороны высокой, так и низкой частоты. Фаза напряжения низкой частоты м. б. изменяема. Основной такт сеткам задает напряжение низкой частоты, которое, будучи включено последовательно с любой из фаз напряжения высокой частоты, в течение одного полуцикла низкой частоты заставляет поочередно работать аноды одной группы, а в течение другого — второй группы. В результате напряжение, имеющее место во вторичной обмотке однофазного трансформатора, имеет вид, близкий к трапеции, как это изображено на осциллограмме фиг. 13. Т. к.



Фиг. 13.



Фиг. 14.

трапециальная форма кривой напряжения практически мало пригодна, то для исправления ее может быть применена схема фиг. 14. По существу она отличается от предыдущей схемы только тем, что вторичные шести-фазные звезды обмотки трансформатора на разных фазах имеют неодинаковое количество витков. Первая фаза развивает наименьшую эдс, вторая — несколько больше и т. д. Величина амплитуд напряжений последовательных фаз рассчитывается т. обр., что ее значения равны ординатам синусоиды низкой частоты. Вышеизложенное поясняет левая часть

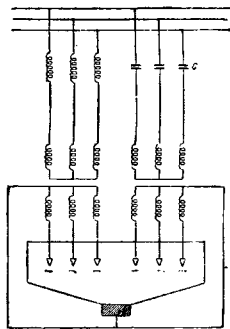
фиг. 14. Почти такого же результата можно достичь, применяя трансформатор с нормальной обмоткой, но включая в один из проводов, соединяющих катод любого выпрямителя с шиной цепи низкой частоты, добавочный однофазный трансформатор, питаемый трехфазной сетью. Этот метод равносильен смещению с нормального положения нулевой точки главного трансформатора, чем и достигается неравномерность фазных напряжений. Устройства, работающие по схемам 12 и 14, способны пропускать через себя реактивную мощность и обратимы, т. е. мощность можно передать из трехфазной сети в однофазную и наоборот. Следующий способ получения пониженных частот основан на возможности фиксировать путем подачи на сетки преобразователя положительных потенциалов начало возникновения тока. Так например, если взять двуханодный тиратрон, то коммутирующие сетки приспособление можно построить т. о., чтобы продолжительность протекания тока по аноду периодически менялась со временем, как это указано на фиг. 15. Применяя многофазность, нетрудно б. или м. заполнить имеющиеся на кривой фиг. 15 провалы и тем самым приблизить огибающую кривую к синусоиде низкой частоты.



Фиг. 15.

6. Бесколлекторный вентиляционный двигатель. Одним из частных применений управляемого сеткой И. п. является *вентильный двигатель* (см.).

7. Регулирование реактивной нагрузки в мощных электросетях. При помощи И. п. принципиально возможно регулировать реактивную нагрузку в электросетях. Одна из схем, служащих для этой цели, представлена на фиг. 16. Если нагрузка индуктивна, то для компенсации ее отпираются три правых анода И. п., чем обеспечивается прохождение через емкость *C* нужного по величине опережающего тока. Наоборот, при емкостной нагрузке включаются левые три анода и создается отстающий ток. Приведенная схема представляет больше теоретический интерес, так как требует при больших мощностях значительного количества дорого стоящих статических конденсаторов.



Фиг. 16.

8. Стробоскопия. Тиратрон с введенным внутрь баллона небольшим количеством светящегося инертного газа, например аргона или ртутных паров, создающих достаточно яркий свет, при прохождении через него тока может служить в качестве осветителя в стробоскопическом устройстве, позволяющем периодически движущиеся предметы видеть в неподвижном состоянии. Принципиальная схема стробоскопа с тиратроном дана на фиг. 17. Действие этой схемы заключается в следующем: конденсатор *C* заряжается от источника постоянного тока через сопротивление *R*. Как только напряжение на емкости достигнет значения, равного зажигаемому

потенциалу тиратрона, произойдет разряд конденсатора через тиратрон, после чего процесс начнется сначала. В схеме будут иметь место т. н. *релаксационные колебания* (см.) с периодом

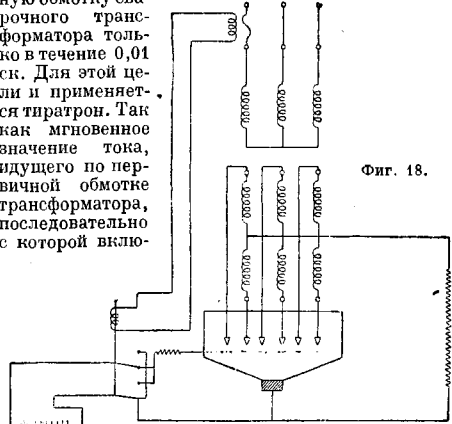
$$T = RC \lg \frac{E - U_0}{E - U_1} + RC \lg \frac{U_1}{U_0},$$

где  $U_1$  — потенциал зажигания,  $U_0$  — потенциал потушения тиратрона,  $R'$  — эквивалентное сопротивление тиратрона и  $E$  — напряжение источника тока. Подавая на сетку тиратрона импульсы напряжения с частотой, соответствующей периодичности движения предмета, и подбирая  $T$  путем изменения  $R$  и  $C$ , можно получить пики тока, проходящего по тиратрону, синхронные с движением предмета, вследствие чего последний, будучи освещен этими импульсами, станет казаться неподвижным.



Фиг. 17.

9. Пунктирная электросварка. Во многих случаях при сварке нормальными точечными аппаратами тонких материалов получается пережоги. В местах сварки материал выгорает. Объясняется это невозможностью механически создать мгновенный импульс тока. Достаточный для получения надежного шва. Часто бывает необходимо пропустить ток через первичную обмотку сварочного трансформатора только в течение 0,01 сек. Для этой цели и применяется тиратрон. Так как мгновенное значение тока, идущего по первичной обмотке трансформатора, последовательно с которой вклю-

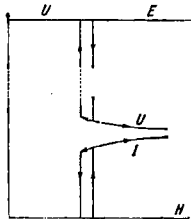


Фиг. 18.

чается тиратрон, для получения нужного по величине импульса во вторичной обмотке д. б. весьма велико, то здесь лучше всего применить тиратрон с жидким ртутным катодом, как прибор с неограниченной эмиссией.

10. Выключение больших мощностей. При работе И. п. в качестве выпрямителя весьма просто разрешается вопрос защиты трансформатора от перегрузок, являющихся следствием как обратных зажигания в самом преобразователе, так и коротких замыканий в цепи выпрямленного тока. Для этого применяется схема, данная на фиг. 18. При нормальной работе переключатель управляющей батареи, сцепленный механически с якорем электромагнита, находится в положении, при котором положительный потенциал подается на сетку, а отрицательный на катод. Как только ток первичной обмотки возрастет до аварийного значения, электромагнит, питаемый вторичной обмоткой транс-

форматора тока, подтянет свой сердечник, чем переключит полюсы батареи и запрет выпрямитель. Два И. п., включенные накрест друг с другом в каждую фазу цепи переменного тока, совершенно аналогично могут прекратить токопрохождение, причем выключение происходит, как известно, при нулевом значении тока, что обеспечивает наименьшие перенапряжения. По экспериментальным данным время, потребное для выключения, исчисляется сотнями долями секунды.

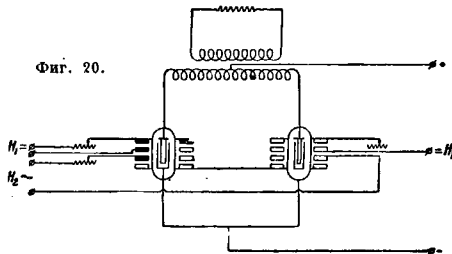


Фиг. 19.

Управляемый И. п. с магнитным контролем—вакуумный прибор с двумя

концентрично расположенными цилиндрич. холодными электродами, работающий при таком давлении газа, когда расстояние между электродами меньше, чем средняя длина свободного пути электронов в газе. В этом случае без внешнего воздействия электроны не имеют возможности расщеплять нейтральные молекулы газа, вследствие чего тока между электродами не существует даже при приложении к электродам весьма высоких напряжений. Под влиянием внешнего магнитного поля траектория движения электрона из прямой становится кривой, направленной вдоль силовых линий электрич. поля, превращается в криволинейную, более длинную, благодаря чему наступает возможность ионизации газового промежутка, и ток мгновенно достигает величины, обусловленной при данном напряжении внешним сопротивлением цепи. При снятии магнитного поля траектория электронов вновь получается прямой, и ток прекращается. Источником электронов и ионов является сама газовая среда. Т. о. в отличие от тиратрона И. п. с магнитным контролем имеет возможность прервать ток в любой момент времени, т. е. обладает качеством, весьма ценным с точки зрения преобразования постоянного тока в переменный. Однако благодаря тому, что на деионизацию газового промежутка требуется время порядка 100—500 микросекунд, частота получаемого переменного тока не м. б. очень велика (не более 10 000 Hz). Основная характеристика И. п., дающая функци-

ональную зависимость между током прибора и падением напряжения в нем, с одной стороны, и напряженностью магнитного поля, с другой, показана на фиг. 19. Существенным недостатком прибора является необходимость в поддержании давления газа постоянным при различных нагрузках, так как увеличение давления влечет за собой уменьшение длины свободного пути электронов, а следовательно и потерю управления прибором. Это обстоятельство заставляет усложнять установку специальными устройствами, гарантирующими автоматич. поддержание постоянного давления. И. п. с магнитным контролем работает под насосом. Он м. б. применен почти для всех преобразований электро. энергии, к-рые м. б. произведены тиратронами. Как пример на фиг. 20 дана схема преобразования постоянного тока в переменный. Магнитный контроль здесь производится постоянным магнитным полем  $H_1$ , с наложением на него



Фиг. 20.

переменного поля  $H_2$ , причем последнее в одном из И. п. сдвинуто на  $180^\circ$  по отношению к другому, почему в любой момент времени один из И. п. находится под действием суммы постоянного и переменного полей и проводит ток, а второй—под действием их разности и тока не пропускает.

Лит.: Губанов М., Работа и регулирование скорости вентиляционного двигателя, «Электричество», 1933, 12; Четверикова М., Управляемая электрическим полем сетка в ртутном преобразователе, там же, 1933, 12; Круг К., Новые пути преобразования электрической энергии, там же, 1933, 15 и 16; Ситников М., Ионные управляемые приборы, там же, 1934, 4; Schenkel M., Technische Grundlagen u. Anwendungen gesteuerter Gleichrichter u. Umrichter, «ETZ», 1932, 32; Hull A., Characteristics a. Functions of Thyratrons, «Physics», 1933, v. 4, 2. М. Опшанин.

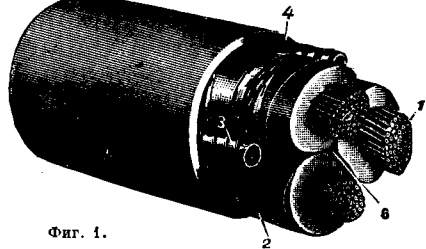


**КАБЕЛЬ**, частный случай электр. проводника, служащего для передачи на расстояние электр. энергии (для электрического освещения, распределения энергии телефонии, телеграфии, электр. сигнализации). Предварительные сведения о К. см. *Кабель* (ТЭ, т. IX). Ниже даются дополнения о новейших К.

**Кабель высоковольтный.** Развитие высоковольтного кабеля за последние годы шло по линии разработки новых конструкций на экстремально высокие напряжения, по линии удешевления К. и по линии приспособления К. к специальным задачам. Кроме того усиленно разрабатывалась задача качественного улучшения кабельной изоляции, а именно: пропиточной массы, кабельной бумаги, а также улучшения компаундов для пропитки внешних защитных покровов. В области К. на экстремально высокие напряжения усиленно развивался маслосодержащий К. (м. н. к.); в 1932 г. в Италии (Cislago) работает изготовленная 3-дом Пирелли опытная линия такого К. на напряжение 220 кВ—первая в мире кабельная линия на такое напряжение [22]. Линия выполнена тремя одножильными К., сечением каждый 130 мм<sup>2</sup> при толщине изоляции 24 мм и диам. под свинцовой оболочкой 66,3 мм. Возможность изготовления таких К. проверена и америк. з-дами, промышленных же установок не имеется из-за отсутствия в данный момент потребности в кабелях на 220 кВ. Наиболее яркое развитие м. н. к. получили в США и Германии. Кабельные сети на 132 кВ, проложенные в Нью Йорке и Чикаго в 1927 г., были значительно расширены в 1931 г., причем в конце этого года в США было проложено ок. 100 миль м. н. к. [14, 16, 19, 23]. Новый 132-кВ К. для Чикаго при таком же диам., как и старый, имел сечение меди, увеличенное на 75% при соответствующем уменьшении толщины изоляции, причем общая стоимость линии К. была ниже на 20% по сравнению со старой линией, гл. обр. за счет выводных устройств, муфт и т. п. Одновременно в Чикаго проложен опытный 132-кВ м. н. к. с толщиной изоляции 10,3 мм, т. е. такой толщиной, к-рая обычна в США для 35-кВ кабелей, пропитанных вязким компаундом. Этот К. работает при 1° жилы, равной 70°, причем измерения показали, что его электр. характеристики с течением времени не только не ухудшаются, но даже улучшаются. Главнейшие улучшения, которые были введены в технику америк. м. н. к. последнего времени, заключаются в том, что: 1) введены так наз. полустопорные муфты, позволяющие устранить повторную пропитку К. по-

сле прокладки и доставлять на место прокладки К. вместе с маслом, т. е. монтаж К. стал возможным без предварительного выпуска масла из К.; 2) введено особо жидкое масло для пропитки, не замерзающее при -40°, что позволило сократить размеры внутреннего канала К.; 3) двойная свинцовая оболочка старого К. заменена ординарной, но легированной оловом свинцовой оболочкой.

В настоящее время в США имеются установки и подводных м. н. к.; из этих установок особенно интересна продолженная в 1932 г. установка К. через реку Колумбия на напряжение 115 кВ [14] с наибольшей длиной куска в 3460 фт. Этот К. имел сечение ок. 375 мм<sup>2</sup>, толщину изоляции 14,7 мм, диам. поверх свинцовой оболочки 71,5 мм, диам. поверх брони из медных проволок 6 мм и защитных оболочек 96,5 мм при весе 20 англ. фн. на 1 фт. длины. Америк. опыт показал технич. и экономич. целесообразность распространения принципа м. н. к. и на более низкие напряжения, и в настоящее время в Америке имеется ряд выполненных установок на напряжение от 30 кВ и выше. На низкие напряжения м. н. к. выполняется трехжильным, сечение такого К. фирмы G. E. показано на фиг. 1. Этот К. имеет



Фиг. 1.

жилы 1 полусекторной формы с толщиной изоляции для напряжения 35 кВ в 5,7 мм, поверх этой изоляции идет тонкая перфорированная медная лента 2, служащая электр. экраном. В промежутках между тремя скрученными вместе жилами находятся три спирально навитые металлич. трубки 3, используемые фирмой обычно в качестве защитных металлич. трубок поверх гибких резиновых проводов марки ВХ. В м. н. к. эти трубки служат каналами для масла. Все три жилы и трубки после скрутки обматываются для скрепления тонкой железной лентой 4, поверх к-рой накладывается свинцовая

оболочка 5, ординарная или двойная в зависимости от давления, на к-рое рассчитывается К. (6—канал, используемый для протока масла).

Первый немецкий м. н. к. на напряжение 100 кВ был изготовлен и проложен фирмой Siemens-Schuckert в 1928 г. для электростанции Franken A.-G. в Нюрнберге длиной ок. 9,6 км [14]. Кабель имел толщину изоляции 18,5 мм, сечение 185 мм<sup>2</sup> и внешний диам. 81 мм. Хороший опыт эксплуатации этого К. вызвал повторную прокладку второго К., пущенного в эксплуатацию в 1932 г. [14]. Этот К. имел сечение 120 мм<sup>2</sup> и толщину изоляции только 16 мм при внешнем диам. в 76 мм. Той же фирмой был изготовлен ряд других интересных установок м. н. к., наковы: одножильный К. на 66 кВ для Буэнос-Айреса с сечением 130 мм<sup>2</sup>, толщину изоляции 8,5 мм и длиной 54 км; подводный м. н. к. на 50 кВ через Цюрихское озеро длиной 1 140 м, выполненный трехжильный с толщиной изоляции 7 мм при сечении 150 мм<sup>2</sup> и внешнем диам. 91 мм и др. Германские К., которые изготавливаются также и другими фирмами [13], имеют ряд интересных технич. особенностей, например применение внутри расширительных резервуаров вместо воздуха гелия, имеющего минимальную растворимость в масле; замораживание концов К. для монтажа во время установок и т. п. Фирмой Siemens-Schuckert сделан также опытный образец трехжильного м. н. к. для напряжения 132 кВ при сечении 120 мм<sup>2</sup>, толщине изоляции 14 мм и внешнем диам. в 135 мм. В СССР м. н. к. начал строить завод «Севкабель». В 1931 г. им были закончены опытные образцы 120-кВ К., а затем были изготовлены 12 концов такого К. для Ижорской линии, которая в настоящее время пущена в эксплуатацию. К. имел сечение 300 мм<sup>2</sup>, толщину изоляции 15,7 мм.

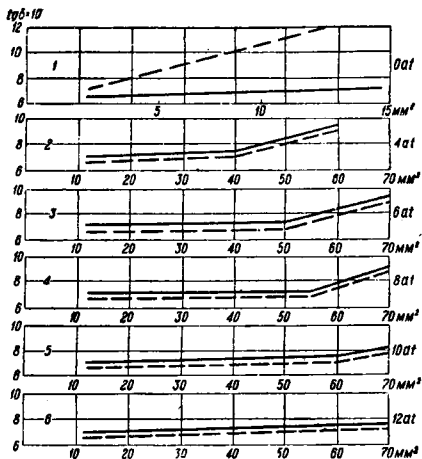
В 1932 г. был выставлен конкурент м. н. к., получивший название «К. под давлением». Разработка конструкции этого К. велась одновременно в Германии и Англии. Идея его основана на доказанном Л. Етауди факте, что при увеличении давления на диэлектрик сильно увеличивается его диэлектрич. прочность при длительном приложении напряжения. Схема устройства подобного К. дана на фиг. 2. Нормально изготовленный высоковольтный К. (на фиг. 2—ниже описываемого типа SO) помещается в



Фиг. 2.

стальную трубу, в к-ую нагнетается газ при высоком давлении (ок. 12—15 atm). При разработке арматуры использован опыт устройства газопроводов высокого давления. Кривые устойчивости (фиг. 3) и кривые жизни (фиг. 4) этого К. показывают, что рабочее напряжение К. под давлением м. б. повышено примерно вдвое. На фиг. 3 изображена по М. Нохstädter [20] зависимость  $tg \delta$  от напряжения на К.-SO кабеля на 25 кВ и  $3 \times 95 \text{ мм}^2$  при 7-мм изоляции для диапазона давлений 0—12 atm до и после нагрева до 70° и при токе нагрузки в 300 А. Эти кривые наглядно показывают увеличение устойчивости К. при повышении давления. Кривые сминались для давлений, возраставших от 0 до 12 atm, причем сплошные линии относятся к данному до нагрева К., а пунктирные—после нагрева с перегревом на 50°. Фиг. 4 показывает [20], что кривые жизни подобного же К. в случае отсутствия давления приближаются к асимп-

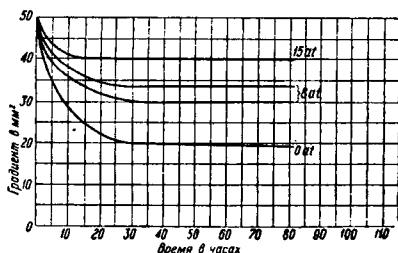
тоте при градиенте ок. 18 мм<sup>2</sup>, а при давлении в 15 atm—ок. 40 мм<sup>2</sup>, т. е. диэлектрич. прочность К. при длительном приложении напряжения увеличивается более чем вдвое. Лучшее описа-



Фиг. 3.

ние этого К. дано М. Хохштедтером, В. Фогелем и Е. Бовденом [20]. Промышленная установка такого К. имеется в Англии.

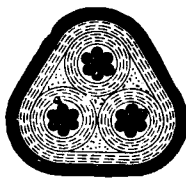
В Англии Хэнтером [38] была сделана попытка с целью создания высоковольтного газом наполненного кабеля. Автор исходил из того



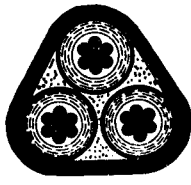
Фиг. 4.

соображения, что газовые пространства в К. неизбежны, но м. б. обезврежены путем высокого давления. Хэнтер употреблял для изоляции такого К. бумагу, пропитанную предварительно очень вязким компаундом; ленты этой бумаги и матывались на жилу К. с промежутками, т. е. между оборотами бумаги получались пустые пространства, в которые вдоль проводящей жилы К. под давлением в 12—15 atm накапливался нейтральный газ. Испытания такого К. показывали очень хорошие результаты: К. выдерживали градиенты в 120 и 140 кВ/см<sup>2</sup> в течение 1 000 ч. на пробивались через несколько часов только при градиенте 160 кВ/см<sup>2</sup>. 3-дом «Севкабель» образцы газом наполненного К. делались с изоляцией из непропитанной бумаги, причем оказалась возможность делать такие К. даже до 120 кВ рабочего напряжения, однако теплопроводность изоляции является здесь лимитирующим обстоятельством.

К новым типам К., преследующим цель удешевления конструкции, относится SO-кабель, T-SO-кабель, призма-кабель, К. со сплошной проводящей жилой и К. без металлической оболочки. Сечение первого К. дано на фиг. 5а и б. Своё название К. получил по начальным буквам фамилии изобретателя (Sonnenfeld) [87, 88]. Принцип конструкции этого К. заключается в том, что он делается не круглым, а со скосенными углами, напоминающим в сечении треугольник; это делается с целью экономии на изоляции и свинцовой оболочке. Такой принцип может быть применен как к К. с сплошной изоляцией (фиг. 5а), так и к К. с металлизированными жилами (фиг. 5б). Исследования показывают, что электрическая прочность SO-кабеля по сравне-



Фиг. 5а.



Фиг. 5б.

нию с круглыми К. не изменяется, допустимая нагрузка даже на 3—5% увеличивается, вес же уменьшается на небронированного К. на 9—15%, а у бронированного на 8—13% по сравнению с круглыми К. для напряжений 15—60 кВ. В применении к К. с отдельно освинцованными жилами этот принцип дает К., получивший в Германии название призма-кабель К. типа T-SO, автором которого является Tschisey [28], представляет собой применение принципа SO к нормальным секторным К. при небольшом изменении формы сектора. По теоретич. подсчетам этот К. дает для напряжения в 30 кВ экономию на свинце ок. 3% по сравнению с обычным секторным К. и 4,5% по сравнению с SO-кабелем. Weiset предложил видоизмененную конструкцию К. с металлизированными жилами, а именно: вместо скрученной из нескольких проволок проводящей жилы, он предложил жилу из одной проволоки до 95 мм<sup>2</sup> включительно [21]. Образцы такого К., сделанные на заде Фогель в Берлине, показали, что хотя он и обладает несколько меньшей гибкостью, чем К. с отдельно освинцованными многопроволочными жилами, но имеет большую гибкость, чем К. с сплошной изоляцией с многопроволочными жилами для одного и того же сечения и напряжения. Такая конструкция для К. на 30 кВ при сечении 3×95 мм дает снижение диаметра К. на 5,5% с соответствующей экономией на изолирующих и защитных материалах. Широкого распространения однако эта конструкция не получила (вероятно из-за больших производственных ватруднений при изготовлении). К. без металлической оболочки получил в последнее время большое распространение в США. Проводящие жилы этого К. изолированы коронистой резиной, что дает возможность применять этот К. для напряжения до 7 500 В при достаточных диэлектрич. прочностях, влагостойкости, сроке службы и гибкости. Поверх резиновой изоляции жилы наложена двойная прорезиненная лента. В промежутках между жилами проложена изготовленная на асбестовой основе и пропитанная специальным компаундом прокладка, непроницаемая для влаги

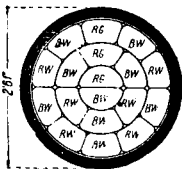
и устойчивая против почвенных кислот и щелочей. Пропитывающий компаунд практически химически инертен, не трескается и остается в пластичном состоянии даже при морозе. Поверх подготовленного таким образом К. идет оплетка из асбеста, пропитанного вышеописанным компаундом; эта оплетка заменяет свинцовую оболочку. Вместо железной брони К. имеет обмотку из хорошо пропитанных прочных лент из волокнистого материала. Сверх этих лент К. имеет слой пропитанного обычным способом джута. К достоинствам этого К. американцы относят: легкий вес, дешевизну, простоту обращения, легкость соединений, гибкость, невозможность электролиза, отсутствие в оболочках индуктированных токов, исключение возможности кристаллизации свинцовой оболочки и т. п.

В области К., приспособляемых к специальным задачам, следует упомянуть о кабеле Бивера (Beaver) для шахт, К. для полных выгораний (для низковольтных сетей) и К. с жилой для измерения I<sup>2</sup>. Кабель Бивера представляет собой решение задачи вертикальной прокладки в шахтах Юж. Африки К. на 20 кВ, причем длина линии в вертикальном направлении была 4 739 фт. и в горизонтальном 1 600 фт. [26]. В мировой практике для вертикально проложенных К. принимают обычно следующие меры: 1) редко идут с напряжением выше 3 000 В; 2) применяют пропиточную массу с увеличенным содержанием канифоли (обычно 60%); 3) изготовляют К. с искусственно осушенной изоляцией; 4) берут К. на более высокое рабочее напряжение, чем эксплуатационное. Кабель Бивера исполнен по типу К. с сплошной изоляцией. Особенностью его является специальный тип изоляции, применяемый только на англ. кабельном заводе Гловера и заключающийся в том, что проводящие жилы обматываются бумажными лентами, предварительно пропитанными очень тугоплавкой массой, причем обмотка идет на специальных станках при жиле, погруженной в пропиточную массу. На свойства этого К. указывают следующие характерные результаты испытаний: образцы К. длиной 2 ярда, подвешенные вертикально и нагретые током, по каждой жиле в 200 А (сечение 0,15 дм<sup>2</sup>), в течение 7 дней при поддержке I<sup>2</sup> жилы в 100° F не обнаружили никакого вытекания массы из К. Помимо этого К. выдержал все суровые испытания, предъявляемые к высоковольтным К. Для К., предназначенных для полного выгорания в случае пробоя (что представляет ряд неудобств в сложных низковольтных сетях), был предложен ряд конструкций как в Германии [87], так и в США [88]. В США для этой цели в последнее время распространяется К. с изоляцией «Rockbestos», очевидно на основе асбеста, показавший очень хорошие эксплуатационные данные. К. с жилой для измерения I<sup>2</sup> представляет собой обычные К., но с одной или несколькими изолированными проволоками внутри проводящей жилы, служащими для измерения I<sup>2</sup> жилы [89]. Подобные установки дают возможность лучше использовать К. в отношении нагрузки. Следует также отметить попытки создания К., допускающих более высокие I<sup>2</sup> при коротких замыканиях, чем обычные К., для чего первый слой изоляции по жиле К. делается из особо теплостойкого материала, например асбеста. Таков К., предложенный С. С. Городищим из ВЭИ, аналогичные К. были сделаны и в Америке.

В области технологии высоковольтного К. необходимо отметить дальнейшую работу по

улучшению кабельной изоляции. Насколько велики в этой области успехи, показывает тот факт, что в современных 13-kV американских К. кривая зависимости  $\lg \delta$  от  $t^\circ$  идет даже ниже такой же кривой для 132-kV м. н. к., что дает возможность значительно повысить рабочую  $t^\circ$  первых К. В общем следует отметить тенденцию к переходу на пропитку очень вязкими маслами типа брейстоков, без применения канифоли или с очень малым добавлением ее. Кроме того получает распространение общее введение контактной очистки изолирующих масел. Получило также значительное улучшение и качество кабельной бумаги, в частности в Англии механич. свойства кабельной бумаги настолько улучшились, что представилась возможность замены ею латунных лент, применяемых только для механической прочности между двумя свинцовыми оболочками м. н. к. В области освидетствования следует отметить появление т. н. прямогоного свинцового пресса [40], исключающего возможность образования продольных швов в кабельных оболочках. В области изготовления защитных оболочек заметна тенденция к отказу от пропитки джута газовой смолой и замене ее гудронами в виду наблюдаемого вредного влияния смолы на свинец.

**Кабель связи.** Наиболее значительное усовершенствование за последнее время получили телефонный К. для городских сетей, в особенности в области технологии производства. В отношении новых конструкций городских телефонных К. необходимо отметить введение новых К., имеющих диам. жилы 0,4 мм. Эти К. сначала были введены в Англии и США [32, 33], а затем перешли в СССР и приняты как стандартные. Схема сечения 1818-парного англ. К. с жилами диам. 0,4 мм дана на фиг. 6. К. скручивается из отдельных заготовок в 50 или 101 пару, обозначенных на фиг. 6 буквами *RG, RW, BW*; эти обозначения связаны с особенностями расцветки изоляции жил К. Каждая такая заготовка скручивается отдельно, причем вся скрутка идет в одну сторону. Скрутка заготовок в общий К. также делается в одну сторону. Такая система скрутки сильно облегчает монтаж К., кроме того она позволяет применять очень производи-

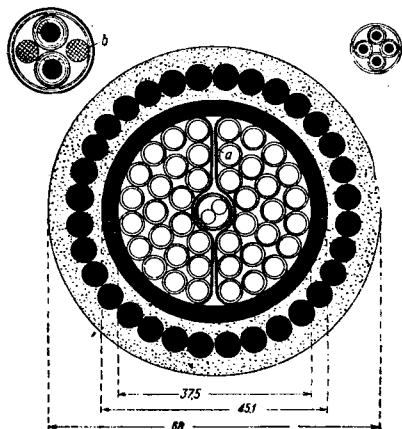


Фиг. 6.

тельные станки для скрутки как пар в заготовку, так и заготовок в К. Введение всех этих особенностей позволило значительно увеличить число пар в К.; напр. в Англии для Бухареста был изготовлен 2424-парный К., скрученный из 24 стопарных заготовок с жилами диам. 0,4 мм; он имел наружный диам. 80 мм при толщине свинцовой оболочки в 3,3 мм. Нужно сказать, что обычно свыше 85 мм наружный диаметр голого телефонного К. для прокладки в канализации не допускается. Подобные же К. делаются и в США фирмой WEC (Western Electric Co.); отличие их заключается гл. обр. в том, что америк. К. имеют изоляцию не из бумаги, а из пористого слоя бумажной массы. Стремление к увеличению числа разговорных пар в К., объясняемое бурным развитием городских телефонных сетей, свойственно и другим странам. Так, опыты в Германии показали возможность при диам. 85 мм вместить в К. 1416 пар с жилами диам. 0,6 мм при двухслойной изоляции, или 2100 пар таких же жил при однослойной изо-

ляции, или 850—900 пар с жилами диам. 0,8 мм при двухслойной изоляции [41]. В последнее время имели место усиленные искания в области замены присадки 3% олова в свинцовых оболочках телефонных К. другими менее ценными металлами. Присадку олова в свинцовую оболочку ввела в 1894 г. америк. фирма WEC, к-рая в 1913 г. заменила олово присадкой 1% сурьмы, эту практику она продолжает и до настоящего времени. Однако WEC в 1930 г. выдвинула и усиленно рекламировала новый сплав свинца с присадкой 0,04% кальция. Около 1929 г. з-ды СССР почти полностью перешли на сплав свинец—сурьма, попытки же перейти на сплав свинец—кальций показали не совсем благоприятные результаты, вероятно из-за необходимости для такого перехода иметь свинец очень высокой чистоты.

В области междугородных телефонных К. можно отметить развитие использования частотных каналов (2 или 4 в нем. практике), позволяющее по одной и той же разговорной цепи вести одновременно несколько переговоров. В Германии для этой цели применяется вновь введенная особо легкая система *пупилизации* (см.), дающая возможность, с одной стороны, получить достаточно большую скорость пробега волны тока, чтобы обеспечить максимальную дальность переговоров, а с другой стороны, обеспечивающая достаточно высокую предельную частоту для пропуска нескольких каналов частот [34]. Другим нововведением является употребление размотанного пермаллоя для изготовления сердечника пупиновых катушек, что позволило значительно сократить их размеры и одновременно понизить стоимость и улучшить качество [11]. Сильное развитие получила также техника подводного телефонного К. для морских прокладок. Благодаря успехам в области включения пупиновых катушек в подводный телефонный К. во время фабрикации совершенно отказались от применения для подводных прокладок крауповских телефонных К. и остановились на применении для них бумажной изоляции вместо обычной прежде гуттаперчи. На фиг. 7 изоб-



Фиг. 7.

ражено сечение нового подводного кабеля между Германией и Швецией. Он имеет 42 четверки звездой и одну пару для радиопередач,

причем разговорные жилы имеют диаметр 1,2 мм, а для радио 1,75 мм. С правой стороны фиг. 7 изображено сечение разговорной четверки звезд, с левой — пары для радио, последние скручены с двумя прокладками *b*. Характерной особенностью этого К. является введение экрана *a*, сделанного из металлизированной бумаги. По одну сторону этого экрана расположены «говорилки», а по другую сторону «слушающие» пары. Такое расположение преследует цель увеличить затухание подслушивания, что особенно существенно для подводных телефонных К.

В области технологии производства телефонного К. замечательные нововведения были сделаны в США фирмой WEC, они были описаны в ряде сообщений о новых способах производства и о новом эле телефонных К. в Балтиморе в США (1929, 30, 31, 32 и др.). Наиболее эффективное нововведение заключается в изобретении способа наложения целлюлозы непосредственно на медную жилку, что ввело на кабельный заводе основную элементную бумажного производства. В соответствующей установке фирмы WEC медные проволоки диам. 0,4—0,6 мм в количестве 50 штук проходят через сетку кругосчетной бумажной машины, переходят с нависшими на них волокнами целлюлозы на сушильные сунки, затем на особые полировочные аппараты, дающие изолированную проволоку круглый вид, после чего попадают в электрич. сушильную печь, где благодаря быстрой сушке изоляция становится пористой, и наконец наматываются на приемный барабан. Нормальная скорость этой машины у WEC равна около 110 фт/м. Другой важной особенностью производства телефонных К. у фирмы WEC является централизованное снабжение 17 свинцовых прессов расплавленным свинцом по трубам из общих плавильных котлов. Совершенно новые конструкции имеют также станки как для скрутки заготовок, так и для общей скрутки К. из заготовок, что обеспечивает громадную производительность этого оборудования. Кабельные заводы фирмы WEC в данное время являются наиболее передовыми во всем мире благодаря большому ряду смелых и очень удачных нововведений (новая технология производства телефонных К., непрерывная вулканизация при изготовлении проводов с резиновой изоляцией, установки для лакировки телефонных проводов и др.).

Лит.: 1) Горшков П., Высоковольтные кабели, Л., 1931; 2) Пороховый П. Кабели высокого напряжения и мидты, Л., 1931; 3) Лебедев В. В. Телефонные кабели, М., 1932; 4) Шенфельд В. К. Изобретения в области кабелей, М. Л., 1932; 5) E m a n u e l L., High Voltage Cables, L., 1929; 6) D u n s h e a t h P., High Voltage Cables, L., 1929; 7) H e i n z e l m a n n H., Die elektrischen Kabel, B., 1930; 8) K a r p, Electrical Transmission a. Distribution, v. 2—Power Cables, L., 1929; 9) D r ö s t e H., Das Neumeyer Hilfsbuch für Kabel- und Leitungen, Nürnberg, 1929; 10) E n g e l s m a n n M., Fernkabeltelephonie, Leipzig, 1927; 11) M ü l l e r H., Die Herstellung papierisoliierter Starkstromkabel, B., 1931; 12) Underground Systems Reference Book, N. Y., 1931; 13) M ü l l e r H., «Elektrizitätswirtschaft», 1932, 23; 14) P e a r s o n F. a. S h a u k l i n G., «El. Eng.», 1932, v. 51, 10, p. 685; 15) C o n i n x, «Elektrizitätswirtschaft», 1929, Juli; 16) S c h r ö t k e E., «El. Eng.», 1933, v. 52, 10, p. 712; 17) K i t t e r, «Elektrizitätswirtschaft», 1932, p. 8; 18) N u e z e l E., «El. Worlds», 1930, v. 96, 24, p. 1088; 19) K o p e r D. a. S h a u k l i n G., «El. Eng.», 1931, v. 50, 11, p. 874; 20) H ö c h s t ä d t e r M., V o g e l W., B o w d e n E., «EPZ», 1932; 21) «Mitt. der C. J. Vogels»; 22) R i c h t h., «The Electrician», 1933, v. 111, p. 288; 23) S i m o n s D., «El. Eng.», 1932, v. 51, p. 83; 24) B e a v e r C., «El. Review», 1930, p. 1907; 25) S c h i e s e L., «EPZ», 1933, H. 29, p. 696; 26) E l s d o n W. a. D e n e d y, «El. Review», 1929, p. 598; 27) W e i s s E., «E. u. M.», 1929, H. 32, p. 673; 28) K o n s t a n t i n o w s k y K., ibid., 1923, H. 36, p. 778; 29) H a n l e y J., «Mech. Eng.», 1931, v. 53, 3, p. 185; 30) J o h n R. S h e a, ibid., 1931,

v. 53, 4, p. 277; 31) J o h n R. S h e a, «Bell. System Technical Journal», 1931, July; 32) A l l e n N., «El. Review», 1931, 2777, p. 275; 33) A l l e n N., «The Electrician», 1931, 2759, p. 653; 34) D o h m e n K., u. M a d e r H., «EPZ», 1934, H. 34, p. 4; 35) «Paper Trade Journals», 1933, February; 36) H u n t e r J., «Journ. of the Electr. Eng.», 1934, 1; 37) F r e i b e r g e r H., «Elektrizitätswirtschaft», 1930, 609, p. 282; 38) A n d e r s e n H. a. C h e n e y M., «El. Eng.», 1933, v. 52, 10, p. 682; 39) R o t t s i e p e r K., «AEG-Mitt.», 1931, H. 3, 152; 40) «Engineering», 1931, 1, 1; 41) K a y e J., «El. World», 1930, v. 10, 194; 42) F i s c h e r E., Siemens-Jahrbuch, 1930, p. 107—111.

**КАМЕННЫЙ УГОЛЬ.** За последние годы изучение ископаемых углей (см.) сильно подвинулось вперед. С одной стороны, много нового внесено в проблему образования углей и вообще их химизма, с другой, геологич. исследования и разведочные работы последних лет на территории СССР дополнительно осветили уже известные раньше месторождения и открыли новые обширные угленосные бассейны в нашей стране. По вопросу происхождения углей, где значительную роль сыграли и работы советских ученых (проф. Стадников, проф. Орлов и др.), до сих пор, правда, нет единого мнения относительно того, что из основных составных частей растительных остатков послужило исходным материалом при образовании гумусовых углей — целлюлоза или лигнин. При этом выяснилось, что погребенные растительные остатки прежде всего проходили стадию торфа, затем стадию бурого угля, каменного угля и антрацита. Результат и скорость прохождение зависели как от свойств исходного растительного материала, так и от условий, в которых он подвергался превращению. Поэтому мы встречаем иногда бурые угли в древних геологических системах, тогда как в молодых системах часто находим угли каменноугольной стадии.

Запасы ископаемых углей в результате произведенных геологич. исследований и разведок увеличались в СССР за последние годы более чем вдвое: с 553 617 млн. т в 1928 г. до 1 180 000 млн. т. Запасы углей Европ. части СССР определяются на 1/1934 г. в 142 570 млн. т (вместо 78 696 млн. т); по Азиатской части 1 037 430 млн. т (вместо 474 921 млн. т). В связи с этим увеличиваются и мировые запасы до 8 342 087 млн. т (вместо 7 714 407 млн. т), а доля СССР в мировых запасах достигает около 15% (вместо 7,2%). Т. о. даже без учета тонких пластов угля, принимаемых во внимание в других странах, СССР стал по запасам ископаемых углей на второе место рядом с Канадой и решительно перегнал Китай. На 1/1934 г. запасы ископаемых углей в СССР по данным Главного геолого-гидро-геодезического управления Наркомтяжпрома выражались суммарными цифрами, приведенными в табл. 1.

В настоящее время площадь Подмосквового бассейна исчисляется примерно в 120 000 км<sup>2</sup>; запасы же его по более детальным разведкам определяются около 5 930 млн. т; их следует отнести гл. образом к гумусовым углям. Более тщательные исследования показали, что сапропелевыми их разностями можно считать здесь лишь богемы, имеющие сравнительно незначительное распространение. С другой стороны, к месторождениям сапропелитовых, вернее сапромикситовых, углей необходимо отнести угли Бараасского района, расположенного на с.-в. окраине Кузнецкого бассейна. Они залегают в отложениях девонской системы в верхнем ее отделе. Химич. анализа их показали содержание до 30% первичной смолы. После небольших разведок этого месторождения была

Табл. 1. — Запасы ископаемых углей на 1/V 1934 г. (в млн. т).

Районы	Запасы *1 А и Б	Общие запасы
<b>Северный край</b>		
Печорская угленосная площадь	—	60 000 *2
Московская область		
Подмосковный бассейн . . . . .	1 100	5 930 *3
<b>Уральская область</b>		
Кизеловский бассейн . . . . .	228	2 700
Челябинский бассейн . . . . .	150	1 750
Прочие районы . . . . .	80	540
<b>Всего по Уралу . . . . .</b>	<b>456</b>	<b>4 990 *4</b>
<b>Украина</b>		
Бурые угли . . . . .	182	350
Донбасс в целом . . . . .	2 250	71 000
<b>Сев. Кавказ</b>		
Сев. склон Кавказа (Хумаринское месторождение и др.) . . . . .	10	300
<b>ЗСФСР</b>		
Тиварчелы . . . . .	45	100
Тывабулы . . . . .	38	54
Прочие районы . . . . .	1,3	35
<b>Всего по ЗСФСР . . . . .</b>	<b>84,3</b>	<b>189</b>
Средняя Азия . . . . .	110	3 000
<b>Казахстан</b>		
Карагада . . . . .	ок. 500	32 000
Экибастуз . . . . .		600
Прочие . . . . .	15	1 760
<b>Всего по Казахстану . . . . .</b>	<b>515</b>	<b>34 360</b>
<b>Зап.-Сиб. край</b>		
Кузнецкий бассейн . . . . .	1 000	400 000
Миусунский . . . . .	7 500	20 000
Прочие . . . . .		15 000
<b>Всего по Зап.-Сиб. краю . . . . .</b>	<b>8 500</b>	<b>435 000</b>
<b>Вост.-Сиб. край</b>		
Иркутский бассейн . . . . .	632	75 000
Канский . . . . .		40 000
Тунгусская угленосная площадь	27	300 000
Прочие . . . . .	128	16 000 *2
<b>Всего по Вост.-Сиб. краю . . . . .</b>	<b>787</b>	<b>431 000</b>
<b>ДВК</b>		
Бурейский бассейн . . . . .		60 000
Прочие . . . . .	390	15 080
<b>Всего по ДВК . . . . .</b>	<b>390</b>	<b>75 080</b>
<b>Якутская АССР</b>		
Угленосные площади бассейна р. Лены . . . . .		60 000 *2
<b>Всего по СССР . . . . .</b>	<b>14 400</b>	<b>1 180 000 *5</b>

\*1 Классификация запасов полезных ископаемых см. Разведки.

\*2 Ориентировочно.

\*3 Подсчеты Москугли.

\*4 Подсчеты Уралугли.

\*5 Принимая во внимание тонкие пласты, учитываемые в других странах, всего свыше 1 200 000.

пройдена шахта, к-рая в 1932 г. пересекла пласт мощностью 2,3 м. Подсчитанные в настоящее время запасы этих углей, к-рые могут быть использованными для выработки жидкого моторного топлива, составляют по категории А 9 116 тыс. т, по категории В 7 064 тыс. т, по категории С<sub>1</sub> (до глубины 360 м) 10 528 тыс. т, по категории С<sub>2</sub> (до глубины 650 м) 22 600 тыс. т; всего ок. 49 250 тыс. т. Из месторождений гумусовых углей необходимо остановиться на Челябинском бассейне, запасы которого в настоящее время

исчисляются в 1 750 млн. т. На общем протяжении с С. на Ю. ок. 150 км от реки Миаса до р. Тогузака близ г. Троицка недлубоко от поверхности залегает полоса юрской угленосной толщи, содержащая местами 10—11 рабочих пластов угля. Они непостоянны по мощности, из тонких переходят в очень мощные: до 8—10 м на южной группе центральной площади Челябинских копей, до 20 м в Еманжелинском районе, до 40 м (а в одном месте даже до 100 м) в Корнинском районе. Запасы Богословского района, содержащего бурые угли юрского возраста, ориентировочно определяют в настоящее время в 300 млн. т. Огромные буругольные бассейны известны в настоящее время в Сибири. Один из них — Чулымо-Енисейский — вытянут вдоль Томской ж. д. почти на 400 км от Мариинска до Красноярска и далее на север вдоль р. Енисея почти до Енисейска. Общая площадь бассейна ок. 20 000 км<sup>2</sup>. Его геологич. строение еще неясно. Известно однако, что юрская угленосная толща подстилается складчатым палеозоем окружающих горных краев. Залегание угленосной юры в общем спокойное, лишь в Ачинском районе имеются довольно крутые складки с падением на Ю.-З. до 30—40°. Общая мощность юры здесь 220—260 м, причем выявляются три угленосные горизонта с различной мощностью пластов 1—12 м. Угли всего бассейна бурые, иногда переходящие в лигниты. Местами встречаются сапропелитовые разности. Анализ угля, взятого из месторождения у Щучьего озера в Мариинском районе, дал влаги 16,66%, золь 2,28%, поршккообразного кокса, 48,90%, серы 0,20%. В органической массе углерода 54,98%, водорода 5,62%. Уд. в. угля 1,39. Калорийность 4 400—5 300 Cal. В Чулымо-Сережском районе был получен такой анализ угля: влаги 11,68%, золь 1,56%, поршккообразного кокса 47,83%, серы 0,25%; в органич. массе углерода 60,48%, водорода 5,31%; калорийность 5 300. В районе Ачинска в 1931 г. открыто Соболевское месторождение горячего сланца мощностью до 4 м. Перегонка полученной из него пробы дала 32% первичной смолы. Наиболее распространены в бассейне, как уже было указано, бурые угли, а также гумито-сапропелиты с зольностью 20—40% и с выходом первичного дегтя 10—12%. Запасы этого бассейна исчислены проф. И. К. Коровиным в 20 млрд. т. Другим огромным буругольным бассейном является Канский бассейн, расположенный к В. от р. Енисея. Он тянется вдоль Томской ж. д. от ст. Балай (100 км от Красноярска) до р. Вирусы на востоке. Геологическое строение, угленосность и свойства углей еще недостаточно изучены. Общая площадь его превышает 20 000 км<sup>2</sup>. Угленосность наблюдается в отложениях пермокарбона и юры. Мощность первого угленосного горизонта, с которым связаны немногие известные угленосные отложения каменного угля, достигают 60—70 м. Мощность угльных пластов (Увжинское месторождение) до 2,4 м. Юрская толща имеет более 200 м мощности, отличаясь в разных районах различной угленосностью. В крайнем западном Рыбинском районе установлены 4 угленосных горизонта с 16 пластами бурого угля с суммарной мощностью 34 м. В Бородинском месторождении, в 10 км к югу от ж. д. (ст. Камала), бурением открыт пласт мощностью более 17 м. В Сайно-Партизанском районе юрские угли относятся к каменным благающим углям и отличаются большой крепостью. В большинстве случаев угли бассейна относятся к типичным бурым и хай-

рактируются умеренной зольностью (7—10%), значительной влажностью (в сыром угле 15—20%, в сухом 8—10%) и хорошей калорийностью в свежем состоянии (5 000—6 500 Cal с глубиной 16—20 м). На небольшой глубине угли выветриваются и отличаются низкой калорийностью (2 500—4 000 Cal в рабочем топливе). Битуминозность канских бурых углей видимому низка: анализы различных пластов дали 2—4% первичного дегтя, в редких случаях 5—6%. Каменноугольные равности канских углей дают калорийность до 6 500 и выше. Наряду с бурными углями в Канском бассейне встречаются также сапропелиты, чаще всего в виде горючих сланцев, реже—богхедов. Многие из них отличаются высокой битуминозностью и обладают пропластками небольшой мощности (0,20—0,30 м). Калбысовское месторождение дает 46,8% первичного дегтя, 26,7% золь; Крутоловское 34,2% дегтя, 21% золь; Тугушанское 42,6% дегтя, 30,8% золь; Александровское (богхед) 32,8% дегтя, 14,12% золь. Запасы бассейна ориентировочно исчисляются в 40 млрд. т. В Якутской АССР кроме Кангалаского месторождения необходимо отметить в низовьях реки Лены Булунский район с рядом угольных месторождений, сильно дислоцированных и имеющих близкие к канским блестящие угли, иногда матовые, до 1 м мощности. Выше по р. Лене расположен Чиганский район, отличающийся довольно высокой угленосностью. Он содержит до 20 пластов бурого угля мощностью 0,65—2,7 м при суммарной мощности угля 23 м. Среди месторождений в районе устья р. Вилюя интересно Сангарское месторождение, содержащее до 20 пластов и пропластков угля, 4 из к-рых являются рабочими с суммарной мощностью ок. 5 м. Ряд месторождений известен по р. Алдану. Общие запасы Якутской АССР исчисляются ориентировочно в 60 млрд. т.

Переходя к каменноугольным месторождениям, необходимо прежде всего отметить растущее значение Донецкого бассейна, запасы которого исчисляются в настоящее время в 71 млрд. т. Необходимо также указать, что все время расширяется и угленосная площадь Донецкого бассейна, прикрытая осадками более молодых отложений. К востоку угленосные отложения Донбасса, прикрытые третичной толщей, достигают р. Дона; к Ю. через те же отложения пласты угля встречаются по р. Дону у хутора Капныгинского и станции Раздорской. В северном направлении на глубине 600—700 м угленосная толща карбона с тремя пластами угля (один из них 2 м мощности) встречена Луганской буровой скважиной, пересекшей 600 м мезозойской толщ. Имеются настолько большие надежды «проткнуть» Донбасс и в С.-З., что в высокоавторитетных геологич. кругах зреет уже мысль о Большом Донбассе.

Много нового внесено за последние годы и в изучение Кузнецкого бассейна. Его нижняя угленосная толща—Балаханская свита,—относящаяся к каменноугольному возрасту, содержит 29 пластов рабочей мощности 0,7—15 м. Две вышележащие свиты—Беузовская и Кольчугинская—принадлежат, как выяснилось, к пермскому возрасту. В Кольчугинской свите содержится 35 рабочих пластов углей, имеющих до 15% выхода первичных смол; 22 рабочих пласта той же свиты с суммарной мощностью ок. 40 м с содержанием первичных смол 14—16% выявлены в Плотниково-Пиньгинском районе, расположенном вблизи Кемерово. Палеозойская толща

Кузнецкого бассейна несогласно покрывается юрскими угленосными отложениями, содержащими угли двух типов: местами встречены обыкновенные бурые угли, местами довольно мощные (2—3 м и более) сапропелитовые угли с большим выходом первичных смол. Анализ показал содержание их (например у дер. Ново-Казанки) 23—24%. Угленосная толща юры очень мало изучена.

Что касается зап. склона Урала, то за последнее время выяснено, что от Луньевки до р. Усыви к Ю. угленосные отложения нижнего карбона идут несколькими параллельными меридиональными складками и содержат в своих недрах до 2,7 млрд. т запасов. Продолжением нижнекаменноугольной толщи Кизеловской полосы Урала являются, как известно, Печорские месторождения К. у. За последние годы выявлена большая угленосная площадь в этом районе, сложенная пермскими угленосными отложениями. Угли этого возраста являются гл. обр. бурными и лишь на крайнем С.-В. переходят в каменные, причем в бассейне реки Варкуты встречены 3 пласта рабочей мощности консуящегося угля; в настоящее время там проведена шахта. Общие запасы Печорской угленосной площади ориентировочно исчисляются в 60 млрд. т.

Вследствие непрерывно продолжающихся разведок решительно изменились наши представления о Караганде. В настоящее время это уже оформленный каменноугольный бассейн, небольшая пока по площади (около 2 000 км<sup>2</sup>), но с запасами до 32 млрд. т консуящихся К. у., причем запасы эти имеют тенденцию возрастать с расширением разведки. Здесь выявлено 26 пластов рабочей мощности 0,6—8 м с суммарной мощностью ок. 52 м. Залегание пластов довольно спокойное с падением к югу 8—40°. Значительные тектонич. нарушения встречены пока к восточной границе бассейна, представляющего по видимому форму грабена. Угленосная толща Караганды делится на 2 свиты. Пласты верхней свиты отличаются лучшими качествами: они содержат в среднем до 1% серы и дают зольность 8,75—20%. Пласты нижней угленосной свиты содержат 1,5—3% серы и более 20% (иногда до 35%) золь. Необходимо отметить при этом, что нек-рые зольные пласты нижней свиты к тому же трудно обогащаются. Значительным преимуществом карагандинских углей перед кузнецкими является меньшее содержание в первых фосфора (обычно 0,01—0,02%). Нижнекаменноугольная толща Караганды прикрывается сверху несогласно налегающими юрскими отложениями, мощность к-рых превышает 280 м и по данным геофизиков не менее 400 м. И в каменноугольных и в юрских отложениях бурением обнаружены запасы артезианских вод.

Запасы Иркутского каменноугольного бассейна, площадь которого превышает 30 000 км<sup>2</sup>, исчисляются теперь в 75 млрд. т. Мощность пород юрской толщ, слагающей бассейн, превышает местами 400 м. Калорийность углей в сыром топливе дает 6 200—6 500 единиц. Зольность в пластовых пробах редко бывает выше 10—12%; зольность товарных проб больше (иногда до 20%). Уголь из наиболее глубоких горизонтов Черемховского района и особенно района Забугуй-Заларинского дает промышленный кокс. В этом бассейне встречены на отдельных площадях (Харайская, Матаганская) высокоценные богхеды с содержанием среднего выхода первичного дегтя 13—16%, причем в нек-рых точках выход этот повышается до 45%. К С. от этого бассейна

по системе гл. обр. правых притоков р. Енисей расположена огромная площадь (не менее 1 000 000 км<sup>2</sup>) Тунгусского угленосного края. Осадочная толща этого огромного района относится гл. обр. к верхнепалеозойским отложениям и содержит многочисленные пласты К. у. Местами (Норильское месторождение) обнаружены коксуемые разновидности; местами встречаются тощие угли, переходящие в антрацит и даже в графит (Курейское месторождение). Район этот совершенно не изучен, в нем очень распространены основные изверженные породы — траппы. Запасы угля совершенно ориентировочно исчислены в 300 млрд. т. Другой огромный бассейн освещен за последние годы на Дальнем Востоке в бассейне р. Буреи, притока р. Амура. Угленосная толща юры, слагающая этот каменноугольный бассейн, занимает площадь не менее 11 000 км<sup>2</sup>. Она разбивается на 2 угленосные свиты: нижняя свита т. н. Умалтинского месторождения содержит 20 пластов угля с суммарной мощностью 23 м, верхняя свита — ок. 19 пластов с суммарной мощностью 12 м. В Ургальском месторождении обнаружено 14 пластов (0,75—3,6 м) с суммарной мощностью в 26 м. По своим свойствам угли Бурейского бассейна разнообразны. В общем этот уголь легко загорается, дает среднее или длинное коптящее пламя. Лучные сорта угля спекаются и дают кокс. Угли Ургальского месторождения содержат 30—42% летучих веществ, 0,4—0,7% серы, 18—23% золы. Их теплотворная способность 6 200 Cal против средней по Донбассу 6 900 Cal. Расположенные вблизи крупного месторождения Мало-Хинганских железных руд угли Бурейского бассейна быстро дадут возможность развития здесь тяжелой промышленности. Запасы Буреи исчисляются на 1/4 1934 г. в 60 млрд. т. Из других месторождений углей Дальнего Востока необходимо указать на Верхне-Суйфунское месторождение. Сложные меловыми осадками, оно содержит пласты угля, дающие при перегонке выход первичных смол в 15—30%. Анализ угля Липовецкого пласта с средней мощностью 1,5 м дал 8,29% золы, 0,2—0,4% серы, 2—4,9% влаги, 28—36% летучих веществ. Пролойки же рабдописпетового угля дают до 85% летучих (органич. массы). Теплотворная способность 5 700—7 200 Cal. Разведки последних лет уточнили запасы высококачественных углей Сучанского месторождения, в ю.-з. части к-рого распространены полуантрациты с содержанием летучих ок. 6%; далее к С.-В. идут коксовые угли, а еще далее пламенные с содержанием летучих до 30%. Выявленные запасы оцениваются там в 42 млн. т, причем предусматривается прирост углесодержащих площадей. Месторождения Тихоокеанского побережья недостаточно обследованы, тем не менее здесь констатируются выходы углей в Чукотско-Анадырском крае и по побережью Берингова моря (бухта Угольная, Анадырский лиман, мыс

Сердце-Камень и др.), а также по восточному и западному побережьям Камчатки. На восточном берегу в окрестностях бухты Корфа встречено 11 рабочих пластов лигнита и бурого угля плиоценового возраста с общими запасами свыше 30 млн. т. Усть-Камчатское месторождение на том же восточном берегу содержит повидимому К. у. Известны К. у. на западном берегу Камчатки в районе рек Паланной, Харьюзовой и Подкагерной. Запасы их не учтены. Новые данные имеются и о запасах углей на о. Сахалине, отличающихся высокими качествами и принадлежащих к отложениям меловой и третичной систем. Калорийность сахалинских углей, даже длиннопламенных, достигает 7 800 Cal и более, а у паровичных превышает обычно 8 000 Cal. Малая зольность и способность консолидироваться делают эти угли высококачественным экспортным топливом. В результате изучения Сахалина запасы углей в нем с 2 млрд. т увеличились до 6—10 млрд. т. Карту распределения месторождений углей см. *Искапаемые угли и Каменный уголь* (т. IX), о характеристике твердых топлив см. *Спр. ТЭ*, т. III, стр. 341—362. См. также *ОСТ* 6788—6793, 6798, 7049—7050, 7062, 7095, 7423, 7434, 7516—7517.

*Лит.*: Стадинов Г. Происхождение углей и нефти. 2 изд. Л.—М., 1933; Галеев А., Караганда—третья угольная база СССР. «Уголь», 1934, 109; Краткий очерк месторождения углей и горючих сланцев СССР. М., 1933; Амосов Н. и др. Угленосные районы Сибири. Сборн. геолого-примысленных очерков под ред. С. Корвина. Новосибирск.—М.—Л., 1933; Минерально-каменный базис СССР.—XVII Съезду ВКП(б). М., 1934. А. Галеев.

**Добыча каменного угля.** К. у. как в Российской империи, так и в СССР является основным видом топлива. Его роль в топливном балансе видна из табл. 2.

Повышение уд. в каменноугольного топлива в общем топливном балансе имеет большое народнохозяйственное значение, т. к. за счет такого увеличения и увеличения потребления торфа должно уменьшиться потребление в виде топлива, дров и нефти. Во второй пятилетке добыча угля развивается еще более высокими темпами, чем это было в первой пятилетке, что видно из табл. 3.

Табл. 2.—Добыча топлива в СССР (дрова в млн. м<sup>3</sup>, остальные виды топлива в млн. т).

Виды топлива	1913 г.		1929 г.		1934 г.		1935 г.	
	абсолют. уд.	в абсолют. уд.	абсолют. уд.	в абсолют. уд.	абсолют. уд.	в абсолют. уд.	абсолют. уд.	в абсолют. уд.
Дрова (поставка промтехнич. групп) . . . . .	68,0	22,4	78,0	13,7	87,8	13,0	98,1	12,2
Торф . . . . .	1,7	1,3	13,02	5,1	17,18	5,7	10,52	5,4
Сланцы . . . . .	—	—	0,17	—	0,21	—	0,54	0,1
Темное нефтестопливо . . . . .	6,68	16,7	12,6	16,9	13,6	15,3	17,13	16,3
Искапаемые угли . . . . .	25,38*	59,6	76,0	64,3	93,7	68,0	112,2	68,0
Итого в условном топливе . . . . .	57,06	100	106,71	100	127,33	100	110,52	100

\* В том числе импортного угля 6,38 млн. т.

Табл. 3.—Динамика добычи каменного угля.

Единица измерения	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.	1934 г.	19 5 г.
Добыто млн. т . . . . .	35,8	41,7	48,1	50,7	64,4	76,0	93,7	112,2
В % к предшествующему году . . . . .	—	116,3	115,4	117,8	113,4	118,0	123,3	119,7



Как видно из табл. 3, резкий перелом в добыче К. у. наступил в 1933 г. Перелом в работе каменноугольной пром-сти, происшедший во второй половине 1933 г., объясняется проведением в жизнь мероприятий, декретированных постановлением СНК СССР и ЦК ВКП(б) от 8/IV 1933 г. о каменноугольной пром-сти, касавшихся организационных вопросов каменноугольной промышленности, борьбы с текучестью, системы оплаты труда, проблемы кадров. В результате принятых в соответствии с этим постановлением мер значительно увеличилось количество инженеров на шахтах, изменилось к лучшему соотношение между числом подземных и поверхностных рабочих, сократилась текучесть. Число горных инженеров на участках за 14 месяцев после постановления увеличилось в десять раз. Число подземных рабочих составляло в 1930 г. 61,8% от всего числа трудящихся, а в 1934 г. достигло 68,2%. Вместе с тем перестроена была и система заработной платы в направлении полной ликвидации уравниловки в оплате труда, обеспечения более высокой зарплаты подземных рабочих, введением законченной прогрессивно-премиальной системы оплаты труда, премирования за сохранность механизмов и т. д. Вместе с осуществлением указанного выше постановления, создавшего условия для высоких темпов роста добычи К. у., каменноугольная пром-сть за годы второй пятилетки делает дальнейшие шаги по осуществлению указаний т. Сталина на XVI и XVII съездах ВКП(б) о создании новых угольных баз. На XVI съезде ВКП(б) т. Сталин указал, что старая наша угольно-металлургич. база — Украина — недостаточна для промышленного развития Союза. Он говорил: «новое состоит в том, чтобы, всемерно развивая эту базу и в дальнейшем, начать вместе с тем немедленно создавать вторую угольно-металлургическую базу. Этой базой должен быть Урало-Кузнецкий комбинат, соединение кузнецкого конусообразного угля с уральской рудой» (Сталин, Политический отчет Центрального комитета XVI съезду). На XVII съезде ВКП(б) т. Сталин указал как на один из главных недостатков пром-сти, на недооценку «серьезнейшего значения развития добычи местных углей в общем топливном балансе страны (Подмосковный район, Кавказ, Урал, Караганда, Средняя Азия, Сибирь, Дальний Восток, Северный край и т. д.); далее т. Сталин указал на необходимость «развернуть во-всею добычу местных углей во всех известных уже районах, организовать новые районы угледобычи (напр.

в Бурейском районе Дальнего Востока), превратить Кузбасс во второй Донбасс» [Сталин, Отчетный доклад XVII съезду ВКП(б)]. Выполнение этих директив т. Сталина видно из следующего (табл. 4).

Как видно из табл. 4, роль Донбасса, остающегося основным решающим районом в снабжении страны углем, из года в год снижается. Значительно повышается уд. в. районов, входящих в Урало-Кузнецкий комбинат (Зап. Сибирь, Урал и Казахстан), к-рые в 1932 г. давали 17,8% от всей добычи К. у.; в 1934 г. их доля составила уже 20,7%, а по плану на 1935 г. доходит до 22,1%. В 1930 г. уд. в. УКК по добыче угля составлял всего 12,7%, в 1913 г. районы, входящие в УКК, дали 7,1% от всей добычи К. у. За годы первой пятилетки и первые два года второй вошли в эксплуатацию новые угольные бассейны и месторождения, к-рые раньше не разрабатывались совершенно; так, Карагандинский бассейн в Казахстане впервые дал уголь в 1929/30 г. в количестве 11,9 тыс. т, а в 1934 г. добыча угля в Карагандине достигла 1 831 тыс. т, в 1931 г. началась добыча в Печорском бассейне, с 1934 г. началась добыча в Тыварчелах (ЗСФСР). Значительно развивается добыча бурых и местных углей. С 1931 г. начинается добыча украинских месторождений бурого угля, в 1932 г. — Крымского и Боровичского месторождений. Получают громадное развитие мощные бурогоугольные бассейны — Подмосковный и Челябинский. Подмосковный бассейн дал в 1934 г. 4,9 млн. т угля (включая попутную добычу огнеупорной глины) против 2,6 млн. т в 1932 г. и 0,3 млн. т в 1913 г.; Челябинский бассейн в 1934 г. дал 2,1 млн. т против 0,9 млн. т в 1932 г. и 0,1 млн. т в 1913 г. Общее количество добытого в 1933 г. бурого угля составило 8,9 млн. т против 6,9 млн. т в 1932 г. и 1,2 млн. т в 1913 г. Рост добычи К. у. возможен был благодаря как вводу в эксплуатацию новых шахт, так и механизации работ. В первую пятилетку введено в эксплуатацию 129 крупных шахт общей мощностью ок. 50 млн. т. В 1933 г. введено в эксплуатацию 40 новых шахт мощностью в 19,5 млн. т и в 1934 г. (по пром-сти, подведомственной НКТП) 17 шахт мощностью 8,4 млн. т. Механизация добычи К. у. внедрялась за последние годы чрезвычайно быстрыми темпами. В 1932 г. механизированная добыча составляла 65,1% от всей добычи по Союзу, в 1933 г. — 70%, а в 1934 г. — 74,1% (по пром-сти, подведомственной НКТП, составившей в 1934 г. 93,6% от всей каменноугольной пром-сти). По

Донбассу процент механизированной добычи в 1927/28 г. составлял 19,4%, в 1932 г. — 72,3%, в 1933 г. — 77,0%, в 1934 г. — 79,1%. В 1935 г. механизация добычи по трестам НКТП доводится до 80,1% (по плану), в том числе по Донбассу — до 83,2%. Такая степень механизации значительно выше механизации добычи К. у. в США, где она пер. к кризисом в 1929 г. равнялась 75,4%. Еще большей величины механизация достигла в доставке угля. В 1932 г. по всему Союзу механизация доставки составляла 74,2%, в 1933 г. —

Табл. 4. — Добыча каменного угля по районам (в тыс. т)

Районы	1932 г.		1933 г.		1934 г.		1935 г.	
	абсолют.	уд. в.	абсолют.	уд. в.	абсолют.	уд. в.	абсолют.	уд. в.
Украина . . . . .	39 964,4	62,1	45 276	59,6	54 444	58,1	61 575	54,9
Зап. Сибирь . . . . .	7 544,4	11,5	9 537	12,5	11 875	12,7	14 400	12,8
Аз.-Черномор. край . . . . .	4 982,4	7,6	5 599	7,4	6 925	7,4	7 985	7,1
Урал . . . . .	3 164,9	5,0	4 198	5,6	5 508	5,9	7 710	6,9
Московская обл. . . . .	2 633,0	4,0	4 159	5,5	4 906	5,2	7 010	6,2
ДВК . . . . .	2 260,3	3,6	2 296	3,0	3 037	3,2	4 336	3,9
Вост. Сибирь . . . . .	2 159,1	3,4	2 508	3,3	3 485	3,7	4 120	3,7
Кавказ . . . . .	821,7	1,3	1 233	1,6	1 552	1,7	2 632	2,4
Казахстан . . . . .	716,8	1,1	798	1,0	979	1,1	1 303	1,2
ЗСФСР . . . . .	205,3	0,3	186	0,2	239	0,2	510	0,4
Прочие районы (Арктика, Якутия, Туркмения, Печора и др.)	79,7	0,1	233	0,3	369	0,4	569	0,5
Всего по СССР . . . . .	64 432	100	76 018	100	93 699	100	112 200	100

76,0%, в 1934 г. в Донбассе механизация доставки достигла 86,7% против 49,3% в 1930 г. Медленнее внедряется механизация откатки: в 1932 г. откатка была механизирована на 19,7%, в 1933 г. — 37,6%. В Донбассе механизированная откатка в 1934 г. составила 48,8% против 6,4% в 1930 г. Количество оборудования для механизированной добычи возрастает из года в год. Это видно из табл. 5.

Табл. 5.—Наличие врубовых машин и отбойных молотков.

Годы	Тяжелые врубовые		Легкие врубовые		Отбойные молотки	
	всего	в т. ч. в Донбассе	всего	в т. ч. в Донбассе	всего	в т. ч. в Донбассе
1929/29	549	520	268	177	71	60
1930	751	711	393	208	1 274	1 152
1931	1 007	927	409	215	3 222	2 727
1932	1 218	1 135	532	148	6 190	4 542
1933	1 473	1 289	339	145	9 020	5 202
1934	1 679	1 481	294	107	10 764	5 729

Наличие такого количества механизмов могло обеспечить еще больший процент механизированной добычи в общей добыче К. у., однако освоение механизмов шло недостаточно интенсивно. Так, в начале 1935 г. производительность рабочего на отбойном молотке в среднем составляла 6—7 м в смену, между тем в Германии, в Руре,

Табл. 6.—Среднесуточная добыча угля по Союзу в июне—ноябре 1935 г. (в тыс. т).

Июнь . . . . .	231,5	Сентябрь . . . . .	286,2
Июль . . . . .	232,0	Октябрь . . . . .	313,1
Август . . . . .	231,0	Ноябрь . . . . .	349,0

она достигла в среднем 10 и даже 17 м. Введение в эксплуатацию новых шахт, внедрение новой техники надо было дополнить еще освоением этой техники. Еще в 1933 г. в своем докладе на объединенном пленуме ЦК и ЦКК ВКП(б) тов. Сталин говорил, что пафос нового строительства «должны мы дополнить энтузиазмом, пафосом освоения новых заводов и новой техники, серьезным поднятием производительности труда, серьезным сокращением себестоимости». В 1935 г. в своей историч. речи на I Всесоюзном совещании стахановцев тов. Сталин говорил: «чтобы новая техника могла дать свои результаты, надо иметь еще людей, кадр рабочих и работниц, способных стать во главе техники и двинуть ее вперед. И дальше: «очевидно, что за эти два года шло освоение этой новой техники и нарождение новых кадров. Теперь ясно, что такие кадры уже имеются у нас». Нижеприведенные данные блестяще подтверждают эти слова вождя. В 1932 г. средняя месячная добыча одного рабочего составила 16,1 м К. у., в августе же 1935 г. — 23,6 м, т. е. возросла за истекший период на 46,5%, тогда как за всю первую пятилетку — на 24%. В результате дальнейшей борьбы за

освоение техники в середине 1935 г. в каменноугольной пром-сти новые механизмы начинают давать невиданные результаты. Производительность отбойного молотка увеличивается во много раз. Уже в конце августа т. Стаханов на своем отбойном молотке в шахте «Ирмино» дал 102 м угля в смену. Это было лишь начало новых методов добычи угля, связанных с действительным освоением новой техники. Стахановское движение, охватившее всю пром-сть СССР, сказалось в каменноугольной промышленности значительным повышением среднесуточной добычи угля. Это видно из табл. 6.

Как видно из табл. 6, за 2 месяца с начала стахановского движения среднесуточная добыча поднялась на 18,5%. Стахановское движение, вызвавшее такой рост среднесуточной добычи угля, базируется прежде всего на новой технике; «стахановское движение было бы немислимое без новой высокой техники» (Сталин). Вторым пятилетним планом на 1937 г. была намечена добыча угля в количестве 152,5 млн. т. Благодаря стахановскому движению уже в настоящее время открывается возможность выполнить вторую пятилетку каменноугольной пром-сти в 4 года, т. е. в 1936 г. дать ок. 152,5 млн. т угля. В соответствии с ростом добычи К. у. резко изменился характер нашей внешней торговли каменным углем. Импорт каменного угля из года в год снижается, а экспорт увеличивается (табл. 7).

Во время как у нас добыча К. у. за последние годы росла, в капиталистич. мире она под

Табл. 7.—Внешняя торговля СССР каменным углем (в тыс. т).

Виды торговли	1913 г.	1927/28 г.	1929 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.	1934 г.
Импорт . . . . .	7 757,8	61,4	66,0	106,6	52,5	15,4	26,4
Экспорт . . . . .	98,0	503,1	1 338,6	1 674,8	1 795,2	1 817,5	2 207,2

Табл. 8.—Добыча каменного угля в капиталистических странах \*1 (в тыс. т).

Страны	1929 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.	1934 г. *2
Африка . . . . .	14 535	13 667	11 914	10 673	11 494	13 200
Сев. Америка . . . . .	564 582	497 445	409 201	333 899	355 349	385 977
в том числе США . . . . .	552 309	487 078	400 735	326 192	347 608	376 373
Центр. Америка . . . . .	1 054	1 294	922	653*2	665*2	630
Юн. Америка . . . . .	2 199	2 229	1 912	1 830*2	2 350	2 670
Азия (без СССР) . . . . .	90 833	89 053	83 658	80 510*2	86 300	93 500
Европа (без СССР) . . . . .	605 687	560 805	505 847	458 842	464 188	497 980
в том числе:						
Германия . . . . .	163 441	142 699	118 640	104 741	109 692	125 011
Саар . . . . .	13 579	13 236	11 367	10 438	10 561	11 318
Франция . . . . .	53 780	53 900	50 011	45 267	46 887	47 623
Польша . . . . .	46 236	37 506	38 265	28 535	27 356	29 233
Англия . . . . .	262 045	247 795	222 981	212 083	210 436	224 501
Океания . . . . .	11 942	11 099	9 531	9 667	10 110	п. св.
Всего . . . . .	1 290 800	1 175 583	1 023 669	895 985	933 463	1 006 500

\*1 Без бурого угля.

\*2 Оценка и предварительные данные.

влиянием мирового кризиса непрерывно падала. Лишь с 1933 г. начинается в капиталистических странах медленное увеличение добычи каменного угля. Это видно из табл. 8.

Лит.: Сталин И., Вопросы Ленинизма, 10 изд., М., 1935; Геологическая изученность СССР и его минерально-сырьевая база, Сб., М., 1935; Социалистич. строительство СССР, Стат. ежегодник, М., 1935; Второй пятилетний план развития народного хозяйства СССР (1933—1937 гг.), т. 1, М., 1934; Народнохозяйственный план на 1935 г., 3 изд., М., 1935; *Annuaire statistique de la Société des Nations, Genève, 1934/35.*

**Методика исследования Н. у.** Исследование углей ведется в связи с тем или иным их применением. Чаще всего дают определение общего состава, т. е. баласта в виде влаги и золы (иногда серы) и выхода летучих и кокса (с характеристикой последнего), или технический анализ с добавлением к предыдущим определениям теплотворной способности. В частности 1) для углей, предназначенных для энергетик, использования, требуются такие характеристики (термины см. *Спр. ТЭ*, т. III, стр. 349):  $V$ , спекаемость, плавкость золы в стандартной среде,  $W^p$ ,  $A^c$ ,  $S^c$ ,  $S_k$ ,  $Q_{gr}$ ,  $Q_{net}$ , размер кусков и содержание мелочи, процентное содержание С, Н, О, уд. в., изменчивость при хранении и перевозке, а при сжигании в виде угольной пыли также сопротивляемость размолу; 2) для углей, сжигаемых в печах специального назначения, надлежит еще указывать размер и характер пламени, реакционную способность кокса, состав золы и т. д.; 3) для газогенераторных углей необходимы такие показатели:  $V$ , плавкость золы, размер кусков и содержание мелочи, спекаемость в цифровом выражении, прочность в отношении воздействия огня, реакционная способность,  $W^p$ ,  $A^c$ ,  $S^c_{об.}$ ,  $Q$ ; 4) для углей, подвергающихся сухой перегонке при низких  $t^o$ , — содержание битумов, выход первичной смолы в алюминийевой реторте, на горючую массу —  $W^p$ ,  $A^c$ ,  $H^c$ ,  $O^c$ , характер первичной смолы, выход фракций, кипящих до 300° (за вычетом фенолов и оснований), содержание в них серы, процент и характер полуккокса, выход первичного газа, его  $Q$  и т. д.; 5) для углей, подвергающихся экстрагированию, —  $W^p$ ,  $A^c$ ,  $C^c$ ,  $H^c$ ,  $O^c$ , содержание битумов, экстрагируемых спиртобензолом. Целый ряд характеристик требуется и для углей, идущих для коксования (самостоятельно или в виде присадок), получения светильного газа, для целей обогащения, брикетирования, гидрирования и т. д. По Стадинову угли для коксования (каменные сапропелитово-гумусовые и гумусово-сапропелитовые) должны содержать 4,5—6% Н в органич. части, 18—25% летучих и при испытании в пластометре по методу Сапожникова показывать толщину пластич. слоя ок. 22 мм при величине усадки 18—16 мм. Содержание  $S^c_{об.}$  д. б. не выше 1,5%,  $A^c$  7%. По К. Бунте в ряде случаев необходимо еще определение витрена, кларена, дюрена и фюзена, теплоты коксования и криовой плавкости золы. Кроме перечисленных выше чисто лабораторных определений требуется в известных случаях проведение опытов в полужаводском масштабе, напр. на опытных газовом з-де, коксовой установке и т. д.

Анализ и исследование К. у. Почти во всех государствах (США, Англия, Германия, Франция, Бельгия, Швейцария, Польша, Швеция, Чехо-Словакия, Голландия) для наиболее ходовых определений углей имеется стандартизованная методика; единой международной методики для большинства определений пока не имеется (кроме напр. метода Эшка для серы). В СССР теперь унифицированные методы пересмотрены, уточнены, пополнены и сделаны

стандартными (ОСТ 7151). 1) Влага по прежнему унифицированному методу определялась в двухстенном сушильном шкафу при 102—105°; теперь такой способ применяется только при анализе кокса, антрацита, тощих углей и марок углей ПЖ, Г и ПС. Для прочих введен метод прямой отгонки с тяжелым грозненским бензином или с ксилолом в видеоизменном аппарате Дина и Старка. Метод дает более точные показания (разница для легко изменяющихся углей в сторону увеличения, иногда до 1½% и более), оперирует с большими навесками, что дает возможность применять его и для углей со степенью измельчения до 3 мм, для определения не только влаги воздушно-сухого угля, но и всей влаги рабочего угля, не требует квалифицированного персонала и продолжается не более 1½—2 ч. Пары бензина с водой конденсируются в холодильнике Либиха, стекают в градуированный приемник, где влага собирается в нижней части, выполненной в виде шара, для больших количеств воды. Если берется ксилол, надлежит обращать особое внимание на чистоту трубки холодильника и приемника, обрабатывать их сухим паром, затем теплым раствором хромпика с 80% серной к-ты и высушивать после промывки в токе сухого воздуха. Допускаемые у нас расхождения: а) в одной лаборатории 0,3%, б) в разных — 0,5%. Для целей производственного контроля (при сушке, подготовке шихты и т. п.) имеется ряд быстрых методов, дающих результаты через несколько минут, напр. диэлектрический, криогидратный и т. п. [1]. Как известно, диэлектрич. коэф. сухих воздуха и газов близок к 1, жидких и твердых тел — чаще до 10 и воды 81. Изменение диэлектрич. коэф. та углей с различным процентом влаги зависит почти исключительно от количества последней. С помощью несложного измерительного аппарата и конденсатора опыт удается провести в 1½—2 м. (не более 4), причем для углей с 5—25% влаги, как показала позднейшая проверка, по сравнению с нормальным кислотным методом достигается точность 0,5% в 59 случаях из ста и 1% — в 94 случаях (аппарат появился в 1928 г. и премирован в Германии). По Дольху и Штрубе определение влажности углей занимает 15—20 мин.; результаты близки к нормальным по кислотному методу (разница не выше 0,3%, чаще же менее 0,2%). Определение проводится путем экстрагирования влаги из аналитич. пробы (степень измельчения — прохождение через сито с 900 отверстиями на 1 см²) или из обычной лабораторной пробы (крупностью до 2—3 мм) и установления  $t^o$  расслоения смеси оводненного спирта и керосина (или напр. ксилола).

2) При определении количества лабораторной золы в углях надлежит учитывать условия их характера последней, т. к. она отличается как от истинной золы ( $A_u$ ), так и от золы, получающейся в топках котлов или паровозов или в газогенераторах. Самый цвет находится иногда в зависимости от условий прокаливания; процент ее, определенный в муфельной печи и в лодочке, при элементарном анализе обычно не совпадает. Характеристика по проценту золы очень важна и является обязательной при всех анализах углей. Определение золы как остатка при прокаливании производят путем нагревания в фарфоровых или платиновых противнях до 800° (для сланцев 900°) при доступе воздуха до постоянного веса [2]. Путем постепенного подогрева и внесения затем в раскаленный муфель можно ускорить определение до

45—60 мин. для углей. Истинная зола м. б. вычислена, если сделаны соответствующие определения карбонатов [87], разнородностей серы, железа, гидратной воды по ф-лам Вейсера, Мейера, Фольмана, Караева, также Бриксмейда и т. д.; из них первая наиболее полная; последние 3 дают более правильные результаты, совпадающие с полученными по Бриксмейду. Однако для возможности применения их требуется очень длительные определения. Общего коэф-та для пересчетов не установлено; примерно для ряда углей он равен 1,12—1,14 (по Парру — старый коэф. 1,08). Допускаемые расхождения в СССР для золы: при содержании А<sup>c</sup> менее 12% для одной лаборатории 0,2%, для разных — 0,5%; для многозольных углей 0,3% и 0,5%. При сжигании и углей играет роль не только пластичность золы, но и легкость внедрения расплавленного шлانا в поры кладки, изменение микроструктуры, размывание размягченного слоя свежими массами шлaka, что вынуждает проводить специальные испытания на химич. активность золы. Для определения состава золы делается анализ на SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaO, SO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и примесь редких элементов.

3) При определении летучих надлежит пользоваться матовыми подержанными тиглями, т. к. новые дают значительно более высокий процент (их разница может доходить до 3,5%). Важны постоянство и высота t°, проверяемой или оптич. термометрами по степени раскала платинового тигля или по показаниям термопары [88]. Угли неспекающиеся или с большим содержанием летучих смешивают с хорошо коксующимися или смачивают керосином по Парру; иногда их брикетуют. Отсутствие уноса угля контролируется процентом содержания золы коксовых королек. Для определения испучиваемости этих королеков надо применять метод Лессинга [18]. При анализе надлежит учитывать и процент CO<sub>2</sub>. За границей наиболее распространен америк. метод — нагрев ровно 7 мин. на газовой горелке или в электрич. печи при t° ок. 950° [8]. На базе этого метода в Англии для расковок определений (сразу 8 проб) применяется нагрев в муфеле, где во избежание возможного окисления раскаленных коксовых королеков поддерживается нейтральная атмосфера внесением древесного угля [19]. Нормирование срока нагрева устраняет возможность ошибки от недогрева или перегрева. Допускаемые у нас расхождения: а) в одной лаборатории для спекающихся углей 0,5%, неспекающихся 1%; б) в разных лабораториях соответственно 1 и 2%.

4) Определение плавкости золы в СССР (ВТИ) ведется в криптоловой печи с электрич. подогревом в полувостановительной среде, реже в газовой печи. По Дольху и Пехмюллеру удобно пользоваться м и к р о м е т о д о м, нагревая небольшие количества золы (например после законченного определения ее в муфеле на платиновой пластинке в особой печи) в месте спая термопары и наблюдая при помощи небольшого микроскопа явления размягчения и окончательного плавления с одновременной отметкой температуры. Восстановительная атмосфера может быть получена с помощью специального аппарата. По Бунте-Бауму-Рирингу надежнее получать кривую хода температуры, которая является характерной для данного вида и сорта угля. Она вычерчивается самопишущим прибором. Этот метод признается в Германии наилучшим, что подтверждается и новейшими исследованиями.

5) Для определения серы вообще по ОСТ 7151 применяют принятый за границей метод Эшка. Есть ряд экспресс-методов, напр. сжигание в токе O в кварцевой трубке в печи Марса при 1200° и улавливание окислов серы. Для определения различных видов серы чаще всего применяют метод Поуелла и Парра [4]. За границей распространено определение серы по смыву бомбы при калориметрировании. В СССР требуется сходимость по методу Эшка для одной лаборатории 0,1%, для разных лабораторий 0,2%.

6) Изменяемость углей при хранении (см. Самовозгораемость) зависит от степени поглощения ими кислорода при обыкновенной t°; для определения этого поглощения берут очень тонкий порошок (проходящий через сито с 4900 отверстиями на 1 см<sup>2</sup>). Исследования различных сортов угля, произведенные Бунте и Брюкнером, показали, что 20 г угля поглощали за сутки 0,5—21 см<sup>3</sup>, через 2 месяца 27—112 см<sup>3</sup> кислорода [8]. При этом меняется у нек-рых углей и t° начала пластического состояния. Последние определяют прибором Сапожникова [7], причем получаемые параметры — толщина пластич. слоя и усадки — дают руководящие указания при подборе шихты для кокования, а по Стадникову м. б. приняты за базу для промышленной классификации углей СССР. Пенетрометрич. метод не всегда дает надежные результаты. Вообще же изменяемость углей изучается комбинированным методом наблюдений за опытными штабелями и одновременного опробования в лаборатории и получения ряда характеристик по унифицированным приемам [8]. Повышение t° в штабелях до 60—65° уже опасно.

7) Изучение углей методом сухой перегонки ведется для низких t° в алюминиевой реторте Фишера и Шрадера, которая и теперь является наиболее ходовым прибором [20], дающим примерно максимальный процент первичной смолы при навесках 20—50 г. Для больших количеств применяется непрерывно работающая вращающаяся печь Фишера. Райтель сконструировал лабораторную печь с электрич. обогревом (до 300 г угля) [9]. Зейдешнуром [10] разработан тип печи, успешно применяемой в Германском бурюгльном ин-те с электрич. обогревом для непрерывного полукокования, перегонки и газификации твердых топлив, для кренинга смолы и т. п. Дольхом [11] предложен лабораторный аппарат из стали V2 А с электрич. обогревом до 1000°, пригодный и для целей полукокования и кокования и для газификации, если нужно, с предварительной подсушкой в струе инертного газа. Этот аппарат рекомендуется и для определения выхода летучих и кокса (навеска около 20 г) [12]. Пробы на кокование и определение выходов продуктов сухой перегонки в лабораторном масштабе ведутся различными приемами. Наиболее старым и распространенным является метод Бауера; в этот метод внесен теперь ряд видоизменений (нагревание в запаянной с одного конца стеклянной трубке и улавливание побочных продуктов); навеска 20 г, продолжительность опыта 2,5 ч. По Иенкнеру [13] данные, сходные с производственными, получаются при t° 800° и нагреве зоны кокования до 750°. Однако требуется проверка опытным кокованием на экспериментальной установке и затем и в заводских условиях, аналогично тому, как это имеет место в газовом производстве (впрочем в последнее время в Германии считают надежными лабораторные показания прибора Гейперта) и при полукоковании. При использовании углей для целей

коксования играет роль содержание фосфора, который обычно переходит в кокс. Допустимое содержание его 0,015%, что требует применения очень точных методов анализа. По стандартным англ. и америк. способам получаются не всегда удовлетворительные результаты. По английским исследованиям лучшие результаты дает французский метод (обработка золь кокса дважды плавиковой и азотной к-той, снова плавиковой кислотой, выпаривание до малого объема, разбавление, фильтрование, определение в фильтрате по осаждению аммиаком Р, по фосфоромолибденовому объемному способу). На углях СССР этот способ еще не проверен.

8) Смерзаемость углей, вызывая потерю «случности» угля в зимнее время, является иногда причиной неполадок и срывов на электростанциях. Особенно это имеет место при углях с высоким процентом влаги. Выяснено, что подмокрой уголь при влажности меньше 22% не смерзается даже при  $-20^{\circ}$ . Размораживание угля требует меньше тепла, чем предполагалось по подсчетам, исходя из процента влаги. Механич. и пневматич. методы борьбы со смерзаемостью вполне достигают цели и связаны с большим расходом энергии. Радикальным способом является предварительное подсушивание или размораживание за счет сообщения известного количества тепла.

9) Определение макро- и микроструктуры углей [26] является теперь обязательным не только при изучении углей новых месторождений, но и для целей промышленной классификации. Отдельные петрографы. части различных углей могут оказывать неодинаковое влияние на реакционную способность кокса, напр. фенолен дает наиболее реакционный кокс (по Л. Майеру) [26]. В Германии недавно разрешена задача почти полного разделения составных частей путем соответственного измельчения и просеивания, сконструированы особые мельницы, позволяющие вести такое облагораживание углей в промышленном масштабе.

10) Подробное исследование углей по Стадникову сводится к определению различных составных частей как углеобразователей, так и самих углей; сюда входят определения весовым способом и калориметрически: «метоксильного» числа (процент содержания метоксисила), пентозанов, сахаров, целлюлозы, лигнина, гуминозных кислот. Определение растворимости—извлечение частей, растворимых в воде, щелочью (для гуминовых к-т с выделением лигнина и целлюлозы) может рассматриваться как первая стадия всестороннего исследования. Более подробно исследуются лигнины, гуминовые кислоты, битумы, остаточный уголь. Для изучения битумов Стадников рекомендует брать смесь равных объемов этилового спирта (96%) и бензола, обработку вести в аппарате Сокслета на холоду, под давлением согласно данным Фишера и Глудца; получаются битумы А и В; при обработке угля 10%-ной соляной кислотой при кипячении извлекаются битумы А и С; если не применять давления, то уголь в этом случае дает битум А. При исследовании битумов находят: точку размягчения (по Кремер-Сарнову), число омыления, иодное число, изучают разложение на составные части методом растворения, разделение последних на омыляемые и неомыляемые и т. д. Важную характеристику дает исследование первичной смолы (для чего требуется не менее 20 г, т. е. необходимо применение большой алюминиевой реторты). В ней определяется количество угольной пыли, влаги, к-т, фенолов, оснований.

Анализ первичного газа позволяет установить возраст угля, а также подвести тепловой и материальные балансы при расчете коксования углей.

Лит.: 1) Шахнов А., Экспресс-методы для определения влаги в углях, «Заводская лаборатория», Л., 1934, 3; 2) Schuster F., Asche, Elementenzusammensetzung u. Heizwert d. Kohle, «Gas-u. Wasergasch», Mch., 1931, 27; 3) Шахнов А., Жуковская М., Определение летучих веществ и кокса, «ИТИ», 1929, 7/60, 1930, 2/65; 4) Стадников Г. и Титов Н., О методах определения серы в твердых топливах, «Кокс и химия», Харьков, 1932, 6; 5) Вегельсайд У., 5-й и 6-й в. а. с. в. В. в. т. а. л. «Betriebschemie», Lpz., 1934, I (об определении температуры плавления золь, «Угольн. институт», Прага); 6) Bunt K., Вrickner H., «Z. ang. Ch.», 1934, 6 (в поведении степени поглощения кислорода и старения каменных углей при обыкновенной температуре и о химии сорбции кислорода); 7) Шахнов А. и Вазьяев И. П., Пластометрия, изучение процесса коксования, «Химия твердого топлива», М., 1932, 2-3; 8) Сборник сведений по качеству угля. Изучение изменений, Главарьоль НКТИ, М.—Л., 1934; 9) Swietoslawski W., Narkevicz H., «Przemysl Chem.», 1932, 15; 10) Seidenschner F., «Die chem. Fabr.», В., 1932, 35 (лабораторная печь непрерывного действия); 11) Dolech M., Die Untersuchung d. Brennstoffe in ihre chemischen Auswertungen, Halle, 1932; 12) Seelkopf, «Gluckauf», Essen, 1930, 989; 13) Петер А., ibid., 1932, 12, p. 274-79 (определение выхода кокса, газа и побочных продуктов в лабораторных условиях); 14) Edwards A., Marson C., Briscoe H., «Chemistry a. Industry», L., 1932, 24 (определение фосфора в коксах); 15) Пацуков Н., О методах лабораторного испытания золь твердых топлив на химич. и физич. свойствах, «Химия твердого топлива», «ИТИ», 1928, 5(38); 16) Нефельде И. и Пацуков Н., там же, 1929, 5(48); 17) Стадников Г., Основные положения для составления промышленной классификации углей СССР, «Химия твердого топлива», М., 1933, 6; 18) Шахнов А., Пути ускорения анализа в топливных лабораториях, «Заводская лаборатория», Л.—М., 1933, 10; 19) Гофманн В., Нипш В., Fuel Testing, 1932; 20) Шахнов А. и Радовит И., Получение угля и торфа методом термич. обработки, «Химия твердого топлива», М., 1933, 5; 21) Захарченко П., К вопросу о смерзании топлива на электростанциях, «ИТИ», 1933, 3(87); 22) Михайлов Н., О смерзании топлива, там же, 1934, I (89); 23) Майер Л. и Чернышев Д., Влияние отдельных петрографич. компонентов каменного топлива на реакционную способность кокса, «Кокс и химия», Харьков, 1932, 8; 24) Lehmann K., Hoffmann E., «Gluckauf», Essen, 1931, I (облагачивание углей с петрографич. точки зрения); 25) Стадников Г., Анализ и исследование углей, Харьков, 1932; 26) Жемчужников Ю., Химич. свойства составных частей каменных углей, «Химия твердого топлива», М., 1931, 2; 27) Стадников Г., Анализ каменного топлива, «ИТИ», 1932, 3; 28) Шахнов А., Поджарская Д., О применении автоматического калориметра для определения теплотворной способности топлив, «Заводская лаб.», 1935, 3; 29) Тепловые измерения, под ред. С. Липина, М., 1934; 30) Криченко И., Подземная газификация, «Уголь», 1934; 31) Попов М., Термометрия и калориметрия, М.—Л., 1935; 32) Шахнов А., Поджарская Д., «Химия твердого топлива», 1935, 6.

**КАНАЛИЗАЦИЯ**, система сооружений для отвода сточных вод (см.). В состав этих сооружений входят в основном: 1) канализационная сеть, берущая свое начало у приемных нечистот и оканчивающаяся у спуска обезвреженных сточных вод в естественный водоток; 2) водоподъемные сооружения; 3) сооружения для очистки сточных вод. На канализационной сети помимо отводящих сточные воды труб и каналов расположены по их длине и в тесной связи с ними устройства для эксплуатации указанных труб и каналов, санитарно-технич. приборы и прочие приспособления и сооружения, вызываемые местными условиями. Стоку подлежат klozetные, хозяйственные (из кухонь, ванных, прачечных и пр.), банные, промышленные (с ф-к и з-дов) и атмосферные (дождевые и талые) воды. Удаление этих сточных вод м. б. произведено: а) всех вместе по одной общей для всех сточных вод системе каналов (общесплавная система), б) раздельно в отношении атмосферных и остальных сточных вод по двум системам каналов (полная раздельная и полураздельная системы), в) всех сточных вод

ва исключением атмосферных по одной системе каналов (неполная раздельная система). Атмосферные воды в последнем случае отводятся по естественным водотокам или по открытым лоткам и канавам. При полураздельной системе К. первые загрязненные порции дождевых вод отводятся при посредстве интерцепторов и других приспособлений в сеть грязевых вод. Для расчета каналов на пропуск атмосферных вод следует при коротких каналах принимать во внимание сильные, но кратковременные ливни как дающие наибольший расход сточных вод, а при более длинных каналах надлежит по тем же соображениям принимать во внимание менее сильные, но более продолжительные ливни. Расход пропускаемых через канализационную систему атмосферных вод следует по возможности ограничить стоком с площади, занимаемой населенным местом, с тем, чтобы атмосферные осадки, выпадающие на остальной площади данного бассейна и стекающие к населенному месту, были перехвачены и отведены в сторону от последнего системой водоотводных канав. Расчет атмосферных осадков ведется в л/сек га (1 л/сек га = 0,006 мм/мин или 1 мм/мин = 167 л/сек га). При общесплавной, полной раздельной и полураздельной системах попадает в канализационную сеть часть выпадающих атмосферных осадков, равная

$$Q = \varphi \cdot N \cdot F,$$

где  $\varphi$  — коэф. стока, варьирующий в зависимости от свойства поверхности, по которой стекают атмосферные воды, в пределах 0,01—0,95,  $N$  — количество атмосферных осадков, выпадающих на единицу площади;  $F$  — расчетная площадь стока, выраженная в тех же единицах. В зависимости от плотности застройки принимают  $\varphi = 0,7 \div 0,9$  для старых плотно застроенных частей города,  $\varphi = 0,5 \div 0,7$  для кварталов с плотной застройкой (без садов),  $\varphi = 0,25 \div 0,5$  для кварталов с постройками, окруженными садами,  $\varphi = 0,1 \div 0,3$  для незастроенных площадей. Более точно величину стока определяют, учитывая свойства поверхностей стока; значения принимаемого обычно коэф-та стока  $\varphi$  таковы:

Тип поверхности стока	$\varphi$
Металлич., черепичные и асбидные кровли . . . . .	0,95
Толстые кровли . . . . .	0,90
Асфальтовые мостовые и тротуары . . . . .	0,80—0,90
Плотные каменные мостовые . . . . .	0,80—0,85
Гольц-цементные кровли и мостовые с неплотными стыками . . . . .	0,50—0,70
Булыжные мостовые . . . . .	0,40—0,50
Песчированные дороги . . . . .	0,25—0,45
Гравийные дорожки . . . . .	0,15—0,30
Сады, парки и поля . . . . .	0,05—0,25
Лесные участки . . . . .	0,01—0,20

При поверхностях разного свойства коэф. стока определяется по ф-ле

$$\varphi = \frac{\sum f_i \varphi_i}{\sum f_i},$$

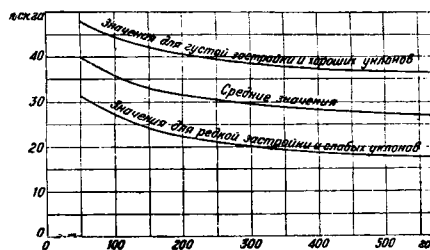
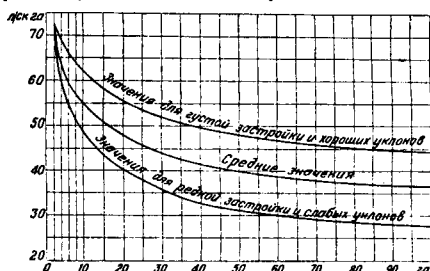
где  $f_i$  означает различные поверхности со свойственными каждой из них коэф-тами стока  $\varphi_i$ . На фиг. 1 представлены два графика для ориентировочных подсчетов количества притекающей к водостокам воды в л/сек га в зависимости от характера застройки, уклонов и размеров бассейна в га. При большой длине каналов, отводящих атмосферные воды, следует учесть замедление стока, характеризующееся коэффициентом замедления стока  $\psi$ . Расход в этом случае выразится величиной:

$$Q = \varphi \psi NF.$$

Коэффициент замедления стока может быть определен приближенно по формуле

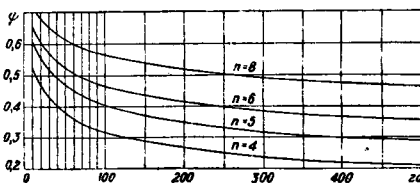
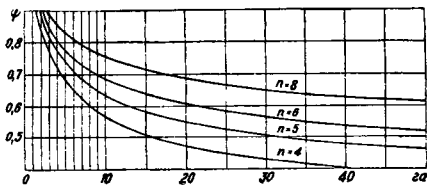
$$\psi = \frac{1}{n \sqrt{F}},$$

где  $n = 8$  для больших уклонов и бассейнов 6. или м. округленной формы;  $n = 6$  для средних условий;  $n = 5$  для слабых уклонов и бассейнов



Фиг. 1.

удлиненной формы;  $n = 4$  для очень слабых уклонов и сильно вытянутых бассейнов. Для облегчения определения расхода имеются таблицы и графики. На фиг. 2 представлены два

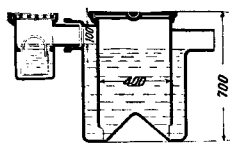


Фиг. 2.

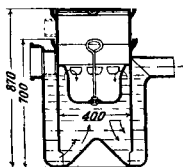
графика для определения коэф-та замедления стока на основании последней ф-лы в зависимости от величины  $n$  и площади бассейна, тяготеющего к рассматриваемому населенному месту. Коэф. замедления стока м. б. определен также приближенно в зависимости от длины  $l$  логг, причем  $\psi = 1$  при  $l = 0 \div 400$  м;  $\psi = 0,9$  при  $l = 406 \div 600$  м.

$\psi = 0,8$  при  $l = 600 \div 800$  м;  $\psi = 0,7$  при  $l = 800 \div 1\,000$  м;  $\psi = 0,6$  при  $l = 1\,000 \div 2\,000$  м;  $\psi = 0,5$  при  $l = 2\,000 \div 4\,000$  м и  $\psi = 0,4$  при  $l > 4\,000$  м. Замедление стока м. б. также определено графически и методом предельных интенсивностей. Количество атмосферных осадков определяется при помощи *дождемера* (см.).

Канализационная сеть разделяется на домовую, дворовую и уличную. Для домовой сети применяют обыкновенно чугунные раструбные канализационные трубы (см.) диаметром 50—125 мм, соединяемые в стыках посредством просмоленной пряди и асфальтовой замазки. Канализационные стояки следует по возможности располагать у внутренних стен, избегая расположения у наружных стен для лучшего обеспечения от возможного воздействия мороза. В дворовой сети употребляются в настоящее время по преимуществу штейнгутовые трубы с асфальтовым стыком. Диаметр этих труб берется при раздельной системе К. 125 мм, а при общесплавной системе 150—200 мм. Прантика показала, что эти диаметры являются достаточ-



Фиг. 3.



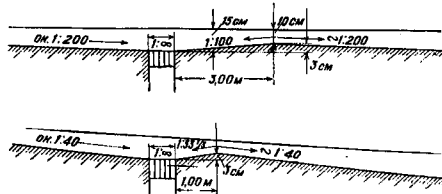
Фиг. 4.

ными, будучи в то же время наименьшими допускаемыми для наружных канализационных трубопроводов. Трубам дворовой сети, располагаемым ниже глубины промерзания, следует по возможности придавать уклон не менее 0,02, т. е. при меньшем уклоне потребуются приспособления и устройства для периодической промывки сети. Все приемники нечистот (унитазы, писсуары, раковины, умывальники, трапы и пр.) д. б. изолированы от канализационной сети посредством *водяного затвора* (см.).

На линии, соединяющей уличную сеть с вытяжной трубой, не следует располагать водяные затворы и грязеловки, т. е. при наличии таковых, с одной стороны, немалым будет вентиляция канализационной сети, а с другой стороны, — произойдет загнивание грязевых вод в грязеловках со всеми вытекающими отсюда последствиями. Вентиляция осуществляется движением воздуха от приемника уличного воздуха (полые тубы, решетчатые крышки смотровых колодез и пр.) через уличную, дворовую и домовую сети по стоякам последней в вентиляционную трубу, перекрываемую флюгаркой или дефлектором (см. *Вентиляция*). Как правило устье вытяжной (вентиляционной) трубы должно возвышаться над крышей не менее чем на 70—100 см и находиться не ближе 5 м от окон соседних зданий и вообще отверстий в зданиях. В соответствующих случаях надлежит располагать вблизи приемников сточных вод жиroleвки (фиг. 3) и бензиновые ловители (фиг. 4). Перед впуском сточных вод в жиroleвку или бензиновый ловитель целесообразно предотвратить пропускать их через небольшую песколовку. В тех местах, где возможно подпор высоких вод, располагают обратные клапаны

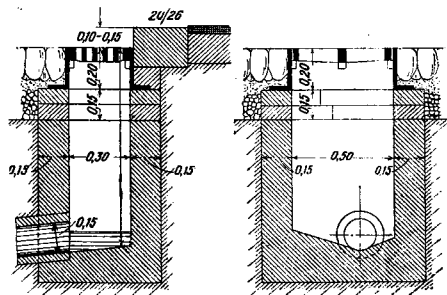
и бы (автоматические или приводимые в действие от руки). На фиг. 5 показан автоматич. обратный клапан в соединении с половым трапом.

Водосточные и дождевые трубы, отводящие дождевую воду с крыш в канализационную сеть, должны иметь диаметр не менее



Фиг. 6.

100 мм. По Генцмеру следует назначать на 1 м<sup>2</sup> поверхности крыши 0,8—1,0 см<sup>2</sup> поперечного сечения водосточных труб. Если рядом с высоким зданием расположено более низкое здание, то водосточные трубы последнего следует снабдить водяным затвором, чтобы устранить проникание зловонных газов в выше лежащие жилые помещения. Атмосферные осадки, ниспадающие на мостовые и тротуары, отводятся к дождеприемникам и через них в канализационную сеть. Для правильного стока мостовым придают поперечный уклон (см. *Мостовые*). Край шоссеванных улиц вымачивают камнем на ширину не менее 0,5 м во избежание размыва в этих местах. Борт тротуара должен возвышаться над примыкаемым уличным лотком на 10 см в высшем месте лотка и на 15 см (в исключительных случаях до 20 см) над местом расположения дождеприемника. Лотку придают больший уклон, чем тротуарам, причем скорость течения воды по лоткам не должна по возможности превосходить 2 м/сек. У дождеприемников лоткам придают с низовой стороны обратный скат (фиг. 6) для того, чтобы вода не переливалась через дожде-

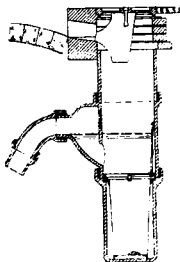


Фиг. 7.

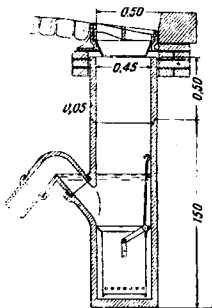
приемник. При сравнительно малых уклонах мостовых дождеприемники располагают с таким расчетом, чтобы на каждый пришлось 300—800 м<sup>2</sup> мостовых или чтобы расход атмосферных вод равнялся 5 и не свыше 10 л/сек. На улицах с большим уклоном дождеприемники размещают ближе друг к другу, а в некоторых случаях располагают два дождеприемника рядом с тем, чтобы не дать воде переливаться через таковые. На перекрестках улиц дождеприемники устраивают, отступая на 3 м от угла зданий, чтобы они не мешали движению экипажей на поворотах.

Дождеприемники устраивают из бетона, кирпича, керамиковых труб и из готовых фабричных частей. В поперечном сечении дождеприемники м. б. круглые, квадратные или прямоугольные. Дождеприемники, устраиваемые из фабрично заготовленных частей, имеют всегда круглое сечение diam. не менее 40 см. Прямоугольные дождеприемники, устраиваемые на месте, делают сечением не менее 30×50 см (фиг. 7). Когда уклон каналов незначителен и есть опасение, что попадающий в канал ил будет оседать на стенках и загнивать, то дождеприемники устраивают с грязеловками, улавливающими ил, грязь, песок и разные тяжелые вещества. Для того чтобы в дождеприемники не попадали крупные тела и притом не задерживался сток воды, решетки на дождеприемниках делают с прозорами ок. 2,5 см. При наличии в дождеприемниках грязеловок перелив д. б. расположен ниже глубины промерзания. Грязеловки надлежит периодически очищать. Для удобства очистки в дождеприемниках устанавливают или подвешивают ведра, которые м. б. легко подняты и освобождены от накопившихся отбросов.

Водяных затворов в дождеприемниках в настоящее время б. ч. не устраивают, имея в виду, что при рационально устроенной вентиляции канализационной сети канальный воздух вытягивается наружу выше крыши. В то же время свежий воздух поступает в каналы через дождеприемники взамен ушедшего зловонного воздуха. Т. о. при рационально устроенной вентиляции



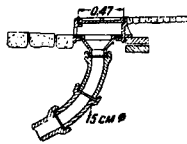
Фиг. 8.



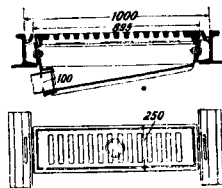
Фиг. 9.

исключается возможность распространения зловония через дождеприемники, даже если водяной затвор в них отсутствует. При наличии водяных затворов в дождеприемниках уровень воды в них д. б. расположен ниже глубины промерзания. Из дождеприемников вода отводится трубами соответствующего диаметра (по Шокличу  $\varnothing$  равен 10—20 см.) При керамиковых дождеприемниках раму, на к-рой покоится решетка, опирают на специальный фундамент, сложенный из нескольких рядов кирпичей (фиг. 8). Делается это в целях устранения возможных повреждений ударами проезжающих повозок. При бетонных дождеприемниках, устроенных из готовых звеньев (фиг. 9), раму решетки располагают на таком же фундаменте. При набивке бетона на месте раму решетки насаживают непосредственно на бетонные стенки. Целесообразно бетонные стенки дождеприемников перекрывать несколькими рядами кирпичей и уже на эти ряды опирать раму решетки; это полезно делать на случай возможных изменений в высоте расположения мостовых. На улицах с оживленным грузовым движением дождеприемники располагают под тротуарами

(фиг. 10). Отвод атмосферных осадков от трамвайных путей производится, как показано на фиг. 11. Для быстрого удаления снега с улиц устраиваются снеговые шахты непосредственно над водосточными каналами или же в связи с дождеприемниками

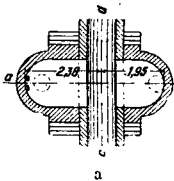


Фиг. 10.

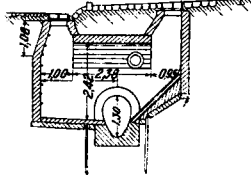


Фиг. 11.

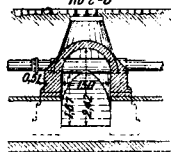
(фиг. 12). Такие снеговые шахты возможно устраивать лишь при каналах с большими расходами воды и притом не ближе 100—200 м от дюкеров (см.) и 350—700 м от насосных станций и очистных устройств. Снег растаивает, пройдя по каналу расстояние ок. 400 м. Скату, по к-рому снег сползает в канал, д. б. приподнят на менее 1 : 1. На фиг. 13 показаны дождеприемники, в к-рые вода поступает из водосточных дождей труб и через к-рые



а



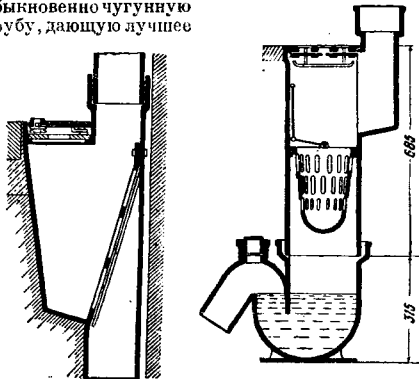
б



в

Фиг. 12.

дождевые воды отводятся в канализационную сеть. Нижняя часть водосточных труб на высоту 1,5—2,0 м от поверхности земли представляет собой обыкновенно чугунную трубу, дающую лучшую



Фиг. 13.

соединение с дождеприемником и в большей степени гарантирующую исправность дождевой водосточной трубы.

Уличная сеть начинается с diam. 150 мм (минимальный диаметр). При достаточном расхо-



де сточных вод трубы следует брать диаметром  $\leq 200$  мм. Первоначальные уличные линии присоединяются к коллекторам, по расположению к-рых различают следующие системы канализационной сети: перпендикулярную (коллекторы направлены перпендикулярно к реке); пересеченную (перпендикулярные по отношению к реке коллекторы перехватываются главным береговым коллектором); параллельную, или веерную (коллекторы расположены параллельно к реке или веерообразно); поясную, или зональную (населенное место разделено на пояса, или зоны, канализуемые независимо друг от друга); радиальную (отдельные радиально отделенные друг от друга участки населенного места канализуются самостоятельно по направлению от центра к периферии); комбинированную (сочетание различных перечисленных выше систем). Для каждой улицы прокладывают обычно один коллектор по ее середине. При особенно широких улицах прокладывают два коллектора (на каждой стороне улицы по одному) вдоль тротуаров, чтобы уменьшить длину и увеличить уклон домовых ответвлений.

Канализационная сеть д. б. проложена всюду на глубине, большей глубины промерзания грунта, а при малой глубине промерзания канализационная сеть д. б. перекрыта достаточным слоем земли, предохраняющим сеть от повреждений грузовыми поездами. Наименьшей глубиной в последнем отношении считается глубина в 1,0—1,5 м. Глубина расположения уличных каналов зависит также от глубины расположения домовых ответвлений, долженствующих отводить хозяйственные воды также из подвалов и осушать их, причем уличный канал д. б. расположен приблизительно на 1—1,5 м ниже наиболее низко расположенного приемника нечистот. На глубину расположения уличных каналов влияют кроме того глубина домового участка и ширина улицы. Указанная зависимость м. б. выражена ф-лой

$$T_{\min} = H + D + h + iL,$$

где  $T_{\min}$  — наименьшая глубина укладки уличных каналов,  $H$  — глубина расположения нижнего приемника нечистот по отношению проезжей части улицы над каналом,  $D$  — диаметр примыкающей к уличному каналу дворовой магистрали,  $h$  — превышение низа последней в месте примыкания над подошвой уличного канала,  $i$  — уклон дворовой магистрали,  $L$  — расстояние от уличного канала до наиболее низко расположенного приемника нечистот. Большая глубина укладки каналов способствует большему понижению подземных вод. Для уменьшения земляных работ канализационную сеть необходимо стремиться располагать так, чтобы ее каналы шли по направлению уклона местности, избегая при этом обратных уклонов. При малом уклоне местности каналы прокладывают с большим уклоном, чтобы обеспечить скорость в каналах при расходе в сухую погоду не меньше 0,6 м/сек для предотвращения возможности заиливания каналов. Когда по местным условиям это невыполнимо, то прибегают к промывным устройствам. При большом уклоне местности каналы приходится располагать с меньшим уклоном, уступами. Каналы д. б. так спроектированы, чтобы в них не мог получиться подпор. С этой целью каналы различных сечений соединяют так, чтобы при расходе в сухую погоду горизонты воды находились на равной высоте, а еще лучше, чтобы при этом расходе шельфы

смыкаемых каналов находились на одной высоте. При увеличении размеров каналов вдоль канализационной линии равнение м. б. произведено по шельгам каналов или по их подошвам. В первом случае м. б. полностью использованы поперечные сечения каналов, но приходится опускаться каналами на большую глубину, равную разности высот каналов. Во втором случае увеличение размеров каналов не влечет за собой такого углубления каналов, но при полном использовании поперечных сечений каналов последние будут находиться под небольшим напором. Следует по возможности придерживаться первого способа соединения каналов. Второй способ применяется лишь в исключительных случаях, когда крайне необходимо выиграть на глубине прокладки труб. В больших каналах, где всегда течет определенное количество воды и осадки легче убирать, при невозможности придать каналам уклоны, требуемые минимально допустимой скоростью, скорость м. б. немного уменьшена. В малых же каналах, где как при общесплавной, так и при раздельной К, приток воды часто весьма мал, скорость д. б. взята больше минимально допустимой. Средняя желательная скорость варьирует в пределах от 0,6 до 0,9 м. Что касается общесплавной К, то при ней каналы рассчитывают на наполнение во время больших дождей всего сечения или известной большей части его и скорость проверяют при пропуске одних хозяйственных вод. При раздельной К каналы рассчитывают на хозяйственные воды, принимая обыкновенно неполное наполнение. Скорость, получаемая при наибольшем расходе хозяйственных вод, д. б. в обоих случаях достаточной, чтобы предохранить каналы от засорения осадками. В верхних концах сети наполнение получается незначительное и скорость очень мала; поэтому в слепых концах сети приходится позаботиться об устройстве промывных приспособлений. Скорость при расходе в сухую погоду не должна превышать 3 м/сек во избежание осадков, а при наибольшем расходе — 5 м/сек (т. к. при большей скорости получается большое истирание подошвы каналов проносимым песком).

Каждый определенный участок сети имеет постоянные размеры и постоянный уклон дна. При расчете, руководствуясь профилем местности, задаются некоторым гидравлическим уклоном, определяют по расходу сечение и степень наполнения, по к-рой и принятому гидравлич. уклону определяют уклон дна канала. Расчет повторяют до получения надлежащего гидравлич. уклона и уклона дна. В малых каналах и трубах уклон дна берут обыкновенно равным гидравлич. уклону. Размеры каналов м. б. определены, если известны наибольший расход  $Q$ , уклон  $J$  и форма поперечного сечения канала. Для расчета канализационных каналов применяют те же ф-лы, что и при *дизенчине воды* (см.) в открытых каналах. Хаан (H. Haahn) рекомендует в тех случаях, когда приходится особенно экономить как в отношении сечения каналов, так и в отношении уклона, допускать незначительный напор, равный примерно нескольким см вод. ст. При этом потеря напора вдоль канала длиной  $L$  выразится величиной

$$h = c L Q^2,$$

где  $c$  — величина, зависящая от свойств стенок канала и от его размеров в свету, но постоянная для определенного участка сети. В том месте канала, которое расположено в расстоянии  $x$  от

его начала, потеря напора на протяжении  $dx$  будет равна

$$dh = cQ_x^2 dx,$$

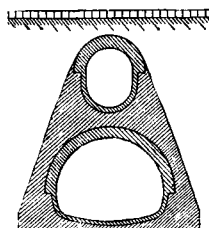
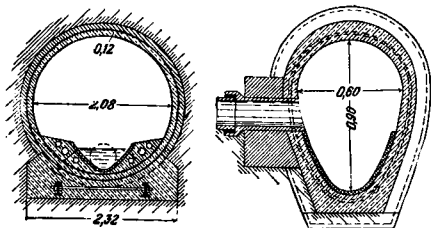
а на участке канала от 0 до  $x$  потеря напора выразится величиной

$$h = c \int_0^x Q_x^2 dx,$$

причем

$$Q_x = Q_0 + Q_{np.} = Q_0 + qx,$$

где  $Q_0$  — расход в начале канала,  $Q_{np.}$  — расход от притока на протяжении рассматриваемого участка, зависящий от величины и геометрии формы площади, обслуживаемой данным каналом,  $q$  — расход от притока на  $n$  м длины канала при прямоугольной площади, обслуживаемой данным каналом и расположенной вдоль



Фиг. 14.

последнего. Потеря напора  $H$  в конце канала длиной  $L$  будет равна

$$\begin{aligned} H &= c \int_0^L Q_x^2 dx = c \int_0^L (Q_0 + qx)^2 dx = \\ &= c \left[ Q_0^2 L + Q_0 q L^2 + \frac{1}{3} q^2 L^3 \right] = \\ &= Lc \left[ Q_0^2 + Q_0 Q_{np.} + \frac{1}{3} Q_{np.}^2 \right]. \end{aligned}$$

При  $Q_0 = 0$  получим

$$H = cL \cdot \frac{1}{3} Q_{np.}^2 = cL (0,58 Q_{np.})^2.$$

В общей форме

$$H = cL (\eta Q_{np.})^2,$$

где  $\eta$  представляет собой величину, зависящую от формы площади, обслуживаемой данным каналом. При произвольной форме этой площади ее разделяют на полосы и определяют расход для каждой полосы. По отдельным расходам строят линию расходов  $Q_x$  и линию  $Q_x^2$ . Площадь, ограниченная последней, выразит собой искомый интеграл, т. е.

$$F = \int_0^L Q_x^2 dx.$$

На основании вышеприведенных ф-л получим

$$H = c \int_0^L Q_x^2 dx = cF$$

к

$$H = cL (\eta Q_x)^2.$$

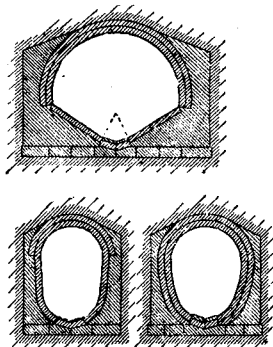
Из последних двух ур-ий найдем, что

$$F = L (\eta Q_x)^2,$$

откуда коэф. уменьшения  $\eta$  выразится величиной

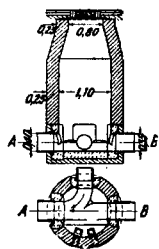
$$\eta = \sqrt{\frac{F}{L \cdot Q_x^2}}.$$

Наиболее употребительное сечение каналов — круглое; как в гидравлич., так и в статич. отношении оно имеет преимущества перед большим числом других поперечных сечений. На фиг. 14 представлены различные поперечные сечения канализационных каналов, дающие представление о форме и о конструкции этих каналов. Материалами для устройства последних могут служить штейнгут, бетон (при отсутствии агрессивных по отношению к нему материалов), клинкер и порланд-цемент. Все

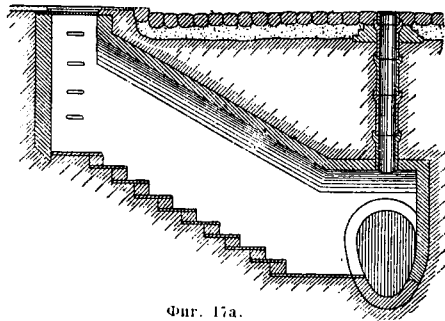
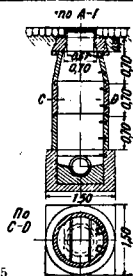


эти материалы д. б. лучшего качества; они должны удовлетворять всем требованиям прочности строительных материалов, быть по возможности непроницаемыми и давать гладкую поверхность, не препятствующую движению вод в каналах.

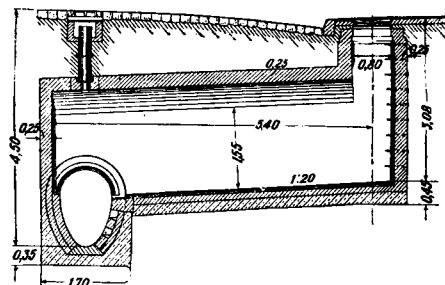
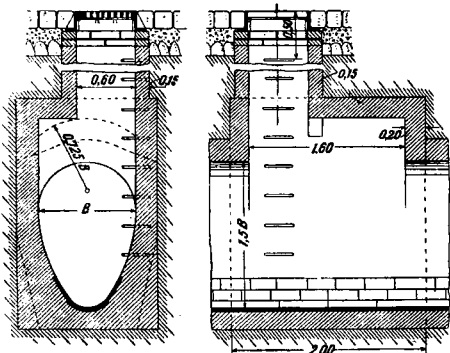
Для лучшего смыкания отдельных канализационных участков и наблюдения за исправным состоянием канализационной сети и прочистки отдельных участков ее устраивают на дворовых и уличных канализационных линиях смотровые колодцы, располагаемые обыкновенно непосредственно над самими каналами во всех местах, где происходит примыкание каналов, а также где меняются направление, диаметры или уклоны канала. Между каждыми двумя смотровыми колодцами как правило каналы д. б. расположены по прямой линии. На прямых участках при непроходимых и непролазных каналах смотровые колодцы располагают через каждые 50—70 м. При пролазных каналах это расстояние м. б. доведено до 120 м, а при проходных каналах оно м. б. увеличено еще больше. Материалом для устройства смотровых колодцев б. ч. служит бетон, реже кирпич. Сечение смотровых колодцев б. ч. круглое или прямоугольное. Несколько конструкций смотровых колодцев дано на фиг. 15 и 16. Дворовый смотровой колодец, ближайший к уличной трубе, носит название контрольного. При больших каналах и на улицах со значительной ездой располагают иногда в стороне от канализационной линии особые канализационные колодцы, соединяемые с каналами галлереями (фиг. 17а и 17б). В местах уступов канализационной линии (при большом уклоне местности) смотровые колодцы делают с перепадами. На фиг. 18 показаны два типа таких колодцев. Через смотровые колодцы сточные воды пропускаются по лоткам, одетым глазурированной желобчатой керамикой. Ни в коем случае не



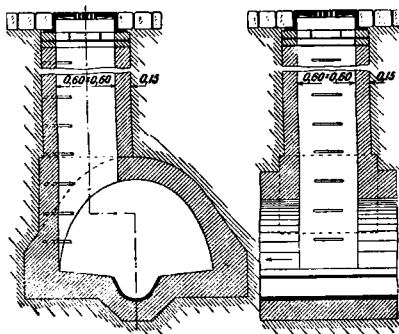
Фиг. 15.



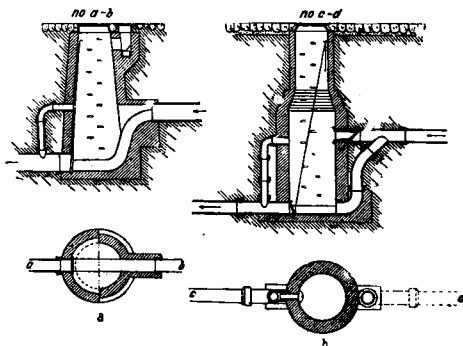
Фиг. 17а.



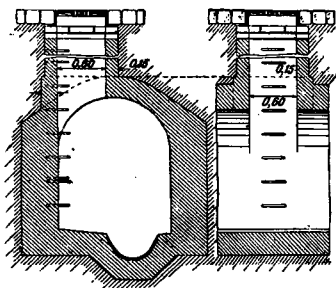
Фиг. 17б.



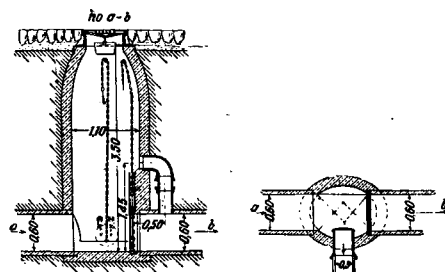
Фиг. 16а.



Фиг. 18.

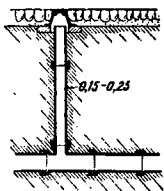


Фиг. 16б.



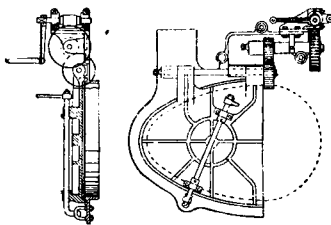
Фиг. 19.

следует в смотровых колодцах устраивать грязеуловки. Для опускания в смотровые колодцы в их стенки заделывают стальные скобы. Сверху смотровые колодцы закрывают съемными чугунными крышками диам. 0,50—0,70 м. Крышки не д. б. скользкими, поэтому их обыкновенно



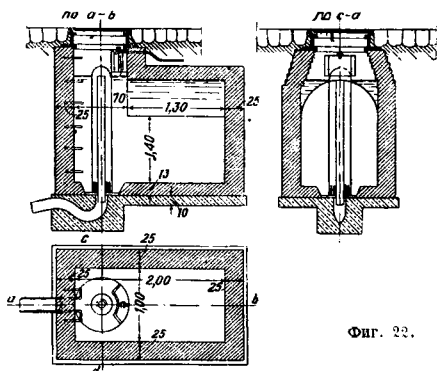
Фиг. 20.

делают со вставленными в середину деревянными шашками, пропитанными антисептиками. Крышки эти иногда делают с отверстиями в средней их части (продушины) для прохода воздуха в целях вентиляции каналов. К таким крышкам часто прикрепляются особые ведра для задержания проникающей через продушины уличной пыли (фиг. 19). При бетонных смотровых колодцах



Фиг. 21.

верхняя их часть между бетонной массой и рамой, на к-рой покоится крышка, состоит из нескольких рядов кирпичей, позволяющих лучше приспособляться к переменам в высоте располо-

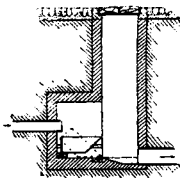


Фиг. 22.

жения поверхности мостовых. На малых трубчатых каналах в целях экономии иногда каждый намеченный к постройке второй колодец заменяют ламповым колодцем, состоящим из вертикальной

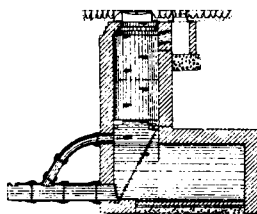
трубы диам. 200 мм (фиг. 20). В эти колодцы во время осмотра канализационной сети опускают лампы, долженствующие освещать каналы, однако применение этих ламповых колодцев затрудняет очистку каналов. Когда скорость движения сточных вод в каналах при расходе в сухую погоду получается меньше 0,60 м/сек, приходится прибегать к промывке каналов. Промывку обыкновенно производят сточными же водами, для чего в малых каналах применяют пробки, задвижки и

клапаны, а в больших—особые дверки, к-рым подпирают воду в вышележащих каналах. При быстром открытии этих затворов вся масса воды сразу устремляется в нижележащий канал и промывает его. При небольших каналах и трубах промывные приспособления помещают в смотро-



Фиг. 23.

вых колодцах, а при больших каналах — в особых камерах. Когда для промывки пользуются водой из водопровода, наполнение смотровых колодцев производится решившими руками из гидрантов. В соответственных случаях употребляют для промывки канализационных каналов воды естественных водоемов и сточные воды з-дов или вышележащих систем К. Объем воды при малых каналах берется равным 1—3 м<sup>3</sup>, а при больших он доходит до 15 м<sup>3</sup>. На высоте наибольшего уровня воды устраивается перелив, по которому избыточная вода стекает в низовой, подлежащий промывке канал. Промывные затворы открываются и закрываются от руки непосредственно или при помощи передачи (фиг. 21). Промывка м. б. произведена также автоматически



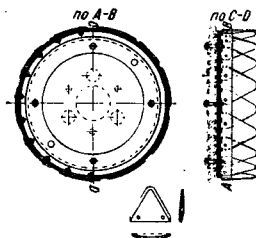
Фиг. 24.

при помощи системы К. при помощи сифонной разнородной конструкции, устанавливаемых в промывных камерах (фиг. 22), или при помощи спускающихся сосудов (фиг. 23), устанавливаемых в смотровых колодцах. Для промывки слепых концов сети устраиваются про-

мывные камеры (фиг. 24), располагаемые по оси промываемых каналов.

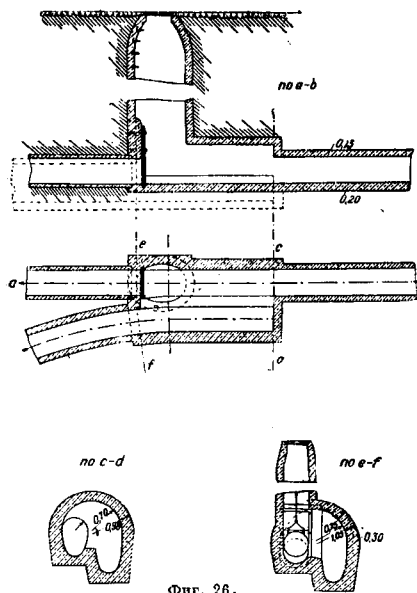
Когда промывка не достигает цели, прибегают к очистке каналов. Малые каналы очищают при помощи щеток или особых тележек, протаскиваемых веревками

между отдельными участками труб, или при помощи особых станков на колесах. Большие каналы очищают при посредстве дощатых щитов на роликах, приводимых в движение напором самих сточных вод. Когда же нельзя протянуть веревки от щетки через канал вследствие чрезмерного засорения или чрезмерной закупорки его, то для очистки канала пользуются длинными гибкими тростниковыми палками или стальными (навинчиваемыми) стальными трубами, из к-рых первая снабжена резаком. Этими приспособлениями однако можно пользоваться лишь в том случае, когда засорение произошло вблизи смотрового колодца, в противном случае приходится это место откапывать. При правильном уходе за сетью и периодической промывке случаи такого засорения бывают редко. Проникшие



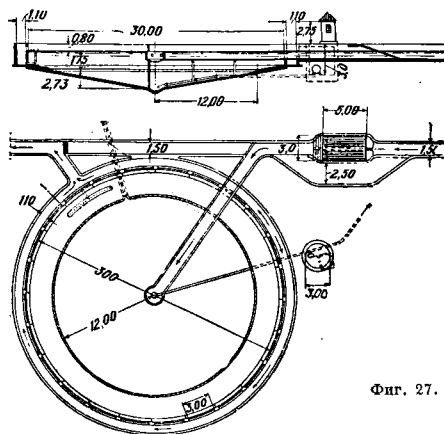
Фиг. 25.

в каналы корни растений вырезаются специальными резаками (фиг. 25), протаскиваемыми через каналы вперед и назад в соответственных местах сети.



Фиг. 26.

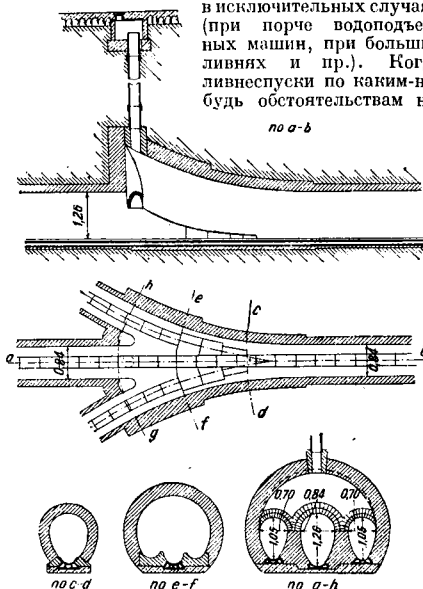
Для уменьшения размеров каналов при общеплавной К. устраивают в подходящих местах в каналах или колодцах особые продолговатые отверстия — ливнеспуски, от которых идут



Фиг. 27.

отводные каналы — ливнеотводы, направляющие воду кратчайшим путем в естественный водоток или овраг (фиг. 26). Превышение порога ливнеспуска над подошвой канала зависит от принятой степени разжижения сточных вод, спускаемых в реку, без загрязнения последней. Обычно считается достаточным 4—5-кратное разжижение. Дно ливнеотвода обыкновенно располагают ниже порога ливнеспуска. Взаимное

расположение дна ливнеотвода и порога ливнеспуска зависит от уровня воды в естественном водотоке, в к-рый спускаются воды. В случае опасности затопления ливнеотводов весенними водами предусматриваются заслонки, автоматически открывающиеся при поднятии уровня воды в каналах и закрывающиеся при высоком уровне воды в реке. Ливнеотводы делают обыкновенно лоткового сечения. Ливнеспуски рассчитываются, как водосливы. Если вынос плавучих и взвешенных веществ через ливнеспуски и ливнеотводы не м. б. допущен, то их предварительно выделяют способами очистки *сточных вод* (см.). Помимо ливнеспусков часто в сети делают еще в уровне с дном каналов запасные выпуски, к-рые обыкновенно закрыты и открываются лишь в исключительных случаях (при порче водоподъемных машин, при больших ливнях и пр.). Когда ливнеспуски по каким-нибудь обстоятельствам не-

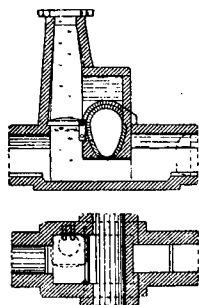


Фиг. 28.

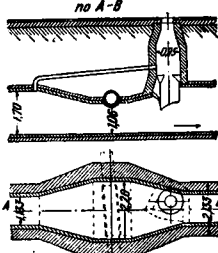
применимы, прибегают к устройству запасных бассейнов, закрытых или открытых (фиг. 27), заполняемых избыточной для канала водой и опорожняемых спуском воды после стока атмосферных осадков. Воду, к-рая остается в этих бассейнах при высоком расположении каналов, выкачивают. Осевший на дно бассейна ил подается особым насосом на очистительные сооружения. Напуск воды в бассейн производится через устроенный в канале ливнеспуск и через связующий ливнеотвод.

Соединение между собой двух и более уличных каналов делается так, чтобы направление течения воды в боковом и главном каналах совпадало (фиг. 28). Каналы различного сечения соединяются между собою так, чтобы при расходе в сухую погоду не получился подпор. Подошва бокового канала поэтому д. б. на такой высоте, чтобы при расходе в сухую погоду уровень воды в нем совпал с уровнем в главном канале, но лучше и здесь соединить между собой шельги каналов. В месте соединения каналов получается расширение, перекрываемое сводом, в наивысшей точке к-рого (если не предусмотрен здесь

смотровой колодец) помещают вентиляционную трубу. Пересечение двух независимых друг от друга канализационных каналов или одного канализационного канала с каналом другого назначения требует либо изменения сечения одно-

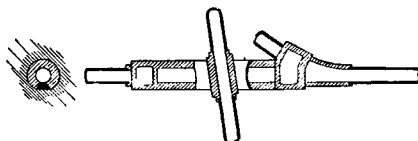
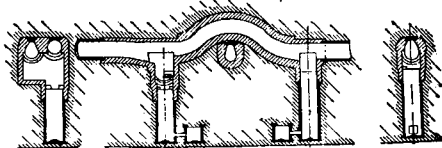


Фиг. 29а.



Фиг. 29б.

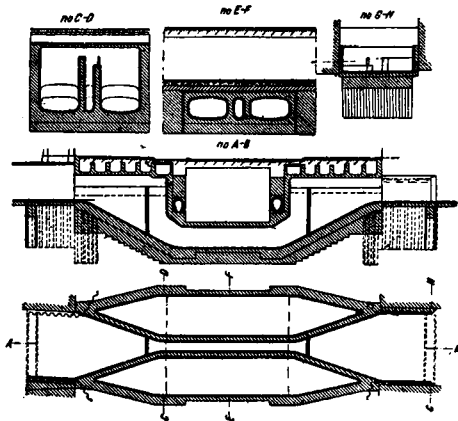
го из каналов в месте пересечения их (фиг. 29а и 29б) либо подведения одного канала под другой в виде дюкера (фиг. 30). К дюкерам (см.) приходится прибегать при пересечении канализационного канала с судоходным каналом, с же-



Фиг. 30.

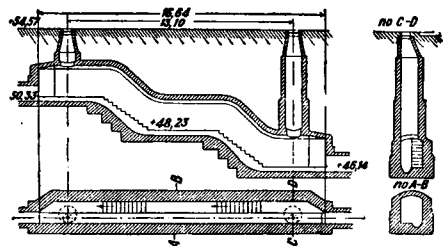
лезной дорогой (фиг. 31) и в других случаях. Дюкеры рассчитываются, как *трубопроводы* (см.), причем особое внимание д. б. уделено точному определению потерь напора. Уровень воды в отводной канализационной трубе по другую сторону дюкера будет ниже на величину потери напора. Потеря эта зависит от сопротивления течению при проходе через дюкер, от сужения сечения дюкера и от поворотов. Это обуславливает соответствующее более низкое расположение отводной канализационной трубы по другую сторону дюкера. В виду непостоянного расхода, особенно при обшесплавной канализации, дюкеры делают двойными с тем, чтобы во время дождя направлять сточные воды по двум трубам, в сухую погоду — по одной трубе, для чего в этом случае отверстие другой трубы закрывают щитом или задвижкой. Для очистки дюкера в соответственных местах в начале и в конце его устраивают пазы для вкладки в них шандоров на время очистки или выключение

дюкера из работы достигается другими затворными приспособлениями. Когда дюкер изолирован от примыкающих к нему каналов, производят откачку из него воды насосами. Для дюке-



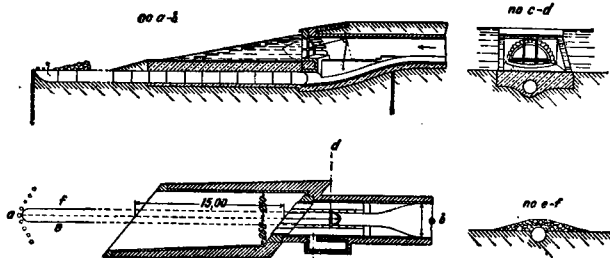
Фиг. 31.

ра, отводящего только грязные воды, скорость при максимальном расходе м. б. взята равной 1,5 м/сек, а для дюкера, отводящего дождевые воды, скорость при максимальном расходе берет-



Фиг. 32.

ся 3 м/сек. Иногда переходы через реку или овраг делаются в виде сифона (см.). Сифоны трудно засоряются и удобны там, где сточные воды приходится передавать на значительное рассто-



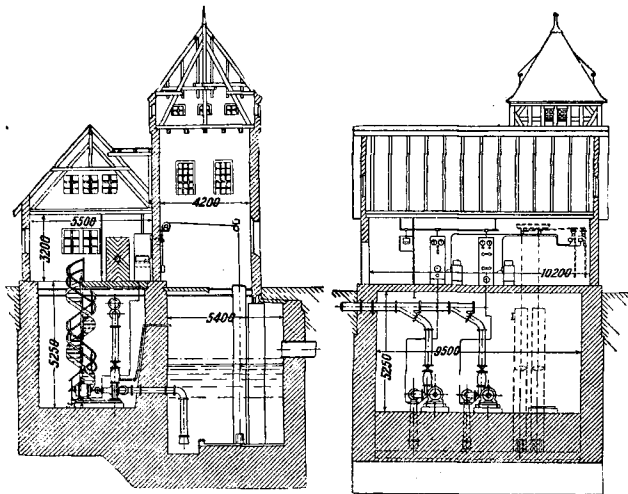
Фиг. 33.

яние, но поднимать не выше 6—7 м. Но, с другой стороны, потребность в тщательном и вследствие этого дорого обходящемся надзоре, необходимом при эксплуатации сифонов, заставляет применять

сифоны в канализационной сети возможно реже. Над самой высокой точкой, относимой возможно ближе к концу сифона, устанавливается колокпак, из которого собравшиеся газы удаляются воздушным насосом или иным способом. Для предотвращения попадания воздуха в сифон конец его изгибается вверх для получения гидравлич. затвора, а начало сифонной трубы укладывают на глубину самого низкого уровня воды; если это неосуществимо, то в начале сифона устанавливается автоматич. обратный клапан. Скорость протекания воды через сифон не д. б. больше скорости протекания в самотечных линиях. Когда каналы приходится располагать с большими уклонами, прибегают к устройству перепадов, смягчая уклоны между перепадами (фиг. 32).

ной станции в самых пониженных частях города. Приемный колодец должен вмещать не менее чем полусуточной приток воды и иметь запасный выпуск. Пуск в ход машин производится либо обслуживающим насосную станцию персоналом, либо автоматически посредством контактных поплавков. Магнететельный трубопровод рассчитывают, принимая во внимание экономич. соображения для получения наивыгоднейшего диаметра (см. *Трубопровод*).

*Лит.*: Чининов В., *Водоотсти, канализация городских и домовых СПБ*, 1895; Тимонов В., *Водоотстиление и водосток*, т. 3, СПБ, 1912; Енш А., *Канализация городов и очистка сточных вод*, СПБ, 1903; Иванов В., *Канализация населенных мест, Одесса*, 1926; Ушаков Н., *Канализация населенных мест*, Л., 1927; Данилов Ф., *Удаление и обезвреживание городских нечистот, канализация, очистка сточных вод*, М., 1927; Иванов В., *Водоотстиление и канализация поселков*, М.—Л., 1927; Звлягинский Я., *Канализация зданий*, М., 1928; *Справочник для инженеров строительной специальности*, М., 1928; *Труды Всес. водопроводного и санитарно-технического съезда*, Канализация и очистка городских и промышленных сточных вод, М., 1930; Büsing F., *Die Städtereinigung*, Stg., 1901, B. 3, *Der städtische Tiefbau*; Fröhling A., *Die Entwässerung der Städte*, Lpz., 1910, B. 4, T. 3, *Der Wasserbau*, *Handb. d. Ing. Wiss.*; Schenk I. z. v. A., *Der Wasserbau*, B., W., 1930; Genzmer E., *Die Entwässerung der Städte*, *Handb. d. Ing. Wiss.*, B. 4, T. 3, Lpz., 1924; Geissler W., *Kanalisation u. Abwasserreinigung*, B., 1933; Imhoff K., *Taschenbuch d. Stadtentwässerung*, Mch., 1925; Imhoff K., *Fortschritte der Abwasserreinigung*, B., 1926; Kerh D., *Berechnung von Regenwasserabflüssen*, B., 1933; Knauer H., *Kanalisation, Streitz in Mecklenburg*, 1924; Heydt Th., *Die Wirtschaftlichkeit bei den Stadtentwässerungsverfahren*, Mannheim, 1908; Imhoff K., *Fortschritte der Abwasserreinigung*, B., 1926; Ohlmüller W. u. Spitze O., *Die Untersuchung u. Beurteilung des Wassers u. Abwassers*, Berlin, 1921; Genzmer E., *Entwässerung der Städte*, *Handb. d. Ing. Wiss.*, B. 4, 1928; Hahn H. u. Laubert F., *50 Jahre Berliner Stadtentwässerung*, Berlin, 1928.



Фиг. 34.

Сточные воды чаще всего спускают в реки. Выпускную трубу укладывают ниже уровня наименьших вод, продолжают до фарватера и конец ее заглубляют по направлению течения. Трубы берут чугунные или стальные. При устройстве спуска необходимо соблюсти условие, чтобы весенние воды не подпирали сточных вод в каналах. На фиг. 33 представлен выпуск канализационных вод, в к-ром в обыкновенное время воды выходят по пониженной круглой трубе в русло реки, во время же больших ливней они открывают всычную дверку и выходят наружу по большому каналу. При спуске сточных вод в море выпуск также д. б. отнесен от берега и расположен возможно глубже в целях лучшего перемешивания спускаемых вод с морской водою и невозвращения к берегу во время приливов. При необходимости перекачки сточных вод сооружают, смотря по обстоятельствам, одну или несколько водоподъемных станций. Подъем сточных вод в настоящее время производится почти исключительно центробежными насосами, приводимыми в движение по возможности непосредственно соединенными с ними электромоторами. Перед насосами располагают решетку и часто также песколовку. Насосные станции состоят из машинного здания и приемного колодца (фиг. 34). Сточная вода должна попадать в последний самотеком, что обуславливает расположение насос-

ной станции в самых пониженных частях города. Приемный колодец должен вмещать не менее чем полусуточной приток воды и иметь запасный выпуск. Пуск в ход машин производится либо обслуживающим персоналом, либо автоматически посредством контактных поплавков. Магнететельный трубопровод рассчитывают, принимая во внимание экономич. соображения для получения наивыгоднейшего диаметра (см. *Трубопровод*).

**КАУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**, воздушн. связующие вещества, получаемые путем тонкого перемола обожженных при  $t^{\circ} 750-1000^{\circ}$  природных минералов — *магнезита* и *доломита* (см.).

Сырьем для каустиков магнетита служит природный магнетит  $MgCO_3$ , кристаллич. или аморфн. строения, обычно загрязненный примесями  $CaO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  и др. В СССР известно свыше 15 месторождений магнетита, но из них только два разрабатываются: Саткинское (Юж. Урал) месторождение кристаллич. магнетита и Халиловское — аморфного. Качество саткинского магнетита не уступает лучшим сортам заграничных месторождений в силу малого содержания извести и окиси железа. Халиловское месторождение более загрязнено примесями. В табл. 1 дан химический состав магнетита названных месторождений в сравнении с заграничными. Магнетиз в зависимости от чистоты его, цвета, размеров кусков, посторонних включений делится на сорта, приведенные в табл. 2.

Добытый магнетит дробится, сортируется и поступает в обжиг в шахтные, вращающиеся или тарельчатые печи. Шахтные печи применяются с выносными топками при твердом топливе, с форсунками при жидком топливе или газовые с гене-

раторами и особыми топками. На фиг. 1 (разрезы) изображена печь, работающая в Халилово на жидком топливе. В шахтную печь магнезит, загруженный сверху, по мере опускания подвергается действию тепла отходящих газов и переходя соответствующие зоны, высушивается,

и получение окиси магнезия  $MgO$ . Реакция эндотермическая и зависит от давления и  $t^\circ$ . Минимальной  $t^\circ$  для обжига нужно считать  $750^\circ$  и максимальной не выше  $1000^\circ$ . Оптимальной  $t^\circ$  при обжиге магнезита в шахтных печах считают  $800-850^\circ$  и во вращающихся  $1000^\circ$ . Обожженный магнезит перемалывается в тонкий порошок при помощи мельниц, принятых в цементном производстве. Порошок каустич. магнезита, замешанный на растворе хлористого магнезия, дает магнезиальный цемент, схватывающийся и отвердевающий в условиях воздушного хранения. При затворении порошная  $MgO$  раствором  $MgCl_2$

Табл. 1. — Химический состав магнезита (в %).

Наименование магнезита	MgO	CaO	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	$SiO_2$	Потеря при прокаливании
Сатинский . . .	44—46,9 45,0	0,2—2,0 1,3	1,3—3,5 1,7	0,5—2,5 1,7	49,5—52,0 50,9
Халиловский . . .	43,3—47,4 45,0	0,5—4,7 2,5	0,1—0,8 0,4	0,2—4,7 0,5	49,8—52,3 51,50
Австрийский Я (Вейтн) . . . . .	43—45	1,3—1,5	2—4	0,1—1	49,5—51,5
Американский (шт. Вашингтон) . . . . .	44,8—46,8	1,7—4,3	0,6—1,5	0,8—1,2	44,7—52,1
Греческий (остров Эвбея) . . . . .	44—7	0,8—2,0	0,1—3,0	1—2	46—53,8

подогревается, обжигается и охлажденный выгружается снизу в виде кусков и мелочи. Производительность шахтных печей  $8-15$  т/сутки, а новейших — до  $50$  т/сутки; расход топлива—15% на обожженный магнезит. Вращающиеся печи

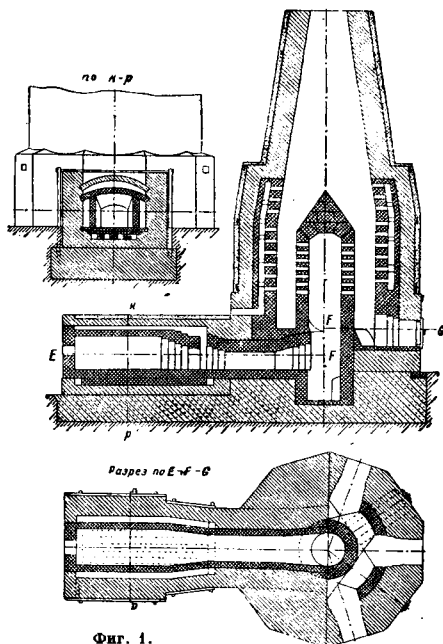
происходит реакция гидратации и образования гидрата окиси магнезия  $Mg(OH)_2$  и параллельно комплексной соли,  $MgCl_2 \cdot 3MgO \cdot 6H_2O$ , причем самый процесс по схеме твердения акад. А. Байкова протекает по трем стадиям: растворения, коллоидации и кристаллизации. Каустич.

Табл. 2.—Состав (в %), сорта и применение магнезита.

Составные части	Кристаллич. магнезит			Аморфный магнезит	
	I сорт *1	II сорт *2	III сорт *3	I сорт *1	II сорт *3
$MgCO_3$	97	93	93	97	99
$CaCO_3$	1,0	2,7	4,6	1,0	4,5
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	0,8	4,0	нс норм.	0,4	нс норм.
$SiO_2$	1,0	1,7	»	1,5	»

\*1 Для химической промышленности. \*2 Для огнеупора. \*3 Для каустич. магнезита.

для обжига магнезита такой же конструкции, как и для обжига портланд-цементного клинкера (см. Цементное производство). Для обжига сырой магнезит в виде щебенки попадает в верхний холодный конец вращающейся печи и, продвигаясь к нижнему горячему концу печи навстречу газам распыляемого сжигаемого топлива, высушивается, подогревается и обжигается. Обожженный магнезит падает затем в нижележащий барабан (холодильник) и уже охлажденный выходит из печи. Производительность вращающейся печи зависит от размеров ее и равна  $40-120$  т/сутки при расходе топлива 20%. Тарельчатая печь (фиг. 2) имеет железную тарелку 1 ( $\varnothing 8$  м), отфутерованную шамотным кирпичом, вращающуюся вокруг оси 2 на роликах 3, установленных на фундаменте 4. Пространство 5 под тарелкой служит для осмотра. Печь перекрыта сводом 6, в к-ром расположен бункер 7 для загрузки сырого магнезита; регулировка загрузки производится цилиндром 8. Обжиг производится теплом сгорающих генераторного газа или мауза, подаваемых горелкой 9 и уводимых в трубу 10. При вращении тарелки ( $12-24$  об/час.) магнезит передвигается при помощи ножей 11 от центра к периферии и сыпается в бункер 12. Производительность ее  $40-14$  т/сутки при расходе топлива до 35%. Во время обжига магнезита происходит разложение  $MgCO_3$  по ур-ю



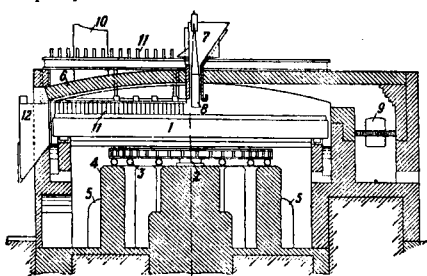
Фиг. 1.

магнезит должен обладать свойствами по ОСТ 3035 (см. Вязущие вещества). Применение находит при изготовлении магнезитовых полов, штукатурок, плиток, отделочных частей, искусственного камня, точильных камней, мельничных жерновов, фибролита, различных композиций на органическом и минеральном заполнителе.

Сырьем для каустич. доломита служит природный минерал кристаллич. строения, содержащий одновременно  $MgCO_3$  и  $CaCO_3$  в виде их смеси или двойного соединения или же смеси двойного соединения с  $MgCO_3$  и  $CaCO_3$ , загрева



ненный примесями  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и др. Залежи доломита в СССР имеют значительное распространение, но наиболее мощные месторож-



Фиг. 2.

дения его находятся в Карелии и на Юж. Урале, а также и в других местах Союза. Химич. состав доломитов показан в табл.

Табл. 3.—Химич. состав доломита (в %).

Наименование месторождения	CaO	MgO	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	Потери при прокаливании	Нерастворимое
Извары, Ленин. обл. . . . .	29,42	19,79	0,99	46,42	2,65
Шурово, Моск. обл. . . . .	32,44	20,02	0,40	46,66	7,00
Симский завод, Юж. Урал . . . . .	30,05	18,12	2,55	43,15	—
Зубово, Тверской район . . . . .	28,26	20,92	0,98	45,67	3,29
Ст. Щелково, Моск. обл. . . . .	31,10	20,10	1,80	47,00	не опред.

Обжиг его осуществляется в тех же печах, что и магнезита, при  $t^\circ$  полной диссоциации  $\text{MgCO}_3$ , т. е. в пределах  $750-850^\circ$ ;  $t^\circ$  обжига зависит от строения, минералогич. состава, количества отдельных компонентов. Обожженный доломит перемалывается в порошок и дает каустич. доломит  $\text{CaCO}_3$  и примеси. Химич. состав каустич. доломита Изварского месторождения след. 31,5—38,0% CaO; 21,8—25,05% MgO; 1,20—4,36%  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 2,20—4,00%  $\text{SiO}_2$  + нерастворимые вещества; потери при прокаливании 31,8—39,1%. В обожженном доломите нек-рая часть CaO м. б. свободной (до 2,5%), вся же остальная часть д. б. связана в  $\text{CaCO}_3$ . Порошок каустич. доломита, будучи замешан на растворе хлористого магния или других солей, его заменяющих, схватывается и твердеет в условиях воздушного хранения. Вяжущие свойства ему придает MgO, но в виду ее значительно сниженного количества, разбавленного балластом  $\text{CaCO}_3$ , они будут значительно ниже, чем у каустич. магнезита, что видно из следующего:

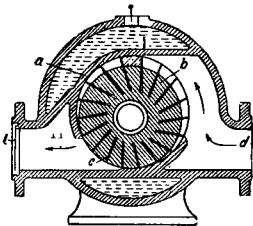
Уд. вес . . . . .	2,8—2,85
Помол:	
осталось на сите 300, % . . . . .	5
прошло через сито 400, % . . . . .	75
Растяжение с опилками 3:1, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	12—15
через 7 дней . . . . .	18—20
через 28 дней . . . . .	20
MgO, % . . . . .	> 20
CaO (свободный), % . . . . .	> 3

Начало схватывания — не ранее 2 ч., конец схватывания — не позже 12 ч. Равномерность изменения объема та же, что у магнезита. Каустич. доломит применяется при изготовлении фибролита, магнолитовых полов, прессованных и ли-

тых изделий, в облицовочных штукатурках и ряде композиций как с органическими, так и с минеральными заполнителями.

Лит.: П а р я г и н В., Магнезиальный цемент, М.—Л., 1933; К а р а ч у и с к и Я. В., Магнезит, его добыча, переработка и применение, М.—Л., 1926; М а ш к и н С., Магнезит, М.—Л., 1933; Б у б о в Н., Стройматериалы на базе каустического доломита, М.—Л., 1933; К п и б б с N., Lime a. Magnesia, J., 1924; В а л с о R., Der Magnesit u. seine Verarbeitung, В., 1932; В а й о А., Каустический магнезит, его свойства и отверждение, «Журн. металлургического общества», Л., 1934; «Строительные материалы», М., «Минеральное сырье и цветные металлы», М.; «Лит. прикладной химии»; «Top-Industrial Zigs», В., «Rock Products», Chicago, В. Таранин.

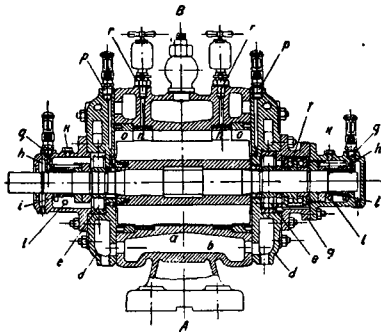
**КОМПРЕССОР РОТАЦИОННЫЙ** принадлежит по способу своего действия к группе поршневых компрессоров и характеризуется основным признаком — периодичностью процесса. Подача сжатого воздуха пульсирует с большей или меньшей частотой в зависимости от числа оборотов. К. р. состоит из цилиндра, в к-ром эксцентрично расположенный поршень (ротор) получает вращательное движение от двигателя. К. р. не имеет промежуточных передаточных механизмов, как колчатые валы, шатуны, кривокопфы и др. Кроме того следует отметить отсутствие клапанных распределительных устройств, к-рые весьма часто являются причиной, нарушающей нормальную работу машины. Допускаемое большое число оборотов поршня позволяет непосредственное соединение К. р. с электромотором. На фиг. 1 представлен схематич. поперечный разрез К. р., где *a* — цилиндрический корпус К. р. с водяной рубашкой для охлаждения, *b* — вращающийся поршень или, как принято называть, ротор, устанавливаемый эксцентрично относительно оси цилиндра; между ротором и стенками цилиндра, корпуса получается рабочее пространство серповидной формы. В теле ротора прорезаны пазы, расположенные с некоторым уклоном в сторону движения по отношению к радиусам. В пазах скользят тонкие стальные пластины *c*, которые при всех своих положениях прижимаются к стенкам корпуса от действия центробежной силы при вращении ротора. Серповидное пространство делится пластинами на отдельные секции. Корпус снабжен двумя патрубками — всасывающим *d* и нагнетательным *l* с обратным клапаном. При вращении ротора объемы секции уменьшаются к стороне нагнетательного пространства. Когда пластина займет положение I, прекращается сообщение секции, застрехованной на фиг. 1, со всасывающим пространством. При дальнейшем вращении ротора объем секции начинает уменьшаться, обуславливая сжатие засасанного воздуха. Когда рассматриваемая пластина займет положение II, то в ограничиваемой ею секции сжатие закончится и затем последует выталкивание сжатого воздуха к патрубку *l*. Степень сжатия определяется соотношением объемов секции при начале и конце сжатия. На фиг. 2 изображена в продольном и поперечном разрезах конструкция К. р. фирмы DEMAG.



Фиг. 1.

В цилиндрич. корпусе *a*, охлаждаемом водой, циркулирующей через рубашку *b*, установлен эксцентрично относительно оси цилиндра вращающийся поршень, или ротор, с корпусом компрессора закрыт крышками *d*, также охлаждаемыми во-

дой. Вал компрессора покоится на роликовых подшипниках *e*, а осевое давление воспринимается упорным шариковым подшипником *f*, помещенным в коробе *g*. Уплотнение каждого конца вала выполнено посредством ошлифованного уплотнительного кольца *h* и подвижной шайбы *i*, к-рая под действием пружины плотно прижимается ко дну колпачка. В последнем имеется отверстие *k* для наливания масла и контрольное отвер-



Фиг. 2.

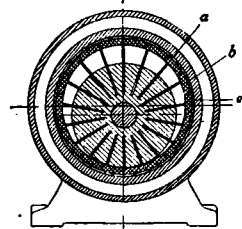
стие *l* для стенования излишнего масла. В пазах ротора установлены точно пригнанные пластины *m*, свободно перемещающиеся к периферии под действием центробежной силы при вращении компрессора. При этом пластины упираются не в стенку корпуса *a*, а в подвижные кольца *n*, к-рые вращаются в выточках цилиндра вместе с пластинами. Кольца *o* служат упорными для вращающихся колец *n*. Для смазки установлены масленки *p*, *q* и *r*, причем масленка *r* предназначена для подачи масла вручную.

Машины с вращающимся поршнем по принципу работы весьма простые, но при выполнении их встречаются значительные затруднения. Для получения достаточной производительности и уменьшения потерь вследствие утечки ротор компрессора должен иметь большое число оборотов. Однако при значительном числе оборотов давление, передаваемое от пластин на стенку цилиндра от действия центробежной силы, получается настолько большое, что следствием этого является быстрый износ. Для разгрузки стенок цилиндра от давления, передаваемого пластинами, весьма целесообразным оказалось применение подвижных колец Виттга, охватывающих пластины и вращающихся вместе с ними. Эти кольца располагаются в выточках, сделанных в теле цилиндра. Наружный диам. колец несколько меньше диам. выточек, а внутренний диам. меньше диам. цилиндра. Большая часть центробежных сил поглощается подвижными кольцами, а оставшая часть этих сил используется с целью иметь достаточно плотное прилегание пластин к стенкам цилиндра для получения уплотнения в соответствующих местах. Кольца благодаря зазору имеют игру в радиальном направлении относительно стенок цилиндра. Давление, передаваемое на стенки цилиндра этими кольцами, — величина переменная, что является результатом неравномерного распределения центробежных сил по кольцу, а кроме того благодаря одностороннему давлению, передаваемому сжимаемым воздухом. Для частичной разгрузки колец *a* (фиг. 3) образовавшееся кольцевое пространство разделяется малыми пластинками *b* на отдель-

ные камеры, которые сообщаются с рабочими камерами посредством особых сквозных сверлений в теле колец. Пластины *b* могут свободно перемещаться в пазах подвижных колец. Стенки цилиндра благодаря устройству значительного числа камер вращающихся колец, частично заполненных маслом, образуют собой как бы поверхность вкладыша подшипника. Между вращающимися кольцами и пластинками ротора имеет место относительное движение, так как пластины перемещаются с переменной, а кольца со средней окружной скоростью, благодаря чему износ получается меньший. Ротор работает в пространстве, имеющем высокую *t'*, причем стенки этого пространства охлаждаются. Изготовление же охлаждаемого ротора представляет определенные трудности. Поэтому для каждого ротационного компрессора необходимо определять уравнивательный зазор между ротором и корпусом, компенсирующий температурные ушрения.

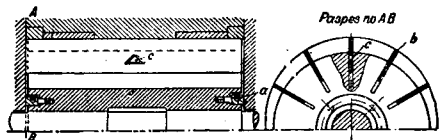
Зазор этот д. б. такой величины, чтобы не было заедания при наивысших возникающих *t'*, т. е. при высших соотношениях давлений, а кроме того для безопасности работы должен содержать в себе запас на случай непредусмотренного неблагоприятного соотношения *t'*. Однако следует иметь

в виду, что при низких эксплуатационных давлениях этот зазор может оказаться излишне большим. Выбранные зазоры, удельно-ответственные для газа значительного уд. веса, могут однако неблагоприятно отражаться на кпд при работе с газом малого уд. веса, как напр. для светлого газа. Для устранения утечек в местах соприкосновения крышек цилиндра с ротором, а также с пластинами применяют различного рода приспособления. В качестве уплотняющего элемента для ротора применяют кольца *a*, отжимаемые пружинами (фиг. 4), а для получения уплотнений с торцевых сторон пластины помещают в кан-



Фиг. 3.

дний паз по две рабочих пластины *b*, смещенных между собой по длине т. о., что одна из них прикасается с одной стороны, а другая с противоположной стороны к крышкам цилиндра. В этом случае в той части пластин, к-рые не выходят из паза, делается вырезка с направляющей вставкой с соответствующей формы. Благодаря указанному приспособлению пластины под действием центробежной силы, выдвигаясь из ротора,

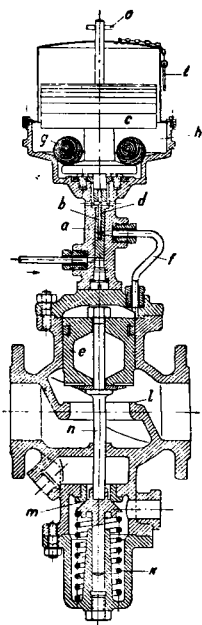


Фиг. 4.

дний паз по две рабочих пластины *b*, смещенных между собой по длине т. о., что одна из них прикасается с одной стороны, а другая с противоположной стороны к крышкам цилиндра. В этом случае в той части пластин, к-рые не выходят из паза, делается вырезка с направляющей вставкой с соответствующей формы. Благодаря указанному приспособлению пластины под действием центробежной силы, выдвигаясь из ротора,

одновременно смещаются к крышкам цилиндра. Имеются конструкции с применением специального профиля пластин, к-рые устроены т. о., что в состоянии поддерживать масляную пленку, достаточную для восприятия давления от центробежной силы. Результатом испытаний, подтвержающих целесообразность применения подобных конструкций, пока не имеется. Для устранения утечки нек-рые фирмы предлагают делать в нижней части цилиндра расточку, соответствующую диам. ротора, обеспечивая при этом отделение всасывающей камеры от нагнетательной по меньшей мере двумя лопатками. О целесообразности применения подобных приспособлений судить крайне трудно. Следует отметить, что введение их в большинстве случаев усложняет конструкцию машины.

Регулирование работы К. р. для поддержания постоянного давления в трубопроводной сети осуществляется пропускками и всасывания воздуха посредством грузового регулятора (фиг. 5). способ действия к-рого описан ниже.

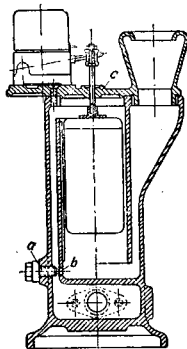


Фиг. 5.

держивает клапан *т*, который открывается посредством штока *л*. Сжатый воздух, находящийся в трубопроводе между компрессором и обратным клапаном, проходит через клапан *т* в атмосферу, и машина может работать без противодействия. Как только давление в воздухо-сорнике упадет до наименьшего допускаемого, то поршень регулятора опускается от действия веса свинцовых пластин *с* и шаров *г*. При этом прежде всего прекращается доступ сжатого воздуха в пространство над вентиляем *е*, а кроме того при нижнем положении поршня *б* наступает соединение трубки *г* с атмосферой через канал *д*. Тогда клапан *е* разгружается и поднимается под действием пружины *к*. Шары *г* всем своим весом нагружают поршень при его нижнем положении.

Поршень может подниматься только в том случае, если давление сжатого воздуха на него снизу будет превышать давление от веса шаров *г* и пластин *с*. При перемещении поршня *б* вверх шары *г* перекатываются в карманы *ч*. Частично разгруженный поршень быстро занимает свое крайнее верхнее положение, в к-ром и остается до того момента, пока давление сжатого воздуха понизится настолько, что вес груза *с* в состоянии преодолеть его. Поршень опускается вниз, снова загружается шариками *г*, к-рые скатываются из карманов *ч*, и занимает свое крайнее нижнее положение. Т. о. вес груза *с* определяет давление сжатого воздуха, при котором опускается поршень, и тем самым устанавливает конечное давление сжатия. Т. к. груза *с* состоит из нек-рого числа пластин, то установление желаемого конечного давления производится изменением их количества. Разность между давлением сжатого воздуха, при котором поршень может передвигаться вниз, и наименьшим давлением, при котором наступает перемещение вверх, определяется весом шаров. Количество шаров служит показателем разности между высшим и низким давлением. Включение компрессора на холостой ход м. б. сделано в любое время посредством поднятия штока *л* и закрепления его в этом положении шплинтом *и*, прикрепленным к кошке. Поднятие штока рекомендуется делать при запуске компрессора с целью дать ему работать вначале без противодействия, к-рое создается давлением от воздухосорника.

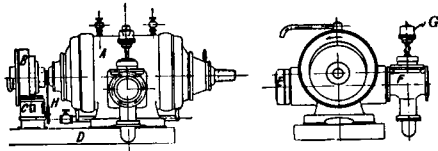
Кроме регулятора применяется особый аппарат для автоматической остановки, предупреждающий аварии. Причиной появления повреждений и перерыва в работе К. р. во многих случаях м. б. недостаточное количество охлаждающей воды или совершенное прекращение подвода ее. На фиг. 6 представлен аппарат для выключения, к-рый состоит из резервуара с поплавком и выключателя для электромотора. Поплавок посредством штанги, проходящей через крышку *с*, соединен с выключателем электрического тока. Вода от компрессора поступает в приемник резервуара и поддерживает поплавок в нормальном положении с выключенным выключателем. У дна резервуара просверлено одно или два отверстия *б*, против к-рых устанавливаются регулирующие пробки *а* т. о., что для пропуска воды образуются отверстия кольцевого сечения. Через эти отверстия вытекает половина всего количества поступающей воды, а остальная часть переливается через край резервуара. При уменьшении количества воды, поступающей от компрессора, вследствие засорения рубашки или труб или прекращения подачи воды от водопровода поплавок опускается и мотор выключается. Как только вода начнет поступать вновь и поплавок поднимется, мотор включается и компрессор снова начинает работать.



Фиг. 6.

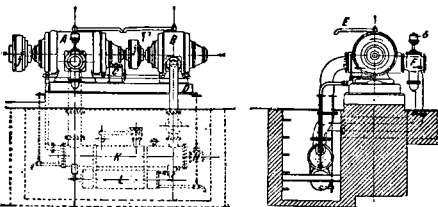
В зависимости от степени сжатия воздуха К. р. изготавливаются одноступенчатые или двухступенчатые с промежуточным охлаждением. Одноступенчатые компрессоры строятся для конечных давлений до 3 атм. Схема установки с при-

водом на общем валу от электромотора показана на фиг. 7, где обозначено: А — компрессор, В — соединительная муфта, С — масляный насос, D — фундаментная плита, E — обратный клапан, F — регуляторный клапан, G — регулятор, H — вход воды для охлаждения. Для конечных



Фиг. 7.

давлений до 7 atm строят двухступенчатые К. р. с промежуточным трубчатым охладителем. Схема такой установки представлена на фиг. 8, где А — ступень низкого давления, В — ступень высокого давления, С — масляный насос, D — фундаментная плита, E — обратный клапан, F — регуляторный клапан, G — регулятор, H — вход воды для охлаждения, I — соединительная муфта, K — промежуточный охладитель, L — водомаслоотделитель. К. р. изготавливаются производительностью до 4 000 м<sup>3</sup>/ч всасываемого воздуха и давления до 7 atm при расходе мощности 0,14—0,12 л. с. на 1 м<sup>3</sup>/ч. Передвижные К. р. производительностью до 360 м<sup>3</sup>/ч всасываемого воздуха при давлении до 7 atm и при n=1000 об/м. изготавливаются Горловским машиностроительным заводом по типу DEMAG.



Фиг. 8.

При эксплуатации д. б. обращено особое внимание на качество смазки. От смазки зависит износ цилиндра и колец. В виду того что К. р. весьма чувствителен к повышению t°, необходимо, чтобы t° охлаждающей воды при выходе из компрессора не превышала 35°. Установка воздушосборника не является обязательной в виду достаточно равномерной подачи сжатого воздуха без толчков, однако следует дать предпочтение присоединению регулятора к воздушосборнику, несколько выравнивающему давление. Между К. р. и воздушосборником необходимо ставить обратный клапан, так как в противном случае при остановке машины воздух перетекал бы из воздушосборника обратно и привел бы ротор в вращательное движение. Процесс сжатия в К. р. по существу аналогичен процессу в поршневом компрессоре с прямолинейным возвратно-поступательным движением поршня. Ходу поршня соответствует удвоенный эксцентриситет 2m, а площади поршня будет соответствовать полезная поверхность цилиндра К. р. Принимаем следующие обозначения: D — диаметр цилиндра, l — длина цилиндра, равная 1,5—2D, s — толщина пластины (s = 1 ÷ 3 мм), z — число пластин (8—18), m — эксцентриситет (m = 0,005 ÷ 0,1D), λ — коэф. подачи, V — количество пода-

ваемого воздуха, n — число об/м. Количество подаваемого воздуха в м<sup>3</sup>/мин, отнесенного к состоянию всасывания, определяется по ф-ле

$$V = \lambda \cdot l (\pi D - s \cdot z) 2 \text{ мл.} \quad (1)$$

При расчете компрессора необходимо принимать во внимание окружную скорость концов пластин, определяемую по ф-ле

$$u = \frac{\pi D n}{60}, \quad (2)$$

причем эту скорость принимают равной 10—12 м/сек во избежание значительного износа. Изотермич. кпд составляет η<sub>из.</sub> = 0,5 ÷ 0,6. Коэф. подачи изменяется в весьма широких пределах в зависимости от тщательности изготовления, а также и монтажа тем более, что при сборке приходится следить за соблюдением предписываемых допусков в долях мм. Приблизительно при расчетах можно принять λ = 0,70 ÷ 0,85. При конструктивном оформлении цилиндра и ротора д. б. принято во внимание, чтобы давление в секции к моменту сообщения ее с нагнетательной камерой несколько превышало давление в трубопроводе сжатого воздуха. Объем секции в начале сжатия определяется по ф-ле

$$V_1 = \frac{\pi D_{cp} \cdot l \cdot m}{z}, \quad (3)$$

где z — число секций, D<sub>cp.</sub> — средний диаметр, соответствующий началу сжатия, m — средняя высота секции в начале сжатия. Объем секции в конце сжатия

$$V_2 = \frac{\pi D_{cp} \cdot n \cdot l}{z}, \quad (4)$$

где n — средняя высота секции в конце сжатия. Учитывая коэф. подачи λ и принимая для К. р. показатель полипроцессу равным 1,5, имеем

$$P_1 (\lambda V_1)^{1,5} = P_2 V_2^{1,5} \quad (5)$$

или

$$\frac{V_2}{V_1} = \lambda \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{1/1,5}. \quad (6)$$

Подставляя из (3) и (4) отношение  $\frac{V_2}{V_1}$ , получим

$$\frac{n}{m} = \lambda \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{1/1,5}. \quad (7)$$

По отношению  $\frac{n}{m}$  м. б. установлена длина языка, перекрывающего рабочие секции в период сжатия. Показатель полипроцессу, равный 1,5, нужно считать как средний, но он м. б. значительно выше в зависимости от трения лопаток и превышать значение 1,65. Теоретич. данных для расчета компрессоров имеется в литературе крайне мало.

Лит.: Остергаг П., Компрессоры и воздушоуловки, т. 1, пер. с нем., Харьков, 1929; П о л и н о в с к и й В., Вентиляторы, воздухоуловки и компрессоры, М.—Л., 1933; «Z. d. VDI», 1932, В. 76, 27; «Fördertechnik», Wittenberg, 1932, В. 25, N. 5—6. Л. Лебенен.

**КОРРОЗИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**, распад и связанное с ним разрушение под влиянием факторов химич. и физич. выветривания, а также агрессивных растворов и веществ. К факторам химич. выветривания относятся атмосферные агенты, морские, речные, грунтовые воды, а к факторам физич. выветривания — колебания t°, действие осадков, мороза и т. п. К агрессивным растворам и веществам принадлежат растворы к-т, щелочей, солей, жиры и пр. На степень сопротивляемости действию коррозии оказывают влияние химич. состав, физич. свойства строительных материалов, характер структуры их, величина прочности, уплотненность или пористость их. Коррозия отдельных групп строительных материалов охарактеризовывается ниже.

Естественные каменные строительные материалы, представляющие различные горные породы, за сравнительно небольшим исключением подвергаются весьма незначительному и чрезвычайно медленному разрушению. Химич. выветривание горных пород сводится или к их прямому растворению или же к последующему химич. изменению. Прямому растворению и разведанию под действием вод, содержащих растворенные газы (углекислота, кислород, сернистый газ), относительно быстро подвергаются наименее стойкие из пород, напр. известняки, мергели, мраморы, известковые песчаники, доломиты. Химич. изменению подвергаются те из пород, которые содержат минералы, легко вступающие во взаимодействие с химич. реагентами. Так, в полевошпатовых породах под влиянием атмосферных агентов (осадки, углекислота, кислород, сернистый газ) наступает, хотя и чрезвычайно медленно, процесс каолинзации, или переход в раствор карбонатов щелочей и калиция с выделением нерастворимых каолина и кремнезема. Нен-рые из пород могут дать при выветривании такие продукты, к-рые в свою очередь явятся новыми сильно действующими агентами и приведут быстрее к разрушению их. Такой способностью обладают включения колчеданов, пиритов и других, которые, окисляясь под действием кислорода и влаги, дают сульфаты и растворы серной кислоты, являющиеся сильно действующими факторами разведения. Наиболее стойкими породами в отношении химич. воздействия являются те из них, к-рые заключают кристаллич. кремнезем. Факторы физич. выветривания, а именно колебания  $t^{\circ}$ , действие мороза, размягчаемость пород, играют большую роль в разведении и разрушении пород. Колебания  $t^{\circ}$ , вызывая постоянные расширения и сжатия пород, способствуют образованию трещин, выкрашиванию и распаду их на куски и осколки. Этому медленному разрушению помогает напичивание влагой атмосферных осадков и действие мороза на застрявшую в трещинах влагу. Характер структуры, степень и род пористости, влагоемкость определенной породой влияют на устойчивость против действия указанных физических факторов. Материалы с однородным строением, плотные и невлагоемкие наиболее стойки в этом отношении и наоборот. Путем искусственного расплавления и отливки нек-рых горных пород (базальты, диабазы и др.) возможно превратить их в плотные изделия и придать им большую устойчивость против коррозии. Весьма медленному истиранию поверхности подвергаются естественные строительные материалы под действием ударов частиц, песчинок, осколков пород, переносимых ветрами, ураганами (истирание древних сооружений под действием песчаных бур).

Искусственные строительные каменные материалы, получаемые обжигом (изделия грубой керамики), приближаются к наиболее стойким представителям естественных каменных строительных материалов, т. к. для них факторы химич. и физич. выветривания играют ту же роль и с аналогичными последствиями (напр. стены кирпичных древних сооружений со следами коррозии). Обыкновенный и огнеупорный кирпичи в различных печах подвергаются действию высокой  $t^{\circ}$  и при наличии золы топлива и летучей ее части могут быстро разрушиться. Действие грунтовых минерализованных вод может привести к отслаиванию и разведению изделий грубой керамики. Из всех керамич. материалов наиболее устойчивы против коррозии

изделия со сплавленным, т. е. непроницаемым, черепком (глинчирные изделия).

Искусственные безобжиговые каменные строительные материалы, получаемые из строительных растворов и бетонов, по сравнению с рассмотренными выше двумя группами, значительно менее стойки и легко подвергаются коррозии, что связано с применением для их изготовления различных вяжущих веществ. Воздушные вяжущие вещества (воздушная известь, гипсовые вяжущие вещества и магнезиальные цементы) в различной мере разрушаются водой в силу ее растворяющего действия. Горячая вода, водяные пары оказывают разведующее влияние на известково-песчаные массы и изделия из них (силикатный или известково-песчаный кирпич) из-за разрушения и растворения гидросиликата известки — продукта твердения этой массы. Портланд-цементы и растворы его (без гидравлических добавок) разрушаются под действием как неорганич. к-т, даже самых слабых (напр. углекислот), так и органических (напр. гумусовых) из-за образования растворимых солей кальция этих к-т. Кроме того на них разрушительно действуют водные растворы солей, в особенности сульфатов, например морские, минерализованные и другие воды, причем благодаря образуемому водным сложным соединениям увеличивается объем массы цемента, что в свою очередь ведет к разрушению последнего. Растворы щелочей, растительные и животные жиры, растворы сахара и других органич. веществ дают растворимые соединения с известью (продуктом гидратации цемента) и вызывают разрушение отвердевшего раствора (см. *Цемент*). Высокая  $t^{\circ}$  (600° и выше) способствует разрушению отвердевших вяжущих веществ, их растворению и бетонов из-за распада образовавшихся при их отвердевании водных соединений. Наконец под действием факторов химич. и физич. выветривания рассматриваемые строительные материалы разрушаются во много раз быстрее рассмотренных двух первых групп.

Теплоизоляционные строительные материалы, изготовляемые на базе волокнизированных древесных отходов (стружки) и древесной шерсти с применением вяжущих веществ, а также на основе различных видов растительных отходов и строительного торфа без применения вяжущих веществ, подвергаются разрушению под действием многочисленных факторов. На них разрушительно и весьма быстро действуют все факторы химич. и физич. выветривания, а также повышенная  $t^{\circ}$ , горячая вода, пары воды, грибки, вызывающие заболевание и загнивание древесных клеток и волокон.

Отделочные материалы, к которым относятся штукатурка, окраска, стекло и пр., также подвергаются коррозии и разрушению в зависимости от степени стойкости примененных для них веществ. Назначение их — предохранить наружные и внутренние поверхности зданий от разрушительного действия факторов химич. и физич. выветривания. Хотя под действием указанных факторов они в той или другой степени изменяются, разрушаются и с течением времени требуют замены, но назначение свое выполняют. Стекло под действием большинства факторов устойчиво, хотя при постоянном действии горячей воды, щелочей и к-т получает помутнение и разведение.

Строительные материалы из дерева разрушаются под действием жизнедеятельности организмов (жуки, черви, грибки,

бактерии), атмосферных агентов, ветра, постоянной влажности и сухости и высокой температуры, а также сильных кислот, щелочей (см. Деревя).

**Строительные материалы** из черного металла быстро разрушаются под действием кислорода воздуха в присутствии влаги, давая гидрат окиси железа — ржавчину (см. Железо, Сталь), а также химич. реактивов, растворов, высоких температур и т. п.

Изоляционные и гидроизоляционные материалы, изготавливаемые на базе искусственных и естественных битумов, смол и т. п., устойчивые в отношении действия вод, растворов, и т. пр., подвергаются деформации от действия высоких  $t^\circ$ , старению под действием атмосферных агентов.

Меры предохранения от коррозии. 1) Для естественных каменных строительных материалов — шлифовка, полировка и покрытие непроницаемыми пленками антикорродирующих веществ. 2) Для искусственных обжиговых каменных строительных материалов — покрытие поверхности различными силикатами (глазури). 3) Для искусственных безобжиговых каменных строительных материалов — введение битуминозных веществ и создание предохранительных штукатурок, побелок, а для гидравлич. вяжущих веществ — введение гидравлических добавок и применение пуццолановых цементов. 4) Для теплоизоляционных строительных материалов — создание предохранительных штукатурок и т. п. 5) Для отделочных материалов — применение наиболее стойких против коррозии веществ. 6) Для материалов из дерева — пропитка антисептиками, растворами, окраска. 7) Для материалов из черного металла — окраска, покрытия металлами, мало корродирующими. 8) Для изоляционных и гидроизоляционных материалов не требуется принятия мер предохранения.

Лит.: Груш Р., Химическая стойкость бетона, пер. с нем., М.—Л., 1931; Курбатов В., Химическая стойкость материалов и борьба с разеданием их, Л., 1930; Бетон в море, ЗИС, Тифлис, 1932; Дементьев Г., Коррозия неметаллических строительных материалов, М.—Л., 1935; Рабалянд Э., Строительные материалы, физические свойства и коррозии, пер. с нем., Харьков—Киев, 1935; Догель К., Erhärtung u. Korrosion der Zemente, В., 1932; Клейнгольц А., Einflüsse auf Beton, 3 Aufl., В., 1930; Grön R., Der Beton, Berlin, 1926; «Zements», Berlin; «Tonindustrie Ztg», Berlin; «Ch. Ztg»; «Le Ciments», P.; «Concrete-Cement» (Mill Edition, Chicago).

**ЛЕД горячий.** При воздействии на Л. больших давлений порядка сотен и тысяч атмосфер образуются различные модификации его. На фигуре показаны кривые плавления Л. I, II,

III, V и VI (существование Л. IV — под сомнением). Первые четыре модификации открыты Тамманом, а Л. V и VI — Бриджменом. Как видно из фигуры,  $t^\circ_{пл.}$  понижается с повышением давления (в отличие от всех нормальных веществ) только у Л. I,

для всех же остальных видов она уже нормальным образом повышается по мере все большего и большего увеличения давления. У первых пяти модификаций  $t^\circ_{пл.}$  ниже нуля в области давления  $0 \div 6\ 000$  атм. В отличие от них Л. VI обладает примечательным свойством: его  $t^\circ_{пл.}$  лежит в выше  $0^\circ$ , причем кривая плавления для этого вида неизменно возрастает по мере возрастания давления.

Под давлением в 10 000 атм Л. плавится при +25°	
• • • • • 15 000 • • • • •	+50°
• • • • • 20 000 • • • • •	+75°
• • • • • 26 670 • • • • •	+76,93°

При давлениях до 15 000 атм имеют теплый Л. с  $t^\circ$  от +25° до +50°; при больших же давлениях Л. становится уже горячим, с  $t^\circ$ , достигающей 75° и выше, и может ожечь руку.

**НЕБОСКРЕБЫ.** Строительство зданий необычайной высоты, выделяющихся из уровня окружающих их строений и получивших наименование Н., началось в США в конце прошлого столетия. Стимулом к их развитию явилась высокая стоимость земельных участков в крупных городах США, развивавшихся с исключительной по тому времени быстротой. Перед глазами американцев стоял пример построенной в Париже франц. инженером Эйфелем в 1888 г. башни высотой в 312 м, представлявшей собой блестящее непревзойденное современниками разрешение вопроса об устойчивости, прочности и технической выполнимости возведения из металла здания столь исключительной высоты. Появление первого 10-этажного дома в США, построенного Чикагским страховым об-вом в 1885 г., можно рассматривать как начало небоскрежного строительства. В настоящее время по данным, опубликованным в июле 1929 г., в США насчитывается 4 778 зданий, имеющих высоту 10 и более этажей; из них в Нью Йорке находится 2 479, в Чикаго — 449, в Лос-Анжелосе — 135, в Детройте — 121 и в Филадельфии — 120. Общее число городов в США, в которых находятся здания высотой в 10 или более этажей, составляет 131. Если под понятием Н. разуметь здания, имеющие высоту не менее 20 этажей, то количество Н. в США определяется по этим данным в 377, из к-рых 188 находится в Нью Йорке, 65 — в Чикаго, 22 — в Филадельфии, 19 — в Детройте и 15 — в Питсбурге. В Лос-Анжелосе, имеющем население более миллиона жителей, имеется всего один Н., в г. Оклагоме — два. Большие доходы, извлекаемые предпринимателями от эксплуатации Н., побудили после империалистич. войны к усиленному строительству этих зданий, сооружавшихся не только на свободных участках, но нередко требовавших для своего возведения сноса дорогих и значительных, иногда даже новых зданий. В здании гостиницы С. Джордж в Бруклине, возвышающемся на 150 м над Ист Ривер, находится 2 632 жилых комнаты. В Чикаго долгое время самым высоким зданием был сооруженный в 1891 г. мasonicкий собор, равный по высоте 21-этажному дому, но затем, начиная с 1923 г., был сооружен ряд Н., расположенных гл. обр. на Мичиган Эвено, аллее, идущей вдоль озера Мичиган и являющейся одной из самых величественных улиц мира благодаря окружающим ее колоссальным Н., привлекающим внимание монументальностью архитектурного оформления. В 1926 г. в Монтевидео, в Уругвае, было построено 28-этажное здание гостиницы Palacio Salvo, замечательное тем, что оно является самым высоким в мире зданием, сооруженным из железобетона. Самым высоким жилым зданием в Европе в настоящее время является 25-этажный Н. «Algemeine Bankvereeniging» в Антверпене. До последнего времени строительство в крупных городах США и в частности в Нью Йорке не было подчинено каким-либо регулирующим правилам. Высокая стоимость участков в центральных частях города стимулировала строительство Н., позволяющих получать с 1 м<sup>2</sup> площади наибольшую кубатуру и т. о. снижать долю расходов

по оплате стоимости земельных участков, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> здания. Зависимость между высотой этажей и стоимостью земельного участка выражается табл. 1, из к-рой явствует, какую выгоду сулит увеличение этажности Н.

Табл. 1.—Зависимость между высотой этажей и стоимостью земельных участков в Нью Йорке.

Число этажей	Стоимость участка *	Число этажей	Стоимость участка *
6	78	50	51
15	70	63	48
37	56	75	44

\* В % к полной стоимости.

Не ограничиваемые строгим строительным законодательством, предприниматели осуществили возведение большого числа Н. в центральных частях Нью Йорка и других крупных городах США, не всегда отвечающих современным гигиенич. и эстетич. требованиям. Часть помещений в этих Н. не пользуется достаточным дневным освещением, происходит затенение соседних и противоположных зданий, застройка участков интенсифицируется свыше разумных пределов. Для урегулирования строительства Н. в Нью Йорке по распоряжению правительства США был образован Комитет по районной планировке Нью Йорка и окружающей его зоны. По предложению Комитета для центральных районов устанавливается предел застройки, определяемый следующим соотношением: не менее 50% всей городской площади д. б. занято улицами, площадями и насаждениями, не менее 10% — внутренними дворами и не более 40% — застройкой. Комитетом по районной планировке Нью Йорка выработаны следующие технич. условия, рекомендуемые для применения при проектировании Н., сооружаемых для делового назначения. Для 1-й зоны, т. е. для пригородных площадей, высота фасадной стены, выходящей на красную линию, измеряемая от уровня тротуара до первого отступа контура вертикального поперечного разреза здания, не д. б. более ширины улицы, и во всяком случае эта высота не должна превышать 18 м. Измеряемая таким же образом высота задней, обращенной во двор стены может достигать двойной ширины двора. Величина отступа с каждой стороны здания на уровне этой высоты не д. б. менее половины высоты вышележащей вертикальной части стены. Т. о. прямая линия, соединяющая внешний угол первого отступа с внешним углом второго отступа по чертежу вертикального поперечного разреза, должна составлять с отвесной линией угол не менее 26°40'. Площадь пола башни, возвышающейся над ступенями, построенными в соответствии с этими требованиями, не должна превосходить 20% площади застройки в уровне цоколя. Построенная т. о. башенная часть Н. может возвышаться на любую высоту, не причиняя затенения смежных зданий. Наибольший объем такого Н. не должен превосходить эквивалентного объема здания, имеющего при той же застройке 6—7 этажей. Это правило приводит к величине 15—18 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площади застройки. Цитированные технич. условия проектирования Н. относятся к пригородным еще незастроенным площадям. Для центральных частей Нью Йорка нормы рекомендуют при размерах застраиваемого участка в 60×60 м ограничивать полную высоту Н. 170 м, допуская увеличение этой высоты при

соответственном увеличении площади участка. Однако при высоте, превосходящей 240 м, предъявляется требование об оформлении двух или трех смежных участков с тем, чтобы на этих соседних участках были расположены более низкие здания. Для промежуточных зон, расположенных между пригородными районами и центральными деловыми частями Нью Йорка, выработаны аналогичные технические условия. Идея архитектурного оформления с помощью отступов верхних этажей от фасадных линий к задним планам, широко распространенная в современной архитектуре в США и Западной Европе, применялась еще в глубокой древности, чему примером может служить сохранившийся до нашего времени дворец в Византии. К числу наиболее крупных Н., существовавших в Нью Йорке до 1929 г., относятся здания: New York Central, Graybar, Standard Oil, 40 Wallstreet, N. U. Telephone а. Wool Worth. На вкл. л., 1 представлено здание Фишера в Детройте, представляющее интерес по богатству отделки. Здание имеет объем в полмиллиона м<sup>3</sup> и обошлось в 13 млн. долл. Фасад облицован белым мрамором. Внутренняя отделка его вестибюля представлена на вкл. л., 2 и 3. Здесь же виден ряд дверей, ведущих в кабинеты лифтов, расположенных по двум сторонам главного вестибюля. В 1931 г. в Нью Йорке построено величайшее в мире здание The Empire State Building (вкл. л., 4), имеющее высоту 380 м при 85 этажах, не считая вышки для причала дирижаблей. Возвышаясь над близлежащими домами, это здание выгодно отличается от многих других Н. обилием света и воздуха. Площадь участка, на к-ром расположено это здание, равна 7 800 м<sup>2</sup>; полезная площадь пола во всех этажах составляет свыше 200 000 м<sup>2</sup>; в здании размещается до 20 000 человек. Общая перспектива на группу ньюйоркских Н. со стороны Большого центрального парка дает представление о неорганизованности архитектурного оформления пространства. Впечатление беспокойства, создаваемое этой перспективой, является результатом случайного беспланового возведения американских Н., проектирование которых было подчинено единственному требованию достижения наибольшей доходности. Помимо экономич. соображений преимущества строительства Н. таковы: все этажи Н., возвышающиеся над соседними домами, пользуются лучшим воздухом и не испытывают беспокойства от шума уличного движения, не прекращающегося в таких городах, как Нью Йорк, даже ночью. Благодаря этому преимуществу квартиры и номера гостиниц, расположенные в более высоких этажах, расцениваются обыкновенно дороже, нежели те, к-рые находятся в нижних 10—15 этажах. Концентрация большинства банков, контор и всякого рода коммерческих предприятий на ограниченной площади центральных районов оказалась возможной только благодаря строительству небоскреба. Т. о. чрезвычайно сократилась потеря времени лиц, нуждающихся в услугах этих предприятий, и наконец значительно сокращается стоимость затрат по внешнему городскому благоустройству.

Развитие воздушных сообщений в свою очередь предъявляет к строительству Н. определенные ограничительные требования, сущность которых заключается в том, что местоположение аэродромов д. б. назначаемо таким образом, чтобы линия взлета, имеющая наклон к горизонту в 14% ( $\tan \alpha = 1/4$ ), проходила над высшими точками холмов, деревьев, зданий и т. п. возвышающихся предметов. Поэтому при заданном или



1.



2.



3.



4.



проектируемом положении аэродромов вновь возводимые Н. должны удовлетворять вышеуказанному условию. Предельное возможное расположение аэродрома на о-ве Governor's Island, находящемся к юго-востоку от Нью Йорка, связано высотой близлежащих Н. и диктуется последними. Т. о. дальнейшее бесплатное строительство Н. создает угрозу необходимости значительного удаления аэродромов за пределы городов и как следствие этого необходимости удлинения линий метрополитенных, к-рым Д. б. соединяют аэродромы для удобства пассажиров. Высокая стоимость метрополитенных линий может в отдельных случаях заставить предпочесть сломку Н. ради возможности приближения аэродрома к центру города.

Соотношение стоимости отдельных видов работ по постройке Н. может быть услаено из данных, относящихся к нескольким Н. (табл. 2).

Табл. 2.—Соотношение стоимости отдельных видов работ (в % от стоимости зданий).

Наименование работ	Число этажей				
	15	37	50	63	75
Земляные работы . . . . .	5,2	4,1	4,0	3,8	3,3
Металлич. конструкции	8,5	9,6	10,2	11,6	13,5
Железобетонные перекрытия . . . . .	6,4	5,6	5,4	5,4	5,1
Внутренние перегородки	2,6	2,7	2,9	3,0	3,1
Кирпичные работы . . . . .	2,8	3,9	4,2	4,4	4,4
Наружная отделка . . . . .	5,4	4,9	4,6	4,4	4,1
Кровля . . . . .	1,6	0,4	0,3	0,3	0,2
Окна . . . . .	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9
Внутренняя отделка . . . . .	19,2	17,1	16,8	16,0	15,2
Лифты . . . . .	7,2	10,5	10,9	12,1	13,3
Водопровод и канализация . . . . .	5,5	6,1	6,0	6,1	6,1
Электрификация . . . . .	3,4	3,4	3,5	3,4	3,3
Отопление и вентиляция	3,9	5,6	6,2	6,3	6,2
Внутреннее приспособление помещений по требованию арендаторов . . . . .	7,3	6,7	6,4	5,9	5,5
Прочие работы . . . . .	10,2	8,9	8,4	7,9	7,5
Прибыль подрядчиков и оплата архитекторов и инженеров . . . . .	9,5	8,5	8,1	7,5	7,3
Всего . . . . .	100	100	100	100	100

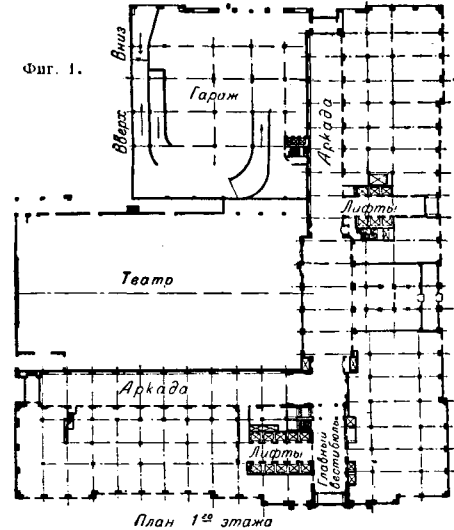
Эти цифры показывают, что в среднем ок. 22% полной стоимости Н. составляют расходы на отделочные работы, столь высокая стоимость которых объясняется необходимостью применения для этого рода работ большого количества ручного рабочего труда, чрезвычайно дорого стоящего в условиях США. Из этой же таблицы легко усмотреть постепенное возрастание процентного соотношения стоимости устройства лифтового хозяйства по мере роста этажности, к-рая т. о. лимитируется размерами расходов по устройству лифтов. По мнению нек-рых авторов наиболее доходным Н. является 65-этажный, что обосновывается вычислением величин ежегодных возвратов вложений, изменяющихся в зависимости от этажности. Указанные в вышеприведенной таблице проценты стоимости лифтов к общей стоимости здания не включают стоимости площади пола, занимаемого лифтами и вестибюлями перед ними. Между тем по мере возрастания этажности требуется количество лифтов прогрессивно возрастает. Действительно, для 8-этажного здания, расположенного на участке площадью 7 500 м<sup>2</sup>, требуется 8 пассажирских и 2 товарных лифта, для 37-этажного Н. — 33

пассажирских и 4 товарных лифта и для 75-этажного — 60 лифтов. Соответственная площадь пола, занимаемого лифтами по всем этажам, составляет в 8-этажном здании 1,9% от всей площади; в 37-этажном 5,6%; в 50-этажном 6,9% и в 75-этажном 9,8%. В одном из 40-этажных Н. с населением в 12 000 чел. по статистике данным в среднем перевозится лифтами ежедневно 96 000 чел. Скорость движения лифтов была установлена по условиям безопасности в 150 м/мин, но в последнее время она была увеличена до 225 м, а в Н. Empire State доведена до максимальной цифры 300 м/мин, при которой подъем на 30-й этаж совершается в 20 сек. Рекордная скорость в 360 м/мин осуществляется в Н. Rockefeller Co. Это увеличение скорости и уменьшение числа лифтов имеют целью повысить коэф. использования площади пола. Для лучшего использования лифтов, а также и для лучшего обслуживания пассажиров часть лифтов проходит без остановок нижние этажи, а часть обслуживает только все нижние этажи, оканчиваясь на определенном уровне. С этой же целью в последнее время изобретен двухъярусный тип лифта, обслуживающий сразу пассажиров двух смежных этажей. Благодаря этому пропускная способность каждой подъемной шахты значительно увеличивается и следовательно число лифтов, необходимых для обслуживания всего населения Н., сокращается, равно как и уменьшаются занятые лифтами и вестибюлями площади полов во всех этажах. Установлено, что увеличение скорости подъема лифта, напр. с 300 до 360 м/мин, мало (всего на 6%) способствует увеличению пропускной способности шахты, т. е. время, затрачиваемое на загрузку и выгрузку кабин, остается неизменным. Количество лифтов и пределы их обращения назначаются по практике, данным с учетом населенности и функционального назначения помещений по этажам, причем считается, что продолжительность ожидания не должна превосходить 30 сек., хотя следует стремиться к тому, чтобы эта величина была по возможности не более 20 сек.

Двухъярусный лифт состоит из двух самостоятельных кабин, укрепленных на одной раме. По внутреннему устройству эти кабины ничем не отличаются от кабин обыкновенного лифта, и входящие в них пассажиры не замечают никакого различия. Однако в случае применения двухъярусных лифтов обязательно устройство двух погрузочных этажей. Пассажиры, следующие в нечетные этажи, должны входить в кабину нижнего яруса, а пассажиры четных этажей входят в кабину верхнего яруса, причем посадка, как указано, производится одновременно с двух нижних этажей. Другое решение уплотнения работы подъемной шахты заключается в том, что в одной и той же шахте действуют одновременно два отдельных подъемника, находящихся один под другим с двумя самостоятельными лифтовыми механизмами, позволяющими двум лифтам действовать независимо один от другого. Подъемные тросы нижней кабины проходят сбоку верхней. Подъемный механизм нижней кабины установлен выше механизма, приводящего в действие верхнюю кабину. Обе кабины движутся по одним и тем же направляющим рельсам. В целях безопасности движения при наличии двух лифтов в одной шахте двойные подъемники снабжены особым приспособлением, благодаря которому в случае сближения двух кабин на определенное минимальное расстояние происходит автоматич. остановка обеих кабин в

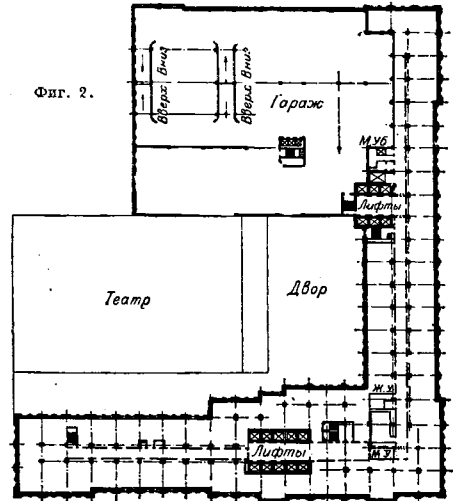
уровне полов ближайших этажей и т. о. устраняется опасность их столкновения. При этой системе верхняя из двух кабин проходит безостановочно нижние этажи. Посадка провадителя, как и в системе двухъярусных лифтов, с двух

иметь и удлиненную или Г-образную или же любую другую форму, верхние этажи проектируются в виде башни с постепенно уменьшающейся площадью пола, что достигается вышеупомянутыми уступчатыми изменениями формы плана. Вследствие этого размеры плана Н. и во всяком случае возвышающейся башенной его части д. б. невелики, ибо необходимость надлежащего дневного освещения очевидно ограничивает глубину помещений и следовательно ширину башни. Если считать предельной ширину здания 25—30 м, то при отхождении сторон прямоугольника плана 1 : 1,5—1 : 2 наибольшая длина башенной части определится в 60 м. Равным образом и по соображениям архитектурного оформления эти размеры обыкновенно лимитируют объемы Н. При таких условиях площади пола, отнимаемые лифтами и предлифтными вестибулами, составляют значительную величину, чем повышается коэф. использования поэтажных площадей. На фиг. 1 изображен план 1-го этажа Н. Фишера в Детройте, на фиг. 2—планы от 5-го до 9-го этажа и на фиг. 3, 4 и 5—планы 12-го и 27-го этажей и крыши. Застройка участка весьма интенсивная, недопустимая в современном строительстве СССР вследствие отсутствия доступа пожарных машин со стороны двора к главной части здания. Начиная с 5-го этажа, планировка всех вышележащих этажей благодаря вытянутой форме прямоугольного контура здания вполне удовлетворительна по условиям освещенности. В этом Н. расположено большое количество торговых и конторских помещений, банков и т. п. Возведенная в последнее время часть здания с возвышающейся на 30 этажей башней представляет собой часть задуманного полного плана, по к-рому была предложена застройка целого квартала с четырьмя такими же угловыми башнями, а в центре квар-



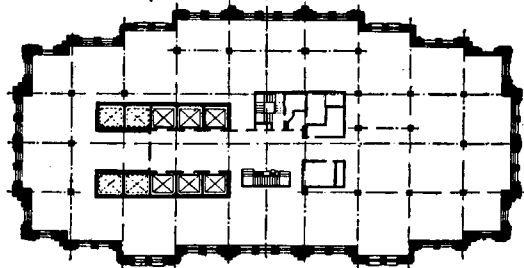
уровней, расположенных обыкновенно на полэтажа выше и ниже уровня тротуара. Пассажиры в этом случае не подозревают о наличии двух кабин в одной шахте, за исключением случаев ожидания трогания с места нижней кабины, вынужденной ожидать достижения верхней кабиной определенного уровня. Сравнения достоинств и недостатков обеих описанных систем приводит к заключению, что если принять за 100% пропускную способность двух отдельных лифтов, расположенных в самостоятельных шахтах, то пропускная способность подъемника с двумя отдельными кабинками в одной шахте составит 90—95%, а пропускная способность одного двухъярусного подъемника будет 75—90%. Стоимость двухъярусного подъемника ниже стоимости подъемников других систем. По простоте устройства и удобству пользования двухъярусный лифт предпочтительнее, нежели лифт с двумя отдельными кабинками. Последний требует большей площади для размещения тросов и противовесов двух кабин. В эксплуатационном отношении двухъярусный лифт менее выгоден, ибо в менее оживленное время дня он все же должен поднимать обе кабины, тогда как, работая с лифтом, имеющим две самостоятельные кабинки, возможно в такие периоды прекращать подъем одной из них. Наиболее благоприятными условиями для применения лифта с двумя самостоятельными кабинками является случай, когда площадь пола Н. невелика при большой этажности, т. е. когда требуется экономия места и значительное уплотнение пропускной способности каждой шахты.

Для удовлетворения условиям надлежащей освещенности и омываемости воздухом, а также для того, чтобы не создавалось затемнение близлежащих зданий, Н. проектируются именно в виде башен, имеющих в плане форму, приближающуюся к квадрату. Нижняя часть Н. может



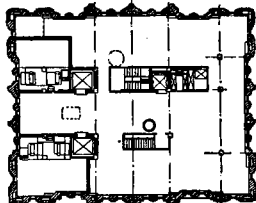
тала должна была возвышаться башня 55-этажного Н. Повидимому окончание этого строительства отложено на долгое время в виду кризиса американской промышленности, вследствие которого значительное количество торговых и конторских помещений в существующей части здания оказывается незанятым. Интересный прием пла-

нировки представляет собой *N. Empire State*, в котором разрешение задачи дневного освещения достигается, во-первых, использованием центральных темных помещений под предлифтные вестибюли и лифты, число которых достигает 64, ванимая т. о. огромную площадь, и, во-вторых,

План 12<sup>го</sup> этажа

Фиг. 3.

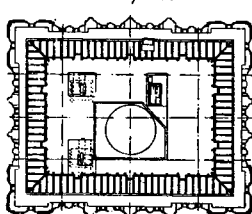
организацией ряда уступов, постепенно изменяющих форму и уменьшающих площади поэтажных планов. Недавно сооруженный в Сан-Франциско *H. Sutter* отличается монументальностью архитектурной композиции и оригинальностью обработки наружных плоскостей стен. Менее удачным в смысле планировки является *H. Fuller* в Нью-Йорке, где помещения не пользуются достаточным дневным освещением. Полезная площадь этого *H.* за исключением лифтов, вестибюлей и лестниц — 19 500 м<sup>2</sup> при строительном объеме 107 000 м<sup>3</sup>. Сообщение между этажами, а равно эвакуация населения в случае пожара должны совершаться при посредстве лифтов, однако

План 27<sup>го</sup> этажа

Фиг. 4.

кроме них существуют и лестницы, совершенно не используемые в нормальных условиях эксплуатации *H.* и предназначенные исключительно для пользования в качестве убежищ на случай пожара. Полная эвакуация *H.* должна совершаться в течение 30—40 минут.

План крыши



Фиг. 5.

Современные *H.* при высоте более 15—20 этажей как правило возводятся из металлического каркаса. Кроме основной полезной нагрузки и собственного веса существенную роль играют ветровые воздействия, значительно повышающие расчетные напряжения в элементах *H.* По технич. условиям проектирования *H.* в Нью-Йорке расчетное ветровое давление определяется в 100 кг на 1 м<sup>2</sup>, причем эта величина относится только к верхним частям здания, возвышающимся более чем на 30 м над уровнем тротуара. В других городах

США технич. условия требуют расчета конструкции на ветровое воздействие от 75 до 150 кг на 1 м<sup>2</sup>. Допускаемые напряжения на растяжение и изгиб стали в конструкциях каркаса *H.* устанавливаются в различных штатах в пределах 1020—1260 кг на 1 см<sup>2</sup> при расчете только на вертикальные силы, а при расчете на совместное действие вертикальной нагрузки и ветра они повышаются до 1 680 кг на 1 см<sup>2</sup>. Небоскреб *Empire State* рассчитан также на добавочную сосредоточенную горизонтальную силу в 40 т в месте причала дирижаблей.

Кроме дополнительных напряжений, обусловливающих усиление конструкций каркаса небоскреба, ветровое воздействие вызывает девиацию, т. е. отклонение вершины от нормального устойчивого положения. Устранение этого явления при высоте *H.*, превышающей 150 м, представляет собой весьма трудную задачу. Вопрос об определении той частоты и амплитуды колебаний вершины *H.*, при которых находящиеся в помещении начинают испытывать беспокойство, до настоящего времени теоретически не изучен. Для определения показателей колебаний, возникающих под влиянием ветрового воздействия, основываются на величине горизонтального смещения башни в любой точке, вытекающего из статич. расчета. На практике построены двух *H.*, имеющие небольшую площадь плана застройки, высотой ок. 50 этажей и имеющих недостаточно жесткую конструкцию, установлено, что горизонтальные отклонения весьма ощутительны для населения верхних этажей *H.* Задача устранения этого рода неудобств затрудняется тем обстоятельством, что речь идет не только о субъективных физиологич. восприятиях, но также о видимых последствиях раскачивания вершины *H.*, заключающихся в волнообразном раскачивании воды в ваннах и водных баках, в раскачивании подвесных электрических ламп и других вислицх предметов. Для изучения вопросов, связанных с раскачиванием вершины *H.*, был изобретен и сконструирован прибор, напоминающий сейсмограф, с помощью которого производились надлежащие наблюдения. Установлено, что более значительное раскачивание наблюдается в тех *H.*, где не предусмотрено достаточное распределение ветровых воздействий на основные работающие элементы металлического каркаса с помощью рационально сконструированных ветровых связей. Равным образом недостаточная жесткость стеновой оболочки способствует увеличению раскачивания. При проектировании *H. Manhattan Company* в Нью-Йорке высотой 278 м расчетная величина горизонтального смещения вершины определена в 55 см; в *H. Empire State* — 75 см. Величина полного отклонения от нормального устойчивого положения не воспринимается целиком и не определяет частоты и амплитуды колебаний, т. к. вершина *H.* не описывает полного круга, имеющего радиус, равный вышеуказанной величине. В действительности по наблюдениям американских инженеров амплитуда качаний гораздо меньше, будучи обусловлена не только абсолютной интенсивностью ветровых воздействий, но также гл. обр. степенью неравномерности скорости и следовательно давления ветра. Наибольшие наблюдаемые изменения давления ветра, являющиеся действительной причиной периодических качаний вершины *H.*, оцениваются в 5% от наибольшего ветрового давления. Соответственно этому установлено, что

отклонение вершины в каждую сторону при качании или половина амплитуды качания равна 5% наибольшего горизонтального смещения при статич. нагрузке. Т. о., имея в виду напр. определенное расчетом горизонтальное смещение вершины Н. Empire State, равное 75 см, можно считать, что амплитуда качания в вершине этого здания будет 7,5 см. С помощью упомянутого сейсмографа установлено, что частота колебаний составляет от 8 до 30 полных качаний в минуту, увеличиваясь в зависимости от горизонтальной жесткости конструкции. При сооружении некоторых Н. для усиления сопротивляемости ветровым воздействиям вводились горизонтальные диагональные металлические подкосы в плоскостях, образывавшихся междуэтажными перекрытиями. Однако практика последних лет устанавливает отсутствие необходимости такого рода усиления горизонтальных частей каркаса, коль скоро междуэтажные перекрытия выполняются в виде сплошных железобетонных плит по металлу, балкам и прогонам, ибо эти сплошные железобетонные плиты с успехом выполняют роль жестких раскосов горизонтальных ветровых ферм, к-рым в сущности являются междуэтажные перекрытия. Изучение опустошительных последствий урагана, пронесшегося на побережье Атлантического океана в 1926 г. и причинившего большие разрушения в г. Миами на полуострове Флорида, подтверждает, что даже слабые плиты способны во всяком случае распределить ветровую нагрузку между несколькими рядами балок или прогонов и колонн. Т. о., исходя из условия равенства горизонтальных смещений колонн, вытекающего из свойства междуэтажных плит распределять ветровую нагрузку, определяются головные моменты в колоннах, величина которых предполагается пропорциональной их жесткостям. Этот приближенный метод расчета применялся при проектировании многих Н., однако правильность его оспаривается некоторыми американскими инженерами, предпочитающими производить более точные расчеты, основанные на предположении о концентрации всего ветрового давления в вершинах пристенных колонн. Эти сосредоточенные силы предполагаются приложенными к мысленно выделяемому из всей пространственной системы поперечным вертикальным многоярусным жестким рамам, имеющим жесткую заделку в пятах. В целях облегчения собственного веса перекрытия железобетонные плиты иногда выполняются из шлако-железобетона. При проектировании небоскреба Empire State благодаря удачному сотрудничеству архитекторов и инженеров компановка обслуживающих помещений позволила расположить вертикальные ветровые связи в плоскости перегородок.

Для восприятия значительных нормальных усилий, возникающих вследствие огромного веса Н. в колоннах, последние проектируются из стальных прокатных балок широкополочного двутаврового профиля. Колонна N. Empire State состоит из двух листов  $1025 \times 10,6$  мм, H-образного профиля  $450 \times 350$  мм, двух листов  $450$  мм и 8 уголков при общей площади  $4\ 300$  см<sup>2</sup>, вес 1 п. м  $3,4$  т и наибольшей расчетной нормальной сжимающей силе  $4\ 700$  т. Колонна небоскреба City Bank-Farmers Trust имеет площадь сечения  $3\ 300$  см<sup>2</sup>; вес 1 п. м  $2,6$  т при наибольшей нормальной силе  $3\ 900$  т. Колонна N. New York Central имеет площадь сечения  $3\ 200$  см<sup>2</sup>, вес 1 п. м  $2,5$  т при  $N = 2\ 600$  т. Колонна N. Chrysler имеет площадь сечения  $3\ 350$  см<sup>2</sup>, вес 1 п. м  $2,65$  т. Опоры стальных колонн должны удо-

ветворять условию, чтобы передаваемая ими нагрузка на бетонные башмаки не вызвала напряжений, превосходящих допускаемые для сжатия бетона. При небольших нормальных силах, не превосходящих  $1\ 000 - 1\ 200$  т, применяется конструкция, заключающаяся в том, что основные колонны, усиленные горизонтальными уголками, опираются на литую стальную плиту толщиной  $20 - 22$  см, втолпленную в толщу бетонного башмака. При больших величинах нормальных сил колонна в основании усилена вертикальными листами трапециoidalной формы, снабженными вертикальными уголками и диафрагмами жесткости и окаймленными в нижней части горизонтальными опорными уголками, к к-рым прикрепляется нижняя стальная плита, опирающаяся в свою очередь на двутавровые балки, стянутые между собой болтами и забетоненные в бетонный массив, образующий башмак.

Выдающийся интерес представляет собой законченная в 1933 г. постройка небоскрежного комбина в центре Нью Йорка, образующего т. н. Рокфеллеров городок (Rockefeller Center). Он сооружен на площади, ограничиваемой с запада и востока 5-м и 6-м авеню и с юга и севера 48-й и 51-й улицами, занимая т. о. три квартала размерами каждый в  $275 \times 60 = 16\ 500$  м<sup>2</sup>, т. е. всего ок. 5 га. Для возведения новых Н. на этом оживленном и достаточно густо застроенном участке потребовалось произвести разрушение очень большого числа старых домов. Благодаря тому что одновременно застраивались три смежных квартала, имелась возможность более свободной архитектурной композиции, и застройка крайних кварталов велась с таким расчетом, чтобы расположенный на среднем квартале наиболее высокий 69-этажный Н. (RCA) не был затенен близлежащими зданиями. Поэтому при проектировании этого Н. были использованы выгоды такого положения, позволившие придать ему вместо обычной для Н. башенной формы вид достаточно удлиненного прямоугольного здания с отношением сторон почти 3 : 1, что очевидно с эконоич. точки зрения представляется чрезвычайно целесообразным. В отличие от уже описанной нормальной проектировки зданий этого рода, характеризующейся организацией ряда отступов, в Н. RCA эти отступы отсутствуют, и фасад здания представляет собой за исключением нижней его части вертикальную стену. Строительный объем небоскреба RCA составляет  $1\ 060\ 000$  м<sup>3</sup>, полезная эксплуатируемая площадь равна  $195\ 000$  м<sup>2</sup>. В отличие от других Н. фронт разгрузки перед лифтами расположен перпендикулярно к длинной стороне здания, благодаря чему ширина здания м. б. увеличена без ухудшения условий освещенности в эксплуатируемых частях. Так как при этом для размещения необходимого количества лифтов не требуется использования центральной площади по всей длине, то в крайних двух пролетах ширина здания уменьшена с 31 до 20 м. Конструкция скелета состоит из прокатных профилей нормального качества. Перекрытия для облегчения веса выполнены в виде шлако-бетонных плит. Приборы оборудования холодного и горячего водоснабжения применены бронзовые. Во всех помещениях установлены медные радиаторы для центрального отопления вследствие малого их объема и малого веса. Кроме того для уменьшения уличного шума в подоконники вделаны пустотелые звукопоглощающие короба. Все помещения оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией. Дабы не увеличить веса стен, запроект-

тированных толщиной в 40 см и имеющих внутри подоконной части звукоизолирующие коробки и радиаторы, для защиты помещения от атмосферных воздействий подоконные части покрыты тонкими алюминиевыми листами. Т. о. достигнуто значительное уменьшение веса стенового заполнения. В остальных частях стены облицованы снаружи плитками из прочного известняка толщиной 10 см. В целях наилучшей звукоизоляции поверх бетонных перекрытий положен слой в 7,5 см из особого звукопроводящего материала (термофила), покрытый тонкой металлиз. сеткой типа Рабид. Сетка покрыта слоем бетона в 5 см, а сверху уложен деревянный пол. В толщу термофила уложены особые фасонные металл. желоба, поглощающие звук. Такие же меры приняты для звукоизоляции перегородок, отделяющих помещения от коридоров. Последние облицованы листовой сталью и терракотой, причем оконечательная отделка обыкновенно производилась только после найма соответствующей части помещения в соответствии с желаниями арендатора. Внутренние конторские перегородки сделаны из гипса толщиной 7,5 см и покрыты с обеих сторон известковой штукатуркой.

При производстве работ по возведению Н. наиболее трудоемкой частью является экскавация грунта для устройства подвальных этажей и котлованов под фундаментами. В Нью Йорке на глубине от 5 до 10 м залегают скалы, служащая основанием фундаментов Н. Весь грунт под небоскребом от поверхности земли до скалы, если последняя не опускается ниже обычных глубин, по большей части вынимается и в образовавшемся пространстве устраивают два или три, а иногда и более подвальных этажа, используемых как складочные помещения. Для выравнивания поверхности выемки, а также при образовании отдельных котлованов под фундаментами колонн требуется произвести выломку довольно значительного количества скалы. Эта работа ведется взрывным способом. Просверливание бурок производится с помощью перфораторов, работающих сжатым воздухом от передвижных компрессорных станций, являющихся неизменной принадлежностью любой постройки, связанной с необходимостью производства земляных работ в твердых грунтах. Взрывные работы производятся в открытых выемках во всякое время дня при постройке зданий в самых людных и оживленных частях города, не требуя специальных ограждений, кроме т. н. колапков, представляющих собой опрокинутое ведро из котельного железа diam. ок. 1 1/2 м, соединенное в верхней своей части с помощью железных стержней с проушинами с лежащей на земле обвязкой, также состоящей из железных стержней, шарнирно между собой связанных. Колапк прикрывает бурку и в момент взрыва отделяется от земли; газы при этом выходят в образующуюся сбоку кольцевую щель, а крупные и мелкие камни, вылетающие при взрыве, ударяются о днище и стенки колапка, к-рый при своем подъеме увлекает за собой часть шарнирно связанной с ним тяжелой обвязки. Приподнимание звеньев обвязки происходит до тех пор, пока энергия взрыва не будет уравновешена производимой им работой по подъему колапка и части обвязки на нек-рую высоту, определяемую из вышеозначенного условия. Основная часть обвязки при этом всегда остается на поверхности земли. В последнее время колапки заменены железной сеткой такого же устройства и действующей по тому же принципу. Применение этого ограждения гаран-

тирует абсолютную безопасность при производстве работ. При глубоких выемках нередко приходится предварительно устраивать ограждение металлиз. шпунтовыми сваями во избежание оползания грунта. При постройке Н. Ньюйоркского страхового об-ва на поверхности были расположены поворотные дерники, поднимающие вынутый грунт, который затем отвозился грузовиками. Работка грунта производилась одноковшевыми экскаваторами. Паровые лебедки помещались на поверхности. Там же находилась стационарная компрессорная установка. Подъем стальных конструкций каркаса Н. производился с помощью дерников, количество которых зависит от площади застройки здания; обычно они устанавливаются попарно для того, чтобы по мере движения работ один дерник мог поднимать другой, переставляя его на следующие этажи. Первый дерник стоит на земле, второй на перекрытии 4-го этажа. По возведении перекрытия 7-го этажа второй дерник поднимает первый на это перекрытие и т. д. Интересно, разумеется, м. б. более значительные в зависимости от высоты дерников. Части кровельных покрытий, образующие отступы Н., обыкновенно используются для постановки дерников, размещения лебедок, а также в качестве промежуточных площадок, на которые временно укладывают металлиз. фермы и другие элементы конструкции, подлежащие подъему на более высокие этажи. Практикой установлено, что такое использование площадок представляет большие удобства по сравнению с непосредственным подъемом сразу на требуемое место того или иного элемента стальной конструкции каркаса. При постройке Н. Rockefeller Co., не имеющего отступов, промежуточная площадка была искусственно создана на высоте 33-го этажа в виде консоли длиной 24 м. На этой площадке устанавливался дерник, имевший стрелу в 22,5 м.

Лит.: Нью-Йорк и др. небоскребы и их возведение, «Американская техника и промышленность», 1930 г. 12; Thomas A. Adams, Regional Plan of New York and Its Environs, v. 1, 2, N. Y., 1931—1-32. Е. Штамм.

**ОКСИДНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ** представляет собой окисл или гидроокисл металла, образующуюся на его поверхности в результате химич. реакции соединения металла с кислородом. Окислы нек-рых металлов, как напр. тантала, алюминия, магния и др., обладают высокими электроизолирующими свойствами. Особый технич. интерес представляет О. и. на алюминии. Его соединение с кислородом ( $Al_2O_3$ ) весьма устойчиво. Вследствие чрезвычайной химич. активности алюминия по отношению к кислороду на поверхности алюминия в атмосфере воздуха всегда образуется естественным окислением оксидный слой. Свеже-срезанный алюминий покрывается такой пленкой в течение долей сек. Этот слой выдерживает лишь доли V и не представляет технич. интереса как изолирующий материал. О. п., имеющая технич. значение, получается искусственным способом. Таких способов известно три: 1) термическая обработка (нагревание металла), при к-рой высокая  $t^\circ$  способствует более активному окислению поверхности металла, чем в естественных условиях; 2) химическая обработка различными к-тами и щелочами. Эти два способа большого технич. интереса для электроизоляционных целей также не представляют, т. к. оксидный слой, таким способом полученный, выдерживает десятки V; 3) наилучшим способом получения более толстого и электрически более прочного оксидного слоя на алюминии является электролитический. Этот способ называется также анодной поляризацией ме-

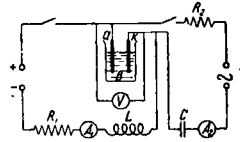
талла. Для этой цели алюминий погружается в электролит в качестве электрода и под действием электрич. тока, пропускаемого через электролит, кислород, соединяясь с алюминием, образует на его поверхности слой окиси  $Al_2O_3$ , а иногда гидроокиси  $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ . Единой общепринятой теории, объясняющей механизм образования оксидного слоя, пока не существует. Имеются лишь попытки объяснить явление вентильного действия этого слоя, которое связано с процессом образования самого слоя. Сюда относятся теории Гюнтершульце, Добиаш и др. Оксидные слои, получаемые электролитич. способом, можно разделить по их свойствам и применениям на два класса.

**Класс I.** Весьма тонкие пленки (порядка сотых и десятых долей  $\mu$ ), применяющиеся в электролитич. выпрямителях и в качестве диэлектрика в электр. конденсаторах. В электролитич. выпрямителях вентильным действием обладает оксидный слой, образующийся на вентильном металле в момент, когда он является анодом. Вентильное действие обнаружено у следующих металлов: Cu, Be, Mg, Zn, Cd, Al, Sn, Pb, Nb, Ta, Sb, W, U, Fe, Co, Ni. Вентильное действие бывает полным и неполным. Полное, — когда вентильный металл не растворяется в электролитах, неполное — растворимость вентильного металла искажает явление. Вентильное действие наиболее полно изучено на тантале, к-рый дает полное вентильное действие почти во всех электролитах. Для получения оксидных слоев для электр. конденсаторов обычно употребляют водный раствор аммонийных солей (углекислый или борнокислый аммоний). Основные требования к электролиту следующие: наименьшее растворение оксидного слоя; достижение наибольшего «критического» напряжения, т. е. напряжения, при котором появляется искрение; быстрое формирование оксидного слоя; получение наибольшей емкости на единицу площади слоя и наименьшего тока утечки на единицу емкости. «Критическое» напряжение для данного электролита тем выше, чем меньше концентрация электролита. Толщина оксидного слоя, равно как и обратная величина емкости слоя, близка к пропорциональной зависимости от величины формирующего напряжения. Электрические конденсаторы для постоянного тока изготавливаются на рабочие напряжения до 500 В. По способу, разработанному в ЛЭФИ, конденсаторы на напряжение до 100 В формируются в водном растворе двууглекислого аммония концентрации 0,1 N, на 400 В — 0,001 N. Основным условием для работы подобного диэлектрика в конденсаторе является необходимость постоянного присутствия электролита либо в свободном (жидком) виде — такие конденсаторы называются жидкостными — либо в бумаге, тканях или массах типа желатины, пропитанных ею и проложенных между обкладками конденсатора; такие конденсаторы называются полусухими. В качестве рабочего электролита употребляется раствор соли, в к-ром формировался оксидный слой, в глицерине. Длительное формирование для низковольтных конденсаторов 30—40 мин. Плотность тока при электролизе заметно не влияет на диэлектрич. свойства оксидного слоя. Диэлектрич. коэф. такого диэлектрика  $\epsilon = 8 \div 12$ . Уд. объемное сопротивление порядка  $10^{15}$   $\Omega \cdot \text{см}$ . Емкость слоя для единицы поверхности металла для низковольтных конденсаторов равна  $0,2 \div 0,5$   $\mu\text{F}/\text{см}^2$ , ток утечки  $10^{-8} \div 10^{-7}$  А/ $\mu\text{F}$ . При рабочем напряжении в 400 В емкость единицы по-

верхности  $0,01 \div 0,02$   $\mu\text{F}/\text{см}^2$  и ток утечки  $10^{-4}$  А/ $\mu\text{F}$ .

**Класс II.** Толстые оксидные слои, выдерживающие напряжение в несколько тыс. В и работающие в сухом виде. Толщина такого слоя О. и. достигает нескольких десятых долей мм.

О. и. представляет большой интерес для техники сильных токов. Основные преимущества ее заключаются в следующем: исключительная теплостойкость ( $t^\circ$  н. О. и. 2 050°); хорошие диэлектрич. свойства (при  $t^\circ$  250° уд. объемное сопротивление  $10^{13}$   $\Omega \cdot \text{см}$ ,  $\text{tg } \delta = 0,04$ ); процесс получения изолирующего материала и процесс изолирования проводника в этом случае соединяются в один простой технологич. процесс электролиза; уменьшение веса и высокий коэф. заполнения паза. Для получения О. и. употребляют в качестве электролита водный раствор  $H_2SO_4$  (1 N-й концентрации);  $H_2C_2O_4$  (2 N-й концентрации);  $CrO_3$  — 3% и др. Электролиз ведется постоянным или переменным током, а еще лучше при одновременном действии обоих видов тока. Схема наложения токов показана на фигуре (В — ванна, а — алюминевый электрод, к — катод,  $R_1, R_2$  — сопротивления, L — дроссельная катушка, C — конденсатор). Наложение токов наиболее благоприятно для электролитического окисления в  $H_2C_2O_4$ , а для  $H_2SO_4$



выгоднее и удобнее употреблять один переменный ток. При этом вторым электродом служит графит. Диэлектрич. свойства О. и. зависят от рода, концентрации и  $t^\circ$  электролита, состава алюминия, вида и плотности тока и количества протекшего электричества;  $t^\circ$  наиболее выгодно поддерживать 25—30°. Для получения более гибкой изоляции полезно содержание в алюминии 2—5% меди. Более толстую О. и. с пробивным напряжением порядка 9 kV и более можно получить в горячем электролите, но только на пластинах. Такая изоляция очень хрупка и отслаивается. О. и. на проволоке напряжением выше 400 В имеет продольные трещины. Поверхность алюминия предварительно протравливается в 10%-ной KOH и тщательно вымывается дистиллированной водой. После электролиза О. и. отмывается от остатков электролита в горячей воде и высушивается. С целью равномерного покрытия алюминия электродом необходимо во время электролиза перемешивать. Перемешивание осуществляется продуванием сжатого воздуха через отверстия стеклянной трубки, погруженной в электролитич. ванну. Постоянная  $t^\circ$  электролита поддерживается либо путем пропускания проточной воды через алюминиевый змеевик, погруженный в ванну, либо применением проточного электролита.

О. и. чрезвычайно гигроскопична. В атмосфере 100%-ной влажности она поглощает до 35% воды. Диэлектрич. свойства несухой О. и. обуславливаются водой, абсорбированной ею. Зависимости уд. сопротивления  $\rho$  и  $\text{tg } \delta$  угла потерь несухой О. и. на алюминии от  $t^\circ$  при атмосферном давлении приведены в табл. 1. Уменьшение потерь и проводимости с повышением температуры обуславливается удалением с поверхности и из пор О. и. Рентгенохим. анализ показывает, что структура О. и. — мелкокристаллич. модификация  $Al_2O_3$ . Микроструктура О. и. такова: у самой поверхности алюминия откладывается плотный слой толщиной в несколько  $\mu$ , а на него уже

Табл. 1.—Зависимость электрич. сопротивления и диэлектрических потерь в О. и. от  $t^\circ$ .

$t^\circ$	$\rho$	$\text{tg } \delta$	$\epsilon$	Примечание
18	$9,5 \cdot 10^6$	0,2	—	Для оксидных пленок, полученных в $\text{H}_2\text{SO}_4$
67	$1,3 \cdot 10^{11}$	0,0883	5,46	
120	$2,6 \cdot 10^{12}$	0,024	5,9	
180	$1,4 \cdot 10^{13}$	0,0315	5,31	
255	$8,8 \cdot 10^{13}$	0,046	5,46	
380	$4,4 \cdot 10^{16}$	0,2	—	
242	$9,6 \cdot 10^{12}$	0,044	5,78	
166	$1,8 \cdot 10^{12}$	0,019	5,31	
84	$1,3 \cdot 10^{14}$	0,011	5,18	
20	$1,2 \cdot 10^{19}$			

откладывается более толстый и сильно пористый слой. Электрич. прочность О. и. порядка  $400 \pm 300 \text{ kV/cm}^2$ . Она не зависит от  $t^\circ$  вплоть до  $500^\circ$ . Явления теплового пробоя не наблюдаются. Компаундирование парафином или маслом предварительно высушенной в вакууме О. и. повышает электрич. прочность в несколько раз. Заполнение пор сжатым газом также повышает прочность — при  $14 \text{ atm}$  в 2—3 раза. Толщина О. и. может быть измерена тремя способами: 1) в случае тонких слоев — по интерференционной окраске, 2) измерением на поперечном шлифе и 3) непосредственным измерением слоя, отделенного от металла микрометром. Последний способ — наиболее удобный. Для отделения О. и. от алюминия окисленная платина погружается в сернистый алюминий, через который пропускается постоянный ток. Пластина со слоем окиси служит катодом. Через 1—2 мин. О. и. отделяется от алюминия отдельными кусочками;  $t^\circ$  электролита при этом  $50\text{—}60^\circ$ .

Главным недостатком О. и. является ее хрупкость, возрастающая с увеличением толщины изоляции. При изгибах она образует трещины до поверхности металла, видимые даже невооруженным глазом. Этот недостаток в сильной степени ограничивает возможность применения О. и. в технике. Для получения в проводах менее хрупкой О. и. применяется способ изгибания проволоки в электролитич. ванне во время окисления. Образующиеся при этом трещины заполняются также окислом алюминия. Окисленные провода при изгибе на десятикратный собственный диам. теряют электрич. прочность порядка  $10\text{—}20\%$  от начальной. Применение для электролиза токов высокой частоты также уменьшает хрупкость О. и. Твердость О. и. тождественна с корундом 9 по шкале Мосса. Примерный расход электрич. энергии (в  $\text{kWh}$  на  $1 \text{ м}^2$ ) при электролитич. окислении приведен в табл. 2.

Табл. 2.—Расход энергии при электролитическом окислении ( $\text{kWh/m}^2$ ).

Пробивное напряжение в В	Для постоян. формир. тока	Для постоян. в перем. одноврем.	Для перем. формир. тока
300	7,3	10,6	15,7
400	14,0	20,0	35,3
500	22,1	31,3	45,4

Несмотря на хрупкость и гигроскопичность О. и. окисированный алюминий может найти применение для следующих целей: а) обмотки

в трансформаторах (ВЭИ построены с О. и. опытный силовой трансформатор  $6\ 600/380 \text{ V}$ ,  $20 \text{ kVA}$ ; сварочный трансформатор  $220/65 \text{ V}$ ,  $15 \text{ kVA}$ ); б) обмотки в электродвигателях, подъемных электромагнитах и других машинах и аппаратах; в) обмотки катушек в электроизмерительных приборах; г) в качестве междувитковой изоляции в роторах турбогенераторов; в этом случае может быть либо окисирована сама обмотка либо применяется в качестве прокладки окисированная алюминиевая лента; д) обмотки электронагревательных приборов как широкого потребления (бытовых), так и специальных назначений; в этом случае окисированный алюминий заменяет импортный никром; е) конденсаторы (в особенности выгодно для низковольтных) для постоянного тока, а также для компенсации сдвига фаз в установках переменного тока.

Лит.: Гюнтершультце А., Электрические выпрямители и вентили, пер. с нем., 1 изд., М.—Л., 1932; Гутин С., Электрические свойства оксидной изоляции на алюминии, «Журнал техн. физики», 1933, т. 3; Тареев В., Оксидная изоляция и ее значение для электроокисления, «Электричество», 1933; Александров Н. П., Пружинина В. и Соколова Н., О свойствах оксидной пленки и способах ее получения, там же, 1933; Степанов Д. и др., К вопросу об электролитическом получении окисных пленок на алюминии, «Журнал физической химии», 1933; Вальтер А. и др., Электролитическая окислительная алюминия переменным током высокой частоты, там же, 1933; Гейтс М. и др., «Electrochim. Acta», 1926; G ü n t e r s c h u l z e A. u. B e t z H., Die Oxydschichten von Sb, Bi, W, Zr, Al, Zn, Mg, «Ztschr. f. Elektrochem.», Lpz., 1931; Dobias A., K r a m p L. u. L e b e d i n s k a y a O., Eine elektroosmotische Theorie des elektrolytischen Gleichrichters, «Ztschr. f. Physik», B., 1930; Баджард, Гласберг и М. а. Вороб. И., Oxide Coatings on Aluminum, «Trans. of the Am. Inst. of El. Eng.», N. Y., 1934, 4; Burgers W., C l a s s e n A., Z e r n i k e J., Über die chemische Natur d. Oxydschichten, welche sich bei anodischer Polarisation auf den Metallen Aluminium, Zirkon, Titan u. Tantal bilden, «Ztschr. f. Physik», B., 1922; R ö h r i g H., Elektrolytisch erzeugte oxydische Schutzschichten auf Aluminium, «Ztschr. f. Elektrochem.», Lpz., 1931. С. Гутин.

**ОКТАНОВОЕ ЧИСЛО** (горючего для карбюраторных моторов), количество (в объемных процентах) изооктана в смеси с нормальным гептаном, подобранное т. о., чтобы смесь по своим детонационным свойствам была идентична с испытуемым образцом. О. ч. служит для определения детонационных свойств данного горючего и не зависит от того, на каком моторе производится определение. Путем введения О. ч. найдены объективные критерии для оценки способности к детонации, которую ранее тщетно пытались выразить через отдельные элементы двигателя: степень сжатия, опережение зажигания, число оборотов и т. д. Определить О. ч. можно на любом моторе, но удобнее и точнее это делать на одноцилиндровой машине. Для этой цели был сконструирован специальный двигатель, принятый в настоящее время во всех странах мира. Испытание ведется при строго регламентированном режиме для получения однозначных результатов. До середины 1933 г. включительно был принят т. н. «лабораторный метод» испытания, в настоящее время замененный «дорожным методом». Применение в качестве эталона двух химически чистых веществ, имеющих очень близкие  $\epsilon_{\text{кин}}$ , позволяет воспроизводить нормальную шкалу детонации в любом месте, чего нельзя было достигнуть при случайно выбранных для этой же цели бензинах, как пытался сначала сделать Рикардо. В настоящее время технич. продукты могут употребляться для установления вторичной шкалы, к-рая обязательно д. б. точно тарифирована по эталонным продуктам. Повышение степени сжатия и требований, предъявляемых к бензину со

стороны антидетонационных качеств, оказывает заметное влияние на изменение О. ч. торговых продуктов. Особенно сильно сказывается укрупнение тенденции на бензинах среднего сорта. В то время как премиальные топлива, имеющие О. ч. выше 80, не изменили заметно своего показателя за последние годы, наиболее распространенные марки повысили этот показатель (в США) следующим образом:

Годы . . . . .	1930	1931	1932	1933
Октановые числа . . . . .	80	81	85	89

Подобная тенденция кроме США наблюдается и в Европе, Технологич. процесс получения топлива и состав сырья оказывают большое влияние на О. ч. получаемого продукта. В громадном большинстве случаев бензины с высокой  $t^{\circ}$  выкипания оказываются худшими с точки зрения детонации, чем более легкие продукты. Только бензины гидрогенизации показывают противоположную картину, т. е. у них О. ч. повышается по мере ухудшения испаряемости. Не меньшее значение, чем фракционный состав, оказывает и химическое строение углеводородов, входящих в состав топлива. Наиболее низким О. ч. при одном и том же молекулярном весе обладают нормальные парафины. При разветвлении цепи О. ч. для одного и того же гомолога повышается; в том случае, когда количество боковых групп очень велико, представители данного класса оказываются чрезвычайно устойчивыми к детонации. Аналогичная картина наблюдается и в ряду олефинов, к-рые при прочих равных условиях имеют более высокое О. ч., чем соответствующие им парафины. Картина несколько усложняется одновременным влиянием, оказываемым положением двойной связи. Нафтеновые углеводороды как правило трудно детонируют, но относительная роль пяти- и шестичленных колец недостаточно еще ясна. К соединениям, имеющим очень высокое О. ч., относятся простейшие представители ароматич. углеводородов. Это свойство их практически используется для улучшения О. ч. какого-либо образца горючего, недостаточно удовлетворительного в этом отношении, путем прибавления к нему технич. моторного бензола. Близким по свойствам к бензолу является этиловый спирт, к-рый также может прибавляться к топливу для уменьшения его детонационных свойств.

При оценке качества горючего имеет значение не только О. ч., которое определяется непосредственным измерением, но и отзывчивость топлива к примеси антидетонаторов. В то время как в газовом бензине от небольшого количества этилового спирта сильно повышается О. ч., тяжелые бензины обладают этим свойством в значительно меньшей степени, а для крекинг-бензинов прибавление антидетонаторов наименее эффективно.

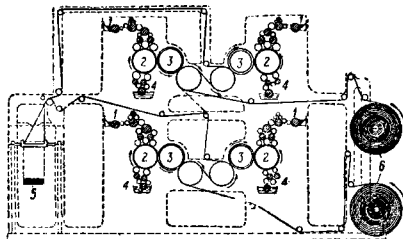
Лит.: К л и г е р м а н, Октановое число, «Авэр. Нефть Вак», 1933, 6—7, стр. 33; W e i d, Knock Rating a. Distillation Range, «Oil a. Gas Journal», Tulsa, 1931, v. 29, p. 98, 202; W e i d, Octane Rating Leveling out U. S. Suty Services, «Natural Petroleum News», 1932, v. 24, p. 13; H u b n e r, Effect of Automobile, «Oil a. Gas Journal», Tulsa, 1933, v. 32; C a m b e l l, L o w e l l, B o y d, Detonation Characteristics of Some Hydrocarbons, «Industrial a. Engineering Chemistry, N. Y.», 1931, v. 23, p. 26, 555; G a r n e r, The Knock Rating of the  $\Delta$ -Olefins, «Journ. of the Society of Chemical Industry», 1932, v. 51, p. 265; N a c h, D o n a l d, Knock Rating of Pure Hydrocarbons, «Natures», 1929, v. 123, p. 3337; B i r c h, S t a n s f i e l d, Knock Rating of Pure Hydrocarbons, ibid., v. 123, p. 430, 839; H o f m a n n, L a n g, B e r l i n, Ueber die Beziehungen zwischen Kohlenwasserstoffgehalt und Kohlenwasserstoffwert, «Brennstoff-Chemie», Essen, 1932, B. 13, p. 161; T r i m b l e, Light Hydrocarbons Found in Natural Gasolins Maintain Rating in New Antiknock Test, «Oil a. Gas Journal», Tulsa, 1933, v. 31, p. 16, 23

Z i e g e n h a i n, Trend in Motor Fuel Quality a. Octane Value, ibid., v. 31, p. 20, 36; E d g a r d, Trend in Antiknock Motor Fuels, ibid., 1929, v. 27, p. 97, 162, 164, 166; G e n i s s e, Effect of Volatility on Petroleum Fraction Detonation Value, «Industrial and Engineering Chemistry, N. Y.», 1928, v. 20, p. 764; K r a e m e r, G a r t o n, Octane Number of Gasoline Higher, «Oil a. Gas Journal», Tulsa, 1931, v. 29, p. 16, 98; C l a y d e n, Higher Antiknock Motor Fuels Aid the Car Builders, «Natural Petroleum News», Cleveland, Ohio, 1931, v. 23, p. 41; H e b l, B e n d e l, Influence of Tetraethyl Lead on Knock Rating, «Journ. of the Institute of Petroleum Technology, L.», 1932, v. 16, p. 187; S t e h w i t z, A. O. K. Werte als Massstab fuer Bewertung von Benzin, «Petroleum», B., 1933; S i b l e y v. B., Improvements in Motor Design May Halt Octane Number Race, «Natural Petroleum News», Cleveland, Ohio, 1932, v. 24; N e l s o n E. a. E g l o f f G., Large Yield of High Octane Gasoline, Obtainable from Low Gravity Lost Soldier Crude Oil, «Oil a. Gas Journal», Tulsa, 1932, 31; H a n l e y V., Effect of Increasing Octane Number on Motor Fuel Performance, «Natural Petroleum News», Cleveland, Ohio, v. 24, 1932; A l d e n R., Correlate Octane Number a. Vapor Pressure of Natural Gasolines, «Oil a. Gas Journal», Tulsa, 1932, v. 30; A l d e n R., Antiknock Characteristics of Natural Gasoline with Reference to Grading, Refiner a. Natural Gasoline Manufacturer, 1932, II. Ванюгин.

**ОФСЕТ**, разновидность плоской печати, так как печатающие элементы формы лежат в одной плоскости с пробельными (см. *Литография*). В отличие от других способов плоской печати (литография, фототипия) в офсетном способе изображение с печатной формы передается не непосредственно на бумагу, а сначала на резину и с последней на бумагу. В принципе офсетной печати положены способность материала печатной формы (цинк, алюминий или их сплавы) адсорбировать жиры и несмачиваемость жиров водой. Как и в литографской печати, краска накачивается на увлажненную форму. Для лучшего удержания влаги цинковой пластине придается зернистая поверхность. Форма для офсетной печати м. б. изготовлена так же, как и для литографской, с последующим переводом на цинк (устаревший способ). Современные способы приготовления форм основаны на фотомеханич. процессах. Репродуцируемое изображение фотографируется на сенситивизированные фотографич. слои с включением избирательных светочувствительных веществ. Съемка может производиться как на коллоидную эмульсию и фотомеханические пластинки с включением раstra, так и на броможелатинные пластинки без раstra. Вследствие несовершенства цветопередачи фотографическими слоями полученное негативное изображение требует корректуры, которая может быть выполнена на растровых негативах путем местного усиления или ослабления. В этом случае не подлежащие обработке места негатива закрывают лаком, удаляемым по окончании процесса, или пользуются загущенными растворами, наносимыми на негатив кистью. Тоновый нерастровый негатив корректируют путем ретуши, с него делают диапозитив, к-рый также ретушируют, после чего изготавливают растровый негатив. Изображение с негатива копируют на форму, покрытую хромоклеевым или хромоальбуминовым слоем. Процесс копирования основан на коагуляции хромоальбумина и хромоклеевых слоев при действии на них света. Раствор хромированного альбумина наносится на форму в центрифуге, копирование производится в пневматич. раме. Для обеспечения полного совпадения красок при печати и возможности размножения мелких изображений на форме применяют множительные и копирующие машины. Существуют два основных типа машин: 1) множительные машины, в к-рых изображение размножается на негативе путем ряда последовательных съемок на одну фотопластинку («Лито-текс», «Люкс-аддитор» и др.); 2) копирующие



множительные машины, в к-рых изображение размножается непосредственно на печатной форме путем последовательного копирования («Принтекс», «Релетекс», «Аддикоп» и др.). Как в тех, так и в других машинах перемещение изображения делается автоматически с точностью 0,1—0,01 мм в зависимости от конструкции машины. Откопированное изображение закрывается сплошь краской (смесь печатной и переводной литографской) и промывается водой. Не подвергшийся действию света в темных местах негатива хромированный слой растворяется и смывается вместе с лежащей на нем краской, к-рая остается только на нерастворившихся коагулированных местах изображения, подвергшихся освещению. Промытая пластина обрабатывается вытравкой, состоящей из солей фосфорной кислоты. Наличие на поверхности нерастворимых солей фосфорной к-ты улучшает условия увлажнения. Наличие в офсетной печати резины, передающей изображение, оказывает влияние на результат печати, т. к. благодаря эластичности резины возможна печать на бумагах, имеющих сильно шероховатую поверхность, кроме того толщина слоя краски на оттисках получается значительно меньшая, чем при других способах печати, что понижает насыщенность цвета. Благодаря полному отсутствию рельефа на форме не получается обычного для высокой (и частично литограф-

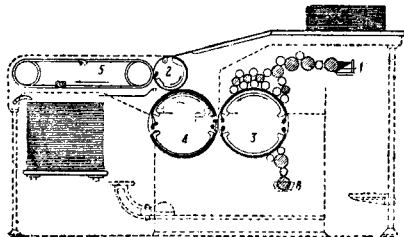


Фиг. 1.

ской) печати растискивания красочного слоя, вызывающего увеличение толщины слоя краски по краям изображения и связанное с этим явление цветового контраста, увеличивающего резкость краев изображения. Эти специфич. особенности офсетной печати позволяют более совершенное, чем в других способах, воспроизведение изображений, сделанных акварелью или пастелью, но являются недостатком при репродукции картин, написанных масляными красками. Недостаток этот устраняется применением более интенсивных красителей и соответствующими коррективами при приготовлении форм.

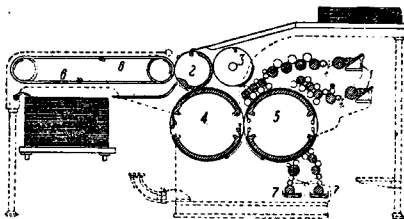
Офсетная печать в настоящее время является наиболее совершенным и вместе с тем наиболее экономичным способом цветной печати; офсетная печать применяется также для печати журналов, газет и книг. В этом случае набранный шрифт печатается на переводной литографской бумаге, с к-рой ватем переводится на офсетную форму, или же фотографируется, и с полученного негатива изготовляется копия непосредственно на форме. Второй способ может быть применен также для вторичного воспроизведения ранее отпечатанных изданий. С целью расширения области применения офсетной печати за границей сконструирован ряд фотонаборных и наборно-пишущих машин, но вследствие несовершенства эти машины не нашли широкого применения. В настоящее время общепринятой классифика-

ции офсетных машин не существует. Офсетные машины м. б. классифицированы как по кинематическому, так и технологическому признаку. Классификация по кинематическому признаку: 1) плоские офсетные машины, характеризующиеся наличием возвратно-поступательного движения формы и прерывистого движения печатного барабана, по конструкции сходны с плоскими литографскими машинами; существенным отличием является наличие промежуточного барабана с резиновой покрышкой; этот тип машины мало распространен; 2) ротационные машины, характеризующиеся непрерывным вращательным движением формы и печатного барабана, делаются на машины, печатающие с бумажного рулона (фиг. 1, где 1 — красочные аппараты, 2 — барабаны с фор-



Фиг. 2.

мой, 3 — барабаны с резиновой покрышкой, 4 — увлажняющие аппараты, 5 — фальцаппарат и 6 — бумажные рулоны), и машины, печатающие на отдельных листах бумаги, к-рые в отличие от первых носят название машин ротационного типа. Классификация по технологич. признаку: 1) однокрасочные машины (фиг. 2 — машина марки «Древден», где 1 — красочный аппарат, 2 — печатный барабан, 3 — барабан с формой, 4 — барабан с резиновой покрышкой, 5 — вывод отпе-



Фиг. 3.

чатанного листа, 6 — увлажняющий аппарат), в которых за каждый прогон бумажного листа в машине получается оттиск только одной краски; процесс многокрасочной печати в этих машинах аналогичен процессу литографской многокрасочной печати; 2) многокрасочные машины, в к-рых за один прогон получается оттиск в несколько красок. Существуют двух-, четырех- и шестикрасочные машины; наиболее распространены двухкрасочные (фиг. 3 — машина марки «Планета»). Машина имеет два красочных и два увлажняющих аппарата; барабан с формой разделен на две части, на к-рые могут быть надеты формы различных красок; точно так же на барабан с резиновой покрышкой натянута две резины.

Отличительной особенностью этой машины является наличие вспомогательного барабана. Процесс печати следующий: при первом обороте

печатного барабана получается оттиск одной краски, при втором обороте — оттиск второй краски, после чего лист передается на вспомогательный барабан. Печатный барабан берет следующий лист; после получения на него оттиска первой краски печатный барабан захватывает лист с вспомогательного барабана и ведет его к выводу, следовательно в это время на печатном барабане одновременно находятся два листа. Наличие вспомогательного барабана дает возможность устроить третий оборот печатного барабана, необходимый для вывода листа. На фиг. 3: 1 — красочные аппараты, 2 — печатный барабан, 3 — вспомогательный барабан, 4 — барабан с резиновыми покрышками, 5 — барабан с формами, 6 — вывод листа, 7 — увлажняющий аппарат.

В настоящее время в СССР приступлено к производству собственных офсетных машин (см. *Типографское оборудование*). Особого внимания заслуживают малые офсетные машины, отличающиеся большой легкостью и простотой конструкции, к-рые в наших условиях могут найти весьма широкое применение для низовой печати. В типографии на самолете-гиганте им. Максима Горького была установлена малая машина конструкции Рыбинского завода имени Ягоды. Недостатком, свойственным большинству современных машин, является отсутствие приспособлений, указывающих величину деформации резиновой покрышки, благодаря чему невозможна точная регулировка. Излишне большое давление вызывает деформацию резины и как следствие скольжение между формой и резиной, что ведет к изменению печатающих элементов формы. В целях предохранения печатающих элементов формы от механических воздействий в последнее время за границей получил распространение способ офсетной печати с форм с углубленными печатающими элементами — *глубокой О*.

Лит.: Лауберт Ю., Фотомеханические процессы, 2 изд., М.—Л., 1932; Русс Р., Основы современной репродукционной техники, пер. с нем., М., 1932; Суворов П., Литография и офсет, М., 1933; Пондучухин П., Приготовление офсетно-литографских форм, М., 1933; Скамоли Е., Фотографическое и копировальное оборудование для офсета, «Графика», Берлин, 1925, 2; Браун Е., Катюшечные офсет-машины, там же, Берлин, 1925, 2; Лауберт Ю., Что такое офсет, «График. искусство», М., 1925, 2; Крюгер О., Die lithographischen Verfahren u. der Offsetdruck, 2 Aufl., Lpz., 1929. П. Пондучухин.

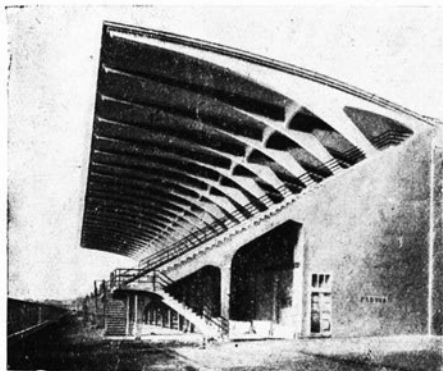
**ПЕРЕКРЫТИЯ ЗДАНИЙ.** Отличительные признаки, являющиеся основанием для классификации существующих видов перекрытий, таковы: 1) положение перекрытия внутри здания, 2) функциональное его назначение, 3) степень огнеопасности, 4) термич. сопротивление, 5) род строительных материалов, употребленных на его возведение, 6) конструктивные особенности и 7) методы производства работ. По первому признаку перекрытия подразделяют на две основные группы: междуэтажные и кровельные. К междуэтажным относятся также наружные и внутренние балконы и площадки, перекрывающие часть площади помещения, этажа или отдельного зала. По функциональному назначению различают перекрытия: а) несущие полезную нагрузку в виде скопления людей (жилые и общественные здания) или в виде веса машин и равного рода материалов (складские и производственные здания), причем эта нагрузка может заключаться также и в динамич. воздействии от неуравновешенных частей механизмов, сбрасывания грузов и т. п.; б) играющие роль поверхностей, ограждающих нижележащие помещения от внешних атмосферных воздействий. Последние в соответствии с принятой в настоящее время терминологией

называются покрытиями. Степень требуемой огнеопасности определяется в каждом отдельном случае функциональным назначением или производственным процессом в совокупности с экономическими соображениями. С точки зрения огнеопасности перекрытия могут быть по принятой в СССР классификации огнестойкими, негоряемыми, полугоряемыми, защищенными от возгорания и сгораемыми. В США существует также категория «медленно сгораемых» (slowburning) перекрытий. Термич. сопротивление имеет существенное значение для покрытий верхних этажей бесчердачных зданий, а также в тех случаях, когда перекрытия разделяют помещения с различными температурными режимами. Перекрытия м. б. теплыми, полутеплыми и холодными, обладая различными коэф-тами термич. сопротивления. По роду строительных материалов различают три основных вида перекрытий: а) деревянные, б) железобетонные, в) состоящие из деревянного настила по железным балкам или железобетонных плит по железным балкам. Кроме того существуют разнообразные системы смешанных перекрытий, т. е. состоящих из различных комбинаций железа, дерева, бетона и камня. Конструктивные решения приводят к двум основным системам перекрытий: а) ребристым и б) безбалочным. Оба принципа находят оформленные как в деревянных, так и в железобетонных конструкциях и отчасти в металлических. Стойки зрения способов производства работ кроме обычных перекрытий, сооружаемых на проектном уровне, существуют конструкции сборные и сборно-разборные, предварительно заготовляемые на строительном дворе и затем монтируемые уже в виде отдельных, заранее заготовленных щитов, плит, балок и прочих отдельных элементов.

Перекрытия несут кроме собственного веса полезную нагрузку, определяемую в зависимости от функционального назначения. Собственный вес перекрытий определяется на основе предварительного приближенного подсчета или же по данным табл. 1.

Табл. 1.—Собственный вес 1 м<sup>2</sup> перекрытия вместе с балками.

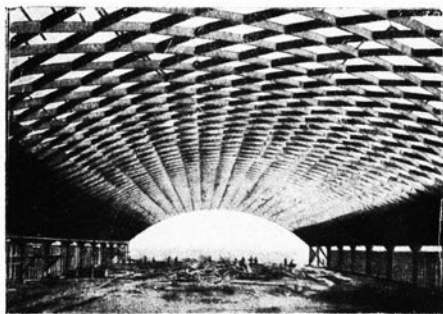
Род перекрытия	Собств. вес в кг/м <sup>2</sup>
Дощатый пол по деревянным балкам из досок на ребро с асфальтовым слоем по изоляционной бумаге без подшивки потолка	65
Деревянные балки из досок на ребро, верхний дощатый настил, фибровый слой, паркет по смоляной мастике, штукатурка потолка по дранию, потолок с выступающими неподшитыми балками	80
Балки из брусев или бревен, отесанных на два канта, по балкам настил из шпунтованных досок толщиной 4 см, пол асфальтовый по изоляционной бумаге, подшивка потолка из досок 2 см, штукатурных по дранию	120
Балки из досок на ребро, полой настил из шпунтованных досок 8,5 см, подшивка из досок 2 см, штукатурка по дранию, изоляция—глиняный слой 7 см, импрегнированный песком	100
Балки из брусев или бревен, отесанных на два канта, по балкам настил из шпунтованных досок толщиной 4 см, паркетный пол, подбор из досок толщиной 2,5 см по черепным брускам с засыпкой шлаком слоем толщиной 10 см, подшивка потолка досками толщиной 2,5 см, и штукатурка потолка по дранию	215
Бетонные слои по железным балкам, чистый цементный пол, потолок, штукатурный по внешней поверхности свода	360
Железобетонное плоское ребристое перекрытие по железным двутавровым балкам, потолок—подвесная плита по сетке	350
Рабца, чистый цементный пол	350



1



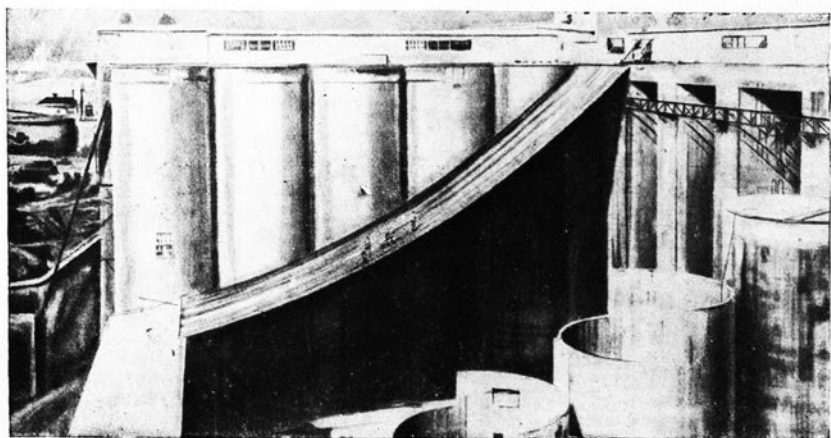
4



3



2



5

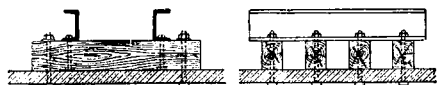
1. Трибуны стадиона Giovanni Berta во Флоренции. 2. Покрытие трибун ипподрома в Энгьене. 3. Покрытие здания школы верховой езды в С.-Луисе. 4. Установка покрытия для зернового элеватора в порту Альбани. 5. Сварка листов покрытия для зернового элеватора в Альбани.

Расчетные полевые нагрузки на перекрытия в зависимости от функционального их назначения даны в табл. 2.

Табл. 2.—Расчетная полезная нагрузка на 1 м<sup>2</sup> перекрытия.

Род зданий и перекрытий	Расчетная нагрузка в кг/м <sup>2</sup>
<b>А. Чердачные перекрытия</b>	
Перекрытия небольших площадей в жилых зданиях	75
Перекрытия средних площадей в жилых и промышленных зданиях	125
<b>Б. Междуетажные перекрытия</b>	
Перекрытия в жилых зданиях	150
Перекрытия в общежитиях и казармах в зависимости от населенности и оборудования	150—250
Перекрытия в зданиях для учреждений, торговли, школ, лечебного и санитарного назначения в зависимости от предполагаемого скопления людей и оборудования	250—350
Перекрытия в зданиях общественного назначения: в клубах, театрах, столовых, вокзалах, музеях, выставочных павильонах и т. п.	400
Перекрытия в производственных зданиях по действительному значению, но не менее	400
Перекрытия в зданиях для хранения, архивах, библиотеках, сейфах и т. п., а также в складочных помещениях по действительному значению, но не менее	600

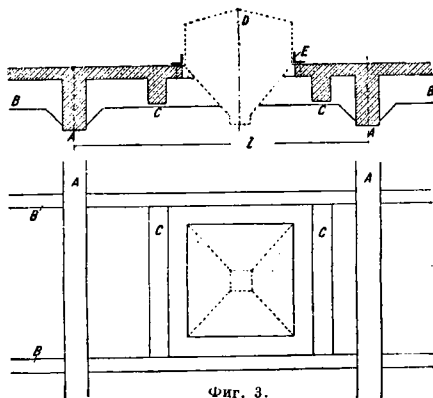
Для уменьшения интенсивности нагрузок, например от оборудования производственного зала фабрично-заводского здания, следует учитывать не только действительный вес этого оборудования, но также и площадь, на которой происходит передача нагрузки. Следовательно необходимо знать способ опирания оборудования на перекрытие и положение точек или плоскостей приложения силового воздействия. Для уменьшения величины расчетной нагрузки от оборудования, приходящейся на 1 м<sup>2</sup> перекрытия, следует по возможности увеличивать площадь передачи давления, что достигается устройством левневых опор или системой перекармливающихся левней и поперечин (фиг. 1) или же устройством спе-



Фиг. 1.

циальных дополнительных балок, непосредственно воспринимающих эти нагрузки (фиг. 2). Такое же устройство применяется в тех случаях, когда габарит машинного оборудования опускается ниже уровня, поддерживающего его перекрытия (фиг. 3: А — главные балки, В — второстепенные балки и С — специальные дополнительные балки, окаймляющие вырез в плите, к краям которого крепится бункер D с помощью уголка E). За расчетную нагрузку от оборудования принимается его вес в рабочем состоянии. Кроме того принимается во внимание инерционные силы неуравновешенных частей механизмов. Горизонтальная и вертикальная составляющие этих сил обыкновенно выражаются в виде произведения собственного веса движущихся неуравновешенных частей механизма или

же полного веса механизма на коэффициент динамичности. Величина последнего указывается особо в каждом отдельном случае на основе опытных данных, полученных в результате наблюдений над воздействием одноименных или аналогичных движущихся агрегатов на поддерживающие их перекрытия. Величина коэф-та динамичности в значительной мере зависит от того, насколько отрегулирован ход машины, и для обычных станков, работающих в производственных цехах текстильной, машиностроительной и других родов промышленности для определения расчетных вертикальных нагрузок на перекрытия этот коэф. принимают равным 1,2—1,5, повышая его в отдельных случаях до 2. Если



Фиг. 3.

инерционные силы могут быть направлены снизу вверх, то надлежит также производить проверку анкерных болтов, прикрепляющих механизм к перекрытию. Для исключительно быстроходных механизмов, делающих несколько тысяч об/м., как напр. турбинные установки, а также для механизмов, обладающих значительным ударным действием, как например паровые кузнечные молоты, коэф-ты динамичности значительно превосходят указанные пределы, вызывая необходимость устройства специальных фундаментов и оснований (см.). Увеличенные на вышеприведенные коэф-ты динамичности полезные нагрузки представляют собой как бы фиктивные расчетные силы, действующие на перекрытия, и полагаются в основу статич. расчета прочности всех элементов конструкции. С другой стороны, при малой жесткости перекрытий, поддерживающих механизмы, отличающиеся достаточной быстроходностью и значительным весом, может возникнуть явление резонанса, характеризуемое совпадением числа оборотов машины с числом собственных колебаний перекрытия как упругой системы. Раскачивание перекрытия, резонирующего колебательным движением машины, при неблагоприятных условиях способно вызвать разрушение конструкции, несмотря на то, что последняя удовлетворяет условиям прочности на основе статич. расчета. Проверка совпадения частоты колебаний заключается в определении частоты колебаний системы под влиянием полной действительной статич. нагрузки, т. е. не увеличенной на коэф. динамичности, и сопоставлении ее с числом оборотов машины. При этом требуется, чтобы число собственных колебаний системы превосходило число оборотов машины по

крайней мере на 30%. Хотя не-рыми нормами допускается, чтобы число собственных колебаний системы было менее числа оборотов, производимых возмущающей силой, по крайней мере на 50%, однако такое допущение является нежелательным, ибо нередко величины статич. нагрузки заданы с преувеличением; кроме того т. н. пространственная, не учитываемая жесткость перекрытия, в особенности железобетонного, фактически понижает расчетную величину прогиба системы. Оба эти фактора способны в действительности привести к совпадению частоты колебаний, хотя по расчету они и будут отличаться на 50%. В теории колебаний доказываются, что период собственных колебаний системы равен периоду начания математич. маятника, имеющего длину, равную прогибу системы, находящего под воздействием статич. нагрузки. Величина прогиба  $\delta_{ст}$  определяется по правилам строительной механики. В таком случае период колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\delta_{ст}}{g}} \text{ сек.},$$

где  $g$  — ускорение силы земного тяготения, равное  $981 \text{ см/сек}^2$ .

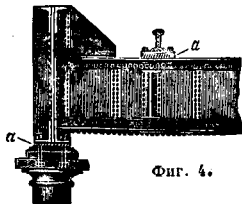
Помимо удовлетворения условиям прочности перекрытия должны обладать достаточной жесткостью, устраняющей возможность возникновения упругих прогибов таких размеров, к-рые могли бы причинять беспокойство при ходьбе, расстройство штукатурки и других элементов перекрытия, раскачивание предметов, подвешенных к потолкам, порчу гидроизоляционных слоев, нарушение правильности работы станков, нарушение эстетич. восприятия и неприятное воздействие на психику. Значения допускаемых прогибов балок приведены в табл. 3, в к-рой  $f:l$  — отношение допускаемого прогиба к пролету, причем в графе I указаны обычные требования, а в графе II — повышенные требования.

Табл. 3.—Значения  $f:l$  допускаемых прогибов балок.

Конструкция перекрытия	I	II
Перекрытия на деревянных балках:		
а) чердачные . . . . .	1: 200	1: 250—1: 300
б) междуэтажные . . . . .	1: 250	1: 300—1: 400
Перекрытия на железных балках . . . . .	1: 250—1: 380	1: 500
Железобетонные балки разрезные . . . . .	1: 625	1: 800
Железобетонные балки неразрезные . . . . .	1: 850	1: 1 000

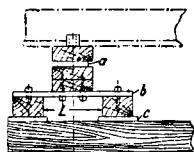
Норма в  $\frac{1}{300}$  пролета для перекрытий на железных балках согласно технич. условиям проектирования металлич. конструкций устанавливает предельную допускаемую величину прогиба только от одной полезной нагрузки для перекрытий с оштукатуренными потолками. Постоянная нагрузка при этом в расчет не вводится, ибо предполагается, что прогиб от постоянной нагрузки компенсируется строительным подъемом, придаваемым балкам перекрытия, и во всяком случае фактором, могущим произвести расстройство штукатурки потолка, является именно прогиб, возникающий от полезной нагрузки, поскольку самая штукатурка наносится на потолок после возникновения прогиба от постоянной нагрузки. В тех случаях, когда по функциональному назначению или по другим специальным основаниям к конструкции перекрытия

предъявляются повышенные требования в отношении жесткости, следует останавливаться на ребристых системах в отличие от безбалочных, являющихся более гибкими. Так напр., железобетонные перекрытия под типографскими машинами предпочтительнее конструировать с достаточно частой системой ребер, нежели безбалочными. Для уменьшения вредного влияния вибраций, причиняемых перекрытиям установленными на них движущимися механизмами, применяются различные изолирующие материалы. В Англии для этой цели уже в течение долгого времени с успехом применяется т. н. «масколит», изготовляемый из проби



Фиг. 4.

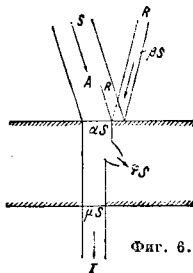
и войлока и имеющий настолько плотную консистенцию, что он может в качестве прокладок передавать значительные давления на нижележащие части конструкции перекрытия. На фиг. 4 представлено употребление масколита в виде прокладок  $a$  между элементами конструкции. На фиг. 5



Фиг. 5.

представлена более сложная комбинация изоляции несущих частей перекрытия от покоящегося на нем вибрирующего механизма. Изоляция состоит из ряда упругих досок подушек: деревянных досок толщиной 32 мм и брусков толщиной 50 мм, каучуковой прокладки  $a$  толщиной 25 мм, железной плиты  $b$  толщиной 10—12 мм и масколитовых прокладок  $c$ .

Звуконепроницаемость перекрытий имеет существенное значение, в особенности в жилых и общественных зданиях, музыкальных школах и т. п. Шум, производимый быстроходными электрич. двигателями, а также паровыми машинами, компрессорами и другими установками, находящимися в помещениях, отделяемых перекрытиями от ниже и выше лежащих этажей, также д. б. заглушен особыми мероприятиями, связанными с конструированием этих перекрытий. Различают два способа распространения звуков: через воздух и через звукопроводящие материалы. Монолитная структура материалов способствует их звукопроводности. В особенности звукопроводным является железобетон, Уменьшение звукопроводности м. б. достигнуто расслоением однородного материала с устройством слоев или вкладывшей из других материалов, а также посредством устройства стыков, нарушающих взаимное сопряжение элементов конструкции перекрытия. Передача звука через ограждающую поверхность, например через перекрытие, усиняется из фиг. 6, на к-рой  $S$  — энергия звуковых волн, излучаемых звучащим телом в 1 сек. на 1  $\text{см}^2$  поверхности перекрытия,  $R = \beta S$  — часть этой энергии, отраженная обратно в помещение, где находится источник звука, и создающая допол-



Фиг. 6.

нительный шум в помещении. Остальная часть  $A = S - R = S(1 - \beta) = aS$  проникает в перекрытие и частично поглощается. До нижней поверхности перекрытия достигает непоглощенная часть  $T = \mu S = aS - \phi S = (a - \phi)S$ , где  $\phi S$  — часть звуковой энергии, поглощенная перекрытием. Дальнейшее распространение звука от нижней поверхности происходит уже через воздух. Величина коэф-та передачи звуковой энергии  $\mu$  зависит от следующих факторов: 1) рода звукоизолирующего материала в сочетании с его объемным весом, 2) толщины материала, 3) размеров и способа укрепления краев элементов звукоизолирующего материала, рассматриваемых как вибрирующая мембрана, 4) высоты тона излучаемого звука. Теоретич. выражение, определяющее зависимость  $\mu$  от этих факторов, таково:

$$\mu = \frac{1}{1 + \frac{2\rho_1 v_1^2}{\rho_2^2 v_2^2}}$$

где  $t$  — толщина изолятора в см.,  $\rho$  — вес  $1 \text{ см}^3$  в г,  $\rho_1$  — вес  $1 \text{ см}^3$  воздуха = 0,00125 г,  $\lambda$  — длина волны звука при его возникновении. Опытными данными установлено, что 1)  $\mu$  увеличивается с увеличением пористости изолятора, ибо поры служат путями, по к-рым совершается прохождение звука, 2)  $\mu$  уменьшается с увеличением толщины и веса изолятора, 3)  $\mu$  увеличивается, если изолятор может свободно вибрировать. Наблюдение над различного рода перекрытиями показало, что очень тонкий песок является одним из лучших звукоизоляторов. Удачным звукоизолирующим полом является пол, состоящий из слоя тонкого песка, покрытого пробковой плитой и линолеумом. Значения коэф., полученные из опытов, произведенных германскими инженерами Бем и Зивекинг, приведены в табл. 4.

Табл. 4.—Значения коэф-та  $\mu$  для различных материалов по Бему и Зивекингу.

Наименование испытываемых материалов	Толщина $t$ в см	$\mu$
Открытое окно . . . . .	—	1,00
Пробковая плита . . . . .	1,0	0,92
» . . . . .	2,5	0,77
» . . . . .	3,5	0,36
Войлок, пропитанный водой . . . . .	—	0,65
» сухой . . . . .	—	0,31
» прессованный . . . . .	—	0,42
Пробковая плита гидронированная . . . . .	6,0	0,32
» с бумагой . . . . .	3,0	0,12
» с цементом . . . . .	3,0	0,025
» с линолеумом толщиной 4 мм . . . . .	—	0,070
Два слоя пробковых плит с следующими заполнителями в промежутке между ними:		
Соломит 1 слой . . . . .	—	0,78
» 2 слой . . . . .	—	0,65
» 3 » . . . . .	—	0,55
» 4 » . . . . .	—	0,43
Стекло . . . . .	0,2	0,34
Сосновая фанера . . . . .	0,3	0,19
Линолеум . . . . .	0,4	0,15
Листовое железо . . . . .	0,1	0,06
Воздушный прослой . . . . .	1,5	0,74
Песчаная засыпка . . . . .	1,5	0,28

Опыты Бергера дают следующие значения коэф-та  $\mu$  для различных звукоизолирующих плит (табл. 5).

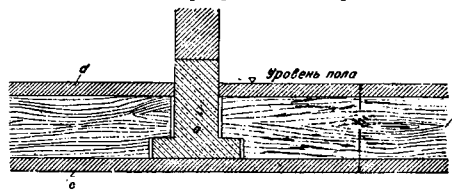
Конструкция звукопроводного перекрытия пола Смитовской консерватории при Иллинойском ун-те в Соединенных Штатах состоит

Табл. 5.—Значение коэф-та  $\mu$  по Бергеру.

Наименование испытываемых материалов	Толщина в см	$\mu$
Воздух . . . . .	—	1,00
Флапель . . . . .	0,10	0,96
Войлок . . . . .	0,15	0,93
Асбестовый картон . . . . .	0,10	0,87
» . . . . .	0,15	0,82
» . . . . .	0,20	0,78
Асбестовая плита . . . . .	0,50	0,30
Прессованная пробковая плита . . . . .	1,00	0,88
» . . . . .	1,50	0,81
» . . . . .	2,00	0,74
» . . . . .	10,2	0,34
Дерево . . . . .	1,30	0,83
» . . . . .	2,40	0,63
Гальванизированное листовое железо . . . . .	0,10	0,70

из железобетонной плиты толщиной 30 см с введенным в нее облегченным заполнением в виде пустотелых кирпичных блоков толщиной 25 см. Поверх железобетонной плиты насыпан слой сухого песка толщиной 2,5 см, слой золы толщиной 5 см, слой строительного войлока и наконец линолеум. В комнатах для упражнений в той же консерватории были кроме того устроены подвесные потолки в виде железобетонных плит по сетке Рабица. Во Франции нередко применяется звукопроводное перекрытие, состоящее из 25—30-мм слоя упругого и звукопоглощающего патентованного материала, известного под наименованием антифон, покрытого сверху бетонной коркой толщиной 20—25 мм, служащей основанием для паркетного пола или для покрытия линолеумом. Для предохранения от проникания звука из одного этажа в другой через стены в уровне перекрытия прокладываются горизонтальные и вертикальные пробковые плиты, называемые «корсиль», причем плита, проходящая в толще стены во избежание впитывания влаги пропитывается или покрывается асфальтом.

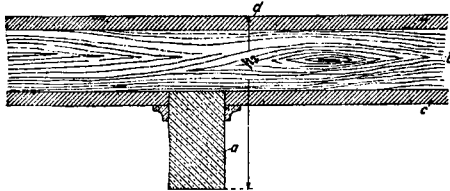
Конструктивная высота перекрытия, т. е. высота, на которой размещаются несущая конструкция, изолирующие слои, плоскости пола и потолка, по существу является бесполезной, ибо она увеличивает объем здания, и потому при выборе типа перекрытия следует стремиться к возможному ее уменьшению. Это положение в особенности справедливо в тех случаях, когда перекрытие опирается на несущие или вообще достаточно толстые стены, объем к-рых существенно увеличивается с увеличением конструктивной высоты перекрытий. Напротив, если



Фиг. 7.

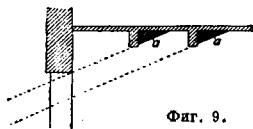
наружные стены являются не несущими, а факверковыми или же служат заполнением каркасной конструкции, т. е. если стоимость их относительно невысока, то может оказаться выгодным применение перекрытий с более значительной конструктивной высотой, если такое перекрытие само по себе представляет экономич. преимущества. На фиг. 7 изображена конструкция междуэтажного перекрытия, состоящая из

железобетонных ригелей *a*, по к-рым уложены на ребро деревянные дощатые балки *b*, подшитые снизу тесом, оштукатуренным и образующим потолок нижележащего этажа, и покрытые сверху половым настилом *d*. Для уменьшения конструктивной высоты  $h_1$  дощатые балки укладываются на выступы в нижней части железобетонного ригеля. Конструкция по типу фиг. 8, состоящая из тех же частей, является более



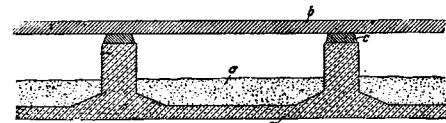
Фиг. 8.

простой и дешевой, но увеличивает конструктивную высоту  $h_2$ . В этом случае железобетонные прогоны снизу открыты, что не всегда является допустимым с точки зрения эстетики. Восприимчивый, а также в санитарно-гигиенич. отношении, ибо наличие входящих углов способствует скоплению пыли и грязи, затрудняет протирку потолка и потому, напр. в помещениях амбулаторий,



Фиг. 9.

больниц, нек-рых лабораторий и т. п., не допускается. Открытые балки, идущие параллельно остекленным плоскостям здания, в особенности вблизи наружных стен (фиг. 9), создают затемненные углы *a* и резкие тени на потолок. Междэтажные перекрытия здания, имеющего в поперечном разрезе два больших крайних пролета и небольшой средний, например здания со средним коридором, могут быть удачно разрешены по типу, представленному на фиг. 10, где *a* — железобетонное ребристое перекрытие, *b* — чистый пол, *c* — дощатые подкладки и *d* — звукоизоляция. Линии промежуточных колонн располагаются перпендикулярно плоскости чертежа по перегородкам, отделяющим комнаты от коридора. По колоннам проходит железобетонный прогон, совпадающий с перегородкой и в ней скрывающийся. Поперек идут железобетонные ребра с плитой, обращенной книзу, благодаря чему об-

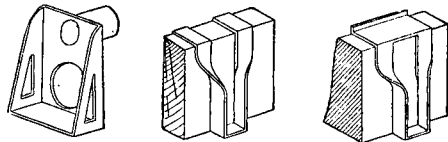


Фиг. 10.

разуется гладкая поверхность потолка. Вся нагрузка от перекрытия воспринимается непосредственно ребрами, и поэтому плита может иметь минимальную толщину (до 5 см). Ребра в этом случае представляют собой трехпролетные неразрезные балки с коротким средним и длинными крайними пролетами, вследствие чего на протяжении всего среднего и значительной части крайних пролетов получается отрицательная эпюра моментов, и следовательно на большей части длины этих балок нижний пояс

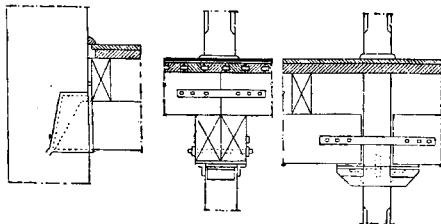
является сжатым. Т. о. наличие плиты, снабженной небольшими вугами именно в нижней части ребер, соответствует статич. схеме перекрытия. Хотя представленное на фиг. 10 перекрытие считается огнестойким, однако опыт показывает, что железобетонные плиты толщиной в 5 см не вполне противостоят разрушительному действию огня и воды при пожаре, идущем в течение значительного времени. По американской практике огнестойкое железобетонное перекрытие должно иметь толщину плиты в 10 см.

В деревянных перекрытиях с целью упомянувшегося выше выигрыша высоты в США применяют особые хомуты из полосового железа, надеваемые на прогоны или укрепляемые в стене (фиг. 11). Такого рода устройство облегчает



Фиг. 11.

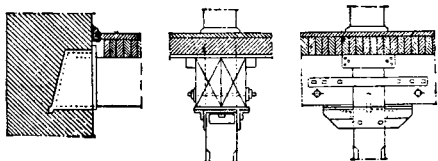
также удаление и замену пришедших в негодность балок при ремонте перекрытия, тогда как в случае заделки концов балок непосредственно в каменную кладку стены эта операция является более затруднительной. С другой стороны, в виду недостаточной жесткости подвесных хомутов они под влиянием нагрузки концов поддерживаемых ими балок несколько деформируются, причиняя т. о. осадку всего перекрытия. Следует заметить, что известная величина прогиба пола в такого



Фиг. 12.

рода конструкциях наблюдается и при отсутствии подвесных хомутов, то есть в случаях укладки балок поверх прогона. Действительно, в пристенных пролетах один конец второстепенных балок, лежащий на каменной стене, не дает осадки, в то время как другой конец, опирающийся на прогон, понижается на величину упругого прогиба прогона. Деревянные перекрытия состоят из системы деревянных балок, уложенных в одном или двух взаимно перпендикулярных направлениях и опирающихся на стены и промежуточные колонны, и настила. Последний укладывается плашмя или на ребро, образуя в последнем случае т. н. дерево-плиту. На фиг. 12 показано опирание концов балок на стены и колонны в междэтажном перекрытии промышленного здания, в к-ром прогоны и балки оставлены открытыми, ибо подшивка их снизу не оправдалась бы эстетич. требованиями и лишила бы возможности постоянного наблюдения за состоянием ответственных частей несущих конструкций и принятия соответствующих и своевременных мер на случай их загнивания. Равным обра-

вом возникновение пожара легче может быть обнаружено при открытых балках, нежели в случае подшивки потолка. По этим соображениям по строительному законодательству США в т. н. медленно сгораемых деревянных конструкциях перекрытий фабрично-заводских зданий запрещается подшивка и оштукатурка потолка. На фиг. 13 представлено деревянное перекрытие с настилом, уложенным на ребро. Основная идея конструкции медленно сгораемых перекрытий заключается в применении тяжелых профилей поперечных сечений деревянных балок и плит. Способность деревянных конструкций к возгоранию возрастает по мере увеличения периметра сечения, омываемого кислородом воздуха, необходимым для процесса горения. Следовательно, чем толще элементы деревянной конструкции, тем интенсивнее может происходить возгорание. Равным образом скорость притекания воздуха играет существенную роль в отношении сопротивляемости возгоранию. Поэтому такие конструкции междуэтажных перекрытий, в которых имеются непрерывные пустотные каналы между



Фиг. 13.

поставленными на ребро дощатыми балками, являющиеся побудителями тяги воздуха, обладают меньшей огнестойкостью, нежели перекрытия, образованные сплошной дерево-плитой, т. е. сплошным слоем досок, поставленных на ребро вплотную при толщине 8—11 см. Эта конструкция требует расхода древесины на 20—30% более, нежели балочное пустотное перекрытие, но является значительно менее трудоемкой и более огнестойкой, вследствие чего получила большое распространение в США, а в последнее время стала применяться также и в СССР, в особенности для образования полутеплых бесчердачных покрытий фабрично-заводских зданий. Высота брусчатых сечений деревянных балок медленно сгораемых конструкций не должна быть менее 30 см. При значительных площадях помещений *фабрично-заводских зданий* (см.), перекрываемых деревянными покрытиями, устраиваются огнестойкие железобетонные зоны или брандауэрные стены. Для уменьшения опасности распространения пожара деревянные покрытия снабжаются *спринклерным оборудованием* (см.). По американскому строительному законодательству применение медленно сгораемых перекрытий при высоте зданий до 22,5 м или менее 6 этажей допускается при том условии, чтобы площадь перекрытия каждого этажа, заключенная между брандауэрными или наружными ограждающими каменными стенами для зданий, выходящих на одну улицу, без спринклерного оборудования не превышала 900 м<sup>2</sup> и со спринклерным оборудованием — 1 800 м<sup>2</sup> и для зданий, выходящих на две улицы, соответственно — 1 100 м<sup>2</sup> и 2 200 м<sup>2</sup>.

Чрезвычайно экономичный тип междуэтажного перекрытия состоит из ряда электросварных решетчатых фермочек весьма легкого веса. Верхний и нижний пояса образованы из полос-

вого железа толщиной 3—4 мм, к-рому посредством холодной прокатки придана показанная на фигуре форма. Для предохранения от коррозии железо подвергается процессу гальванизации. Пролеты, перекрываемые этой системой ферм, достигают 7 м. Они с успехом применяются в США в качестве междуэтажных перекрытий в гостиницах, конторских и других помещениях. Решетка фермочек образуется из круглого железа диам. 10—12 мм и в местах соединения с поясами приваривается. К нижним поясам фермочек прикрепляется металлич. сетка, изготовленная из кровельного железа посредством штампования. На сетку наносится снизу слой бетона, частично просакивающий через отверстия в сетке и образующий огнестойкую армированную плиту. По сравнению с металлич. балками сплошных профилей описанные фермочки дают 30—40% экономии в весе металла.

Железобетонные междуэтажные перекрытия над помещениями, где требуется особо интенсивное освещение, нередко устраиваются с консольными выносами, позволяющими производить остекление всей плоскости фасада сплошными полосоми, не прерываемыми простенными столбами или колоннами. Такая конструкция нередко применяется в современном строительстве в СССР (дом Нар. Комиссариата торговли в Москве, преддильная ф-ка «Красная Талка» в Иванове и др.) и на Западе.

Покрытия одноэтажных зданий, не несущие полевой нагрузки кроме веса снегового покрова и ветра, иногда представляют собой серьезные инженерные сооружения, сложность к-рых увеличивается вместе с увеличением перекрываемого пролета. Уменьшение пролетов перекрытий постоянной внутри перекрываемого помещения промежуточных колонн обычно приводит к облегчению веса несущих частей перекрытия, и потому такое распределение ширины помещения на отдельные пролеты м. б. рекомендовано во всех случаях, когда по функциональным условиям такое решение является допустимым. Препятствием к постановке промежуточных колонн может служить наличие машинного оборудования в фабрично-заводских производственных цехах, недопустимость стеснения происходящего в помещении движения (гаражы, вокзалы), нежелательность ухудшения условий зрительных восприятий (театры) и другие специальные требования. В соответствии с этим покрытия таких помещений, как аудитории, выставочные залы, театры, вокзалы, рынки, гаражи, ангары, эллинги, некоторые производственные цеха и т. п., нередко достигают значительных пролетов. Собственный вес несущих частей такого рода покрытий, отнесенный к 1 м<sup>2</sup> проекции, возрастает приблизительно пропорционально пролету, в то время как снеговая и ветровая нагрузки, будучи независимыми от пролетов, остаются постоянными. Отсюда следует вывод, что при больших пролетах покрытий одноэтажных зданий, а также покрытий верхних этажей многоэтажных зданий необходимо стремиться к всемерному уменьшению собственного веса несущих элементов этих покрытий. Это достигается надлежащим выбором рода материалов, качества материала, конструктивной схемой и отчасти методами производства работ. Если отсутствуют специальные требования, вынуждающие конструировать покрытие огнестойким, то является вполне целесообразным заменять железобетон, имеющий большой собственный вес, металлическими или деревянными конструкциями, ибо единица веса



тех и других обладает значительно большей прочностью на единицу веса материала при работе на изгиб и в особенности на растяжение, нежели железобетонные конструкции. Действительно, если положить вес железобетонного элемента, работающего на изгиб, длиной 1 м, равным 1 т, то объем его равен  $\frac{1}{2,4} \text{ м}^3$ ; площадь сечения растянутой арматуры приблизительно равна  $\frac{0,01}{2,4} \text{ м}^2$ , и момент, к-рый м. б. воспринят по железу,

$$[M_0]_{ж} \approx \frac{0,01 \times 1250}{2,4} \times \frac{7}{8} \times 10^4 h = 10^4 \times 4,6h,$$

где  $h$  — полная высота прямоугольного сечения ригеля. Для сплошного железного сечения получим: объем равен  $\frac{1}{7,8} \text{ м}^3$ , площадь растянутой части сечения равна  $\frac{1}{2 \times 7,8} \text{ м}^2$  и момент, к-рый м. б. воспринят сечением с учетом ослабления заклепочными дырами,

$$[M_0]_{ж} \approx \frac{1400 \times 0,85 \times 10^4}{2 \times 7,8} \times \frac{5}{6} h \approx 10^4 \times 63,5h.$$

Для дерева объем равен  $\frac{1}{0,6} \text{ м}^3$ , площадь растянутой части сечения равна  $\frac{1}{2 \times 0,6} \text{ м}^2$  и момент, который м. б. воспринят ослабленным сечением,

$$[M_0]_{д} = \frac{80 \times 0,85 \times 10^4}{2 \times 0,6} \times \frac{2}{3} h = 10^4 \times 42,5h.$$

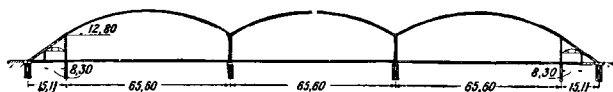
Отсюда ясно, насколько м. б. облегчена несущая конструкция покрытия путем замены железобетона железом или деревом. Что касается элементов, работающих на сжатие, как опорные колонны, поддерживающие такие покрытия, то поскольку влияние их собственного веса незначительно, конструирование их из железобетона или камня является вполне уместным.

Покрытия больших пролетов осуществляются также и в железобетоне. Однако в виду невыгодности использования механических свойств железобетонных конструкций больших пролетов при работе их на изгиб, такого рода покрытия конструируются в виде арочных систем, в которых основные элементы работают на сжатие. Другим возможным решением покрытий больших пролетов железобетонными конструкциями являются железобетонные тонкостенные своды-оболочки (см.), рассматриваемые как балочные



Фиг. 14.

системы, работающие в направлении образующей свода. В современных сооружениях арочные железобетонные покрытия достигают весьма значительных размеров. Таковы покрытия эллинга

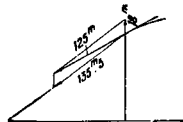


Фиг. 15.

(см.) для дирижаблей в Орли и многие другие. На фиг. 14 представлен внешний вид, а на фиг. 15 — поперечный разрез сооруженного в 1932 г.

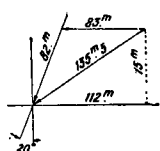
здания ангаров для гидропланов на морской базе Каруба в Тунисе. Пролет покрытий этого здания 65,6 м — наибольший из осуществленных до настоящего времени в сооружениях этого рода. С каждой из двух боковых сторон расположены вспомогательные помещения пролетом 8,3 м.

Полная ширина покрытия таким образом составляет 213,4 м при длине 65 м и общей площади около 13 771 м<sup>2</sup>. Особенностью этого сооружения является отсутствие затяжки внутри помещения. У средних опор горизонтальный распор от собственного веса и равномерно распределенной нагрузки смежных пролетов взаимно уравновешивается. У крайних опор величина опорной реакции при невыгоднейших условиях загрузки составляет 125 т. Она разлагается (фиг. 16) на силу 135,5 т, сжимающую крайний наклонный прямолинейный элемент верхнего пояса, и силу 18 т, растягивающую крайнюю стойку.



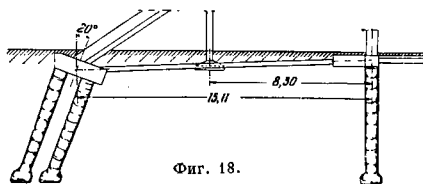
Фиг. 16.

Сжимающая сила 135,5 т воспринимается двумя наклонными сваями Франки и затяжкой, заглубленной ниже уровня пола (фиг. 17 и 18). Как видно из разложения сил, гредательного на фиг. 17, благодаря наклону свай в 20° к отвесной линии растягивающее усилие затяжки уменьшается с 112 т до 83 т, что существенно уменьшает расход металла на затяжки, имеющие длину 230 м. Покрытие представляет собой



Фиг. 17.

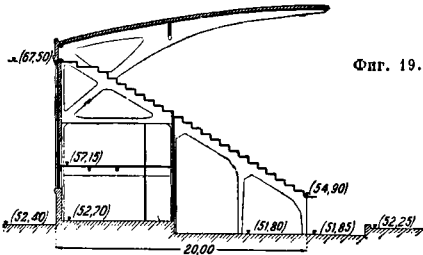
железобетонные арки, расположенные в расстоянии 5 м одна от другой, имеющие в поперечном сечении ширину 27 см и высоту, изменяющуюся от 70 см в ключе до 50 см у пятых шарниров, и железобетонный свод толщиной 7 см, помещенный у нижней поверхности арок. Уменьшение высоты сечения арок у пятых шарниров способствует увеличению их гибкости и уменьшает величину температурных напряжений. Крайний прямолинейный элемент арки, проходящий поперек кровли бокового пролета, лишенный сплошного сводчатого покрытия, в целях увеличения жесткости имеет тавровое сечение и оканчивается башмаком, опирающимся на сваи.



Фиг. 18.

Для воспрепятствования отрыванию крайней стойки, растянутой силой 18 т, она основана на свае Франки, сцепление к-рой с грунтом обеспечивает от выдергивания. Для связи стойки со сваяй из верхней части последней пропущена в стойку продольная арматура. Заглубление затяжки в землю ниже уровня пола создает для нее благоприятные термостатич. условия. Для регулирования же удлинений от внешней нагрузки

сконструировано устройство для натяжения затяжки. На фиг. 19 представлен поперечный разрез, а на вкл. л., 1 — общий вид железобетонного покрытия трибун стадиона Giovanni Berta во Флоренции, представляющего интерес исключительными размерами консольного выноса, достигающего 22 м. По главным железобетонным консольным фермам в целях уменьшения собственного веса устроено сплошное покрытие из керамиковых пустотелых блоков общей толщиной 14 см, положенных между тонкими железобетонными прогонами, помещающими



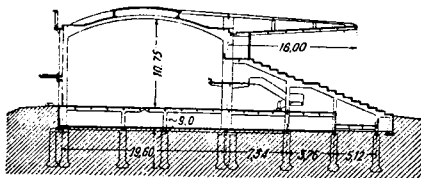
Фиг. 19.

мися в пределах этой толщины. Поверх покрытия уложен слой асфальта. На фиг. 20 представлена деталь температурного шва, осуществленного по двоянному фермам, на к-рых уложены листы асфальтированного толя, обеспечивающие свободное скольжение прилегающих частей покрытия. Другим примером устройства железобетонного консольного покрытия с исключительно большим выносом консоли могут служить представленные на фиг. 21 и 22 поперечный разрез и деталь конструкции покрытия



Фиг. 20.

железобетонного консольного покрытия с исключительно большим выносом консоли могут служить представленные на фиг. 21 и 22 поперечный разрез и деталь конструкции покрытия



Фиг. 21.

трибун ипподрома в Энгине. В этом покрытии консоль пролетом 16 м решена не в виде фермы, а как сплошная железобетонная балка переменного по высоте сечения от 2 м до 70 см. Освеще-



Фиг. 22.

ние средней части зала достигается застеклением в плоскости покрытия гофрированным стеклом (вкл. л., 2).

В сооружениях, к которым не предъявляется требование долговечности и огнестойкости, а также при наличии соответствующих экономич. соображений и при дефицитности металла и це-

мента применяются деревянные покрытия, получившие в последнее время большое распространение в Германии и СССР. Этого рода покрытия применяются в зданиях гаражей, аудиторий, столовых, фабрично-заводских цехов и т. п. и представляют собой обыкновенно деревянные фермы (см.), покрытые деревянными кровельным настилом. В последнее время деревянные покрытия больших пролетов стали осуществлять в виде сплошных *тонкостенных сводов-оболочек* (см.), безреберных и с ребрами. На вкл. л., 3 представлено сводчатое покрытие здания школы верховой езды в С.-Луисе (штат Миссури, США), представляющее собой круглаво-сетчатый свод, известный под наименованием системы Польбау. Конструкция состоит из косяков, соединенных болтом под острым углом (фиг. 23, а — косяк, b — деталь соединения).

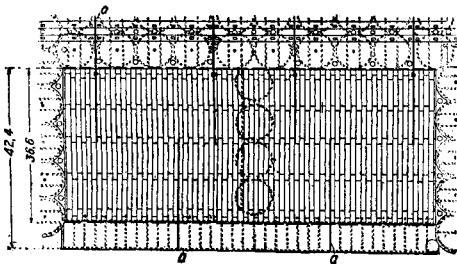


Фиг. 23.

Этой системой перекрываются пролеты в 20—25 м. Достоинством этого покрытия является возможность заводского изготовления, однородность его элементов, удобство перевозки и простота сборки. Все приведенные выше примеры показывают, что в железобетонных конструкциях плита или свод играют роль несущей конструкции и во всяком случае участвуют в работе основной системы (арки, балки). Равным образом в деревянных сводах-оболочках, в сводах системы Шухова-Брода и нек-рых других деревянных конструкциях ограждающая оболочка также участвует в работе системы. Что же касается ограждающих плоскостей, организуемых по деревянным и металлическим фермам, то по отношению к несущим конструкциям (фермам) они являются нагруженной, не участвуя совершенно в работе этих последних. Интересная попытка использования механических свойств материала, образующего ограждающую кровельную поверхность покрытия, осуществлена на постройке зернового элеватора в порту Альбани на реке Гудзон (США).

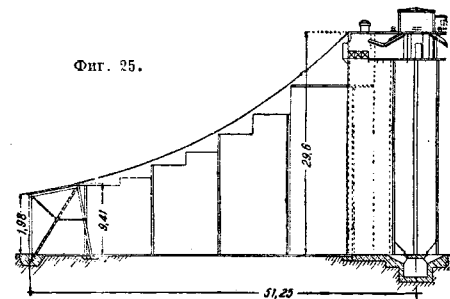
Это сооружение представляет собой в плане двоянную букву Н, образуемую рядами силовых банок. Пространства между ветвями этой конфигурации используются как полезные помещения, а банки служат для этих пространств мощными подпорными стенками. Остающаяся открытой четвертая сторона замыкается специально сооруженными металлическими А-образными фермами. Т. о. требовалось перекрыть без устройства промежуточных опор 4 отдельных одинаковых площади между банками размерами 87 × 36 м каждая. Эти покрытия были осуществлены без ферм одним листовым железом толщиной в 3 мм, подвешенным с одной стороны к стенке, идущей поверху продольных банок, а с другой — к вышеупомянутой системе металлич. ферм. Т. о. 3-мм листовое железо образует полотно в виде всяческой системы, являясь одновременно и основной несущей конструкцией и ограждающей кровельной поверхностью. Следовательно выгода принятого решения заключается в использовании механич. свойств листового железа, работающего на растяжение. На фиг. 24 представлен план перекрываемого помещения (а — швы расширения), на фиг. 25 — поперечный разрез и на вкл. л., 4 и 5 — производство

Работ. Последнее заключалось в изготовлении полотен длиной, равной длине теоретически вычисленной вислицы линии, и шириной 1,25 м, для каковой цели стыки отдельных листов сваривались. Изготовленные полотна подымались



Фиг. 24.

на место с помощью подъемных лебедок и укреплялись в нижнем конце. Противоположные концы, опирающийся на силосные банки, укреплялись на последних с помощью тросов, подтягиваемых в требуемое положение лебедками. Возникающий в опорах распор воспринимался



Фиг. 25.

горизонтальными перекрытиями как в уровне верхней площадки силосных банок, так и находящихся под А-образными рамами. На вкл. 3., 5 изображен момент электросварки продольных стыков, выполняемый на самом покрытии. Расход металла на кровлю выразился цифрой 25 кг на 1 м<sup>2</sup>, что указывает на экономичность осуществленного решения по сравнению с устройством покрытия из металлических ферм.

Лит.: Л и ф и н С., Акустика зданий и их изоляция от шума и сотрясения, М.—Л., 1934; «Строительная индустрия», т. 7, М., 1933; B a s o n A., The Prevention of Vibration a. Noise, L., 1923; K a t e l J., L'isolement acoustique des constructions et des machines, «GC», 1929, 16 Nov.; H o l t m a n D., Wood Construction, N. Y., 1929; M ö r s c h E., Der Eisenbetonbau, В. 1—3, Stg., 1923—30; «La technique des Travaux», P., 1933—34; «Der Stahlbau», Beilage zur «Ztschr. Die Bautechnik», В., 1928—33; «Constructions Methods», N. Y., 1933, March. Е. Штамм.

**ПОЛУПРОВОДНИКИ**, вещества, занимающие по своим электрич. свойствам промежуточное положение между металлами (проводниками) и диэлектриками (изоляторами). Как и все твердые тела, П. по характеру проводимости м. б. разбиты в основном на три класса: 1) тела с электронной проводимостью, механизм к-рой обусловлен движением электронов; 2) тела с ионной проводимостью, где перенос тока является следствием движения ионов; 3) тела с т. наз. смешанной проводимостью, где в переносе тока принимают участие как электроны (см.), так и ионы (см.).

**Электронные П.** Электронной проводимостью обладают такие твердые тела, у к-рых электр. поле создает перемещение наименее прочно связанных электронов, в то время как ядра атомов и более прочно связанные с ними электроны образуют кристаллич. решетку (см. Кристалл) и не перемещаются в направлении электр. поля, участвуя лишь в тепловом колебательном движении. Взаимодействие атомов в твердом теле настолько велико, что все атомы данного тела необходимо рассматривать как одну систему, причем электроны, слабо связанные с атомом (внешние электроны в атоме), нельзя уже рассматривать как принадлежащие отдельному атому, но как относящиеся ко всему коллективу атомов, образующих твердое тело. Т. о. внешние электроны следует считать свободными в том смысле, что они не связаны с данным атомом, а могут «свободно» перемещаться внутри кристаллич. решетки твердого тела. Эта «свобода» электронов связана лишь одним ограничением, а именно, что больше двух электронов не могут одновременно обладать одной и той же энергией (принцип Паули, см. Атом), т. е. находиться на одном и том же энергетич. уровне в кристаллич. решетке. Одинаковые прежде энергетич. уровни в отдельных изолированных молекулах или атомах в кристаллич. решетке получают несколько различные значения. В случае правильной кристаллич. решетки, образованной  $N$  молекулами или атомами, вместо одного уровня в отдельном атоме получается  $N$  различных очень близких друг к другу уровней, на к-рых могут располагаться  $2N$  электронов.

**Изоляторы.** Если число свободных слабо связанных электронов вдвое больше числа уровней, то в данной системе уровней электроны не могут изменить своего энергетич. состояния, и хотя электроны «свободны», они не могут перемещаться внутри кристаллич. решетки ни под действием электр. поля ни вследствие изменения концентрации электронов, т. е. такие электроны не являются электронами проводимости. Такое явление имеет место в случае изоляторов.

**Металлы.** Иначе обстоит дело, если число слабо связанных электронов меньше общего числа уровней в данной системе; тогда электроны могут перераспределяться по свободным уровням, меняя свою энергию и количество движения, и могут участвовать в переносе электр. тока. Эта картина соответствует металлу-проводнику.

**Полупроводники.** Соответственно ряду энергетич. уровней в изолированной молекуле или атоме в кристаллич. решетке имеется целый ряд систем уровней, по к-рым распределяются электроны, заполняя уровни с наименьшими значениями энергии. В том случае, когда одна система уровней целиком заполнена и тем самым возможность движения электронов в пределах энергетич. уровней данной системы исключена (как это было указано для изоляторов), возможен переход электронов под действием некоторых внешних факторов (наковыми являются тепловое движение или свет) из данной системы уровней в другую, незаполненную электронами — с большими значениями энергии; т. о. перешедшие электроны становятся свободными и могут перемещаться в кристаллич. решетке, принимая участие в переносе электр. тока. Одновременно с уходом части электронов из сплошь заполненной системы уровней, благодаря освобождению части уровней, появляется возможность перераспределения оставшихся электронов в пределах данной системы уровней, и

т. о. и эта система начинает принимать участие в переносе зарядов. В этом процессе главную роль играют образующиеся свободные места, и можно представить себе, что удаление электрона оставляет в данном месте кристаллич. решетки положительный заряд, к-рый может компенсироваться другим электроном из соседнего участка. В электрич. поле это замещение происходит преимущественно в направлении движения электронов, а положительный заряд (заряд свободного места — «дырки») перемещается туда, откуда пришел электрон. Т. о. участки с недостающими электронами — «дырки», обладающие избыточными положительными зарядами, перемещаются в электрич. поле в направлении, противоположном движению электронов, т. е. в направлении движения положительных зарядов. Прохождение тока происходит так же, как если бы двигались положительный заряд, хотя положительные ионы кристаллич. решетки неподвижны. Из этого вытекает представление о движении «дырки», обладающей положительным зарядом. Из всего вышесказанного следует, что переход электронов из одной системы уровней, сплошь заполненной, в другую сопровождается появлением как «свободных» электронов, так и положительных «дырок», причем те и другие принимают участие в переносе электрич. зарядов. Для перехода электрона из сплошь заполненной системы уровней в другую систему — свободную — необходимо затратить нек-рую работу  $\Delta W$ , к-рая определяется разностью энергетич. уровней в обеих системах; т. о.  $\Delta W$  есть работа освобождения электрона; ее часто называют энергией диссоциации.

Как говорилось уже выше, одним из факторов, вызывающих переход электронов, является тепловое движение, при этом в состоянии равновесия число перешедших электронов пропорционально

выражению  $e^{-\frac{\Delta W}{2kT}}$ , где  $T$  — абсолютная темп-ра, а  $k = 1,36 \cdot 10^{-16}$  эрг/°C — постоянная Больцмана. Электропроводность  $\gamma$ , пропорциональная числу свободных электронов, выражается соотношением

$$\gamma = A e^{-\frac{\Delta W}{2kT}}, \quad (1)$$

где  $A$  — нек-рая постоянная величина. Из ур-ня (1) следует, что электропроводность сильно зависит от  $t^\circ$ , возрастая при повышении  $t^\circ$ . При одной и той же  $t^\circ$  электропроводность сильно зависит от величины энергии диссоциации  $\Delta W$ , к-рая для различных тел меняется в самых широких пределах. Если  $\Delta W$  очень велико, то число электронов, участвующих в проводимости, может оказаться настолько ничтожным, что нельзя будет обнаружить сколько-нибудь заметной электропроводности (изоляторы); с другой стороны, при сравнительно небольших значениях  $\Delta W$  электропроводность может оказаться значительной (полупроводники). Т. о. граница между изоляторами и П. не м. б. точно установлена и является условной, определяясь лишь величиной энергии диссоциации. К электронным П. можно отнести химич. элементы: углерод, бор, селен, теллур, фосфор, кремний, титан, германий и полидимому и другие металлоиды. Из химич. соединений — большинство окислов, сульфидов, теллуридов и карбидов металлов также относятся к электронным П.

1. Электропроводность П. и зависимость от  $t^\circ$ . В табл. 1 приведены значения уд. сопротивлений нек-рых наиболее исследованных П. при комнатной  $t^\circ$ .

Табл. 1. — Значения уд. сопротивления некоторых П.

Название П.	Химич. Ф-ла	Удельное сопротивление в $\Omega$ -см	Примечание
Иод . . . . .	J	$2 \cdot 10^7$	Обычно содержит примеси. Чистая — изолятор
Антимонит . . . . .	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	$2 \cdot 10^8$	
Молибденит . . . . .	MoS <sub>2</sub>	$2 \cdot 10^8$	
Иодистая медь . . . . .	CuJ	$2 \cdot 10^8$	
Селен . . . . .	Se	$5 \cdot 10^8$	е сильно зависит от количества примесей
Закись меди . . . . .	Cu <sub>2</sub> O	$10^8 - 10^9$	
Пятиокись ванадия . . . . .	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$10^8 - 10^4$	е сильно зависит от примеси кислорода
Молибденовый ангидрид . . . . .	MoO <sub>3</sub>	$10^8 - 10^{12}$	

Электропроводность П. меняется от содержания и характера примесей; например в записи меди Cu<sub>2</sub>O небольшие примеси кислорода могут быть чем в миллион раз изменить электропроводность. Последнее объясняется тем, что, во-первых, вблизи атомов примеси уменьшается работа перевода электрона в свободное состояние ( $\Delta W$ ), и, во-вторых, с увеличением концентрации примесей растет число центров (которыми являются атомы примеси), вблизи к-рых совершается в основном переход электронов [увеличение постоянной  $A$  в ур-ии (1)].

Зависимость электропроводности Cu<sub>2</sub>O от содержания примеси кислорода (по данным В. Жузе и Б. Курчатова при комнатной  $t^\circ$ ) приведена ниже:

Содержание кислорода в весовых %	< 0,04	0,043	0,060	0,093	0,101
----------------------------------	--------	-------	-------	-------	-------

Уд. электропроводность  $\gamma$  в мо . . . . .  $2,7 \cdot 10^{-10}$   $5,6 \cdot 10^{-7}$   $1,5 \cdot 10^{-6}$   $3,6 \cdot 10^{-4}$   $2,1 \cdot 10^{-3}$

Аналитич. выражения зависимости электропроводности от  $t^\circ$  были приведены выше [см. ф-лу (1)]. В табл. 2 даны значения уд. электропроводности  $\gamma$  при различных  $t^\circ$  для записи меди — Cu<sub>2</sub>O и пятиокиси ванадия — V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Табл. 2. — Значения уд. электропроводности в зависимости от  $t^\circ$  для Cu<sub>2</sub>O и V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Cu <sub>2</sub> O		V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
$t^\circ$	$\gamma$ в мо	$t^\circ$	$\gamma$ в мо
20	$1,9 \cdot 10^{-6}$	-106	$2,0 \cdot 10^{-6}$
50	$3,9 \cdot 10^{-6}$	- 73	$2,5 \cdot 10^{-6}$
115	$1,4 \cdot 10^{-5}$	- 23	$3,2 \cdot 10^{-4}$
259	$7,0 \cdot 10^{-5}$	+ 17	$1,0 \cdot 10^{-3}$
341	$2,5 \cdot 10^{-4}$	+ 60	$3,6 \cdot 10^{-3}$
441	$2,0 \cdot 10^{-3}$	+144	$1,6 \cdot 10^{-2}$
590	$1,85 \cdot 10^{-2}$		

Из экспериментальных данных для зависимости электропроводности от  $t^\circ$  определяется величина энергии диссоциации  $\Delta W$ , значения к-рой для некоторых П. приведены ниже. (Численные значения работы диссоциации  $\Delta W$  указаны в вольт-электронах; за единицу работы принята работа, совершаемая одним электроном при прохождении разности потенциалов 1V.)

Полупроводник  $V_2O_5$   $Cu_2O$   $MoO_3$   $Se$   $NO_2$   
 $\Delta W$  в вольт-электронах . . . . . 0,45 0,20–0,72 0,20–0,60 0,22 ~ 0,45

2. Термоэлектрические свойства п. П. При наличии разности  $t^\circ$  в П. на концах последнего наблюдается разность потенциалов. Эта разность потенциалов объясняется диффузией «свободных» электронов благодаря различию их концентраций в разных местах П., вызванному разностью  $t^\circ$ . Из теории П. следует, что в термопаре, содержащей П., при разности  $t^\circ$  в  $1^\circ$  для термоэда  $E$  справедливо соотношение

$$E = - \frac{\Delta W}{2eT}, \quad (2)$$

где  $e$  — заряд электрона. Величина термоэда  $E$  зависит от работы диссоциации и является функцией  $t^\circ$ . Термоэд в П. имеет значения много больше, чем в металлич. термопарах, и в нек-рых случаях достигает значений нескольких мВ/ $^\circ C$ . Напр. для записи меди при работе диссоциации  $\Delta W \cong 0,6e$  вольт-электронов при  $27^\circ$  ( $T = 300^\circ$ )

$$E = \frac{0,6e \text{ вольт-электронов}}{2eT} = \frac{0,3}{2 \cdot 300} = 0,001 \text{ В/}^\circ C = 1 \text{ мВ/}^\circ C,$$

что хорошо согласуется с экспериментальными данными. При других  $t^\circ$  и других содержаниях примесей имеются значительные отступления от теоретич. ф-лы (2), и в настоящее время можно лишь говорить о качественном совпадении между опытными и теоретич. результатами. Направление эдс обычно таково, что холодный конец П. заряжается отрицательно по отношению к нагретому концу; это соответствует нормальной диффузии, когда «свободные» электроны переходят от нагретой к холодной части П. В нек-рых П. (напр. в записи меди) наблюдаемая эдс противоположна направлению, а именно, холодный конец заряжается положительно. Изменение знака термоэда м. б. объяснено одновременной диффузией как «свободных» электронов, так и свободных мест — положительных «дырок». В зависимости от того, чья роль в диффузии больше («дырок» или электронов), получается тот или иной знак термоэда.

3. Гальваномангнитные явления в П. (эффект Холла). При прохождении тока в присутствии магнитного поля в П., как и в металлах, наблюдается поперечная разность потенциалов (перпендикулярно направлению тока и магнитному полю), к-рая объясняется отклонением в магнитном поле движущихся зарядов, принимающих участие в переносе тока. Величина разности потенциалов  $V$  меняется пропорционально магнитному полю и определяется ур-ием

$$V = R \frac{IH}{B},$$

где  $B$  — толщина пластинки в направлении, перпендикулярном магнитному полю,  $I$  — сила тока,  $H$  — напряженность магнитного поля, а  $R$  — постоянная Холла. Величина  $R$  связана с числом движущихся зарядов, и чем число этих зарядов меньше, тем больше  $R$ ; поэтому в П., где число свободных зарядов невелико,  $R$  достигает больших значений. В виду того что число электронов сильно меняется с  $t^\circ$ , то и величина  $R$  также зависит от  $t^\circ$ , убывая с ее повышением. В нек-рых веществах наблюдается аномальный знак поперечной разности потенциалов, соответствующий движению положительных зарядов, хотя в переносе тока принимают участие только электроны. Как и в случае термоэда, аномальный знак м. б. объяснен участием положительных

«дырок», которые наряду с свободными электронами могут принимать участие в переносе тока.

4. Теплопроводность П., как и всех твердых тел, определяется двумя факторами: 1) переносом тепла, связанным с упругими колебаниями атомов, образующих кристаллич. решетку, и 2) переносом тепла свободными электронами, диффундирующими из нагретого места в холодное. Коэф. теплопроводности  $\lambda$  м. б. представлен в виде:

$$\lambda = \lambda_n + \lambda_e,$$

где  $\lambda_n$  соответствует первому, а  $\lambda_e$  — второму фактору. Для  $\lambda_e$ , обусловленной диффузией электронов, справедливо соотношение, связывающее величину  $\lambda_e$  с величиной электропроводности  $\gamma$  (соотношение Велемана-Франца):

$$\frac{\lambda_e}{\gamma} = \text{Const} \cdot T.$$

Для П., обладающих сравнительно небольшой электропроводностью, величина  $\lambda_e$  невелика, и для большинства из них  $\lambda_e \ll \lambda_n$ . Т. о. теплопроводность П. гл. обр. обусловлена упругими колебаниями атомов в кристаллической решетке (в отличие от металлов, обладающих большой электропроводностью, где и в теплопроводности главную роль играют именно свободные электроны, и  $\lambda_e \gg \lambda_n$ ). Только в нек-рых П. при высокой  $t^\circ$ , где электропроводность имеет уже много большую величину, электроны начинают принимать заметное участие в переносе тепла.

5. Выпрямительные свойства П. При помощи П. могут быть созданы униполярные сопротивления, т. е. твердые выпрямители. При прохождении тока через такую систему наблюдается значительное уменьшение тока в одном направлении и сравнительно малое изменение его силы в противоположном. Отношение силы тока, текущего в пропускающем направлении, к силе тока в запирающем направлении называется коэффициентом выпрямления. Такая система состоит из П. (речь идет о записи меди и селена, так как гл. обр. эти два П. получили широкое распространение в современной технике), одним электродом для к-рого служит подкладка, на к-рой он получен; в случае записи меди — это основная медь, а в случае селена — железо. В процессе изготовления между металлической подкладкой и П. создается весьма тонкая прослойка, обладающая относительно большим сопротивлением. Вторым электродом служит металлич. пластинка, плотно прижатая к П. Теоретич. рассмотрение этой системы и процесса прохождения через нее электрич. тока приводит к заключению, что присутствие плохо проводящей прослойки должно привести к униполярной проводимости. Вытекает это из наличия соприкосновения металла с П. через тонкую прослойку. Металл обладает огромным количеством «свободных» электронов, П. — незначительным. «Свободные» электроны в них подчиняются различным статистич. закономерностям при соприкосновении их через большое сопротивление, настолько тонкое, что через него могут проскакивать электроны только тогда, когда им сообщена дополнительная энергия. Если на металлич. подкладку подан отрицательный потенциал, а на другой электрод — положительный, то при этом на прослойке будет существовать некоторое падение потенциала, стремящееся электроны металла перегнать через прослойку в П. В цепи при этом будет проходить ток, сила к-рого определится числом электронов, прошедших через прослойку. При перемене

знана на обратный процесс существенно изменится. В П. благодаря небольшому количеству «свободных» электронов существуют другие скорости движения и другие закономерности их распределения, чем в металле. Поэтому внешнее электрич. поле, установившееся на границе их соприкосновения и создавшее падение потенциала в прослойке, будет в состоянии перегаить из П. в металл меньшее количество электронов, чем в первом случае. Вследствие этих несимметричных процессов и возникает явление выпрямления электрич. тока.

6. Внутренний фотоэффект в П. При освещении светом очень многие П. заметно увеличивают способность проводить электрич. ток, т. е. их проводимость увеличивается. Это явление, к-рое носит название в внутренне-го фотоэффекта, имеет место лишь в том случае, когда частота света больше или равна некоторой величине  $\nu_0$ , где  $\nu_0$  — частота света, энергия квантов к-рого  $h\nu_0$  равна разности энергии электронов в связанном и свободном состоянии, т. е.  $\Delta W = h\nu_0$  определяет граничную частоту внутреннего фотоэффекта. Большое влияние на явление внутреннего фотоэффекта оказывают примеси, в присутствии которых возможны переходы электронов из связанного в свободное состояние, именно с атомов примеси. В основном по явлению внутреннего фотоэффекта П. можно разделить на два класса: 1) П., в к-рых свет переводит электроны из заполненных основных энергетич. уровней кристаллической решетки данного вещества на уровни проводимости; к типу этих веществ относятся цинковая обманка, красная модификация селена, закись меди в области видимого света и др.; 2) П., внутренний фотоэффект в к-рых связан с наличием примесей. К этому типу относятся также и закись меди при освещении ее инфракрасным светом. Энергия квантов в этом случае еще недостаточна, чтобы перевести электроны из основных уровней решетки в уровни проводимости, и возможен только переход электронов с атомов примесей в свободное состояние. Увеличение проводимости при освещении светом, при наличии внутреннего фотоэффекта, пропорционально интенсивности света. Если в отсутствии света электропроводность была  $\gamma_{\text{темн.}}$ , а при освещении  $\gamma_{\text{св.}}$ , то

$$\gamma_{\text{св.}} - \gamma_{\text{темн.}} = aI,$$

где  $I$  — интенсивность света и  $a$  — постоянная величина. В целом ряде веществ и особенно в селене имеют место гораздо более сложные зависимости между проводимостью и силой света, к-рые являются следствием целого ряда вторичных процессов, напр. длительности освещения, темп-ры, приложенной разности потенциалов и тому подобных факторов. Соотношение между  $\gamma_{\text{темн.}}$  и  $\gamma_{\text{св.}}$  сильно зависит от  $\epsilon^0$ , при к-рой определяются эти величины, т. к. в зависимости от  $\epsilon^0$  сильно меняется величина  $\gamma_{\text{темн.}}$ ; увеличение же проводимости  $\gamma_{\text{св.}} - \gamma_{\text{темн.}}$  почти совершенно не зависит от  $\epsilon^0$ , но меняется от частоты падающего света. В одном из П. ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) был открыт новый т. н. фотомагнитный эффект, заключающийся в появлении эдс порядка нескольких В при освещении П., помещенного в магнитное поле. Освещение велось в направлении, перпендикулярном магнитному полю. Явление наблюдалось при  $\epsilon^0$  жидкого воздуха.

7. Вентильный фотоэффект в П. Под действием света на границе металл — П. может наблюдаться явление, получившее название вентильного фотоэффекта. Оно

имеет место при тех же условиях, что и в случае выпрямления, а именно, когда соприкосновение П. и металла происходит через тонкую плохо проводящую прослойку. (За последнее время показано, что кроме этого в прослойке должен наблюдаться внутренний фотоэффект.) Наличие такой прослойки при освещении обуславливает задерживание свободного обмена электронами между металлом и П. Известны два случая вентильного фотоэффекта: тыловой и фронтальной. В случае тылового вентильного фотоэффекта процесс размыгивается на границе основного металла, на к-ром получен П. (речь идет опять только о закиси меди и селене), причем свет проходит через П. прежде, чем достигнет границы металл — П. В случае фронтального вентильного фотоэффекта процессы размыгиваются на границе П. — металл, служащий верхним электродом (подразумевается, что в процессе нанесения верхнего прозрачного электрода на границе П. — металл образовалась плохо проводящая прослойка). Эта система обладает большой чувствительностью, т. к. в этом случае свету не нужно проходить через весь слой П. Такие системы металл — полупроводник — прослойка — металл (вентильный фотоэлемент) под действием света обладают собственной эдс, т. е. являются источником электрич. тока (непосредственное превращение световой энергии в электрическую). Теоретич. схема вентильного фотоэлемента такова: теорией показано, что вероятность срыва электронов светом в П. больше, чем в металле; это означает, что одному и тому же количеству световых квантов соответствует в случае П. большее количество фотоэлектронов, чем в случае металла. При освещении вентильного фотоэлемента благодаря этому из П. в металл будет ити большее количество электронов, чем из металла в П. Если на границе их соприкосновения имеется тонкий плохо проводящий слой, толщина к-рого такова, что через него могут относительно свободно просканивать фотоэлектроны, то металл будет вследствие асимметрии электронного потока заряжаться отрицательно, а П. положительно. Благодаря существованию прослойки на границе возникает скачок потенциала, к-рый и дает во внешней цепи электрический ток.

Ионные и смешанные П. Ионными П. называют твердые тела, обладающие значительной проводимостью, где перенос тока обязан движению ионов. В этих веществах электрич. поле создает перемещение части ионов, к-рые тепловым движением были сорваны с положений равновесия в кристаллич. решетке. Отличие подобного рода П. от изоляторов заключается в том, что в первых ионам легче сорваться со своих мест под действием теплового движения, чем во вторых. Этим и объясняется их относительно большая электропроводность. С ростом  $\epsilon^0$  электропроводность таких П. возрастает. К таким телам относятся  $\text{AgI}$  в  $\alpha$ -модификации,  $\alpha$ - и  $\beta$ -модификации  $\text{CuI}$  и  $\text{CuBr}$  и др. Величина электропроводности в них доходит до значений  $\gamma \approx 1$  мо.

Наряду с ионными и электронными П. имеется еще ряд веществ — П. со смешанной проводимостью, — в которых благодаря тепловому движению могут образовываться как свободные ионы, так и свободные электроны, и в переносе тока принимают участие и те и другие. К таким веществам относятся  $\text{Ag}_2\text{S}$ ,  $\text{Ag}_2\text{Se}$ ,  $\text{CuCl}$ ,  $\text{CuI}$  и др. Если работа диссоциации для ионов меньше, чем работа диссоциации для электронов, то мы имеем гл. обр. ионную проводимость. В про-

тиположном случае преобладает электронная проводимость. При сильно различающихся работах диссоциации для ионов и электронов практически наблюдается та или иная проводимость, соответствующая движению зарядов, для к-рых работа диссоциации имеет меньшее значение. Прохождение тока в случае ионной (и смешанной) проводимости сопровождается электролизом; при этом металл, отлагающийся на катоде, б. ч. выделяется в виде нитевидных образований — дендритов, которые могут быстро прорасти через образцы, давая металл.ч. соединения между электродами. Этим явлением объясняется также и выпрямительное действие нек-рых ионных П. Напр. пластинка шершистой меди  $Cu_2S$ , зажатая между алюминиевой и медной пластинками, в направлении от меди к алюминию пропускает ток, в несколько десятков и даже сотен раз больший, чем в противоположном направлении. При прохождении тока от меди к алюминию через П., на границе П. — алюминий, ток проходит лишь в отдельных точках (т. к. поверхность алюминия покрыта непроводящими окислами). В этих местах получается большая плотность тока, сопровождающаяся быстрым прорастанием дендритов, к-рые соединяют электроды и способствуют прохождению большего тока. В противоположном направлении тока плотность его у катода невелика, т. к. в этом случае у медной пластинки вся поверхность оказывается рабочей, и дендриты не успевают быстро прорасти. Т. о. получается асимметричность при прохождении тока в разных направлениях. Аналогичные явления наблюдаются и в случаях других П. этого типа, напр.  $CuI$ ,  $CuS$  и  $Ag_2S$ , к-рые берутся в сплавленном или спрессованном виде.

Лит.: А р с е н ь е в а А. в. Бронштейн М., «Журнал техн. физики», 1932, т. 2, стр. 949 (обзор); К у р ч а т о в В., там же, 1932, т. 1, стр. 72 (обзор); К у р ч а т о в В. и С и г е л ь н и к о в К., там же, 1931, т. 1, стр. 655 (обзор); G u e d d e n В., Hndb. d. Physik, hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, В. 43, В., 1928 (обзор); G o n d a h l L., «Review of Modern Physics», 1933, v. 5, p. 141 (обзор).

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ НАРКОМАТЫ**, наркоматы, образовавшиеся после реорганизации Высшего совета народного хозяйства: Наркомат тяжелой промышленности, Наркомат легкой промышленности, Наркомат лесной промышленности, образованный после реорганизации Наркомснаба Наркомат пищевой промышленности и образованной для управления промышленности, подведомственной союзным республикам, республиканские наркоматы местной пром-сти.

Создание нескольких наркоматов, управляющих пром-стью взамен одного ВСНХ, явилось результатом перестройки всей системы управления нашей пром-сти, вызванной новыми условиями работы пром-сти в течение первой и второй пятилетки. Грандиозные темпы развития нашей пром-сти, строительство и введение в эксплуатацию громадного числа новых промышленных гигантов, оборудованных по последнему слову передовой техники, необходимость для предприятий освоить эту технику, обеспечить предприятия квалифицированными кадрами, организовать снабжение — все эти обстоятельства уже в первый год первой пятилетки поставили вопрос о необходимости перестроить всю систему управления пром-стью. 5 декабря 1929 г. состоялось постановление ЦК ВКП(б) о реорганизации управления пром-стью. Это постановление исходило из принципа, положенного в основу дальнейшей реорганизации управления пром-стью, что «предприятие является основным звеном управления промышленностью». Пункт первый этого поста-

новления устанавливает, что «техническое обслуживание предприятия, правильная организация снабжения, наиболее совершенная организация труда внутри предприятия, полное проведение единоначалия на производстве, создание наиболее благоприятных условий для максимальной активности рабочего коллектива и технич. персонала предприятий, подбор квалифицированной администрации, необходимая степень самостоятельности предприятия являются основой дальнейшего улучшения системы управления социалистической промышленностью». Начавшаяся на этих основах реорганизация управления промышленностью получила толчок к дальнейшему развитию и ускорению после постановления XVI съезда ВКП(б). Пункт четвертый 4-го раздела резолюции XVI съезда гласит: «решение поставленных перед промышленностью задач требует скорейшего окончания реорганизации системы управления промышленностью, исходя из следующих основных принципов: а) обеспечения системы единоначалия во всех звеньях промышленности; б) обеспечения промышленным предприятиям максимальной самостоятельности и инициативы в деле выполнения плановых заданий; в) установления технического руководства предприятий; г) устранения вредного параллелизма в работе хозяйственных органов и упрощения всей системы планирования и управления промышленностью».

Существование в ВСНХ Главные управления по отраслям пром-сти были упразднены и заменены в аппарате ВСНХ секторами, а для управления промышленными предприятиями были организованы объединения. Однако эти объединения вследствие излишней централизации, вследствие охвата слишком большого количества предприятий, подчас разнородных по характеру производства, не смогли в должной мере обеспечить проведение в жизнь директив партии и правительства. Они не смогли обеспечить технич. руководств предприятиями, а также единоначалие и самостоятельность предприятий. На эти дефекты управления пром-стью указал тов. Сталин в своей речи на Первой всесоюзной конференции работников социалистической промышленности, происходившей в феврале 1931 г. Тов. Сталин в этой речи указал, что не все обстоит благополучно в деле управления пром-стью, что очень часто руководство предприятия сводится к подписыванию бумаг, что хозяйственники не овладели техникой, не установили единоначалия. «Задача, стало быть, состоит в том, чтобы нам самим овладеть техникой, самим стать хозяевами дела. Только в этом гарантия того, что наши планы будут полностью выполнены, а единоначалие будет проведено» (Сталин, Вопросы ленинизма, стр. 444, М., 1935). Конференция постановила, что работа объединения д. б. перестроена.

Решающую роль в деле дальнейшей реорганизации управления пром-стью сыграла историческая речь тов. Сталина на совещании хозяйственников 23 июня 1931 г. С исчерпывающей ясностью тов. Сталин указал в этой речи на изменившиеся в корне условия работы пром-сти, на создание новой обстановки, требующей и новых приемов руководства пром-стью. Для того чтобы приспособиться к новым условиям работы, сформулированным тов. Сталиным, требовалось, «чтобы наши хозяйственные руководители руководили предприятиями „не вообще“, а „с воздуха“, а конкретно, предметно» (Сталин). Эта конкретность руководства требовала и перестройки аппарата управления. Как указал тов. Сталин, надо было немедленно разукрупнить

громоздкие объединения, охватывающие иногда по 100—200 предприятий. Непосредственно после речи тов. Сталина ВСНХ приступил к разукрупнению объединений. Это разукрупнение пошло за собой и перестройку самого аппарата ВСНХ, реорганизация к-рого завершилась в целях большей специализации и конкретизации руководства подведомственными отраслями выделением из ВСНХ наркоматов легкой и лесной промышленности с превращением ВСНХ в Наркомат тяжелой промышленности. Это создание новых наркоматов было произведено 5 января 1932 г. Насколько интенсивно пошло разукрупнение объединений и трестов, видно из того, что в НКТП вместо имевшихся в июне 1931 г. 32 объединения и 13 трестов, подчиненных непосредственно наркомату, в июле 1932 г. после разукрупнения было создано 80 объединений и 90 трестов, подведомственных непосредственно наркомату. Объединение Всехимпром до разукрупнения имело 60 предприятий, а после разукрупнения в 1932 г. создано взамен одного объединения 14 трестов и объединений, из к-рых каждое охватывало от 3 до 12 предприятий. Реорганизация управления промышленностью не ограничилась разукрупнением объединений и трестов, но коснулась всей системы и методов управления в направлении осуществления 6 исторических условий тов. Сталина. Конкретные указания, как нужно перестроить управление промышленностью, были даны постановлениями СНК СССР и ЦК ВКП(б) 8/IV 1933 г. о реорганизации управления угольной промышленностью Донбасса. «Не может быть сомнения», говорилось в постановлении, «что указанные безобразия с „текучестью“ и организационной неразберихой в управлении шахтами не имели бы места, если бы руководители шахтой за немногими исключениями являлись действительными руководителями, а не простыми регистраторами „происходящих на шахтах событий“, если бы управление шахтой было построено не по функциональному, а по производственному принципу сосредоточением руководства в руках заведующего шахтой и заведующих участками, если бы аппарат управления шахтой работал с упором на оперативное руководство подземными работами, а не на канцелярскую волокиту». Это постановление имело более широкое значение, чем реорганизация управления только угольной промышленностью Донбасса. На основании конкретных указаний, приведенных в постановлении, строилась организация управления всей промышленностью и аппаратах самих промышленных наркоматов. Почти все объединения были упразднены, тресты разукрупнены, большое количество предприятий было подчинено непосредственно наркоматам через отраслевые главные управления или в некоторых случаях непосредственно наркомату, минуя главные управления; в аппаратах наркоматов началась борьба с функциональной системой за внедрение отраслевой и территориально-отраслевой систем управления.

Окончательное оформление существующая система управления промышленностью, подведомственной промышленным наркоматам, получила после XVII съезда ВКП(б). Насколько большое значение имеет правильная организация управления, указал на XVII съезде ВКП(б) тов. Сталин. В своем отчетном докладе тов. Сталин указал, что «после того, как дана правильная политическая линия, организационная работа решает все, в том числе и судьбу самой политической линии—ее выполнение или ее провал». Как на необходимые мероприятия в деле правильной организации

управления тов. Сталин между прочими мероприятиями указал на разукрупнение наркоматов, главных управлений и трестов и приближение хозяйственного руководства к предприятию, на уничтожение обелачки, на борьбу с «функционалкой». Конкретно проанализировал организационные вопросы управления промышленностью в своем докладе тов. Каганович. Тов. Каганович говорил: «во всей перестройке промышленности и не только промышленности самое главное — это уменьшение количества звеньев управления. Вместо существующей и существовавшей четырехзвенной — установить трехзвенную систему, а еще лучше двухзвенную, чего напр. в некоторых отраслях промышленности сейчас добились ликвидацией объединений и целого ряда трестов». XVII съезд ВКП(б) в резолюции по докладу тов. Кагановича, принятой 20 февраля 1934 г., признал необходимым ликвидировать функциональную систему построения всех советско-хозяйственных аппаратов, перестроить их по производственно-территориальному признаку, причем основным органом наркоматов д. б. главное производственное или производственно-территориальное управление. Эти управления должны целиком отвечать за свой участок работы, руководя по всем без исключения вопросам подчиненными им организациями. Функциональные отделы не имеют права давать какие-либо распоряжения низовым звеньям, минуя главные управления. Далее резолюция обязала руководителей советско-хозяйственных органов обеспечить конкретное руководство нижестоящими органами, сократив сеть промежуточных звеньев (объединения, тресты и т. п.), и установить более четкое разграничение обязанностей между центральными и местными органами наркоматов. Эта же резолюция указывала на необходимость упорядочить существовавшие ранее уполномоченных наркоматов в краях и областях и создать краевые и областные управления тяжелой, легкой и других отраслей промышленности, на к-рые возложить обязанности управления местной промышленностью. Вместе с тем XVII съезд ВКП(б) поручил ЦК ВКП(б) разработать конкретно вопрос об организации наркоматов местной промышленности. Наркоматы местной промышленности союзных республик были организованы в августе 1934 г.

На основании изложенных принципов и указаний организовано в настоящее время управление всеми отраслями промышленности и построены аппараты всех промышленных наркоматов. Главные управления являются основной производственно-отраслевой частью наркоматов, осуществляющей конкретное хозяйственное и техническое руководство по всем без исключения вопросам каждого из подчиненных им предприятий и организаций (заводов, трестов, слесоконторами, институтами и т. д.) в целях обеспечения выполнения количественных и качественных показателей плана, и отвечают в целом за их работу. Функциональные сектора и отделы осуществляют сводную работу и разрабатывают межотраслевые, общие для всей промышленности, директивы и распоряжения по вопросам плановым, финансовым, технико-производственным, учета и отчетности и т. д. Разработанные функциональными секторами и отделами директивы, указания и мероприятия проводятся только через главные управления. Главные управления организуются либо по отраслевой системе либо территориально-отраслевой и строят управление предприятиями в зависимости от особенностей той или другой отрасли промышленности, характера самого производства, степени его кон-



центрации, специализации, территориального размещения предприятий, степени освоения техники производства и т. д. Управление предприятиями преимущественно строится по двух- и трехвенной системам, т. е. предприятия — Главк либо предприятия — трест — Главк. Однако имеется часть предприятий, подчиняющихся непосредственно наркомату, не входя в ту или иную систему отраслевого Главка. Применяется, правда очень редко, и четырехвенная система: предприятия — трест — объединение — Главк. Такая многостепенность управления предприятием применяется гл. обр. в тех случаях, когда главное управление наркомата объединяет различные отрасли промышленности, как напр. в Главном управлении черной металлургии НКТП. При наркоматах организованы советы из представителей главных управлений, отделов, трестов, предприятий и научных учреждений.

Наркомат тяжелой промышленности организован как единый наркомат в январе 1932 г. Из общей валовой продукции ВСНХ, стоимость которой в 1931 г. (включая продукцию Наркомснаба) составляла в неизменных ценах 1926/27 г. 27 млрд. руб., на долю отраслей, оставшихся в ведении НКТП, приходилось 11,8 млрд. руб. В эту сумму входит и стоимость валовой продукции предприятий тяжелой промышленности республиканского и местного значения. В ведении НКТП сосредоточивались следующие отрасли промышленности: энергетическая, топливная (уголь, нефть, торф, сланцы), черная и цветная металлургия, машиностроение и металлообработка, химическая, производство стройматериалов, добыча металлич. руд, химич. сырья и неметаллич. ископаемых. Помимо этих основных для тяжелой промышленности отраслей в ведении НКТП оставлено было при выделении Наркомлеса управление частью лесных площадей и предприятий лесной промышленности для обслуживания гл. обр. производственных задач отраслей тяжелой промышленности; для этой же цели в системе НКТП находятся отдельные предприятия по выработке стекла и фарфора, технич. тканей и др. Главные производственные управления НКТП организованы в зависимости от особенностей той или другой отрасли. Часть главных управлений узко специализирована на определенном производстве данной отрасли, напр. управление горного и топливного машиностроения, управление машиностроения для легкой индустрии и др. Наряду с этим есть управления, объединяющие несколько отраслей промышленности, например Главное управление металлургической промышленности (ГУМП) объединяет как управление собственно металлургич. заводами, так и управленею коксо-химич., железорудной, марганцевой промышленности и производство огнеупоров. В НКТП не имеется главных управлений, организованных по территориальному признаку, однако много главных управлений организуют подведомственные им тресты по территориальному признаку. К таким главным управлениям относятся: Главное энергетич. управление, которое разделяется на ряд районных управлений энергетич. хозяйства и районных энергетич. комбинатов; Главное управление угольной промышленности имеет в своем составе тресты, организованные по территориальному признаку; Главное управление нефтяной промышленности имеет наряду с территориальными трестами, в которые входят предприятия, расположенные на определенной ограниченной территории (напр. трест Азнефть, объединяющий нефтепромыслы, электростанция, ремонтно-механич. заводы, трест Грознефть и др.), также и специали-

зированные тресты, объединяющие предприятия одной отрасли, разбросанные по всей территории Союза, напр. Авиатоп (Трест авиационных топлив и масел нефтеперерабатывающих и нефтегазовых заводов). Организация отдельных областей работы тяжелой промышленности (снабжение, сбыт, научно-технич. обслуживание и т. д.) дифференцируется в зависимости от особенностей той или другой области. В некоторых областях выделены самостоятельные сбытовые и снабженческие организации, в других эти функции выполняются трестами.

В управлении НКТП на 4/VII 1934 г. имелось 3 376 предприятий с 3 494 402 чел. персонала, в том числе 2 765 084 рабочих и 261 771 инженерно-технич. работников. Валовая продукция отраслей промышленности, подведомственных НКТП, видна из табл. 1.

Табл. 1. — Валовая продукция промышленности НКТП (в млн. руб. по ценам 1926/27 г.).

Отрасли	1934 г.	1935 г.	Уд. в. в 1935 г. в %
Вся пром-сть . . . . .	19 688	24 862	—
В т. ч. важнейшие отрасли:			
Электростанции и ТЭЦ (Главэнерго) . . . . .	870	1 213	4,9
Каменноугольная . . . . .	413	1 068	4,3
Нефтяная . . . . .	1 578	1 549	6,6
Черная металлургия . . . . .	1 989	2 625	10,6
Цветная металлургия (включая редкие металлы) . . . . .	705	939	3,8
Машиностроение и металлообработка . . . . .	9 686	12 659	50,9
Химическая . . . . .	2 860	3 571	14,4

Наркомат легкой промышленности был организован в начале 1932 г. как объединенный наркомат, ведающий не только предприятиями союзного значения, но и предприятиями легкой промышленности, подведомственными союзным республикам, краям и областям, для управления которыми существовали наркоматы легкой промышленности в союзных и автономных республиках и управления легкой промышленности в краях и областях. Такое положение создавало для предприятий республиканского и местного значения много неудобств в работе: предприятия эти получали распоряжения, идущие от разных учреждений, часто противоречащие друг другу; вместе с тем Наркомлегпром Союза не имел возможности сосредоточить внимание на важнейших предприятиях союзного значения. В виду этого в 1934 г. ЦИК и СНК СССР принято было решение о реорганизации НКЛП в единый союзный наркомат, управляющий предприятиями только союзного значения. Часть отраслей промышленности перешла целиком в ведение республиканских и местных органов; по другим отраслям некоторые предприятия союзного значения были переданы исполкомам, но наиболее крупные предприятия и почти все крупные новостройки были изъяты из ведения мест и переданы в подчинение союзного наркомата. В ведение союзного НКЛП были сосредоточены крупнейшие предприятия основных отраслей легкой промышленности: хлопчатобумажной, льняной, шерстяной, шелковой, трикотажной, пенкоджутовой, кожевенно-обувной, стекольной. Кроме этих отраслей промышленности в ведение НКЛП были переданы от Комитета по заготовкам и Наркомвсемахлопкоочистительные заводы и заводы веричной обработки льна и пеньки. НКЛП имеет также собственные предприятия по производству важ-

нейших материалов, деталей и машин. Главное производственное управление НКЛП построено по отраслевому признаку за исключением управления хлопчатобумажной пром-сти, для управления к-рой созданы три территориально-отраслевые управления: 1) Московской и Ленинградской областей, 2) Ивановской области, 3) новых районов и новостроек. Сбыт и снабжение находятся в ведении главных управлений. Крупнейшие предприятия изъяты из трестов и подчинены непосредственно главным управлениям. На 1/VII 1934 г. в управлении НКЛП было 2 343 предприятия с 1 386 498 чел. персонала, в том числе рабочих 1 162 825 и инженерно-технич. работников 59 060. Валовая продукция отдельных отраслей всей союзной легкой пром-сти видна из табл. 2.

Табл. 2. — Валовая продукция отраслей, подведомственных НКЛП СССР (в млн. руб. в ценах 1926/27 г.).

Отрасли	1934 г.	1935 г.	Уд. в. в 1935 г. в %
Вся пром-сть . . . . .	5 319	5 917	—
В т. ч. важнейшие отрасли:			
Хлопчатобумажная . . . . .	2 502	2 590	43,3
Льняная . . . . .	247	309	5,2
Шерстяная . . . . .	533	586	9,9
Шелковая . . . . .	219	281	4,7
Трикотажная . . . . .	195	53	4,3
Коневенно-обувная . . . . .	464	530	9,0
Стекольная . . . . .	83	92	1,6

Наркомат лесной пром-сти был организован как единый союзный наркомат. В ведение Наркомлеспрома была передана вся лесная пром-сть ВСНХ за исключением небольшой части ее, оставшейся в ведении НКТП. В ведении Наркомлеса находится главная масса (86,2%) лесопокройной площади государственного лесного фонда, составляющего 458,6 млн. га. В управлении Наркомлеса находятся предприятия следующих отраслей: лесной и деревообрабатывающей пром-сти, целлюлозно-бумажной, лесохимической и спичечной. Наркомлес имеет ряд предприятий подсобного характера: судостроение, машиностроение и др. Аппарат наркомата построен в основном по таким же признакам, как и аппараты НКТП и НКЛП. По территориальному принципу развития управления по лесозаготовкам, которые охватывают и лесозаготовки, и сплав, и подсокку. Имеются 4 управления лесозаготовок: 1) Главное управление лесозаготовок и сплава Урала, Сибири и Горьковского края, 2) Главное управление лесозаготовок и сплава сев. районов, 3) Главное управление лесозаготовок и сплава районов с преобладанием твердых пород и 4) Главное управление лесной пром-сти ДВК (с местопребыванием в Хабаровске). Мебельное и фанерное производство объединены в 2 союзных треста, подчиненных непосредственно наркомату. На 1/VII 1934 г. в управлении Наркомлеса было 742 предприятия с 281 814 чел. персонала, в том числе 235 225 рабочих и 11 756 инженерно-технич. работников. Валовая продукция НКЛеса видна из табл. 3.

Наркомат пищевой пром-сти. В 1929 и 1930 гг. пищевая пром-сть была изъята из ведения ВСНХ и в целях укрепления продовольственной базы питания трудящихся была передана в ведение Народного комиссариата снабжения (б. Наркомторг). В 1934 г. Наркомснаб был разукрупнен, и из него был выделен само-

Табл. 3. — Валовая продукция отраслей промышленности Наркомлеса (в млн. руб. в ценах 1926/27 г.).

Отрасли	1934 г.	1935 г.	Уд. в. в 1935 г. в %
Вся пром-сть . . . . .	2 156	2 537	—
В т. ч. важнейшие отрасли:			
Лесозоопластания . . . . .	1 020	1 212	47,8
Деревообработка . . . . .	718	824	32,5
Бумажная . . . . .	273	322	12,7

стоятельный Наркомат пищевой пром-сти как единый наркомат, в управлении которого были сосредоточены предприятия союзного значения. В Наркомпищепроме сосредоточиваются управления следующих отраслей пром-сти (предприятия союзного значения): мясной, рыбной, сахарной, соляной, цельномолочной, масляной, жировой и гидрогенизационной, маслодельной, маргариновой, консервной, плодоовощной, птицеперерабатывающей, табачной и махорочной, крахмало-паточной, комбикормовой, кондитерской, макаронной\* безалкогольной и пивоваренно-дрожжевой, холодильной, костообрабатывающей, соевой, парфюмерно-косметической, синтетической, эфирномасляной, спиртовой и рядом предприятий подсобных: по производству запасных частей и деталей машин, тары, строения и ремонта судов и т. д. Помимо промышленных предприятий в управлении Наркомпищепрома находится ряд совхозов, дающих сырье для промышленных предприятий. На 1935 г. в управлении Наркомпищепрома находилось 637 совхозов с общим земельным фондом в 2 921,8 тыс. га земли, из которых посевной площади было 1 394,9 тыс. га. Продуктивного скота на конец 1935 г. было 2 437 тыс. голов крупного рогатого скота, 400,0 тыс. свиней, 39,5 тыс. овец. Организация управления промышленными предприятиями и устройство аппарата наркомата не отличаются принципиальными особенностями от других промышленных наркоматов. В управлении НКСнаб (до выделения из него НКПищепрома) на 1/VII 1934 г. было 2 582 промышленных предприятия с 460 501 чел. персонала, в том числе 338 707 рабочих и 32 660 инженерно-технич. работников.

Табл. 4. — Валовая продукция пром-сти Наркомпищепрома (в млн. руб. в ц. 1926/27 г.).\*

Отрасли	1934 г.	1935 г.	Уд. в. в 1935 г. в %
Вся пром-сть . . . . .	6 131	7 503	—
В т. ч. важнейшие отрасли:			
Мясная . . . . .	785	1 004	13,4
Рыбная . . . . .	398	450	6,0
Сахарная . . . . .	612	869	11,6
Маслобояная . . . . .	204	266	3,5
Консервная . . . . .	169	221	2,9
Табачно-махорочная . . . . .	315	365	4,9
Кондитерская . . . . .	459	552	7,4
Спиртовая . . . . .	189	240	3,2

\* Вместе с предприятиями, перешедшими из Центростза.

Наркоматы местной пром-сти. При организации союзных промышленных наркоматов на них было возложено и управление местной промышленностью, т. е. промышленными предприятиями, подведомственными союзным и

автономным республикам и краевым и областным исполкомам. Для этой цели были созданы институты уполномоченных НКТП и Наркомлеспрома при Совнаркомом союзных республик. Предприятия же легкой и пищевой пром-сти управлялись республиканскими наркоматами легкой пром-сти и наркоматами снабжения. Такая система создавала двойственность подчинения и вела, с одной стороны, к тому, что не было органа, целиком ответственного за развитие местной пром-сти, с другой стороны, местные предприятия часто получали от различных организаций сплошь и рядом несогласованные распоряжения. На XVII съезде ВКП(б) тов. Сталин отметил «отсутствие должного внимания вопросу развертывания местной пром-сти», указав на необходимость «равнать местную советскую пром-сть, дать ей возможность проявить инициативу в деле производства товаров ширпотреба и оказать ей возможную помощь сырьем и средствами» (Сталин, Вопросы ленинизма, стр. 559, М., 1935).

В резолюции по организационным вопросам XVII съезда ВКП(б) обзавел повысить роль и обязанности местных органов власти в деле развития местной пром-сти и поручил ЦК ВКП(б) разработать новую систему управления этой пром-стью. В осуществление этой директивы управление местной пром-стью было изъято из ведения союзных наркоматов, и в союзных республиках были организованы наркоматы местной пром-сти. В постановлении ЦИК СССР от 10 августа 1934 г. было сформулировано, что наркоматпромы организуются «в целях всемерного развития местной пром-сти, выявления и использования местных сырьевых и топливных ресурсов, усиления ответственности и инициативы местных и особенно краевых и областных органов за развитие этой пром-сти, а также в целях сосредоточения внимания союзных народных комиссариатов на управление предприятиями союзного подчинения». Наркоматы местной пром-сти управляют предприятиями республиканского значения и ведут планирование, регулирование и учет работы пром-сти, подчиненной автономным республикам и краевым и областным исполкомам. Для управления этой пром-стью организованы наркоматы местной пром-сти в автономных республиках и управления местной пром-стью в краях и областях. На наркоматпромы возложена также обязанность наблюдения, регулирования и учета т. н. низовой пром-сти, подведомственной районным исполкомам. В состав местной пром-сти входят почти все отрасли, но превалирующее значение имеют отрасли, вырабатывающие предметы широкого потребления, гл. обр. легкой пром-сти. Это видно из табл. 5.

По уточненным данным валовая продукция наркоматпромов равнялась в 1934 г. — 5 958 млн. руб., в 1935 г. — 6 783 млн. руб. Кроме промышленных наркоматов и другие наркоматы и организации имеют в своем ведении и управлении промышленные предприятия: Комитет по заготовкам при СНК СССР имеет в своем ведении ряд крупных мукомольных мельниц; кино-фотопромышленность находится в ведении Главного управления советской кинопромышленности; значительных размеров достигает кооперативная пром-сть, объединяемая Всекопромсоветом, Всекоопинсоветом, Всекопромлессоюзом; непромышленные наркоматы (НКПС, Наркомвод, НКсвязь и др.) также имеют в своем ведении промышленные предприятия. Распределение пром-сти (по стоимости валовой продукции в ценах 1926/27 г.) видно из табл. 6.

Табл. 5. — Валовая продукция по отраслям местной пром-сти (в млн. руб. в ценах 1926/27 г.).

Отрасли	1934 г.	1935 г.	Уд. в. в 1935 г. в %
Тяжелая пром-сть . . . . .	1 100,9	1 286,0	18,5
В т. ч. машиностроение и металлообработка . . . . .	806,9	913,2	13,1
Стройматериалы . . . . .	148,4	180,4	2,6
Лесная пром-сть . . . . .	171,7	199,9	2,8
В т. ч. деревообработка . . . . .	117,0	128,6	1,8
Легкая пром-сть . . . . .	4 066,7	4 460,2	64,4
В т. ч. хлопчатобумажная . . . . .	521,3	587,2	8,1
Шерстяная . . . . .	119,8	132,5	1,9
Вязальн.-волокнистая . . . . .	104,0	128,9	1,8
Швейная . . . . .	1 360,0	1 725,0	20,5
Трикотажная . . . . .	516,7	570,5	8,2
Галантерейная . . . . .	252,6	800,7	4,3
Кожобушная . . . . .	539,6	557,5	8,0
Культурно-просвет . . . . .	127,9	145,9	2,1
Полиграфическая . . . . .	157,0	168,3	2,3
Стекольная и фарфоровая . . . . .	172,7	260,4	3,7
Пищевая . . . . .	756,8	985,3	14,8
В т. ч. кондитерская . . . . .	273,0	352,0	5,0
Безалкогольная и пивоваренная . . . . .	114,8	162,0	2,3

Табл. 6. — Валовая продукция всей пром-сти СССР (в млрд. руб. в ценах 1926/27 г.).

Наркоматы и организации	1934 г.	1935 г.	1936 г. (план)	Уд. вес в 1936 г.
Вся промышленность . . . . .	54,6	65,9	81,1	100
В том числе:				
Наркоматтяжпром . . . . .	19,64	24,86	31,33	38,6
Наркомлес . . . . .	2,16	2,54	3,10	3,8
Наркомлеспром . . . . .	5,32	5,92	7,64	9,4
Наркомшипротом . . . . .	6,13	7,60	9,15	11,3
Наркомстпромы . . . . .	5,96	6,78	8,35	10,3
В т. ч. ЗСФСР . . . . .	4,23	4,78	5,82	—
УССР . . . . .	1,08	1,28	1,60	—
БССР . . . . .	0,31	0,35	0,43	—
ЗСФСР . . . . .	0,23	0,26	0,32	—
Узб. ССР . . . . .	0,09	0,11	0,13	—
Туркм. ССР . . . . .	0,013	0,019	0,027	—
Таджик. ССР . . . . .	0,007	0,013	0,025	—
Комит. заготовок СНК . . . . .	1,25	1,71	1,78	2,2
Кино-фотопром-сть . . . . .	0,10	0,15	0,22	0,3
Промкооперативы * . . . . .	6,32	7,43	9,21	11,4
В т. ч.: Всекопромсовет . . . . .	4,91	5,79	7,21	—
Всекоопинсовет . . . . .	0,53	0,63	0,78	—
Всекопромлессоюз . . . . .	0,88	1,01	1,22	—
Прочие . . . . .	7,72	9,01	10,34	12,7

\* В ценах 1932 г.

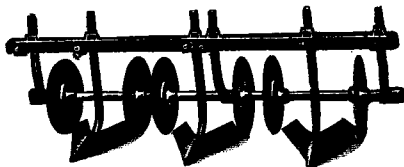
К. Рабинович.

**ПРОРЕЖИВАТЕЛИ**, сел.-хоз. машины, предназначенные для прореживания растений. Конструкция сеялок, высеваящих по одному зерну на установленных расстояниях, не доведены еще пока до своего вполне законченного вида, в которых можно было бы принять для массового производства и тем самым создать широкое применение этих машин в различных отраслях сел.-х. ва. Рядовые посевы производят обыкновенными рядовыми сеялками, которые выбрасывают семена или отдельными пачками или сплошной струей, благодаря чему при нормальной всхожести растения располагаются в ряду на весьма различных расстояниях друг от друга. Зерновые хлеба мирятся с этой неравномерностью распределения семян, но целый ряд наиболее ценных растений, напр. таких техник., как свекла, табак, подсолнечник, хлопчатник, требуют для своего нормального развития равномерных и достаточно больших между собой промежутков, чтобы при уходе за ними возможно было соответствующей между-рядной обработкой уничтожить сорняки и рыхлить почву, иначе они не будут хорошо разви-

ваться и не дадут хороших урожаев. При высеве достаточного количества доброкачественных семян обыкновенно через некоторое время в рядах получаются дружные всходы растений, которые при дальнейшем развитии начинают теснить друг друга и между ними уже начинается борьба за существование. При этом часть растений погибает, часть хиреет, но и победители-растения выходят из этой борьбы ослабленными, обесиленными, почему их развитие замедляется. Каждое лишнее растение в рядах уподобляется в сущности сорному растению, т. к. оно мешает развитию остальных, от которых ожидается урожай, и поглощает некоторую часть нужной им влаги и пищевых материалов. Поэтому удаление в начальном периоде развития лишних растений так же необходимо, как и уничтожение сорняков при их появлении на поверхности поля. Одинаковый размер и однородность формы овощей, напр. редиса, свеклы, моркови, лука, не м. б. достигнуты, если не будет предоставлено каждому растению достаточного места для его нормального развития. При выращивании овощей, к-рые по достижении рыночной спелости принято убирать со всей площади одновременно, прореживание производят возможно раньше. Точно так же и все технические растения требуют своевременного и быстрого прореживания, что при больших площадях посева и ручной прорывке требует огромного числа трудовых. Поэтому давно уже стремятся заменить в этой операции ручной труд машиной. Но т. к. пока машиной не удается оставить только одно растение, уничтожив все остальные, то применяют промежуточный прием — б у к е т р о в а н и е рядов, т. е. удаление при помощи машины в рядах части растений и оставление через определенные промежутки отдельных пучков — б у к е т о в, а затем, выбрав в пучке самое сильное растение, все остальные уничтожают руками или полонным ножом. Т. о. роль машины в прореживании сводится пока только к букетированию.

Для букетирования вначале применяли специальные машины ротационного типа, имевшие вращающиеся барабаны с ножами, к-рыми они и срезали растения через известные промежутки в рядах. Но опыт показал, что эти системы мало пригодны, так как они при срезывании сдвигают с места оставленные букеты, а следовательно и повреждают растения, а затем забрасывают их срезаемыми растениями и отчасти засыпают поднятой землей. В настоящее время букетирование производят междурядными культиваторами, специально приспособленными для этой цели. Рабочими органами обыкновенно служат плоскорежущие ножи, соединенные со стойкой (по обеим сторонам) и поставленные под некоторым углом к направлению движения всей лапы. Ширина захвата лапы обыкновенно равна длине вырезанной части ряда между букетами. По бокам лап поставлены защитные диски, назначение которых не допускать срезывания ножом лапы остальных растений, оставляемых в

букете. Эти защитные диски ставятся по два на букет между соседними лапами (фигура). Эти системы страдают тем недостатком, что при их применении приходится оставлять слишком длинные букеты, так как плоские дуосторонние лапы культиваторов не только подрезают растения, но также смещают часть букета за защитными и дисками с правой и с левой стороны. Это явление особенно заметно, когда поле открыто толстой коркой, к-рая, ломаясь ножами, приподнимается и рвет корни молодых растений. Лучше работают междурядные культиваторы системы Зидерслебена. Их особенность заключается в том, что они имеют не прямые, а выпуклые защитные диски, установленные под небольшим углом к линии хода культиватора. Накатываясь сверху, они отрезают узкую ленту земли, перерезая рядок растений, и отталкивают ее в сторону идущей рядом лапы. Благодаря достаточной ширине и глубине бороздки, оставляемой диском, лапа подрезает весь промежуток между букетами, не повреждая их даже при толстой корке, чего трудно достигнуть при прямых



дисках, оставляющих после себя узкий прорез, притом не всегда достаточно глубокий. Применение вогнутых дисков дает возможность уменьшить длину букета до 5—6 см, что значительно сокращает следующую за букетированием ручную работу. П. системы Бажака снабжен колесами с вогнутым ободом и с острыми ребордами, к-рыми отдельные букеты прикрываются и прижимаются к земле в момент прохода между букетами лапы, подрезывающей остальные растения. Прореживатели приводятся в действие или вручную (ручные культиваторы), или тягой упругих животных, или же при значительных площадях в механизированных хозяйствах тракторной тягой. В виду того что эта операция требует большой точности и аккуратности, работа с механизмом двигателем будет, разумеется, более совершенной. Тем не менее все П. снабжаются передками и самостоятельным рулевым управлением, позволяющим направлять орудие независимо (в известных пределах) от перемещения животных или трактора. Из советских машин для прореживания можно рекомендовать П. «Универсальный культиватор» (системы конструктора Т. Соловья), к-рый вполне оправдал себя на параллельных испытаниях с другими машинами. Строят П. этой системы как для конной, так и для тракторной тяги. Трактор 15/30 л. с. при специальной сцепке может работать одновременно с тремя машинами.

Н. Сладков.

**РАВНОВЕСИЕ ХИМИЧЕСКОЕ.** Расчет равновесий газовых реакций по термохимическим и спектроскопическим данным. Расчет равновесия (см. *Равновесие химическое*, т. XVIII) основан на применении тепловой теоремы Нернста или квантово-статистич. методов для подсчета термодинамич. величин, определяющих состояние равновесия. Гетерогенные равновесия характеризуются равенством термодинамич. потенциалов (см. *Потенциал термодинамический*) или в растворе определяется константой равновесия  $K_p$  (см. *Действующих масс закон*), связанной с термодинамич. потенциалами реагирующих веществ следующим соотношением:

$$R \ln K_p = \Delta\Phi = -\frac{\Delta Z}{T}; \quad (1)$$

здесь  $\Delta\Phi$  и  $\Delta Z$  — разности между суммой соответствующих термодинамич. потенциалов для веществ, образующихся при реакции, и суммой термодинамич. потенциалов для веществ, вступающих в реакцию, взятых при  $t^\circ$  реакции и давлении, равном 1 atm. Термодинамич. потенциал  $Z$  определяется выражением

$$Z = H - TS = U + pV - TS \quad (2)$$

и потенциал

$$\Phi = -\frac{Z}{T} = S - \frac{H}{T} = S - \frac{U + pV}{T}; \quad (2')$$

здесь  $U$  — внутренняя энергия,  $p$  — давление,  $V$  — объем,  $T$  — абсолютная темп-ра,  $H$  — энтальпия и  $S$  — энтропия. Изменение потенциалов  $\Phi$  и  $Z$  при реакции определяется выражением

$$\Delta\Phi = -\frac{\Delta Z}{T} = \Delta S - \frac{\Delta H}{T}, \quad (3)$$

где  $\Delta H$  — изменение энтальпии, равное тепловому эффекту реакции при постоянном давлении, и  $\Delta S$  — изменение энтропии при реакции. Очевидно, что при гетерогенном равновесии системы газ — твердые фазы в виду равенства термодинамич. потенциалов сосуществующих фаз условием равновесия будет

$$\Delta H = T\Delta S, \quad (4)$$

где  $\Delta H$  и  $\Delta S$  — изменений  $H$  и  $S$  при переходе одной фазы в другую. Из ур-ий (1), (3) и (4) видно, что задача нахождения условий равновесия в гетерогенной системе и вычисления константы равновесия для определения состояний равновесия в газовой системе сводится к нахождению теплового эффекта реакций и энтропий (или термодинамич. потенциалов) веществ, принимающих участие в реакции. Тепловые эффекты

$\Delta H$  м. б. достаточно точно определены только с помощью методов *термохимии* (см.). Другие методы, как то: подсчет из энергий диссоциации, найденных по спектроскопич. данным, расчет на основании температурной зависимости состояний равновесия и пр., в настоящее время еще не могут дать достаточно точных данных. Поэтому необходимые для расчета равновесия величины  $\Delta H$  определяются с помощью закона Гесса из термохимических величин. Зависимость теплового эффекта от  $t^\circ$ , необходимую для получения обратной формы ур-ий (1) и (4), получают с помощью ур-ия Кирхгофа

$$\frac{d\Delta H}{dT} = \Delta C_p, \quad (5)$$

где  $\Delta C_p$  — изменение теплоемкости при реакции, вычисляемое аналогично  $\Delta Z$ . Основной и наиболее трудной частью расчета равновесия является нахождение энтропий  $S$  (или термодинамич. потенциалов  $Z$  и  $\Phi$ ) для участвующих в реакции веществ.

Термодинамический метод расчета энтропий основан на применении экспериментальных данных для теплоемкостей и теплот превращения различных агрегатных состояний для определения изменения энтропии при нагревании вещества от  $0^\circ \text{K}$  до интересующей нас темп-ры. Изменение энтропии при нагревании (при постоянном давлении) вещества, не меняющего своего агрегатного состояния, равно

$$\Delta S = S_{T_2} - S_{T_1} = \int_{T_1}^{T_2} C_p \frac{dT}{T}. \quad (6)$$

В точке перехода изменение энтропии (на 1 моль) выражается равенством

$$S_2 - S_1 = \frac{\Delta H}{T} = \frac{\lambda}{T}, \quad (7)$$

где  $\Delta H = \lambda$  — теплота превращения одного агрегатного состояния в другое. С помощью выражений (6) и (7) на основании экспериментальных данных по теплоемкостям легко подсчитать изменения энтропии. Обычно интегрирование проводят графич. путем; откладывают по абсциссе  $T$  и по ординате  $\frac{C_p}{T}$ ; площадь между двумя ординатами  $T_1$  и  $T_2$ , ось абсцисс и кривой численно равна приросту энтропии при нагревании от  $T_1$  до  $T_2$  при постоянном давлении. Для вычисления энтропии необходимо знание теплоемкостей до темп-р порядка  $10^\circ \text{K}$ . Расчет теплоемкостей при более низких темп-рах м. б. произведен с помощью закона Дебая, требующего, чтобы теплоемкость при низких темп-рах была пропорциональ-

на кубу абсолютной темп-ры (закон куба темп-ры для большинства веществ справедлив до темп-р порядка 15—40° К, точнее до темп-р, при которых теплоемкость достигнет 0,3° cal на 1 граммомат):

$$C_p = aT^3. \quad (8)$$

Найденные вышеописанным путем изменения энтропии при нагревании м. б. использованы для подсчета равновесий в случае, если известны нулевые энтропии твердых веществ. На основании предложенного Планком обобщения закона, открытого Нернстом (так наз. третьего теплового закона), энтропии твердых тел при 0° К равны нулю. По Планку задача сводится только к нахождению изменения энтропии при нагревании от 0° К до нужной темп-ры. Эти изменения м. б. приравнены энтропиям  $S$  и послужат основой для подсчета по ур-ням (1), (2) и (4). Но проверка этого метода подсчета Эйкеном (Eucken) показала, что равенство нулевой энтропии нулю является свойством лишь очень ограниченного числа кристаллич. веществ. В настоящее время мы можем считать, что при абсолютном нуле энтропия равна нулю только для немногих идеальных кристаллич. веществ. Появление нулевой энтропии, отличной от нуля, м. б. вызвано наличием изомерных форм молекул (аналогично орто- и параводороду), наличием расщепления низшего энергетич. уровня молекул в кристалле, различной ориентации несимметричных молекул в кристалле и другими причинами. Только для ограниченного числа веществ мы можем с достаточной точностью вычислить нулевую энтропию. Поэтому термодинамич. метод ограничен в своем применении; применение же его без точного учета нулевых энтропий приводит к значительным погрешностям и позволяет получить лишь весьма грубое приближение.

Квантово-статистический метод расчета термодинамических величин для газов основан на применении методов статистики к изучению распределения энергии между различными степенями свободы и уровнями энергии молекул газа. В основе метода лежат: 1) Ур-не Больцмана, связывающее энтропию  $S$  и вероятность,

$$S = k \ln w, \quad (9)$$

где  $k$  — постоянная Больцмана, а  $w$  — термодинамич. вероятность. Термодинамич. вероятность данного макроскопического состояния полагается равной числу различных возможностей его осуществления. 2) Ур-не термодинамики, связывающее изменения внутренней энергии и энтропии при обратимом изотермич. процессе:

$$\frac{dS}{dT} = \frac{1}{T}. \quad (10)$$

Термодинамич. величины  $S$ ,  $C_p$  (теплоемкость),  $Z$ ,  $\Phi$ ,  $U$  и  $H$  связаны простыми соотношениями с суммой состояний  $Q$ :

$$\Phi = R \ln Q - U_0/T, \quad (11a)$$

$$Z = U_0 - RT \ln Q, \quad (11b)$$

$$H = U + pv = RT^2 \frac{d \ln Q}{dT} + U_0 + RT, \quad (11c)$$

$$S = R \ln Q + RT \frac{d \ln Q}{dT}, \quad (11d)$$

$$C_p = -R \frac{d}{dT} \frac{d \ln Q}{dT-1}. \quad (11e)$$

Сумма состояний определяется распределением энергии между различными молекулами. Ее обычно разбивают на два множителя:

$$Q = Q_i \cdot Q_e. \quad (12)$$

$Q_i$  — сумма, или интеграл, состояний поступательного движения молекул, а  $Q_e$  — сумма внутримолекулярных состояний. Квантовая статистика для  $Q_i$  дает следующее выражение:

$$Q_i = \left( \frac{2\pi mkT}{h^2} \right)^{3/2} \frac{V}{N}; \quad (13)$$

здесь  $m$  — масса молекулы,  $h$  — постоянная Планка,  $V$  — объем, занимаемый молем газа, и  $N$  — число Авогадро. Величина  $Q_i$  определяется на основании законов распределения энергии между следующими формами энергий молекулы: 1) вращательной  $E_r$ , 2) колебательной  $E_c$ , 3) электронной  $E_e$  и наконец зависит от распределения направлений вектора спина ядер в молекулах. В общем случае

$$Q_e = p_0 + p_1 \exp\left(-\frac{E_1}{kT}\right) + \dots + p_r \exp\left(-\frac{E_r}{kT}\right) + \dots; \quad (14)$$

здесь  $E_1, \dots, E_r, \dots$  — уровни энергии молекул, выраженные как разности между энергией молекулы в известном состоянии и нулевой энергией молекулы;  $p_1, \dots, p_r, \dots$  — соответствующие этим уровням статистич. веса. Необходимые для подсчета величины  $p$  и  $E$  получают из анализа молекулярных спектров. Для расчета  $p$  необходимо глубокое знание структуры молекулярных термов. В общем случае расчет  $Q_e$  сводится к почленному суммированию суммы (14); такого рода подсчет требует весьма много времени. В различных случаях оказывается возможным применение упрощенных приближенных методов расчета. Упрощенные методы основаны на сведениях суммы (14) к произведению более простых рядов, которые либо сводятся к конечному выражению либо подсчитываются с применением интегрирования вместо суммирования.

Упрощенные методы определения  $Q_e$ . Одноатомные молекулы. Сумму состояний одноатомной молекулы можно выразить как произведение сумм состояний электронной энергии ( $Q_e = G_e$ ) и ориентации спина ядра ( $Q_s = G_s$ ):

$$Q_e = G_e \cdot G_s. \quad (15)$$

$G_s$  определяется просто как

$$G_s = 2s + 1 \quad (16)$$

( $s$  — спиновое число; вектор спина равен  $s \frac{h}{2\pi}$ ), т. е. как число возможных направлений вектора спина в силовом поле.

Значения  $s$  для различных атомов следующие:

Элементы	$s$	$G_s$
O <sup>16</sup> ; C <sup>12</sup> ; He . . . . .	0	1
N <sup>14</sup> ; F <sup>19</sup> . . . . .	1/2	2
N <sup>14</sup> H <sup>2</sup> . . . . .	1	2
As . . . . .	3/2	4

Значение электронной суммы состояний  $G_e$  определяется уровнями энергии электронов и их квантовыми числами  $j$  следующим выражением:

$$G_e = (2j_0 + 1) + (2j_1 + 1) \exp\left(-\frac{E_1}{kT}\right) + \dots \quad (17)$$

Двухатомные молекулы. Для большинства изученных молекул в интервале температур до 5000° К удается получить достаточно точность, приняв независимость друг от друга электронных, ядерных и вращательно-колебательных сумм состояний. Тогда

$$Q_i = Q_{vr} \cdot G_e \cdot G_s, \quad (18)$$

где  $Q_{vr}$  — вращательно-колебательная сумма состояний. В ряде случаев взаимное действие

колебаний и вращений также невелико, и тогда мы можем принять

$$Q_i = Q_v \cdot Q_r \cdot G_v \cdot G_r. \quad (19)$$

Мы остановимся только на разборе последнего случая. 1)  $Q_v$  — колебательная сумма состояний: а) В первом приближении двухатомную молекулу по отношению к колебаниям можно рассматривать как гармонич. двухмерный осциллятор. Тогда

$$E_v = h c \omega_0 \left( v + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2} h c \omega_0, \quad (20)$$

где  $\omega_0$  — характеристич. частота осциллятора в обратных сантиметрах,  $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света и  $v$  — колебательное квантовое число, принимающее значения 0, 1, 2, ... Для всех уровней статистич. вес  $p = 1$ . В этом случае согласно (13)

$$Q_v = \sum_i e^{-E_i/kT} = \left[ 1 - \exp \left( - \frac{h c \omega_0}{kT} \right) \right]^{-1}. \quad (21)$$

б) Более точно будет принять молекулу за ангармонич. осциллятор. Тогда

$$E_v = h c \left[ \omega_0 \left( v + \frac{1}{2} \right) - X_0 \omega_0 \left( v + \frac{1}{2} \right)^2 + Y_0 \omega_0 \left( v + \frac{1}{2} \right)^3 - \frac{1}{2} \omega_0 + \frac{1}{4} X_0 \omega_0 - \frac{1}{8} Y_0 \omega_0 \right]; \quad (22)$$

$X_0$ ,  $Y_0$  — факторы ангармоничности. Для большинства расчетов достаточную точность дает использование одного лишь первого поправочного члена. В этом случае подсчет ведут суммированием или с помощью таблиц, составленных Gordon и Barnes. 2)  $Q_r$  — вращательная сумма состояний. В первом приближении, принимая молекулу за твердый ротатор, для величины уровня вращательной энергии находим

$$E_r = \frac{h^2}{8\pi^2 J} (j+1)j, \quad (23)$$

где  $J$  — момент инерции молекулы, а  $j$  — квантовое число вращения (могущее принимать любое целое значение, большее 0). а) Для несимметричной молекулы с основным состоянием  $1\Sigma$  статистич. веса равны  $p_j = 2j+1$ . Для большинства случаев подсчет  $Q_r$  м. б. с достаточной точностью выполнен путем интегрирования уравнения (14) после подстановки значений  $p$  и  $E_r$  по  $j$ :

$$Q_r = \sum_0^{\infty} (2j+1) \exp[-\sigma j(j+1)] = \\ = \int_0^{\infty} (2j+1) \exp[-\sigma j(j+1)] dj = \\ = \frac{1}{\sigma} = \frac{8\pi^2 J k T}{h^2},$$

где

$$\sigma = \frac{h^2}{8\pi^2 J k T}. \quad (24)$$

б) Для симметричной молекулы в  $\Sigma$ -состоянии, атомы которой не обладают спином ядер, выпадает половина вращательных уровней, вследствие чего приближенное выражение  $Q_r$  принимает вид

$$Q_r \approx \frac{8\pi^2 J k T}{h^2 \sigma^*}, \quad (25)$$

где  $\sigma^* = 2$ , т. н. число симметрии. в) Для симметричной молекулы в состоянии  $1\Sigma$ , атомы которой обладают спином ядра ( $N_2$ ,  $N_2$  и др.), мы не можем разделить просто сумм состояний  $Q_r$  и  $Q_s$ . В этом случае молекулы с нечетной суммой состояний  $Q_s^*$  могут обладать только

нечетными  $j$ , а молекулы с четной  $Q_s^*$  — четными  $j$  или наоборот. Таким образом например

$$Q_{r,s} = \sum_{j=0,2,\dots}^{\infty} (2j+1) G_s^* \exp[-\sigma j(j+1)] + \\ + \sum_{j=1,3}^{\infty} (2j+1) G_s^* \exp[-\sigma j(j+1)] \dots, \quad (26)$$

где  $G_s^* = s(2s+1)$  и  $G_s^* = (s+1)(2s+1)$ ; интегрируя это выражение по  $j$ , мы получаем приближенно

$$Q_{r,s} \approx G_s \frac{8\pi^2 J k T}{h^2 \sigma^*}, \quad (27)$$

где

$$G_s = (2s+1)^2 = G_s^* + G_s^*.$$

г) Для молекул в основном состоянии  $^2\Pi$  (без исключения состоящих из разных ядер) основной уровень состоит из двух электронных компонент, различающихся на  $\Delta E$ . Молекулы с низкой энергией обладают квантовыми числами вращения  $j = 1/2, 3/2, 5/2$  и т. д., а находящиеся на уровне  $\Delta E$  могут находиться в состояниях с квантовыми числами  $j = 3/2, 5/2, \dots$  Здесь суммы состояний вращения и электронных неразделимы. Приближенно

$$Q_{e,r} = \sum_{j=1/2, 3/2, \dots} (2j+1) \exp[-\sigma_1 j(j+1)] + \\ + \sum_{j=3/2, 5/2, \dots} (2j+1) \exp \left[ - \frac{\Delta E}{kT} - \sigma_2 j(j+1) \right]. \quad (28)$$

Здесь, заменяя суммирование интегрированием, находим

$$Q_{e,r} \approx \frac{8\pi^2 J k T}{h^2} \left[ 1 + \exp \left( - \frac{\Delta E}{kT} \right) \right]. \quad (29)$$

Для большинства молекул с  $\Delta$  расщеплением ( $\Delta$ -дублеты) вращательных уровней ур-ие (29) при высокой  $T^\circ$  (выше комнатной) переходит в

$$Q_{e,r} \approx 2 \frac{1}{\sigma} = 2 \frac{8\pi^2 J k T}{h^2}.$$

3) Сумма состояний спина ядер. а) Для молекул с двумя одинаковыми атомами образуются два вида молекул (аналогично орто- и паравадоруду) с симметричной и антисимметричной ф-ней спина  $G_s$  (см. случай 2в). б) Для молекулы, состоящей из атомов с различными спинами ядер  $s_1$  и  $s_2$ ,

$$G_s = (2s_1+1)(2s_2+1). \quad (30)$$

4) Электронная сумма состояний. В большинстве случаев высшие уровни электронной энергии возбуждаются только при очень высоких температурах, поэтому для расчета равновесия их не приходится принимать во внимание. Приходится считаться только с расщеплением нижнего электронного уровня, к-рое имеет место для ряда молекул. Значение  $G_e$  (мультиплетность нулевого электронного уровня) для ряда молекул видно из следующего:

Молекулы . . .	CO	CN	O <sub>2</sub>	NH	NO	OH
					CH	SiH
Уровень . . .	1Σ	2Σ	3Σ	2Π		
G <sub>e</sub> . . . . .	1	2	3	2		

В этом случае  $G_e = p_e^0$  — целому числу, указывающему мультиплетность уровня; при значительных расщеплениях ( $\Delta E$  велико), как при  $\Delta$  расщеплении  $^2\Pi$  уровня, приходится при невысоких темп-рах учитывать это расщепление более точно. В общем виде приближенное значение суммы состояний внутренних степеней свободы

двухатомной молекулы м. б. выражено следующей ф-лой

$$Q_t \cong Q_r \cdot Q_v \cdot G_e \cdot G_s \cong \frac{8\pi^2 JkT}{h^3 \sigma^*} G_e \cdot G_s \left[ 1 - \exp\left(-\frac{hc\omega_0}{kT}\right) \right], \quad (31)$$

справедливой приближенно для всех приведенных случаев.

Многочисленные молекулы. Для приближенного расчета, дающего в большинстве случаев достаточную точность, мы можем считать независимыми внутренние степени свободы и общую сумму состояний (ф-ию распределения) определять как произведение ряда отдельных ф-ий распределения.

Ф-ия электронной энергии  $G_e$ , так же как и для двухатомных молекул, для темп-р от 300° К до 5000° К выразится целым числом, указывающим мультиплетность низшего электронного уровня.

Ф-ия спина  $G_s$  м. б. с достаточной точностью выражена ур-ием

$$G_s = (2s_1 + 1)(2s_2 + 1) \dots, \quad (32)$$

где  $s_1, s_2$  — спиновые числа отдельных ядер.

Функция  $Q_v$  колебательных уровней в первом приближении достаточно точно м. б. найдена на основе предположения, что молекула состоит из  $l$  независимых гармоничных осцилляторов. Для каждого из осцилляторов ф-ия распределения определяется согласно ур-ию (21), и общая ф-ия распределения будет равна

$$Q_v = \left[ 1 - \exp\left(-\frac{hc\omega_0^{(1)}}{kT}\right) \right]^{-1} \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{hc\omega_0^{(2)}}{kT}\right) \right]^{-1}; \quad (33)$$

здесь  $\omega_0^{(1)}, \omega_0^{(2)}$  — характеристич. частоты различных колебаний молекулы. Число колебаний молекулы определяется для прямолинейной молекулы ( $\text{CO}_2, \text{N}_2\text{O}, \text{C}_2\text{H}_2$ ) как

$$l = 3n - 5, \quad (34)$$

а для молекул более сложной формы — как

$$l = 3n - 6, \quad (35)$$

где  $n$  — число атомов в молекуле. Для молекул, в которых различные части могут совершать свободные вращательные движения ( $\text{C}_2\text{H}_6$  и др.), число колебаний меньше на число типов возможных внутримолекулярных вращений. Более точный подсчет требует учета агармоничности колебаний и взаимного влияния одних колебаний на другие и представляется очень сложной задачей, в каждом отдельном случае являющейся предметом специального исследования.

Функция состояний вращательных уровней  $Q_r$ . Для приближенного расчета можно применить следующие выражения: 1) для линейных молекул ( $\text{C}_2\text{H}_2, \text{C}_2\text{H}_2, \text{H}_2\text{O}_2$  и др.) приближенное выражение, определяющее  $Q_r$ , тождественно таковому для двухатомных молекул:

$$Q_r \cong \frac{8\pi^2 JkT}{h^3 \sigma^*}. \quad (36)$$

2) Молекулы формы простой пирамиды или бипирамиды можно рассматривать как симметричный волчок. Для таких молекул ( $\text{NH}_3, \text{NCl}_3, \text{HCCl}_3$  и др.), обладающих тремя моментами инерции, два из  $n$ -ых равны между собой ( $J_A$ ), справедливо приближенное равенство

$$Q_r \cong \frac{16 \sqrt{2} \pi^2 / s J_A J_B J_C (kT)^{3/2}}{h^3 \sigma^*}. \quad (37)$$

3) Молекулы, обладающие тремя равными моментами инерции (тетраэдрические  $\text{CH}_4, \text{CCl}_4$

и др.), могут рассматриваться как шаровые волчки. Для них приближенно

$$Q_r \cong \frac{16 \sqrt{2} \pi^2 / s J^2 (kT)^{3/2}}{h^3 \sigma^*}. \quad (38)$$

4) Для несимметричных молекул, обладающих тремя неравными моментами инерции,

$$Q_r \cong \frac{16 \sqrt{2} \pi^2 / s J_A J_B J_C (kT)^{3/2}}{h^3 \sigma^*}.$$

5) В случае молекулы типа этана — симметричной бипирамиды, обладающей свободным вращением группы  $\text{CH}_3$  вокруг одной оси симметрии, мы имеем молекулу с четырьмя моментами инерции (попарно равными). Здесь

$$Q_r \cong \frac{64 \pi^2 (kT)^2 J_A \cdot J_B}{h^4 \sigma^*}. \quad (39)$$

В случаях 2, 3, 4, 5 число симметрии  $\sigma^*$  зависит от строения молекулы. Оно определяется числом возможных пространственных совмещений молекулы (в предположении тождественности атомов одного и того же элемента).

Учет взаимного влияния энергетич. уровней друг на друга очень сложен. Современные методы анализа спектров не позволяют его провести однозначно. Более точное решение вопроса о подсчете  $Q_t$  и тем самым термодинамич. ф-ий для многоатомных молекул в настоящее время возможно только для очень незначительного числа примеров ( $\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2$ ). Ниже приведены развернутые приближенные выражения термодинамич. функций для ряда частных примеров. Ф-ии даны для газов в идеальном состоянии (подчиняющихся закону  $pV = nRT$  при  $p = 1 \text{ atm}$ ).

Одноатомные газы:

$$\Phi' = -\frac{Z - E_0}{T} = \frac{5}{2} R \ln T + \frac{3}{2} R \ln M + R \ln G_e \cdot G_s - 7,267,$$

$$S = \frac{5}{2} R \ln T + \frac{3}{2} R \ln M + R \ln G_e G_s - 2,999 + RT \frac{d \ln G_e}{dT},$$

$$H = E_0 + \frac{5}{2} RT + RT^2 \frac{d \ln G_e}{dT},$$

$$C_p = \frac{5}{2} R - R \frac{d}{dT} \left( \frac{d \ln G_e}{dT} \right).$$

Двухатомные газы и газы с молекулами в форме палочки:

$$\Phi' = \frac{7}{2} R \ln T + \frac{3}{2} R \ln M + R \ln \frac{G_e \cdot G_s J}{\sigma^*} + R \ln Q_v + 168,42,$$

$$S = \frac{7}{2} R \ln T + \frac{3}{2} R \ln M + R \ln \frac{G_e \cdot G_s J}{\sigma^*} + R \ln Q_v + RT \frac{d \ln Q_v \cdot G_e}{dT} + 175,38.$$

Нелинейные молекулы с тремя моментами инерции:

$$\Phi' = 4R \ln T + \frac{3}{2} R \ln M + \frac{1}{2} R \ln J_A \cdot J_B \cdot J_C + R \ln \frac{Q_v \cdot G_e \cdot G_s}{\sigma^*} + 257,40,$$

$$S = 4R \ln T + \frac{3}{2} R \ln M + \frac{1}{2} R \ln J_A \cdot J_B \cdot J_C + R \ln \frac{Q_v \cdot G_e \cdot G_s}{\sigma^*} + RT \frac{d \ln Q_v \cdot G_e}{dT} + 265,35.$$

Молекулы типа этана:

$$\Phi' = \frac{9}{2} R \ln T + \frac{3}{2} R \ln M + R \ln J_A \cdot J_B \cdot Q_v \cdot \frac{G_e \cdot G_s}{\sigma^*} + 346,38,$$

$$S = \Phi' + 8,94 + RT \frac{d \ln Q_v \cdot G_e}{dT}.$$

Приведенные ур-ия позволяют на основании полностью расшифрованных молекулярных спектров



получить достаточно точные данные для энтропий, теплоемкостей и термодинамич. потенциалов. Все величины, полученные этим путем, рассчитываются, как легко видеть, без учета взаимодействия между молекулами. Поэтому найденные величины относятся к идеальному газу, подчиняющемуся закону  $pV = nRT$ . В случае если в условиях, для которых производится расчет, изучаемые газы не подчиняются с желаемой точностью идеальным законам, необходимо ввести поправки на отступление от законов идеальных газов. Эти поправки получают интегрированием термодинамич. ур-ий

$$\left(\frac{\partial C_p}{\partial p}\right)_T = -T \left(\frac{\partial^2 V}{\partial T^2}\right)_p;$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T = v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$$

и

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial p}\right)_T = V$$

по  $p$  от 1 atm до 0, по ур-ю  $pV = RT$  и от 0 до 1 atm по ур-ию состояния соответствующего газа. Обычно с помощью найденных величин  $S$ ,  $\Phi' = -\frac{Z - E_0}{T}$  и  $\Delta H$ , относящихся к газу в идеальном газовом состоянии, рассчитывают значения констант равновесия, а поправки на отклонения от идеальных газов вносят уже при расчете равновесных концентраций.

Лит.: Улик Г., Химическая термодинамика, пер. с нем., Л., 1933; Аллен в севе в Д., Физическая химия, т. 1, Л., 1934; Lewis G. R. and Randall M., Thermodynamics, N. Y., 1923; Parks S., Huffman H., The Free Energies of Some Organic Compounds, N. Y., 1932; Фрост, Расчет равновесий газовых реакций, «Успехи химии», 1933, т. 2, стр. 445—474; Giauque W., «Journal of the American Chemical Society», Wash., 1930, v. 52, p. 4808 (Вычисление свободной энергии из спектроскопических данных); Zeiss H., «Ztschr. für Elektrochemie», Lpz., 1933, v. 39, p. 758—773; «Успехи химии», 1933, т. 2, стр. 885—890 (Спектроскопия и термодинамика); Clusius K., ibid., 1934, V. 40, p. 98—101 (Замечания по поводу реферата Цейзе); Gordon A., Barnes K., Evaluation of the Series which Arise in the Calculation of Thermodynamic Quantities from Spectroscopic Data, «Journ. Chemical Physics», 1933, v. 1, p. 297—307; Villars O., «Chemical Reviews», Baltimore, 1933, v. 11, p. 339—436 (Уровни энергии и статистические веса многоатомных молекул). А. Фрост.

**РАДИОВЕЩАНИЕ, широкое вещание** по радио, одно из практических применений радиотелефонии, имеющее своей задачей передачу широким слоям населения в политических, культурных, развлекательных или рекламных целях всякого рода речевых (лекций, речей, докладов и т. д.) и музыкальных выступлений и исполнений. В отличие от других видов радиотелефонных передач радиовещательная передача должна удовлетворять очень строгим требованиям в отношении натуральности и художественности воспроизведения передаваемого звукового материала. В то же время передаваемое должно отличаться разнообразием по содержанию, форме и характеру, удовлетворяя самым широким вкусам и интересам слушателей. Эти требования наделяют совершенно специфич. чертами не только организацию, но и технику Р., выделяя последнюю в отдельную законченную отрасль радиотехники.

Все передаваемое для Р. как правило исполняется в специальных помещениях, б. ч. находящихся на расстоянии, иногда очень значительном, от передатчика; в такое помещение и выносятся микрофон для восприятия исполняемого. Воспринятое микрофоном передается на передатчик помощью специальных линий. В целях получения большей гибкости в управлении микрофонами, внесенными с их предварительными усилителями в различные помещения, откуда пере-

дается звуковой материал, а также для обеспечения передачи с возможно меньшими искажениями все предназначаемое для передачи в эфир посылается сначала в трансляционный радиовещательный узел. В трансляционном узле сходятся все провода от микрофонов и от передатчиков, обычно нескольких, к-рые он обслуживает; здесь также устанавливаются все аппараты для контроля качества передачи и коррекции искажений, а также усилители, помощью к-рых уровень передачи доводится до величины, необходимой для передачи ее по проводам на радиопередатчик. Трансляционный узел обычно помещается вблизи тех помещений, из которых производятся передачи, т. е. вероятнее всего в черте города; радиопередатчики как правило на несколько десятков километров выносятся за пределы того города, откуда черпается программа Р., и связываются с узлом прямыми проводами—обычно специальными подземными кабелями с хорошей частотной характеристикой. Узел с помещениями, откуда черпается программа, связывается или местными частными линиями или через городскую телефонную сеть. Это — принцип организации Р. городского масштаба. Однако этим дело не ограничивается; в настоящее время Р. организуется в общегосударственном масштабе. Для этого все городские радиовещательные узлы связываются между собой с помощью междугородных линий. Это позволяет передавать одну и ту же программу сразу несколькими радиопередатчиками, находящимися в различных частях государства, или даже всей государственной сетью радиовещательных передатчиков.

Современное Р. не ограничивается передачей программ только из общественных помещений и мест (зал, театров, площадей и т. д.), но и организует передачи из специальных помещений, соответствующим образом обработанных акустически — радиостудий. Объясняется это тем, что при передаче из общественных мест, наполненных публикой с неизбежными посторонними шумами и звуками, и при невозможности осуществить необходимое расположение микрофонов для хорошего восприятия звукового материала нельзя качество передачи довести до желаемого высокого уровня, требуемого слушателями. По этой причине большая часть радиовещательных передач совершается обычно из студий. В больших культурных центрах со значительным количеством радиопередатчиков, к-рые должны обслуживаться многими студиями, трансляционный узел вместе со всей своей многочисленной аппаратурой и студиями сосредоточивается в одном пункте в специально построенных для этого зданиях — радиодомах. Такие радиодома, представляющие собой технически сложные сооружения, построены в Нью Йорке, Лондоне и Берлине. Радиодом в настоящее время строится в СССР, в Москве. Вся совокупность приборов, необходимых для Р., а также оборудование специальных помещений, в к-рых эти приборы работают, составляет предмет изучения техники Р.

В настоящее время Р. заняло прочное место в быту и общественной жизни современного населения земного шара. Оно играет очень важную политическую и культурно-просветительную роль в жизни государств. Р. впервые возникло в США в 1920—21 гг. Здесь к настоящему времени оно получило и наибольший размах в количественном отношении. В СССР Р. начало развиваться в крупных темпах с 1924 г., когда был опубликован декрет о приемных радиостанциях частного пользования. В настоящее время Р. охва-

чена подавляюще большая часть государств земного шара, однако наибольшая уплотненность эфира радиовещательными станциями достигнута в Европе и Сев. Америке, где полностью исчерпаны возможности в количественном росте радиовещательных станций и где ведется уже ожесточенная борьба между государствами за каждую волну для радиовещательных передатчиков. В других частях света Р. далеко еще не исчерпало всех своих возможностей. Почти во всех государствах Р. в виду его чрезвычайно важного политич. значения находится под контролем правительства; для максимального использования возможностей Р. созданы специальные радиоорганизации государственного значения. В СССР организацией Р. ведает Всесоюзный комитет по радиификации и радиовещанию (ВРК), созданный согласно постановлению Совнаркома СССР от 31 января 1933 г. о выделении функций Р. из системы Наркомсвязи. В настоящее время ВРК имеет обширное хозяйство, состоящее из 68 радиокомитетов на местах, большой сети уполномоченных по вещанию на радиоузел; общий бюджет ВРК на 1934 г. составлял ок. 100 млн. руб. В США Р. находится в руках специально созданных частных компаний, из к-рых наиболее мощные — Национальная радиовещательная компания и Колумбийская радиовещательная компания. Первая владеет 88 станциями (по мощности 61%), вторая — 92 (по мощности 26,5%). В капиталистич. странах Р. под маркой рааवलательных и веселачих передач обслуживает преимущественно интересы буржуазии. Это с особенной резкостью проглядывает именно в Р. США. В СССР оно построено т. о., что обслуживает интересы широких слоев трудящегося населения и выполняет очень важную задачу по повышению общего культурного уровня населения. По идеологии, выдержанности, разнообразности и художественности программ наше Р. несомненно интереснее, чем Р. капиталистич. стран.

**Техника Р.** Диапазон волн. Для Р. предоставлен диапазон волн от 200 до 600 (550) м, не используемый ни для каких других целей. В Европе кроме того для Р. использован участок диапазона от 1 000 до 2 000 м. В СССР в виду его колоссальных территорий и необходимости иметь большее количество передатчиков в Европейской его части, чем это возможно по международным соглашениям, для Р. использован участок диапазона и между 600 и 1 000 м. Число радиостанций, к-рые могут одновременно работать без взаимных помех и при требующемся для Р. качестве передачи в предоставляемых для Р. диапазонах, в общем невелико. При принятой международными соглашениями норме для разницы в частоте между радиопередатчиками на смежных каналах в 9 кГц в диапазоне от 200 до 600 м могут работать одновременно не больше 112 передатчиков, в диапазоне 1 000—2 000 м — не больше 16. Этого количества передатчиков для Европы с ее большим числом государств и больших культурных центров оказывается крайне мало. Такое же положение имеет место и в Америке в ее еще более узком диапазоне 200—550 м. В длинноволновой части диапазона в Европе сейчас уже работает 23 передатчика большой мощности и в средневолновом ок. 180 передатчиков. Уже это количество радиопередатчиков, далеко выходящее за нормы, создает в эфире очень сильные непроизвольные взаимные помехи приему радиовещательных станций, значительно снижая достоинства радио.

В Америке работает 180 радиовещательных передатчиков, т. е. имеет место еще большее переуплотнение эфира.

Большое значение в распределении волн радиовещательных передатчиков имеет качество радиоприемников [в особенности *избирательность* (см.)], используемых для Р. Так как качество приемников пропорционально их стоимости, то в этом вопросе, исходя из интересов широких масс населения, можно базироваться лишь на приемниках среднего качества. Приемники этого вида диктуют следующие принципы в распределении волн: 1) радиостанции, работающие на смежных волнах (каналах) при разнице в частоте 9 кГц, должны располагаться на очень значительных расстояниях друг от друга для избежания интерференционных взаимных помех (с частотой 9 кГц); 2) радиостанции, располагаемые в одном пункте, должны отличаться по частоте по крайней мере ок. 50 кГц (на 5 каналов). Однако это правило при существующем распределении волн выполнено не полностью, почему существует несколько участков в диапазоне, где интерференционные помехи дают себя знать весьма резко. При капиталистической хозяйственной органи-



Фиг. 1.

зации государств с их взаимно исключающими устремлениями этот вопрос вряд ли вообще удастся решить исчерпывающим образом.

Работа на одной волне. Желание увеличить число радиостанций, работающих в одном пункте, а также перекрывать надежным приемом возможно большие площади привело к изысканию методов одновременной работы нескольких радиостанций на одной волне, передающих одну и ту же или разные программы. Наблюдения над приемом двух радиостанций, работающих на одной волне, позволили установить, что качество приема получается хорошим только тогда, когда поле от одной станции значительно превышает поле другой, причем качество приема сохраняется при тем меньшем соотношении полей, чем меньше разность частот обоих передатчиков. На фиг. 1 ( $E_1 : E_2$  — отношение напряженностей поля передатчиков, работающих на одной волне) показана эта зависимость для речи и музыки. Из кривой видно, что для обеспечения приема с минимальными искажениями необходимо, чтобы частота передатчика была очень точно синхронизирована с точностью до 10 Нз. Такой точности синхронизации достигаются 2 способами: 1) посылкой на оба передатчика контрольной частоты из центра, которая после умножения используется на передатчике для получения несущей частоты, или 2) возбуждением несущей частоты от независимых стабилизированных изохронных генераторов на каждом передатчике. В Англии это достигалось применением камертонов, в Америке — точно подо-

гнанными кварцевыми кристаллами. В средней воне между передатчиками, где напряженности полей от обоих передатчиков приблизительно равны, прием как правило получается неудовлетворительным. Результаты экспериментальных обследований показывают, что при этом имеют место различные виды помех приему. При наличии уровня шумов, сопровождающих прием, дает себя знать т. н. ф л о т т е р а ф ф е к т — периодич. усиление и ослабление шумов при изменении фазы несущих частот. При полном отсутствии шумов появляется неприятная помеха от смещения боковых частот (см.). Качество приема ухудшается при увеличении глубины модуляции на кандалом и передатчиков и фазового угла между боковыми частотами. Эти искажения при неравенстве расстояний до передатчиков зависят от частоты. Искажения этого вида м. б. уменьшены, если модуляция несущей частоты производится еще в центре или ввуковая частота к обоим передатчикам подводится по линиям одинаковой длины. При разнице между частотами двух передатчиков больше 50 Hz на приеме прослушивается частота биения несущих частот передатчиков. В этом случае прием без помех м. б. обеспечен при отношении напряженностей поля 500 : 4, что влечет за собой необходимость удалять передатчики на очень значительное расстояние друг от друга (несколько тыс. км), чтобы площади, покрываемые ими, не были уменьшены интерференционными помехами. Т. о. работа на одной волне к большим возможностям не приводит, точно так же не удается эти возможности расширить усовершенствованиями радиоприемников. Современные супергетеродины (см. *Супергетеродинный прием*), в том числе *стенд-радиостат* (см.), позволяя несколько понизить взаимные помехи между радиостанциями, работающими на смежных волнах при стандартной разнице 9 kHz, не дают однако никакой возможности сблизить смежные волны без ущерба для качества приема.

**Контроль волн.** При разнице в частоте 9 kHz между смежными радиостанциями чрезвычайно важное значение играет точное поддержание (в пределах 10%) передатчиками отведенных им волн, иначе помехи очень сильно возрастут. Для контроля за постоянством волн, излучаемых радиовещательными передатчиками, создана в Брюсселе Международная приемная станция по контролю волн, к-рая с точностью до 10—4 а в последнее время до 10—8 может определить длины волн, излучаемых радиопередатчиками, графически фиксируя точность волны со временем (см. *Стабилизация частоты*). Аналогичная станция создана в СССР в 100 км от Москвы в Можайске для контроля за волнами советских радиопередатчиков.

**Нормы хорошего приема при Р.** Надежность радиовещательного приема в сильной степени зависит от места, где прием производится. Совершенно надежный и чистый прием в городе, протекающий в условиях сильных помех от всякого рода электрич. цепей, возможен лишь при силе поля 10 мВ/м или больше. Прием вне города в сельских местностях при отсутствии помех от электрич. сетей возможен при напряженности поля 200 мВ/м, а иногда и меньше. Амер. авторы (Гольдсмит и др.) дают еще более высокие нормы для надежного приема, полагая его равным 20—100 мВ/м для города и от 4 до 10 мВ/м для сельских местностей. Дальность действия радиовещательной станции, определяемые для таких полей, получаются конечно значи-

тельно меньшими, чем для коммерческих радиотелефонных станций с выделенными приемными

Табл. 1. — Основные радиовещательные станции Европы мощностью в антенне не менее 20 kW (по данным за ноябрь 1935 г.)

Место станции	Страна	Частота в kHz	Длина волны в м	Мощность в kW
Бразов . . . . .	Румыния	180	1 675	150
Кютиунг . . . . .	Голландия	180	1 675	150
Лакси . . . . .	Финляндия	186	1 607	150
Москва (Ногинск) Коминтерна				
РВ-1 . . . . .	СССР	174	1 724	500
Париж . . . . .	Франция	182	1 648	150
Верлин (Цееве) . . . . .	Германия	191	1 571	150
Дройтшч . . . . .	Англия	200	1 500	150
Минск (РВ-10) . . . . .	СССР	208	1 442	15
Мотала . . . . .	Швеция	216	1 389	150
Варосибирск (РВ-76) . . . . .	СССР	217,5	1 370	100
Варшава (РВ-11) . . . . .	Польша	224	1 339	120
Люксембург . . . . .	—	230	1 304	150
Харьков (РВ-20) . . . . .	СССР	232	1 293	20
Калундборг . . . . .	Дания	238	1 261	60
Лейпциг (РВ-52, Коплино) . . . . .	СССР	245	1 224	100
Ташкент (РВ-11) . . . . .	СССР	256,4	1 170	25
Осло . . . . .	Норвегия	280	1 153,8	60
Москва II (Ногинск, РЦ-Ж) . . . . .	СССР	271	1 107	100
Тифлис . . . . .	СССР	280	1 071,4	35
Ростов-Дон (РВ-12) . . . . .	СССР	375	845	20
Свердловск (РВ-5) . . . . .	СССР	375	800	50
Москва III (Пельково, РВ-49) ВДСЦ	СССР	401	748	100
Будапешт . . . . .	Венгрия	558	549,5	120
Беромунстер . . . . .	Швейцария	558	539,5	100
Этленд . . . . .	Ирландия	565	531	60
Штутгарт (Мюлакер) . . . . .	Германия	574	522,6	100
Вена (Висамберг) . . . . .	Австрия	592	506,8	100
Флоренция . . . . .	Италия	610	491,8	20
Лиссабон . . . . .	Португалия	629	476,9	20
Тренслаг . . . . .	Норвегия	629	476,9	20
Прага I . . . . .	Чехо-Словакия	638	407,2	120
Лион . . . . .	Франция	648	463	100
Лангенберг (Кель) . . . . .	Германия	658	455,9	100
Слайтсуайт . . . . .	Англия	668	449,1	50
Соттенс . . . . .	Швейцария	677	443,1	25
Париж . . . . .	Франция	695	431,7	120
Стокгольм . . . . .	Швеция	704	426,1	50
Рим . . . . .	Италия	713	420,8	50
Киев . . . . .	СССР	722	415,5	35
Талин . . . . .	Эстония	731	410,4	20
Мюнхен . . . . .	Германия	740	405,4	100
Марсель . . . . .	Франция	749	400,5	80
Фелкири . . . . .	Англия (Шотландия)	767	391,1	50
Тулуза . . . . .	Франция	718	366,6	120
Лейпциг . . . . .	Германия	785	382,2	120
Эгилфорт Кросс . . . . .	Англия	804	373,1	50
Милан I . . . . .	Италия	814	369,9	50
Берлин . . . . .	Германия	841	356,8	120
Собия . . . . .	Болгария	850	352,9	50
Страсбург . . . . .	Франция	859	349,2	100
Ловлон (Брумменс Парк) . . . . .	Англия	877	342,1	50
Гамбург . . . . .	Германия	904	331,9	100
Лимож . . . . .	Франция	913	328,6	120
Тулуза . . . . .	Франция	913	328,6	60
Брно . . . . .	Чехо-Словакия	922	325,4	82
Бреславль . . . . .	Германия	950	315,8	100
Париж . . . . .	Франция	959	312,8	60
Торн . . . . .	Польша	986	304,3	24
Хильверсум . . . . .	Голландия	995	301,5	60
Дройтшч . . . . .	Англия	1 013	296,5	50
Гейдельберг . . . . .	Германия	1 031	291	100
Вена . . . . .	Франция	1 040	289,5	120
Фелкири . . . . .	Англия	1 050	285,7	50
Варн . . . . .	Италия	1 059	283,3	20
Бордо Лафайетт . . . . .	Франция	1 077	278,6	120
Мадона . . . . .	Латвия	1 104	271,7	50
Ловлон (Брумменс Парк) . . . . .	Англия	1 148	261,2	20
Слайтсуайт . . . . .	Англия	1 148	261,2	20
Эгилфорт Кросс . . . . .	Франция	1 185	253,2	60
Вилна . . . . .	Франция	1 213	247,3	60
Ляльв . . . . .	Франция	1 213	247,3	60

станциями, осуществляющих прием при силе поля до  $5-10 \mu\text{V}/\text{м}$  (короткие волны). Конечно прием радиовещательных станций возможен на значительно больших расстояниях, чем это определяется указанными нормами, однако очень часто этот сверхкондиционный прием усугубляет положение с помехами, не обеспечивая в большинстве случаев приема, необходимого для эстетич. слушания программ Р.

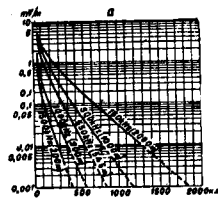
Мощность радиовещательных передатчиков. Для обеспечения хорошего приема, удовлетворяющего указанным выше нормам на возможно больших площадях, при возможности увеличивать число передатчиков мощность радиовещательных передатчиков, увеличивающаяся из года в год, в настоящее время доведена до очень больших величин. Большинство передатчиков крупных культурных центров имеет мощности порядка 100 kW. Наиболее крупные радиовещательные станции Европы и Америки имеют мощность 500 kW. В Европе радиостанция такой мощности имеется лишь в СССР, это — станция имени Коминтерна в Ногинске, близ Москвы, оконченная постройкой в 1933 году, когда она явилась первой радиостанцией этой мощности в мире (см. *Радиовещательная станция*). В последние годы 500-kW радиостанции построены в Америке. В Европе к 1933 г. имелось около 200 радиовещательных станций с общей мощностью 5 000 kW при средней мощности ок. 20 kW. В настоящее время эти цифры значительно возросли. По суммарной мощности радиостанций в Европе на первом месте — СССР, имеющий в настоящее время 65 радиостанций с общей мощностью 1 500 kW. В США на 1 июля 1934 г. было 180 радиовещательных станций с общей мощностью 2 126 kW при средней мощности станций ок. 11,5 kW. В табл. 1 приведен список наиболее мощных радиовещательных станций Европы, хорошо слышимых в Европейской части Союза, а в табл. 2 — список важнейших коротковолновых радиостанций.

Распространение радиовещательных волн. Надежный прием с силой поля в несколько  $\text{mV}/\text{м}$  обеспечивается обычно поверхностной волной излучения, т. е. волной, идущей вдоль земной поверхности. Напряженность поля для этого м. б. определена из ур-ния

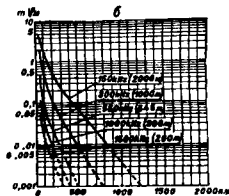
$$E = 300 \frac{\sqrt{P_x}}{d} S,$$

где  $E$  — напряженность поля в  $\text{mV}/\text{м}$ ,  $P_x$  —

излучаемая мощность в kW,  $d$  — расстояние от передатчика в км. Коэф. 300 справедлив лишь для антенн, имеющих круговую диаграмму излучения.  $S$  — величина фактора поглощения, зависящая от расстояния, длины волн и свойств почвы. На фиг. 2а и 2б приведены кривые зависи-

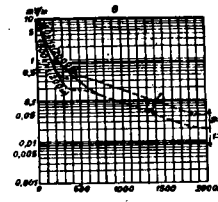


Фиг. 2а.

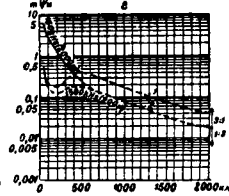


Фиг. 2б.

мости напряженности поля от расстояния для различных длин волн при проводимости  $10-18 \text{ CGS}$  (условия для открытых местностей; для гористых местностей и города проводимость  $10-14 \text{ CGS}$ ). Фиг. 2а относится к ровной местности,



Фиг. 2в.



Фиг. 2г.

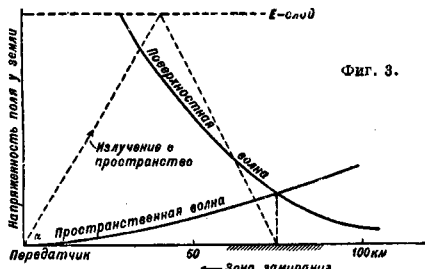
фиг. 2б, 2г — к гористой и к городу. На фиг. 2в и 2г дана та же зависимость для ночного времени:  $\epsilon$  — для моря,  $\epsilon$  — для суши (кривая 1 — максимальная величина, повторяющаяся не более 5% времени всего наблюдения, кривая 2 — средняя величина). На больших расстояниях от передатчика, обычно в зонах, где напряженность поля от поверхностной волны становится ниже норм, прием обуславливается уже не только поверхностной волной, но гл. обр. пространственной волной, возвращающейся к земле благодаря отражению от верхних проводящих слоев

Табл. 2. — Важнейшие коротковолновые радиовещательные станции. \*

Место станции	Страна	Позывные	Длина волны в м	Частота в kHz	Мощность в антенне в kW
Хабаровск	СССР	PB-15	70,2	4 273	20
Москва *		PB-59	50 и 25	6 000 и 12 000	20
Москва		PB-72	45,38	6 610	10
Давентри (имперское вещание)	Англия	G5J, G5H, G5G G5I, G5F, G5E G5D, G5C, G5B	13,98; 13,97; 16,86 19,66; 19,32; 25,29 25,58; 31,32; 31,55	21 530; 21 470; 17 780 15 260; 15 140; 11 880 11 750; 9 580; 9 510	10; 10; 10 10; 10; 15 15; 15; 15
Цесен	Германия	DJE, DJB, DJD DJA, DJN, DJC	16,89; 19,74; 25,49 31,38; 31,45; 49,83	17 760; 15 200; 11 770 9 500; 9 540; 6 020	5; 5; 5 5; 5; 5
Париж, Радио-колонийальная радиостанция	Франция	FYA	25,23; 19,68	11 880; 15 243	10; 10
Вейндховен	Голландия	RNI	25,57	11 730	23
Рим	Италия	RHO	25,4; 30,67; 49,3	11 810; 9 780; 6 085	9; 20; 20
Сквенетеди		W2XAP	31,48	9 580	40
		W2XAD	19,56	15 330	20
Питтсбург	США	W8XK	48,86; 25,27; 19,72; 13,93	6 140; 11 870; 15 210; 21 540	40; 40; 40

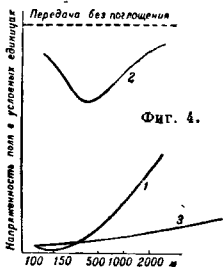
\* Во всем мире насчитывается ок. 120 коротковолновых радиовещательных передатчиков в диапазоне 13,92—84,67 м.

атмосферы (Е-слоя, фиг. 3). Однако волны радиовещательного диапазона отражаются не обычным диэлектрич. способом, как это бывает при длинных волнах, а по принципу постепенного отражения, благодаря чему отражение сопровождается большими потерями энергии, причем коэф. отражения сильно уменьшается с уменьшением волны. Далее на волнах радиовещательного диа-

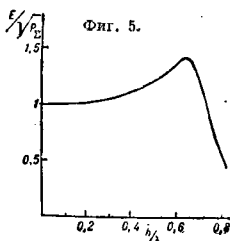


Фиг. 3.

пазона поглощение тем больше, чем ниже высота отражающих слоев. Ночью, когда высота этих слоев выше, поглощение заметно уменьшается (до 100 раз). Это приводит к значительной разнице в напряженности поля, получающейся на больших расстояниях днем и ночью, причем эта разница тем больше, чем короче волна. На фиг. 4 показана зависимость напряженности поля (в условных величинах, ордината логарифмическая) от длины волны для дневной (кривая 1) и ночной (кривая 2) передач (кривая 3 — поверхностная волна). Из кривых видно, что в диапазоне 1 000—2 000 м относительная разница между дневной и ночной силой приема значительно меньше. Радиовещательные станции, работающие на этих волнах, дают удовлетворительный прием на больших расстояниях и днем при благоприятных атмосферных условиях. Волны же 200—600 м дальний прием дают только ночью.



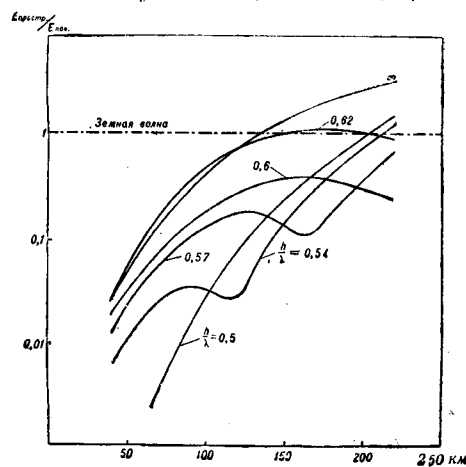
Фиг. 4.



Фиг. 5.

котором прием свободен от замираний, т. е. в котором сила поля поверхностной волны больше, чем пространственной. Т. к. поле поверхностной волны убывает с расстоянием тем быстрее, чем короче волна, то дальность этих последних до зоны, в к-рой начинают проявлять себя замирания, значительно меньше, чем при более длинных волнах радиовещательного диапазона (1 000—2 000 м), причем эта дальность не м. б. сколь угодно значительно увеличена повышением мощности передатчика. Так напр., если для волны 2 000 м при мощности передатчика 1 kW дальность приема без замирания (при высоте отражающего слоя 100 км) 225 км, то для волны 300 м того же передатчика это расстояние равно лишь 85 км.

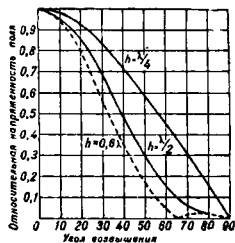
Антенны с горизонтальными излучением. Желание повысить дальности надежного приема на более коротких волнах, представляющих особенно важное значение для Р., привело к изучению специальных антенн, появ-



Фиг. 6.

ляющих иметь пониженное излучение вверх и повышенное в горизонтальной плоскости. До самых последних лет для повышения общего излучения обычно работали на антеннах, настроенных на волны выше собственной волны антенны. Однако, как показало изучение вопроса, наибольшее излучение в горизонтальной плоскости получается при настройке антенны на волны короче основной. На фиг. 5 показана зависимость отношения  $E/\sqrt{P}$  от отношения  $h/\lambda$ , где  $h$  — высота антенны, а  $\lambda$  — длина излучаемой волны. Максимум получается при  $h/\lambda = 0,625$ . Однако только увеличение энергии поверхностной волны еще не ведет к увеличению дальности надежного приема, особенно при передатчике больших мощностей. Гораздо более важное значение играет уменьшение энергии, излучаемой в пространственной волне. На фиг. 6 показана зависимость отношения пространственной волны к поверхностной  $\frac{E_{\text{прост. вол.}}}{E_{\text{поверх. вол.}}}$  от расстояния для волны 300 м (при  $\gamma = 10^{-18}$ ) и мощности передатчика в 1 kW. Из фиг. 6 видно, что для получения максимума  $\frac{E_{\text{прост. вол.}}}{E_{\text{поверх. вол.}}}$  оптимальное отношение  $h/\lambda$  должно равняться  $\sim 0,5$ .

Величина наиболее выгоднейшего  $h/\lambda$  зависит от проводимости почвы и частоты, увеличиваясь с увеличением первой и уменьшением второй в пределах от 0,5 до 0,6. Характер перераспределения излучения в таких антеннах показан на фиг. 7, где приведены кривые излучения в вертикальной плоскости для антенны с высотой  $h$ , равной  $1/2\lambda$  и  $0,6\lambda$ , а также для сравнения  $h = 1/4\lambda$ , т. е. обычной. Кривые сплошные даны для идеальной земли ( $\gamma = \infty$ ), пунктирная для антенны с  $h = 0,6\lambda$  при проводимости земли  $\gamma = 10^{-18}$ . Эти антенны значительно повышают площади, обслуживаемые ими. При этих антеннах коэф. в ф-ле для напряженности поля увеличивается с 300 до 384, что приводит к увеличению площади обслуживания до 150% по сравнению с антенной, имеющей диаграмму вертикального излучения в виде круга. Высокие вертикальные антенны к настоящему времени нашли широкое распространение как в Европе, так и в Америке, причем им придают всевозможные структуры. В Америке широко применяется система решетчатой мачты в качестве антенны. Кроме описанных антенн для той же цели разработан и целый ряд других антенн, в к-рых для уменьшения излучения вверх применяются вспомогательные компенсационные антенны, излучающие вверх в противоположной фазе относительно главной антенны. Существует 2 вида этих вспомогательных антенн: 1) кольцевая, располагаемая на высоте

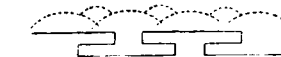


Фиг. 7.

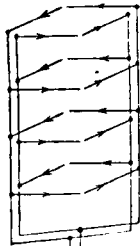
располагаемая на высоте главной антенны по окружности относительно оси последней как вертикальной оси, и 2) цилиндрическая с рядом вертикальных антенн, располагаемых по окружности вокруг основной антенны. Наконец существует антенна, состоящая из вертикального провода, служащего как для компенсационного излучения, так и основного полу-волнового. Компенсационное излучение имеет распределение тока по проводу с узлом в середине. Компенсационное излучение, складываясь с основным, дает результирующее распределение тока с узлом на незначительном расстоянии от земли. Примером такой антенны служит антенна, установленная на германской радиостанции в Бреслау, работающей на волне 312 м. В Бреслау применена деревянная мачта высотой 140 м ( $\lambda = 0,43 h$ ), в середине к-рой и подвешен вертикальный провод антенны. Для уменьшения высоты мачты антенна наверху оканчивается бронзовым кольцом  $\varnothing 106$  м. Это кольцо позволило уменьшить высоту мачты на 40 м ( $1/4\lambda$ ). Узел тока имеется на высоте 19 м, пучность — на высоте 100 м. Все излучение этой антенны практически сконцентрировано в угле от 0 до  $65^\circ$  над горизонтом. В последние годы в Р. нашли применение и направленные антенны; обычно последние состоят из 2 или 3 вертикальных антенн полуволнового вида, обеспечивающих максимальное излучение в одном или двух желаемых направлениях и ослабление в других.

Короткие волны в Р. В целях расширения возможностей Р. помимо диапазона волн 200—2 000 м для радиовещательных целей начинают широко использоваться также и короткие волны в пределах примерно 15—60 м, а также ультракороткие волны от 5 до 9 м. Коротковол-

новые радиовещательные станции предназначаются гл. обр. для передачи радиовещательных программ на очень далекие расстояния, т. е. для организации мирового Р. В настоящее время имеется уже значительное количество радиовещательных радиопередатчиков на коротких волнах. Наиболее замечательные результаты в коротковолновом Р. достигнуты от коротковолновых радиовещательных станций, использующих направленные антенны для повышения общего эффекта на приеме. В Англии в Давентри в 1932 г. и в Германии в Цеэене в 1934 г. окончены построкой узловые коротковолновые радиовещательные станции с несколькими передатчиками и направленными лучевыми антеннами. Длины рабочих волн, их число, а также количество направленных антенн и их вид на этих радиостанциях выбраны с таким расчетом, чтобы они могли обеспечить оптимальные условия приема во всех намеченных зонах, причем в вечернее время для той зоны, в к-рой прием будет производиться. В Давентри для реализации этих условий в 5 зонах, представляющих собой территории отдаленных английских колоний, взяты 8 волн и столько же лучевых антенн и 5 передатчиков. В Цеэене для обслуживания 4 намеченных зон выбраны 5 волн и установлены 8 лучевых антенн с различной направленностью. Все 4 зоны обслуживаются только двумя



Фиг. 8.



Фиг. 9.

рестраиваемыми и приключаемыми к различным антеннам в определенной, заранее выбранной последовательности. В дальнейшем нужно ожидать значительного количественного развития этого вида радиовещательных станций. При циркулярной, ненаправленной передаче радиовещательных программ на коротких волнах для улучшения приема на далеких расстояниях применяют антенны, дающие максимальное излучение в вертикальной плоскости под углом  $10^\circ$  к земле, т. е. излучение, прижатое к земле. Прижатое к земле излучение обеспечивают многоэтажные антенны, т. е. несколько элементарных антенн — диполей, расположенные одна над другой. В Англии для этих целей применяют вертикальные антенны с обходным проводом по системе Франклина (фиг. 8), обслуживающие по всей своей длине равномерное распределение тока. В Германии в Цеэене применены горизонтальные антенны, расположенные одна над другой (фиг. 9). В каждом этаже применено по 2 антенны, расположенные квадратом и питаемые таким образом, что токи во всех отдельных проводах антенн в этом квадрате направлены в одну сторону. Эта антенна дает почти круговую горизонтальную характеристику направленности с концентрацией максимумом излучаемой энергии в вертикальной плоскости под углом  $10^\circ$ .

Р. на ультракоротких волнах и радиовещательная телевизиония. Ультракороткие волны (УКВ) предназначаются гл. обр. для подвижной репортажной службы местного значения, для организации местного высококачественного по передаче Р. с полосой

пропускаемых частот до 40 kHz и телевизионных радиовещательных передач, требующих очень широких частотных полос до 1 000 kHz (см. *Ультракороткие волны*). Для организации регу-



Фиг. 10.

лярных телевизионных передач УКВ особенно целесообразно, потому что они, давая возможность использовать для приема широкие частотные полосы, ограничивают прием только поверхностной волной, следовательно не обнаруживают мертвых зон, зон замираний и каких-либо изменений в распространении в различное время суток и года. Экспериментально установлено, что сила поля, даваемая передатчиками УКВ, м. б. с хорошей точностью рассчитана по ф-ле

$$E = 9,5 \frac{\sqrt{P}}{r} e^{-\frac{ad}{\lambda r}},$$

где  $E$  — напряженность поля в В/м,  $P$  — мощность передатчика в Вт,  $r$  — расстояние по прямой в м, определяемой высотой передатчика  $h_S$  ( $r = 3,56 \sqrt{h_S}$ ),  $\frac{a}{\lambda r}$  — затухание волны на 1 км за пределами прямой видимости. Обозначения для  $r$  и  $d$  ясны из фиг. 10:

$$d = r - (r_S + r_E),$$

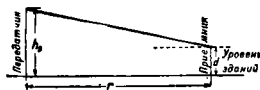
где

$$r_S = 3,56 \sqrt{h_S} \quad \text{и} \quad r_E = 3,6 \sqrt{h_E}.$$

Величина затухания УКВ за пределами прямой видимости при ровной местности, как установлено экспериментально, равна 0,1. УКВ дают хороший прием при использовании их для Р. в городе. Для городских условий поле может быть рассчитано по более простой ф-ле

$$E = 9,5 \frac{\sqrt{P}}{r} e^{-ad}.$$

Смысл обозначений, принятых в этой ф-ле, ясен из фиг. 11. Величина затухания, обуславливаемая здесь окружающими место приема зданиями, как установлено опытами, находится в пределах 0,01 ÷ 0,09. Опыт также показывает, что хороший для радиовещательных целей прием при УКВ обеспечивается уже полем 1 мВ/м как в черте города, так и за городом, причем удовлетворительный прием м. б.

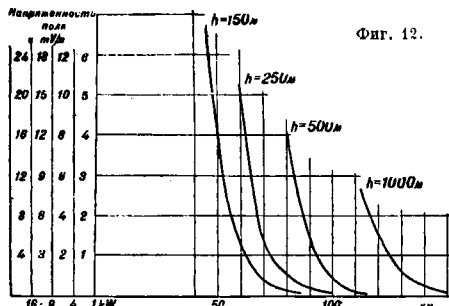


Фиг. 11.

получен и при более низких полях до 200 мВ/м. Городские электрич. помехи на прием УКВ оказывают совершенно ничтожное влияние. Помехи лишь обнаруживаются со стороны автомоторов на расстоянии от 15 до 25 м. Сила поля на приеме зависит в сильной степени от высоты расположения передатчика. На фиг. 12 показаны кривые силы поля в зависимости от расстояния для мощностей передатчиков в 1, 4, 9 и 16 kW при различных высотах  $h$  расположения передатчиков над землей. Также большое значение имеет и высота приемника над землей. На фиг. 13 показан характер увеличения поля с высотой для волн а) больше 200 м и б) меньше 10 м. В настоящее время в ряде стран приступлено к проектированию сети радиовещательных УКВ передатчиков. В Англии для этих целей предполагается установка большого количества передатчиков (до 100) мощностью 0,5—7 kW. В Германии по данным Министерства почт и телеграфов предполагается для перекрытия всей германской территории уста-

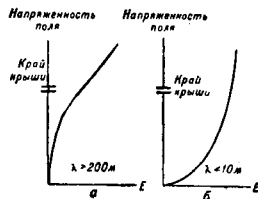
новить 21 передатчик мощностью от 2 до 20 kW при высоте их расположения от 500 до 1 500 — 2 500 м, пользуясь высокими местными точками.

Имеется большое количество предполагаемых вариантов организации передачу озвученного телевидения. Наибольшим признанием пользуется вариант с распределением частот, показанным на фиг. 14. По этому варианту предполагается установка двух передатчиков, несущие частоты которых отличаются на 1 800 kHz. Один передатчик для передачи звукового материала с полосой 50 kHz,



Фиг. 12.

другой для изображения с частотной полосой 1 000 kHz. Прием осуществляется с одной антенны на супергетеродин. Частота общего гетеродина создает 2 промежуточные частоты (1 200 и 600 kHz) для приема отдельно звука и изображения. Следовательно общий канал занимает всего 2 400 kHz. Только в диапазоне 5—10 м можно в одном месте расположить 12 телевизионных передатчиков с такой широкой полосой;



Фиг. 13.

так как для УКВ характерно резкое уменьшение поля, то возможность взаимных помех за пределами слышимости в данном месте также резко уменьшается. В каждом городе, удаленном на определенное расстояние (очень небольшое), могут работать передатчики на одних и тех же волнах, не оказывая взаимных помех. Этим возможностей нельзя реализовать ни в каком другом диапазоне, используемом радио, ни в проволоке. В этом — большое значение УКВ для будущего развития Р.



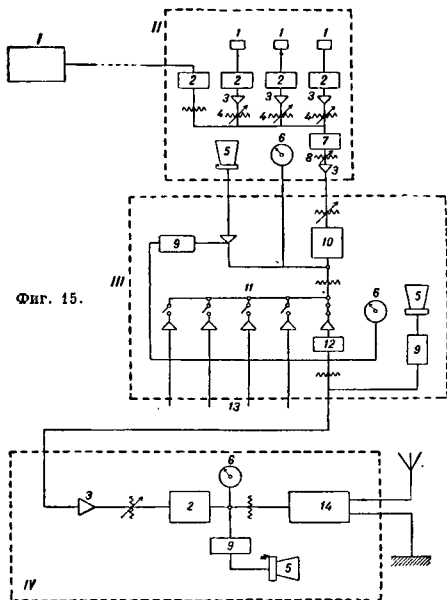
Фиг. 14.

Прием осуществляется с одной антенны на супергетеродин. Частота общего гетеродина создает 2 промежуточные частоты (1 200 и 600 kHz) для приема отдельно звука и изображения. Следовательно общий канал занимает всего 2 400 kHz.

Только в диапазоне 5—10 м можно в одном месте расположить 12 телевизионных передатчиков с такой широкой полосой; так как для УКВ характерно резкое уменьшение поля, то возможность взаимных помех за пределами слышимости в данном месте также резко уменьшается. В каждом городе, удаленном на определенное расстояние (очень небольшое), могут работать передатчики на одних и тех же волнах, не оказывая взаимных помех. Этим возможностей нельзя реализовать ни в каком другом диапазоне, используемом радио, ни в проволоке. В этом — большое значение УКВ для будущего развития Р.

**Передающая Р. система** охватывает всю аппаратуру от микрофона до антенны передатчика. Примерная схема передающей системы в том виде, в каком она обычно организуется в большом радиодетентре для одной линии Р. и одной студии, показана на фиг. 15, где I—общественное помещение, передающее программу, II—студия, III—центральный радиопузел, IV—местный радиопузел; I—микрофон, 2—усилитель, 3—реле, 4—коррекция микрофона, 5—контрольный репродуктор, 6—индикатор громкости, 7—главный студийный усилитель, 8—компенсатор микрофонного тока, 9—кенотронный усилитель,

10—главный усилитель, 11—коммутатор программ, 12—линейный усилитель, 13—линии междугородные и местные, 14—радиопередатчик. Основные элементы этой системы следующие: 1) Микрофон. 2) Студия и находящаяся в ней аппарата: а) предварительный усилитель к микрофону, б) студийный основной усилитель, в) аппарат для контроля качества передачи, г) индикатор громкости на выходе из студии. 3) Трансляционный узел: а) главный усилитель, б) коммутационное устройство, в) аппараты для контроля передачи, г) усилитель для передач, идущих с линий, д) индикатор громкости на выходе из центра. 4) Линии: а) соединяющие узел с передатчиками, б) узел с залами и другими местами, откуда черпается передача, в) с междугородной станцией. 5) Радиопередатчик: а) апа-



Фиг. 15.

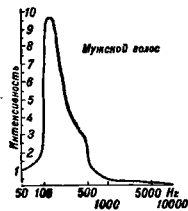
раты для контроля передачи, б) усилитель, в) индикатор громкости, г) передатчик, д) антенна. Вся эта аппаратура кроме специальных требований, предъявляемых к каждому из ее звеньев в отдельности, должна воспроизводить и передавать звуковой материал, подводимый к ней в том или ином виде, с минимумом всякого рода искажений—амплитудных, частотных, фазовых,—не должна вводить посторонних звуков и шумов.

Звуковой материал, передаваемый в порядке Р., очень сложен по своему характеру. На фиг. 16 показана диаграмма полосы частот, требуемой для передачи голоса и музыки без частотных искажений: для речи эта полоса — в среднем от 30 до 12 000, для музыки — от 30 до 16 000 Гц. Однако переуплотненный эфир не позволяет полностью передавать эти полосы; желательно ограничение верхнего предела звуковых слагаемых частот передач. Для передачи речи здесь имеются большие возможности, чем для музыки. На той же фиг. 16 показаны цифры процента разборчивости речи при срезывании верхних участков звуковых частот. Как

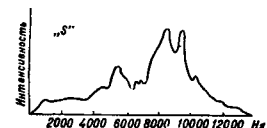
это видно из фиг. 16, разборчивость понижается очень незначительно (на 8%), если верхним пределом звуковых частот, пропускаемых аппаратурой, будет установлена частота 5 000 Гц.



Из фиг. 17, где даны спектры частот мужской речи, и фиг. 18, где приведен спектр буквы S, можно видеть, что разборчивость уменьшается за счет ухудшения качества передачи свистящих и шипящих звуков. Качество же музыкальных исполнений значительно снижается при верхнем пределе в 5 000 Гц, ряд музыкальных инструментов при этом почти уже не передается или передается с большими искажениями. Однако эти искажения заметны только для музыкальных лиц. В соответствии с изложенным радиовещательную систему, дающую однообразное воспроизведение в пределах 5 децибел от 50 до 8 000 Гц, считают системой с высоким качеством воспроизведения. Среднее качество характеризуется воспроизведением полосы от 100 до 5 000 Гц в пределах 5 децибел или 50—8 000 Гц при 10 децибелах. Низкое качество — с 200—2 000 Гц в пределах 5 децибел и 100—4 000 Гц в пределах 10 децибел. Современное Р. в большинстве случаев обеспечивает среднее качество воспроизведения, и только в настоящее время ведется работа по доведению качества передачи до высокого уровня.



Фиг. 17.



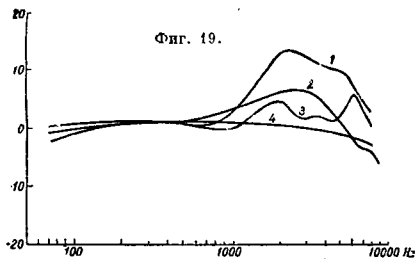
Фиг. 18.

Микрофоны. Основными типами микрофонов (см.), применяемых в Р. в настоящее время, являются: 1) угольные микрофоны, получившие в Европе и в СССР наибольшее распространение, 2) конденсаторные микрофоны, 3) с подвижной катушкой (динамические), 4) ленточные, или скоростные, и 5) кристаллические. Первые 3 вида микрофонов применяются в Р. уже давно, два последних появились в самое последнее время. В ленточном микрофоне в качестве мембраны применена очень тонкая дюралюминиевая лента, подвешенная ребром в поле постоянного магнита. В кристаллическом микрофоне использован пьезоэлектрический эффект сегнетовой (рошелевой) соли (см. Микрофон). На фиг. 19 показаны кривые воспроизведения лучших америк. микрофонов этого вида. Ординаты на фиг. 19 дают волновую восприимчивость — напряжение, даваемое микрофоном при работе от одной единицы акустич. давления в плоскости свободно поступательной волны (значения кривых на фиг. 19: 1 — угольный микрофон Вестерн, тип 387, 2 — конденсаторный RCA-Victor, тип 4А, 3 — с подвижной катушкой 618А, 4 — ленточный 44А). Наиболее удовлетворительные кривые обеспечивают два последних типа микрофона. Кристаллический микрофон совершенно не обладает направленными свойствами, что при



неких передачах играет очень важную роль. В Америке (данные середины 1933 г.) в студиях наибольшее распространение имеет конденсаторный микрофон (в 60% случаев), далее угольный (в 27%), ленточный (в 13%). По всей сети радиовещательных станций находят применение угольные микрофоны — 41%, конденсаторные — 64%, динамические — 16% и ленточные — 9%. В СССР наибольшее распространение пока имеет угольный микрофон.

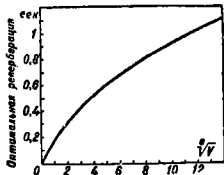
Студийная техника. Опыт показывает, что качество воспроизведения микрофонов в очень сильной степени связано с акустик. свойствами помещения, в котором происходят передачи, — с пространственной акустикой. Положение осложняется тем, что при передаче в том виде, в каком она сейчас осуществляется в Р., совершенно выпадает бинауральный эффект, имеющий место при непосредственном восприятии слушателем исполняемого, т. е. восприятии исполняемого одним звукоприемником, а не двумя (уши человека). Благодаря этому слушатель теряет звуковую перспективу, не ощущает



пространственной протяженности. При восприятии же звукового материала из помещений, наполненных публикой, отсутствует психологическая отстройка от посторонних шумов и звуков, обычно имеющая место у каждого человека при непосредственном нахождении в зале и выражающаяся в том, что человек может сосредоточить все свое внимание только на исполняемом. В свете сказанного чрезвычайно роль даже при пользовании самыми хорошими микрофонами играет правильное их расположение в студии или зале и применение их достаточного количества для восприятия всего комплекса звуков, исходящих из разнообразных источников, находящихся в разных точках, и невосприятия всего постороннего. Изучение правильного расположения микрофонов относительно источников звука, распределения источников звука, если это возможно, акустических свойств студий, включая распределение поглощающих материалов для получения определенной величины реверберации и подбора нужного соотношения между временем реверберации и частотой и т. д., составляет предмет студийной техники. Существует два различных вида восприятия звуков микрофоном в студии: 1) прямое восприятие при малых расстояниях между микрофоном и источником звука и 2) реверберационное восприятие, когда прямой звук мал по сравнению со звуком, отраженным от стен. Прямое восприятие имеет место при сольных выступлениях, а также выступлениях небольших групп исполнителей; реверберационное восприятие — при оркестровых исполнениях больших ансамблей, органа, хора и т. д. Хотя статистика и показывает, что на прямое восприятие приходится большое число

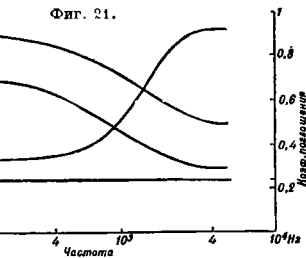
часов радиовещательных передач (по америк. данным до 65%), наибольшее значение имеет в Р. реверберационное восприятие. Техника последнего значительно сложнее, чем прямого восприятия. В студиях в отличие от пространств, не ограниченных стенами, звуковая энергия заполняет помещение не сразу, а в течение некоторого времени, точно так же звучание не сразу прекращается по исчезновении звука. Явные остаточного звучания, действующего после прекращения звука в закрытых помещениях, носит название реверберации (см. *Звук, Строительная акустика*). Величина реверберации является основным фактором в оценке акустич. свойств студии и зала; она определяется

из ур-ия  $R = 0,164 \frac{V}{aS}$ , где  $R$  — реверберация в ск. (затухание звука до  $10^{-6}$  первоначальной величины),  $a$  — поглощение на  $1 \text{ м}^2$ ,  $S$  — площадь ограничивающих поверхностей помещения и  $V$  — объем помещения. Для каждого помещения величина реверберации д. б. правильно подобрана. Оптимальная реверберация дает впечатление полноты звучности, малая делает звук глухим и пустым, большая дает гулкость. Величина оптимальной реверберации каждого помещения зависит от объема помещения, от мощности и характера исполнения. На фиг. 20 даны ориентировочные величины реверберации (для студий) в зависимости от объема помещения, полученные на основании опытного материала (о величинах реверберации для больших зал см. *Спр. ТЭ*, т. X, ст. 400, фиг. 7). Реверберация также зависит и от частоты вследствие того, что коэф. поглощения  $a$  является ф-ией частоты. Каждая студия имеет свою собственную частотную характеристику. На фиг. 21 даны типичные



Фиг. 20.

кривые прямого 1 и отраженного 2 звучания (кривая 3 — полный звук), а также коэф. поглощения (кривая 4) в зависимости от частоты для радиовещательных студий. Отношение звуковой энергии отраженных волн к прямой  $E_R/E$  для студии м. б. определено из ур-ия



где кроме  $D$  обозначения прежние;  $D$  — расстояние между источником звука и микрофоном. Если микрофон имеет ту же чувствительность для отраженных и прямых звуков, то  $R$  для всех частот д. б. одинаковым. С другой стороны (по исследованиям Мак-Нэра), для получения оптимальной реверберации важно, чтобы звуки различных частот затухали по громкости в той же

$$\frac{E_R}{E} = \frac{16\pi D^2 (1-a)}{aS}$$

самой степени, следовательно время реверберации должно расти с увеличением частоты ниже 1 000 Гц. Лучшим компромиссом для примирения этих двух требований является подбор времени реверберации по Мак-Нару и компенсации резко выраженной частотной характеристики студии коррекцией в усилителях.

Студии, используемые для Р., акустически обрабатываются очень тщательно с применением ряда специальных поглощающих пористых материалов: целотекс, массонит, минеральная шерсть, вата и т. д. Очень часто обшивочные и поглощающие акустич. материалы применяются в сочетании с материей, свободно висющей на нек-ром расстоянии от стен. Поглощение может изменяться в широких пределах изменением расстояния между материей и стенами или раздвижением материи. Современные студии строятся в зависимости от назначения их всевозможных видов и размеров. В табл. 3 даны основные нормы для пяти студий малых и средних размеров, принятые в СССР.

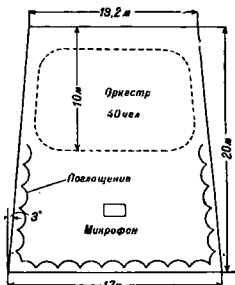
Табл. 3.— Основные нормы для радиостудий СССР.

Площадь пола, м <sup>2</sup>	Высота потолка, м	Отношение длины к ширине	Ансамбль звуковых инструментов, число	Струнный ансамбль	Вокальный ансамбль, число исполнителей	Реверберация для 400 Гц
18—80	3,3—4	1/1—1,25/1	1	от 2 до 3	от 1 до 2	0,4—0,8
25—60	>3,8	1/1—1,5/1	2	4 » 6	» 2 » 4	
40—60	>4	1/1—1,5/1	» 3 » 4	» 6 » 12	» 4 » 10	0,6—1,2
60—100	>5	1,2/1—1,7/1	» 5 » 10	» 0 » 20	» 10 » 18	
121	>5,5	1,5/1—2/1	» 10 » 20	» 20 » 30	» 15 » 20	

Примечания: 1. Для граммофонной передачи пригодны все студии.  
2. Большого барабана применять не следует.

Германские нормы на радиовещательные студии отличаются лишь незначительными деталями от наших, так например, по германским нормам требуются большие высоты потолка, напр. для студии третьего типа высота требуется до 6 м. Для больших ансамблей требуются большие студии. Вся реверберация в них доходит до 2.

На фиг. 22 показана типичная студия для оркестра в 40 чел. В США принято часто следующее соотношение между высотой и длиной студии: 2 : 3 : 5 как оптимальной и с акустич. и с эстетич. точек зрения. Студии в крупных радиовещательных центрах для облегчения их обслуживания концентрируются в одном специально устроенном помещении — Радиодоме. В Лондонском радиодоме расположены 22 различные студии внутри массивной кирпичной стены, возведенной внутри железобетонного здания; все же подобные помещения расположены между наружной стеной и этой последней. В Нью-Йоркском радиогородке размещено 35 студий (Национальной радиовещательной компании) от большой студийной аудитории размерами 23 × 39 м и высотой в 3 этажа (до 10 м) до маленькой, приспособленной для одного говорящего. Во всех студиях установлено 250 микрофонов. Каждая из студий соответствующим образом акустически



Фиг. 22.

обработана, но некоторые студии пригодны для весьма различных целей. Реверберация, а также реванс в последних по желанию м. б. изменены в очень широких пределах простым нажатием кнопки в смежной контрольной комнате. Изменение акустич. свойств совершается специальными листами поглощающих материалов, перемещаемых по специальным направляющим маленькими моторчиками. Малые студии представляют собой в действительности комнаты внутри других комнат, подвешенные над междустаночными перекрытиями помощью стальных пружин, обвитых войлоком. Т. о. полы этих студий, покрытые линолеумом, как бы «плавают» в пространстве. Стенки и потолки этих «плавающих комнат» сконструированы из специальных огнеупорных звукоизолирующих материалов (минеральная шерсть, асбестовый перфорированный картон и т. д.). В студиях поддерживается постоянное давление и °, для чего создана специальная вентиляционная и нагревательная система (наибольшая в мире). В Берлинском радиодоме имеется 15 студий, обслуживающих 3 передатчика.

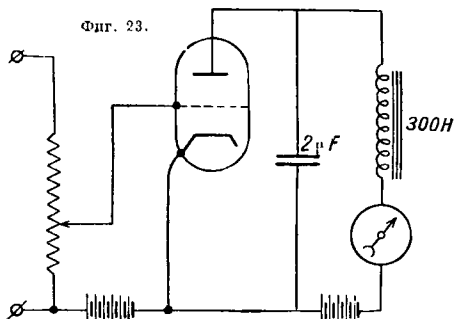
Усилители и контрольные приборы. Главные усилители, применяемые в Р., должны удовлетворять следующим требованиям: 1) частотная характеристика д. б. постоянной в пределах до 2 децибел до 8 000 Гц (в Америке до 10 000 Гц); 2) они должны давать на выходе мощность до 10—

15 W; 3) они должны обеспечить необходимый диапазон усиления амплитуд от 3 до 40 децибел без искажений; 4) они должны давать возможность контроля работы и усиления во время действия. Обычно они имеют 2 или 3 каскада. Полное питание их в последних вариантах осуществляется от переменного тока, для чего в них применяются в предварительных каскадах подогревные лампы. Для контрольных целей употребляют отдельные т. н. контрольные усилители с очень высоким качеством воспроизведения (более высоким, чем рабочие усилители).

В американских радиоузлах применяются усилители с частотной характеристикой от 30 до 14 000 Гц в пределах до 2 децибел, включая и репродуктор. Выходная мощность его 10 W, при пиках он дает усиление без искажений для мощности 25 W. Общее усиление его 40 децибел. В предварительных каскадах его применены высокочастотные пентоды со схемой переходов с сопротивлением, в оконечном каскаде — триоды пуш-пулом.

Схема типового индикатора громкости и, примененного в радиовещательном тракте, показана на фиг. 23. Постоянные цепей в этой схеме подобраны так, что величина максимального отклонения показывает среднюю мощность в произносимом слого. В настоящее время на контроле находят применение весьма совершенные рекордеры уровня громкости, позволяющие очень точно устанавливать необходимый для хорошей передачи уровень громкости. В Америке и Германии в эксплуатации студий применяются автоматически действующие ограничители громкости, избавляющие передачу от перемодулирования.

Линии, соединяющие узел с передатчиком и узел с местом, где установлен микрофон, если передача идет не из студии, играют чрезвычайно важную роль в общем радиовещательном передающем тракте. Эти линии должны пропускать полосу частот от 50 до 8 000 Hz. Их выполняют в виде подземных кабелей, к-рые в большинстве случаев этим условиям удовлетворяют. Значительно хуже дело обстоит с междугородными линиями, соединяющими передатчики, находящиеся на далеком расстоянии друг от друга, для Р. одновременно на нескольких передатчиках. У нас эти линии удовлетворяют следующим условиям: полоса пропускания 135—5 000 Hz (полоса для коммерч. телефонии 300—2 000 Hz), переходное затухание между соседними линиями 7 непер, трансляция на расстоянии 150 км. В Америке эти нормы значительно выше. Передача радиовещательных программ в Америке производится как по кабелям, так и по открытым линиям (воздушным), причем обе системы удовлетворяют следующим требованиям: 1) полоса пропускания 50—8 000 Hz, 2) диапазон громкостей —



40 децибел, 3) трансляция на расстоянии от 230 до 400 км. Поглощения в линиях высоких и очень низких частот корректируются специальными схемами уравнителей. В Германии междугородные радиовещательные передачи совершаются помощью кабелей, но в отличие от других стран, где для целей Р. имеются отдельные кабели, здесь в магистральных телефонных кабелях имеются в центре 4 заэкранированные жилы, дающие верхний предел пропускания частот 9 500 Hz, а в новых кабелях до 11 500 Hz. Трансляция устанавливается на расстояниях в 72,5 км. Если эта длина почему-либо не выдерживается, включают искусственные корректирующие линии. Для измерения пропускания имеется аппаратура (Сименс-Гальске) для автоматического снятия частотной характеристики, а также рекордеры уровня передачи.

Радиовещательные передатчики. О технических особенностях и нормах радиовещательных передатчиков см. *Радиовещательные станции*.

Радиоприемная радиовещательная сеть. О нормах и современном состоянии приемной аппаратуры для радиовещания в СССР и за границей см. *Радиоприемник, Техника высокой частоты*.

Лит.: Радиоэжегодник, М., 1934; Дрейзен И., Электроакустика в широковещании, М., 1933; журналы «Радиофронт», 1932—35; «Говорит СССР», 1934 и 1935; Technical Achievements in Broadcasting and its Relation to National and International Solidarity, «Proceedings of the Inst. of Radio Eng.», 1929, v. 17, 11, November (6 докладов на мировом инженерном конгрессе в ок-

тябре 1929 г.); Ballantine St., High Quality Broadcast Transmission and Reception, *ibid.*, 1934, v. 22, 6, May; *ibid.*, 1935, v. 23, 6; «Radio Crafts», 1935, v. 6, February (Special Broadcast Number); Bohm O., Rundfunk-Beziehungen mit vertikalgebundelter Ausstattung, «Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telefonie», 1933, B. 42, H. 4; Eckersley P., Required Minimum Frequency Separation between Carrier Waves of Broadcast Stations, «Proc. of the Inst. of Radio Engineers», N. Y., 1933, v. 21, p. 193; Eckersley P., Principles of Audio Frequency Wire Broadcasting, «Journal of the Institution of Electrical Engineers», L., 1934, v. 80, p. 438; Extending Broadcast Station, «Radio Eng. News», 1934, November; Leonardt R., Automatic Line-Measuring Equipment of the German Broadcast System, «Electronics», 1934, November; Edperson J., High Fidelity Program Circuits, *ibid.*, 1934; Clarke A., Schuttig L., Broadcast Transmitter Characteristics, «Electronics», 1934, December; Jammer E., a. C. M. n. t. L., Radio Broadcast Receivers, «Radio Engineering», 1934, December; Hanson O., New Studios in Radio City, N. Y., *ibid.*, 1933, December; Bedell E., A High Speed Level Recorder for Acoustic Measurements, «Bell Laboratories Records», 1934, v. 13, 3, November; Black W., Speech Input Equipment for Radio Broadcasting, *ibid.*, 1934, v. 12, 7, September; Eckersley P., The Calculation of Service Areas of Broadcast Stations, «Proceedings of the Institute of Radio Eng.», 1930, v. 18, 17, July; Lubszynsky C. a. Hoffman K., The Broadcast Installations in the New «House of Radio», *ibid.*, 1931, v. 19, 11, November; Aiken C., A Study of Reception from Synchronized Broadcast Station, *ibid.*, 1933, v. 21, 9, September; Scholz W., Die rundfunkmassige Verbreitung von Unbildungsstellen auf ultrakurzen Wellen in Deutschland, «Elektrische Nachrichtentechnik», B., 1935, B. 12, J. Taylor J., High Fidelity Monitoring, «Radio Engineering», N. Y., 1934, April; Van der Pol, Eckersley P., Dellinger J. a. de Corbeiler P., Propagation of Waves of 150 to 2 000 Kilocycles per sec. at Distances between 50 and 200 Kilometers, «Proceed. of the Institute of Radio Engin.», N. Y., 1933, v. 21, 7, July; Empire Broadcastings, Details of Equipment of Daventry, New Short-Wave Transmitters, «Electrician», L., 1932, v. 109, 16 December; Arendt P., Technik des Gleichwellenrundfunks, «Ztschr. f. technische Physik», Lpz., 1934, Jg. 15, 12; Lubszynsky C., Weigt H., Ueber die akustische Eigenschaft der Rundfunkaufnahmerräume, «Hochfrequenztechnik», B., 1933, B. 42, H. 4; Hallows R., The Future of Broadcast Transmission, Ultra-Short Broadcasts, «Wireless World», L., 1934, v. 35, 2, 14 December; Bohm O., Ueber die Ausbreitung der Rundfunkwellen, «Telefunken-Ztg», B., 1931, 57, April; Mogel H., Der deutsche Kurzwellensender in Zeesen, *ibid.*, 1934, 66, März; Hamilton N., Wideband Open Wire Program System, «The Bell System Technical Journal», N. Y., 1934, v. 13, July; Clark A. a. Green C., Long Distance Cable Circuit for Program Transmission, *ibid.*, 1930, v. 9, 1, July; The Effect of Background Noise in Shared Channel Broadcastings, *ibid.*, 1934, July; Hanson O., Morris R., «Proc. IRE», v. 19, 1. П. Рукеевко.

**РАДИОВЕЩАТЕЛЬНАЯ СТАНЦИЯ**, передающая телефонная радиостанция, устройство которой рассчитано на охват наибольшего числа слушателей в зоне ее действия, и приспособленная для регулярной и продолжительной передачи сообщений и музыки. Отличительными признаками Р. с. являются следовательно односторонность ее службы, имеющей циркулярный характер, повышенное в акустическом отношении качество воспроизведения передаваемого материала и равномерное излучение энергии во все стороны за исключением немногих случаев нарочито создаваемой направленности действия, как напр. для целей колониального вещания, производимого английскими станциями. Основные элементы, образующие Р. с., — те же, к-рые входят в состав передающей части радиотелефонной станции: 1) источник энергии — это м. б. автономная, обычно дизельного типа, электростанция или местная электрич. сеть, 2) собственно *радиопередатчик* (см.), преобразующий первичную энергию в форму электрич. колебаний высокой частоты, 3) модуляторное устройство (см. *Модуляция*), управляющее мощностью передатчика в соответствии с изменениями режима в цепи микрофона, и 4) излучающая энергию система — *антенна* (см.). Эти элементы Р. с. свя-

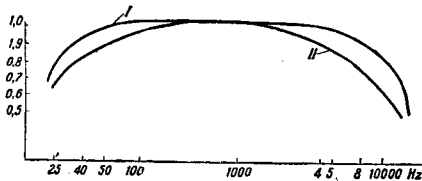
заны друг с другом и подчинены общим условиям, специфичным для Р. с., и некоторым частным требованиям, вытекающим из конкретных обстоятельств и задач, поставленных данной Р. с.

Общими характеристиками для Р. с. величинами, относящимися ко всем станциям, легализованным в международном масштабе, являются: степень соответствия рабочей волны ее номинальному значению, т. е. допустимые отклонения (см. *Несущая волна*) от номинала; степень засорения излучения составляющими колебаний высших порядков частоты, т. наз. гармониками; верность воспроизведения, т. е. соблюдение нек-рых установленных норм допустимых искажений — частотных, фазовых и амплитудных. В последнее время намечается тенденция отнести к числу нормированных показателей режима Р. с. также и величину фона, сопровождающего излучение на несущей волне в случаях пользования выпрямителями, и ширину полос частот излучения в смысле ее ограничения пределами, исключающими интерференцию соседних по диапазону волн станций. Главные показатели, конкретно определяющие размеры станции, а также и ее положение в ряде других Р. с., следующие: мощность излучения на несущей волне, рабочая длина волны, система генерирования высокой частоты, глубина модуляции при неискаженной передаче, характер первичного питания энергией и система излучающей антенны. Вполне точно и однозначно Р. с. определяется по мощности в kW излучения на несущей волне, измеренной либо в самой антенне либо каким-либо косвенным методом и коэф-том глубины модуляции. При этом предполагается, что устройство допускает глубину модуляции в 100% без заметных искажений. По абсолютным значениям мощности Р. с. не регламентированы в смысле определенной шкалы мощностей, принятой в международном масштабе. Отдельные страны пользуются радио-передатчиками самых различных мощностей от десятков W до десятков kW. В СССР приняты мощности 10 и 100 kW, приобретшие характер стандарта и удовлетворяющие потребностям обслуживания районного и областного вещания, а также удобные в производственном отношении, т. е. основные части 10-kW радиопередатчика входят в состав 100-kW типа. При наличии тенденции к увеличению мощности максимальная ее величина международными соглашениями не фиксирована, и поэтому различные страны решают этот вопрос, руководствуясь своими соображениями. Наибольшая мощность на европейском континенте принадлежит Р. с. им. Коминтерна в г. Ногинске и равна 500 kW. Эта станция прислана к Московскому радиоузелу. Каждой Р. с. присвоена определенная рабочая (несущая) волна, величина к-рой фиксируется в порядке международных соглашений. В силу крайнего уплотнения шкалы волн в диапазоне радиовещания 200—2 000 м (1 500—150 kHz), причем промежутки между соседними Р. с. равен 9 000 Hz, оказалось необходимым строго регламентировать пределы допустимых отклонений длины волны от присвоенного данной станции номинального ее значения. В настоящее время имеет силу постановление международной конференции 1933 г., по к-рому отклонение от нормы по частоте колебаний не должно превышать 50 Hz, что для наиболее короткой волны этого диапазона — 200 м — составляет 0,0033%. В ламповых радиопередатчиках такая высокая степень устойчивости волны обеспечивается конструкцией радиопередатчика, основным элементом к-рого, определяющим пра-

вильность установленной волны и ее устойчивостью, является задающий генератор (см. *Ламповый генератор*). К нему в сущности и относится эти требования постоянства частоты. Технич. решение такой задачи найдено на основе применения пьезоэлектрического эффекта в пластинках, вырезанных надлежащим образом из кристалла кварца (см. *Пьезоэлектричество*, *Пьезо кварц*, *Стабилизация частоты*) и употребляемых в качестве стабилизаторов частоты колебаний. Исключительно высокие требования стабильности вызывают необходимость применения особых мер для уничтожения влияния температурного режима кварца на его частоту. Поэтому в современных Р. с. кварцевый стабилизатор помещается в условия наибольшего постоянства — в термостат с автоматич. поддержанием  $t^{\circ}$  в пределах ее изменения до 0,01°. Наряду с этим пластинка кварца вырезается по т. н. косому срезу (см. *Стабилизация частоты*), при котором ее температурный коэф. наименьший. Этот способ стабилизации определяет конструктивное выполнение передатчиков Р. с., характеризующееся последовательным усилением мощности, т. е. многокаскадным. В мощных ламповых передатчиках число ступеней усиления каскадов доходит до 5—6. Особую группу радиопередательных передатчиков составляют радиопередатчики машинные, обычно сопряженные с теми или другими устройствами для *умножения частоты* (см.). Р. с. этого типа мало распространены вследствие трудностей в удовлетворении высоких требований стабильности волны и качества передачи, а также благодаря неблагоприятному для машинной системы радиовещательному диапазону частоты, снижающему отдачу агрегата до величин одного порядка с отдачей ламповой станции.

Модуляция ламповых передатчиков Р. с. осуществляется воздействием на величину мощности передатчика микрофонными токами, надлежащим образом усиленными и подведенными к тем или другим органам управления режима усиления (генерирования). По принятой классификации модуляции ламповых генераторов наиболее распространены в Р. с. системы модуляции по сетке и по аноду (см. *Модуляция*), когда в первом случае совершается изменение потенциала сетки в соответствии с изменением микрофонного тона, и во втором — потенциала на аноде. Обе системы модуляции примерно равноценны в техническом и экономич. отношениях, и объективный выбор той или иной из них должен определяться вполне конкретной обстановкой и условиями работы Р. с. — мощностью, длиной волны, стоимостью сооружения и эксплуатации, уровнем ламповой техники, качеством эксплуатации и т. д. Модуляция в машинных передатчиках производится приемом изменения расстройки резонанса между входящими в цепь генератор—антенна контурами и следовательно изменения условий перехода энергии из машины в антенну. Эта расстройка производится путем изменения индуктивности или коэф-та связи одного из контуров системы. Модуляция характеризуется, как известно, величиной ее коэф-та или глубиной и степенью совершенства воспроизведения процесса в микрофонной цепи, задаваемого в свою очередь звуковым давлением на мембрану микрофона. Современные требования к качеству модуляции выражаются величиной относительного уменьшения значений тока в антенне Р. с. при крайних частотах модуляции сравнительно с его значением при нек-рой средней частоте, являющимся наибольшим. Напряжение, подаваемое от модуля-

тора, предполагается при этом постоянными для всех звуковых частот. Численные значения, характеризующие Р. с., с этой стороны не нормированы, но порядок их величины м. б. оценен цифрами предельных частот 50 и 10 000 Нз со снижением эффекта тока при этих значениях на 30—50% от среднего его значения. Более полно модуляция м. б. характеризована кроме величины уменьшения тока при предельных значениях частот крутизной его спадания. Понятие об этом дает рисунок частотных характеристик Р. с. для двух случаев; очевидно, что качество передачи в первом случае выше, чем во втором (фиг. 1). Вторым фактором, характеризующим качество модуляции, является величина допустимых искажений, происходящих вследствие нелинейности модуляционной характеристики станции, сказывающихся в появлении высших гармонических составляющих антенного тока. По предложению Международного консультативного комитета по радиосвязи величину этих искажений принято считать допустимой, если она, будучи исчислена как сумма амплитуд гармоник, не превосходит 4% от основного процесса. Последним заслуживающим упоминания фактором, определяющим



Фиг. 4.

качество Р. с., является относительно я величина помехи, создаваемой ее работой и обнаруживающейся в виде приема не только на ее номинальной волне, но и на других, более коротких, как их называют, гармониках, находящихся в кратном отношении с основной. Вред существования дополнительных гармоник наряду с основной волной очевиден, если принять в расчет упомянувшееся уплотнение радиовещательного диапазона, и потому это явление, которое можно трактовать как множественность одной и той же передачи на разных волнах, привело к предложению нормировать величину паразитного излучения в международном масштабе и считать допустимой интенсивность гармоник ламповых станций, измеренную на расстоянии 5 км от передающей антенны, в 0,1% от интенсивности основной волны при ее величине в пределах 3 000—545 м и 0,05% при волнах от 545 до 200 м. Однако очевидно, что относительная величина помехи этого рода не дает удовлетворительных гарантий, поскольку сама мощность Р. с. не фиксирована, а может иметь значения от долей кВт до сотен кВт.

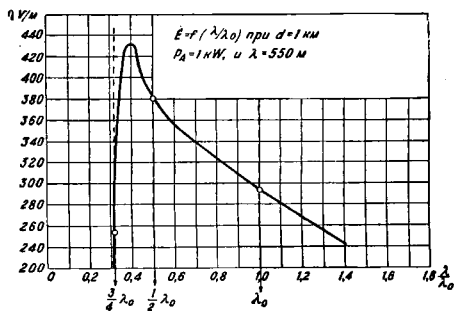
Современная мощная Р. с. (будем иметь в виду ламповую) представляет собой довольно крупное и сложное энергетическое хозяйство, содержащее в себе элементы преобразования энергии, управления ею, защиту устройств и персонала от возможных несчастных случаев, устройств для отвода значительного количества тепла, образующегося при работе передатчика, контроля и автоматизированного управления. Р. с. получают энергию от районной электрич. сети трехфазного тока, трансформируемого до необходимой величины напряжения как для основного потребителя — радиопередатчика, — так и для других

эксплуатационных нужд — освещения, моторов, реле и т. п. Необходимое для радиопередатчика высокое напряжение (до 20 кV в зависимости от употребляемых типов генераторных ламп) постоянного тока получается при помощи многофазного выпрямления, в большинстве случаев через ртутные или газовые (газотроны) *выпрямители* (см.). Напряжение для накала катодов в силу повышенных требований в смысле чистоты передачи и отсутствия мешающего фона подается от вращающихся *преобразователей* (см.) переменного-постоянного тока. То же относится и к источникам напряжения для сеточного смещения. Особое внимание строителя Р. с. привлекает проблема отвода огромного количества тепла в мощных станциях, рассеивающегося на анодах ламп с охлаждаемыми водой анодами. Найдено, что в средних климатич. условиях эта задача удовлетворительно решается системой замкнутого цикла охлаждения анодов дистиллированной водой, охлаждаемой в свою очередь внешним потоком воды, перекачиваемой из охлаждающей бассейна. Т. о. удается отводить до 1 200 кВт, рассеиваемых на анодах, 500-кV Р. с. Отдача Р. с., понимаемая как отношение полезной мощности в антенне к подведенной к шинам, невелика — порядка 20—22%, и лишь в мощных Р. с., где экономически оправдывается применение анодной модуляции по двухтактной схеме, отдача повышается до 30—35%. Управление Р. с. обычно централизовано в одном месте, где сосредоточены на специальном пульте все операции по включению и выключению станции и где расположены приборы контроля режима системы в различных ее частях. В некоторых Р. с. Германии и Америки этот автоматизм доведен до крайнего предела — пуска и остановки Р. с. из радиопульта нажимом кнопки. Самый радиопередатчик представляет собой усилитель мощности, имеющий, как упомянуто вначале, задающий кварцевый генератор. Модуляция осуществляется либо в оконечном каскаде либо в одном из промежуточных. В многоламповых мощных передатчиках принимаются меры для автоматич. замены выбывающих из строя ламп запасными без необходимости прерыва в работе станции. Принимаются в СССР для Р. с. типами являются лампы 20, 50 и 100 кВт номинальной мощности. Предельные значения мощности отпаянных ламп в США также 100 кВт, в Германии — 300 кВт.

Модуляционное устройство обычно связано через специальный кабель с коммутатором радиозула для соединения с тем или другим микрофоном в зависимости от места передачи программы — театр, студия, площадь, улица, завод и другие места возможной установки микрофона. Совершенно обязательным является наличие на каждой Р. с. возможности контроля работы передатчика. Качество передачи Р. с. зависит как от самих устройств Р. с., так и от состояния всего тракта, начиная от микрофона и кончая модуляционным устройством. Поэтому Р. с. оборудуются необходимыми контрольными приборами для наблюдения за длиной волны, глубиной модуляции, величиной искажений, мощностью и т. д.

Антенны Р. с. в подавляющем большинстве случаев относятся к типу обычных Т-образных ненаправленных систем проводов, подвешенных на двух опорах (см. *Радиосеть*). Благприятная длина волны радиовещательного диапазона позволяет, оставаясь в экономически приемлемых пределах высоты опор, получать

отдачу антенны вполне удовлетворительной — до 85—90% благодаря высокому сопротивлению излучения. Последнее допускает поэтому упрощение конструкции *заземления* (см.), обычно выполняемого в виде проложенных в земле радиально расходящихся проводов. Особый тип антенны в электрическом и конструктивном отношении представляет собой антенна Р. с. в Будапеште. Эта станция 120-kW мощности работает на волне 549,5 м. Электрически антенна работает как вертикальный провод, собственная волна которого  $\lambda_0 = 1\ 266$  м. Такое соотношение длин волн рабочей и собственной определено из соображений получения наибольшего горизонтального излучения. По данным International Standard Electric Corporation *напряженность* (см.) поля от такой антенны приблизительно в 1,47 раз больше, нежели поля от антенны, работающей в  $1/4$  волны, т. е. по мощности эта станция эквивалентна свыше чем 200 kW с обычной антенной. На фиг. 2 дана зависимость между напряженностью электрич. поля в расстоянии 1 км при 1-kW мощности от отношения рабочей волны к собственной  $\lambda/\lambda_0$ . Конструктивно антенна выполнена в виде сочетания двух металлич. решетчатых четырехгранных пирамид с основанием в 14,6 м стороны квадрата. Одна из них поставлена вершиной на изоляторе и удерживается одним поясом оттяжек. Верхняя пирамида



Фиг. 2.

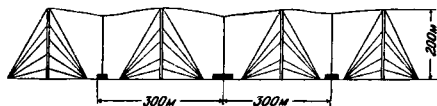
свободно, без оттяжек, поставлена на первую. Общая высота — 307 м, отрегулированная при помощи 30-м выдвижной мачты; электрич. проводимость такой стальной конструкции осуществлена посредством медных проводов, проложенных вдоль мачты по ее четырем углам.

Р. с. коротких волн не содержит в себе каких-либо особенностей, отличающих их от станций телефонных коммерческого типа, кроме повышенных качеств модуляции и ненаправленности излучения, если последнее не входит в задачу Р. с. коротких волн. На протяжении 13 лет с момента выдачи в сентябре 1921 г. первого разрешения на открытие Р. с. (в США) система Р. с. сохранила свою принципиальную сущность — т. е. принцип работы на несущей волне, сопровождаемой двумя боковыми (см. *Боковые частоты*). Недостаток места в эфире для размещения большого количества Р. с. выдвинул новый вопрос — перевод Р. с. на одну боковую волну (см. *Беспроволочная связь*). Однако этот вопрос встречает значительные технические трудности и связан с реконструкцией приемной сети, экономически совершенно не разработан и поэтому, хотя он и поднят в международном порядке, однако на скорое его разрешение рассчитывать не приходится.

Н. Цивилинский.

**500-kW Р. с.** Венцом строительства Р. с. является 500-kW радиостанция им. Коминтерна, построенная в г. Ногинске близ Москвы по проекту проф. А. Г. Минца Главным управлением электрослаботочной промышленности НКТП СССР. Следующие основные моменты выделяют проект этой сверхмощной радиостанции: антенна длинных волн с направленным излучением при большом кнд, система параллельной работы ряда 100-kW генераторов на общий промежуточный контур и тщательно проработанная система управления радиостанции. В конструкции отдельных частей применены также целый ряд новых идей и усовершенствований.

Антенна 500-kW радиостанции подвешена на четырех 200-м мачтах, расположенных в одной плоскости на расстоянии 300 м друг от друга (фиг. 3). Горизонтальная часть антенны

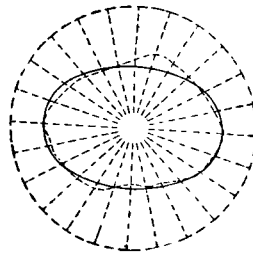


Фиг. 3.

состоит из трех элементов длиной 290 м каждый; эти элементы соединены друг с другом перемычками; всего в горизонтальной части антенны 6 канатиков, расположенных на 2 м один от другого. Число снижений равно трем, диаметр канатика 7,8 мм. Если учесть, что на длину пролета, перекрытых перемычками, приходится ок. 30 м, а полная длина горизонтальной части антенны равна 900 м, то можно полагать, что эквивалентная длина горизонтальной части равна 870 м. Средняя высота подвеса горизонтальной части составляет около 185 м. Питание антенны производится через среднее снижение, причем при нормальной настройке точки во всех трех снижениях равны между собой, а узел тока находится в середине пролета между средним и боковым снижениями.

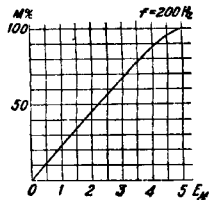
На фиг. 4 показаны как теоретическая (сплошная), так и экспериментальная (пунктир) диаграммы направленного действия такой антенны. Опытная кривая получена при круговом полете вокруг антенны на дирижабле В-3; полеты делались радиусом в 40 км, причем аппаратура, установленная на дирижабле, состояла из простого приемного устройства, связанного с ламповым вольтметром; при этом абсолютная величина напряжения не измерялась точно, однако полученная относительная полярная кривая показала ясно распределение излучаемой мощности в пространстве вокруг антенны. Измерения излучения такой антенны в целом дали весьма благоприятные результаты. Так напр., на основной волне этой станции (равной 1 481 м) напряженность поля ее в Варшаве — 4 000  $\mu\text{V}/\text{м}$ , в Брюсселе — 500—1 000  $\mu\text{V}/\text{м}$ .

Основным условием при проектировании такой радиостанции была поставлена необходимость непрерывного действия последней. Под непрерывным действием понималось требование легко



Фиг. 4.

и быстрого перехода на резервные единицы с возможностью устранения аварии и производства необходимого ремонта во время эксплуатации радиостанции. Для удовлетворения этих условий схема передатчика построена след. обр.: первые шесть каскадов (кварцевый генератор, два каскада усилителей-разделителей, модулируемый каскад, два каскада усиления модулированных колебаний радиочастоты) сделаны в двойном комплекте, причем такое дублирование осуществлено следующим путем: первые 4 каскада имеют 100%-ный резерв, 5-й и 6-й каскады имеют тоже 100%-ный резерв; создана возможность комбинирования любого независимого генератора (первые 4 каскада) с любым 5-м и 6-м каскадами. Наиболее мощный 7-й каскад составлен из семи 100-kW передатчиков, причем шесть из них включены на параллельную работу, а 7-й является общим резервом к ним. Все 7 каскадов с их резервами имеют собственные цепи питания как высокого, так и низкого напряжения. Переход от одного независимого генератора на другой и смена 5-го и 6-го каскадов требуют не больше 30 сек.; усиление мощности от каскада к каскаду, начиная с 4-го, — ок. 10; т. е. последние три каскада усиливают мощность в 1 000 раз. Схема модуляции, оригинально предложенная А. Л. Минцем, основана на использовании режима с малым сеточным током у лампы модулированного каскада; выбрана схема сеточной модуляции при постоянно воздействующем напряжении и изменяющемся сеточном смещении. Каждый блок имеет собственный агрегат накала, собственный анодный трансформатор, выпрямитель и



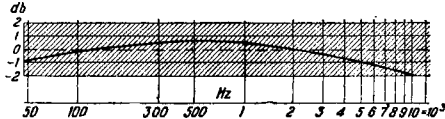
Фиг. 5.

фильтр. Эти блоки позволяют дать параллельную работу нескольких генераторов на общую нагрузку — антенну. Все управление радиостанцией производится путем нажатия двух кнопок.

Измерение мощностей, даваемое таким передатчиком, показало цифру до 500 kW при телефонном режиме со 100%-ной глубиной модуляции; вообще при испытаниях получалось до 500 kW в антенне. Подводимая ко всей радиостанции мощность была 2 200 kW, что соответствует общему КПД всей радиостанции 22,8% при  $\cos \varphi$  всей радиостанции в целом 0,96. Отдача наиболее мощного 7-го каскада (понимаемая в виде отношения мощности в антенне к мощности, подводимой к анодам лампы) 32,4%, а КПД контуров блоков 7-го каскада и главного промежуточного контура равен 95,5%. Стабильность частоты излучаемых волн по измерениям, произведенным в Можайске (Восточноевропейском пункте контроля частот), оказалась таковой, что отклонения частоты передатчика от рабочей никогда не выходили за пределы  $\pm 50$  Hz, что превысило технич. задания по постройке радиостанции и последние международные нормы, принятые на Люцернской конференции. В отношении просачивания высших гармонич. радиочастот специальные измерения на расстоянии 60 км дали следующие результаты. Вторая гармоника не обнаруживалась совершенно, а третья дала напряженность поля всего лишь 14,5  $\mu\text{V}/\text{м}$ , что допускается технич. условиями. Амплитудная характеристика передатчика представлена на фиг. 5 (снято при частоте модулирующего тона в 200 Hz). По оси абсцисс отложено напряжение в V на входе мо-

дулятора, по оси ординат — коэф. модуляции в %. Частотная характеристика передатчика, снятая для частот модулирующего тона до 10 000 Hz, дана на фиг. 6: вся она расположена в пределах  $\pm 2$  децибел (db), причем часть характеристики до 50 Hz расположена в пределах  $\pm 1$  децибел.

Оборудование радиостанции. Все оборудование 500-kW радиостанции разделено на следующие основные части: 1) радиотехнический аппарат, 2) силовое оборудование высокого напряжения, 3) силовое оборудование низкого напряжения, 4) система водяного охлаждения, 5) система сигнализации, автоматич. управления и блокировки и 6) система защиты технич. персонала. Радиотехнич. аппарат размещен в помещении радиостанции: зал передатчика, камера контуров радиочастоты, баллон управления, камеры главного промежуточного контура радиочастоты. Кроме этого имеются павильоны для элементов настройки снижения антенны вне здания радиостанции. В зале передатчика площадью в 450 м<sup>2</sup> установлено 9 блоков передатчика; из них два блока 5-го и 6-го каскадов и 7 блоков мощного каскада. Аппаратура блоков выполнена на железных трубчатых каркасах, причем все те части каркасов, на которых устанавливаются аппара-



Фиг. 6.

туры, работающие только под напряжением постоянного тока или под напряжением переменного тока промышленной частоты в 50 Hz, выполнены из пертинаксовых труб. Поэтому такие части каркасов сами служат для изоляции аппаратуры от земли, почему она укреплена на каркасе без изоляторов. Все блоки сконструированы однотипно: они имеют, начиная слева, выпрямитель, затем лампы и аппараты каскада. Выпрямитель состоит из 6 газотронов, включенных по схеме Гретца, причем каждый газотрон имеет свой трансформатор и вольтметр накала. Площадь, занятая павильоном, равна 30 м<sup>2</sup>.

Все силовое оборудование высокого напряжения установлено на высоковольтной площадке размером 785 м<sup>2</sup>, ограниченной с двух сторон стенками генератора и электромашинного зала, а с двух других сторон — сетчатым ограждением. Напряжение 66 000 V через трехполюсный разъединитель и трехполюсный линейный вывод, через трансформаторы тока, масляный выключатель и однополюсные разъединители подается на главные распределительные шины. Среди других аппаратов на той же площадке установлены измерительные трехфазные трансформаторы напряжения и осветительные трансформаторы 6 600/380—220 V.

Силовое оборудование низкого напряжения размещено в камерах масляных выключателей низкого напряжения, в электромашинном зале и в аккумуляторном помещении. Машинный зал площадью 256 м<sup>2</sup> содержит 9 агрегатов накала мощных ламп с двухколлекторными динамомасляными, 2 трехмашинных агрегата для питания независимых генераторов, агрегаты сеточного смещения, вольтодобавочные зарядные агрегаты, зарядные агрегаты с динамомасляными. Для нормальной работы радиостанции должны одновременно ра-

ботать следующие агрегаты: 7 агрегатов накала мощных ламп, 1 агрегат сеточного смещения, 1 варядный агрегат, 1 агрегат независимых генераторов на 4 000 В и такой же на 470 В.

Огромная мощность (ок. 1 200 kW), выделяемая на анодах ламп, требовала сложного специфич. сооружения всей системы охлаждения такой радиостанции. Дистиллированная вода собирается из одного резервуара, подается насосом через трубопровод и резиновые змеевики к бакам охлаждения анодов медных ламп, из которых через резиновые змеевики попадает в охладитель, а затем свободно стекает в основной резервуар. Система охлаждения расположена в охладительном помещении площадью 87 м<sup>2</sup>; здесь расположены 5 насосов, бассейн внешнего кольца, снабженный 18 работающими фонтанчиками. Аппаратура сигнализации, блокировки и управления находится возле различных агрегатов, имеющих дистанционное управление, а основные центры всей системы расположены на балконе управления, где установлен пульт управления, шкаф независимого генератора и релейный щит. Это — тот главный центральный пункт, с которого производится пуск, включение станции и наблюдение за ее работой. Пульт такого управления имеет длину 2 750 мм, высоту 1 300 мм и 15 панелей с кнопками и приборами.

Для безопасности прикосновения к аппаратуре и проводам, могущим оказаться под высоким напряжением (высокой и низкой частоты), входы во всем помещении, где находится такая аппаратура или такая проводка, заблокированы. Блокировка устроена так, что двери в это помещение открываются ключами, находящимися в пульте радиостанции, которые электрически и механически блокируют соответствующую кнопку включения высокого напряжения; этим достигается двойная страховка от случайного прикосновения к высоковольтной проводке.

При продолжительных примочных испытаниях было проведено 20-часовое испытание на рабочей волне 1 481 м, показавшее полную исправность всех частей радиостанции, совершенную непрерывность ее работы и отсутствие перегрева в каких бы то ни было частях радиостанции сверх нормальной температуры.

Продолжающаяся ок. 4 лет бесперебойная работа этой радиостанции окончательно показала высокие достоинства радиостанции, бывшей до 1934 г. самой мощной Р. с. в мире, идейная схема и часть конструкций к-рой были затем повторены в некоторых западноевропейских и североамериканских Р. с.

Лит.: Минц А., 500-квт радиостанция, М., 1934; его же. Основные проблемы сверхмощного строительства, «Техника радио и слабого тока», 1932, 5—6; Минц А., Модель 3., Конторович М. и Персон С., Антенна 500-квт радиостанции, там же.

**РАДИОМЕТРИЯ**, область современной измерительной техники (см. *Измерения*), имеющая целью экспериментальное определение величин, а также прямых и косвенных зависимостей, характеризующих процессы, равно как и величин и зависимостей, характеризующих этими процессами, протекающими как в электрич. цепях, так и в пространстве, окружающем эти цепи, при токах высокой частоты (примерно  $10^4 \div 10^9$  Hz). Именно измерения при токах высокой частоты делают Р. существенно отличной от родственной ей области электрометрии и (см. *Электрические измерения*), где производство измерений ограничивается постоянным током и переменным током низкой частоты (до 10<sup>4</sup> Hz). Специфич. условия и процессы, свойственные токам высо-

кой частоты, вынуждают в Р. значительно изменить не только методы измерений, но и приборы и отдельные элементы, применяемые в электрометрии. С другой стороны, процессы при высокой частоте создают богатые возможности, способствующие созданию и развитию новых методов измерений и приборов, гарантирующих точность (напр. при измерении частоты), недоступную в других областях измерительной техники. Хотя Р. наиболее широко применение имеет в современной высокочастотной физике и радиотехнике (см. *Техника высокой частоты*), где представляет область так наз. радиотехнич. измерений (см. *Измерение*, *Измерения в радиотехнике*), однако вышеупомянутые возможности делают Р. все более применимой в целом ряде других областей современной физики, медицины, техники и т. д., как напр. для измерений различных деформаций твердых тел, малых промежутков времени, малых изменений  $t^{\circ}$ , малых удлинений, пульсаций и т. д. Среди многих примеров специфичности условий и процессов, свойственных токам высокой частоты, приведены следующие. Рассмотрим случай распределения индуктивности и емкости в виде катушек и конденсаторов: при высоких частотах эти величины перестают быть постоянными, поскольку они становятся заметно зависимыми от частоты протекающего по ним *высокочастотного тока* (см.). Равно теряет смысл раздельное существование этих величин и существенной становится зависимость между ними, поскольку приобретают заметные значения собственные емкости таких индуктивностей (даже прямолинейных проводников) и собственные индуктивности того или иного конденсатора. Далее при токах высокой частоты приобретают особое значение различные емкостные и индуктивные воздействия, собственные и посторонние электромагнитные поля и т. п., что требует наличия особых условий и предосторожностей (тщательная экранировка, слабые связи, особый монтаж, тщательная блокировка и т. д.), свойственных Р. Здесь приобретают широкое развитие методы измерений, использующие трансформаторы частоты (см. *Частоты трансформация*), резонансные явления (см. *Резонанс*), явления *биений* (см.) частот, эффект комбинационных тонов, эффект захватывания и т. д.

В Р. принято отличать измерения а б с о л ю т н ы е, т. е. дающие численное значение измеряемой величины в точно установленных единицах, и относительные, т. е. дающие численное значение или зависимости между измеряемыми величинами в виде отношений или в произвольных единицах. Большинство методов Р. принадлежит к числу относительных. Относительные методы в свою очередь подразделяются на прямые, косвенные и вариационные, т. е. определяющие не само величину, а лишь ее изменение в функции другой величины, напр. времени. Всякое измерение в Р. состоит из ряда манипуляций, совокупность к-рых приводит к тем данным, из к-рых непосредственно или путем различных комбинаций и вычислений получается искомое численное значение измеряемой величины или искомая зависимость. Основными манипуляциями Р. являются: установка, наблюдение, отсчет, запись и обработка результатов. Составляющими Р. являются: измеряемый объект, метод и схема измерений, комплекс приборов и результат. Объектами Р. могут быть любые величины, соотношения и зависимости, связанные тем или иным образом с процессами при токах

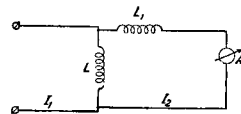


высокой частоты. Их так много, что далее мы коснемся лишь основных объектов. Основными методами в Р. являются метод сравнения, уравнивания, замещения, поглощения, резонанса, стробоскопич. метод и т. д. Методы наблюдения в Р. также весьма разнообразны, как напр. наблюдение по прохождению нек-рой величины через максимум или минимум, наблюдение по исчезновению какого-либо явления, по наличию одинакового действия, по биениям между двумя частотами. Методы отсчета в основном ограничиваются отсчетом визуальным, слуховым, комбинируемым и автоматич. регистрацией, напр. счетчиком, или записью, напр. *хронографом* (см.). Запись наблюдений и обработка результатов состоят обычно в занесении данных в заготовленные таблицы с обязательной отметкой различных условий измерений, включая  $t^{\circ}$ , время, состояние атмосферы и т. д., затем в построении графиков, номограмм, в выводе уравнений функциональной кривой, в определении систематических ошибок (инструментальных, методических и субъективных) и случайных согласно формулам теории вероятности и наконец в раскрытии закономерностей, после чего делаются общие выводы и заключение. Существенную роль в Р. имеет установка, т. е. комплекс приборов, служащих для осуществления измерений, размещенных и соединенных в соответствии с методом и схемой измерений и с учетом необходимости уменьшения или полного устранения вредных влияний (напр. затягивания, увлечения, захватывания, паразитных связей, посторонних полей, колебаний  $t^{\circ}$  и т. д.) параллаксы и различных ошибок наблюдателя. Наиболее точные результаты в Р. (до 10—7) получаются (на 1935 г.) при измерениях частот. Поэтому методы измерения частот в Р. применяются наиболее широко и при измерениях других величин (см. *Частоты измерения*). Что касается приборов, из совокупности к-рых составляются установки, служащие для измерений в Р., то основными здесь являются: 1) источники слабых переменных токов и напряжений, т. е. различные генераторы высокой и низкой частоты, включая генераторы с механич. управлением, как то: камертонные, пьезокварцевые и магнитоэлектрические (см. *Стабилизация частоты*); 2) динартоны, магнетроны и генераторы с междузелковыми электронными колебаниями и т. п.; 3) различные устройства для регулировки малых переменных токов и напряжений (активные, емкостные, индуктивные и другие делители напряжения, настроенные контуры и т. п.); 4) детали колебательных контуров: конденсаторы постоянной и переменной емкости, катушки индуктивности, *вариометры* (см.), сопротивления (в большинстве безиндукционные и беземкостные), соединительные проводники, виланы, усилители тока, напряжения и энергии, фотоэлементы, трансформаторы, различные ламповые приемники, различного типа и формы изоляционные материалы, реле, переключатели, клеммы, звезда, верньеры, термoeлементы с гальванометрами, электрометры, ламповые вольтметры, детекторные индикаторы с гальванометром, осциллографы как шлейфные, так и катодные; 5) целый ряд приборов электрометрии: источники энергии (элементы, аккумуляторы, преобразователи, выпрямители и т. д.), приборы магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, вибрационные, тепловые, термоэлектрические, электростатические, катодные трубки (вакуумные и газонаполненные), слуховые телефоны, хронографы, искровые измерители и

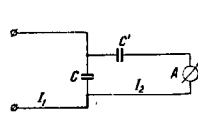
т. д. Кроме того используются и обычные приборы, применяемые в любой области современной измерительной техники, например термометры, барометры, микрометры, термостаты, калориметры, нормальные элементы, набор камертонов, точные часы, метроном и т. п. Широкое применение здесь имеют эталоны частоты, индуктивности, емкости, сопротивлений и т. д. (см. *Эталоны*).

**Основные объекты Р. 1.** Измерение силы в высокочастотного тока. Здесь способы и схемы Р. принято подразделять в зависимости от пределов и принципа. Что касается пределов, то таковыми являются токи от весьма малых долей  $\mu\text{A}$  до нескольких сотен А. Что же касается принципов, то основными здесь являются тепловое действие тока, изменение сопротивления в ф-ии высокочастотного тока, электродинамическое действие, термоэлектрический эффект и т. п.

а) **Тепловые измерители** имеют наиболее широкое практич. применение. Эффект, на к-ром основано действие тепловых измерителей, состоит в удлинении тонкой проволоки при нагревании ее проходящим по ней переменным током высокой частоты. Сам по себе эффект ограничивает пределы применимости таких изме-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

рителей токами от нескольких  $\text{mA}$  до 1—3 А в зависимости от материала тонкой проволоки, примененной в измерителе. Удлинение нити нагреваемым током пропорционально квадрату действующего значения силы тока. Перемещение по шкале измерителя стрелки, связанной с той же проволокой с помощью особой подвижной системы, обычно пропорционально корню квадратному из действующей силы тока, поэтому шкалы такого рода тепловых измерителей имеют неравномерные интервалы между делениями. При точности измерителей порядка 2% недостатками их являются непостоянство нуля, большая тепловая инерция, недопустимость перегрузки свыше 50% и ряд других. Амплитуду тока  $I_m$  представляется возможным определить по действующему значению тока  $I$ , исходя из известного соотношения

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}};$$

при этом предполагается синусоидальное изменение тока с течением времени. Очевидно, что этот метод позволяет измерять по заданному току и частоте как удлинение, так и  $t^{\circ}$  и другие величины.

б) **Измерители, основанные на изменении шунтов**, служат для измерения больших сил высокочастотных токов. Здесь применяются шунты в виде емкостей и индуктивностей. Так, в цепь измеряемого тока большой силы  $I_1$  вводится катушка малой индуктивности  $L$  (фиг. 1). В ветвь же измерителя высокочастотного тока (обычно теплового) включается катушка  $L_1$ , тогда

$$I_1 = I_2 \left( \frac{L_1}{L} + 1 \right).$$

Если в цепь измерителя включается емкостный шунт (фиг. 2), то при  $C > C'$

$$I_1 = I_2 \left( \frac{C}{C'} + 1 \right).$$

В последнее время получили применение шунты в виде нескольких витков, одинаковых по размерам и материалу с нитью теплового измерителя. Такие нити располагаются по образующим цилиндра. Вместо нитей в ряде случаев применяют ленты из иридиевой платины толщиной 0,01 мм при длине до 30 мм. Измерители такого типа изготовляются на токи до 200 А.

в) Измерители с трансформаторами применяются для измерения токов от 5 до 500 А. Сущность их состоит в применении медного стержня, заменяющего первичную обмотку. Стержень расположен в центре торoidalного сердечника с наложенной на него вторичной обмоткой, замкнутой на тепловой измеритель. Преимуществом трансформаторных измерителей высокочастотного тока является ничтожно малая индуктивность, емкость и сопротивление первичной цепи, т. е. считают, что включение трансформатора не изменяет данных колебательного контура. Точность измерителей с трансформаторами также порядка 2%.

г) Термопарные измерители основаны на применении термопар (см. *Термоэлементы*), нагреваемых измеряемым током, пропускаемым по подогревателю, и замкнутых на измеритель постоянного тока, применяемый в электрометрии. Поскольку до  $+100^\circ$  зависимость величины термоэДС от разности  $t^\circ$  спая с большой точностью линейна, то показания прибора постоянного тока пропорциональны квадрату действующего значения тока, проходящего через термопару. Последняя изготовляется на токи от нескольких мА до 750 А (фирма Вестон). Для измерения токов силой порядка  $\mu$ А используют метод совмещения термопары с *гальванометром* (см.) чувствительностью от 0,05  $\mu$ В. Повышение чувствительности достигается увеличением сопротивления подогревателя. Так, при  $R$  подогревателя в несколько тысяч  $\Omega$  термогальванометр измеряет токи от 10  $\mu$ А.

д) Боллометрические измерители (см. *Боллометр*, Доп. том) основаны на принципе изменения сопротивления проводника при прохождении по нему тока высокой частоты. Измеряемый ток пропускают по проволоке  $ab$  (фиг. 3) диам. от  $5 \cdot 10^{-4}$  до  $10^{-2}$  мм, помещенной в вакуум и включенной в одну из ветвей моста Уитстона (см. *Мостик Уитстона*). В целях предупреждения прохождения тока высокой частоты через другие плечи мостика обычно последовательно с боллометром включаются дроссели, а в цепи высокой частоты включаются разделительные конденсаторы, предохраняющие эти цепи от постоянного тока, питающего мостик. До измерений мост уравновешивается. При включении измеряемого высокочастотного тока равновесие моста нарушается, и индикатор равновесия  $G$  дает отклонение, пропорциональное квадрату действующей силы высокочастотного тока. Боллометры позволяют измерять токи высокой частоты от  $10^{-7}$  А. Чувствительность боллометра зависит как от величины диаметра проволоки, так и от силы постоянного тока, питающего мост. Очевидно, что этот принцип позволяет при заданных токе и частоте определить сопротивление проводника и ряд других величин, с этим связанных.

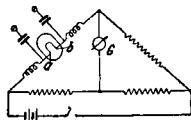
е) Ламповый измеритель применяется для измерения весьма малых токов. Сущность метода заключается в увеличении эмиссии, а следовательно и анодного тока, при увеличении тока накала электронной лампы (фиг. 4). Пределом здесь является ток насыщения лампы. Для

поднятия предела прибегают к параллельному включению нескольких ламп. Измерениям предшествует снятие характеристики  $I_a$  от  $I_f$  и установление определенного значения  $I_f$ .

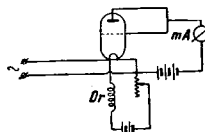
ж) Электродинамический измеритель в основе на явлении отталкивания друг от друга двух параллельных проводников диаметром  $d$  при пропускании по ним в противоположных направлениях тока высокой частоты. Сила отталкивания  $F$  при очень высоких частотах, когда длина волны  $\lambda$  сравнима с длиной проводников  $l$ ,

$$F = \frac{I^2 l}{\sqrt{D^2 - d^2}} \left( 1 + \frac{4\pi^2 \epsilon l^2}{3\lambda^2} + \frac{32\pi^4 \epsilon^2 l^4}{15\lambda^4} \right),$$

где  $\epsilon$  — диэлектрич. проницаемость (ОСТ/ВКС 5579: термин «диэлектрич. проницаемость» должен применяться вместо термина «диэлектрич. постоянная») среды между проводниками;  $D$  — постоянная между центрами параллельных проводников. Пользуясь этим принципом, при заданных токах нетрудно определить ряд других величин, напр. диэлектрич. проницаемость, диам. проводника, его длину и т. д., а следовательно и ряд величин, косвенно связанных с упомянутыми. Вообще говоря, обратный процесс измерений, широко используемый в Р., делает последнюю чрезвычайно распространенной.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

з) Абсолютные измерители основаны на явлении расширения столба ртути при прохождении по ртути токов высокой частоты. Измеряя высоту столба ртути, нетрудно измерить токи до 10 А с точностью до 0,1%. Иногда вместо ртути берется другая жидкость (спирт, эфир и т. п.), к-рой заполняется длинный капилляр, соединяющий 2 воздушных сосуда, причем в одном из этих сосудов помещается проволока, по которой пропускается измеряемый ток высокой частоты. В результате прохождения тока проволока нагревается, чем создается разность давлений в сосудах, вследствие чего столбик жидкости в капилляре переместится. По величине перемещения определяется сила измеряемого тока высокой частоты.

и) Другие типы измерителей основаны например на использовании *детекторов* (см.), обладающих нелинейной зависимостью (между напряжением  $E$ , подводимым к детектору, и силой выпрямленного тока), носящей название характеристики детектора, где

$$\Delta I = \frac{1}{4} E_m^2 \frac{d^2 I}{dE^2}.$$

Здесь применяют как кристаллич. и ламповые детекторы, так и другие. При периконовом детекторе (цинкит-халькопирит) и при гальванометре сопротивлением в 2 000  $\Omega$  не представляет особого труда измерять токи высокой частоты от  $10^{-9}$  А. Существенным недочетом является здесь непостоянство сопротивления контакта детектора, почему градуировку повторяют после каждого измерения. При *ламповом детекторе* (см.) пользуются как сеточным, так и анодным детектированием. Для измерения очень малых токов высокой частоты применяют предварительно

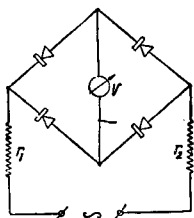
многоступенчатое усиление, а также комбинацию ламповых усилителей с *фотозаметом* (см.), что позволяет измерять токи от  $10^{-12}$  А при частотах до  $10^7$  Гц.

2. Измерители напряжений высоких частотных токов. Современные измерители напряжений высокой частоты имеют пределом, с одной стороны, доли  $\mu\text{V}$ , а с другой, — десятки тысяч В. Непосредственное измерение напряжений высокой частоты требует особых предосторожностей, так как вследствие емкостных и индуктивных влияний могут возникнуть значительные ошибки.

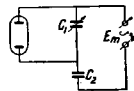
а) Искровые измерители с шаровым электродом, один из к-рых перемещается микроточеч. устройством, являются удобными при грубых измерениях высоких напряжений. Длина искры  $l$  измеряется по шкале. Отсчет берется по максимальному расстоянию между электродами, при к-ром искра пробивает воздушный промежуток между шарами:

$$E_m = 2 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 10^3 l.$$

Здесь  $E_m$  — амплитуда напряжений в В, а  $l$  — длина искры в мм. Для получения равномерности поля между электродами и устранения явления «запаздывания» искры шары изготовляют из магния с радиусом, превосходящим длину искры.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

б) Измерители с выпрямителем основаны на использовании односторонней проводимости слоя медь—закис меди, т. е. детектора с постоянным при данной  $f$  сопротивлением (фиг. 5, где  $r_1$  и  $r_2$  — марганциновые сопротивления для температурной компенсации). Такого рода измерители осуществляются на напряжениях 1—800 В при частотах до  $2 \cdot 10^4$  Гц. Измеряют они среднее арифметич. значение напряжения, пересчитываемое по градуировке на действующее значение.

в) Измерители со светящейся трубкой основаны на постоянстве напряжения зажигания в широком диапазоне частот двухэлектродных трубок, наполненных разреженным газом (неон, гелий). Т. о., определяя напряжение  $E_0$  зажигания при низкой частоте, получают возможность пользоваться градуировкой при высокой частоте согласно схеме фиг. 6. Здесь измеряемая амплитуда напряжения высокой частоты

$$E_m = E_0 \left( \frac{C_1}{C_2} + 1 \right).$$

Регулируя  $C$  при условии, что углы потерь для  $C_1$  и  $C_2$  одинаковы, получают возможность измерять амплитуду напряжения  $E_m$ .

г) Электростатические измерители, основанные на применении электростатич. вольтметра (см.) или струнного электрометра (см.), дают возможность измерять напряжения от мВ до сотен В. Обычный многоамперный электростатич. вольтметр Кельвина непригоден для измерения при высоких частотах, т. к. обладает большой емкостью между электрода-

ми. В настоящее время однако существуют уже электростатич. вольтметры, не обладающие этим недостатком и позволяющие производить измерения действующих значений напряжений при частотах до  $10^6$  Гц, причем с равномерной шкалой до  $2 \cdot 10^4$  В.

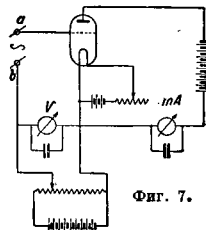
д) Тепловые измерители представляют собой проградуированные на действующие вольты тепловые измерители тока, последовательно с которыми включены добавочные безиндукционные сопротивления. Такие измерители пригодны на частотах до  $5 \cdot 10^4$  Гц. При частотах до  $10^6$  Гц применяют термомпары в соединении с измерителем постоянного тока с дополнительным сопротивлением, включенным в обе ветви термомпары.

е) Измерители с безинерционным осциллографом основаны на том явлении, что при подаче на одну пару электродов безинерционного осциллографа измеряемого напряжения и замыкании другой пары накоротко световое пятно на флуоресцирующем экране расплывается в световую полосу, длина к-рой  $l$  пропорциональна удвоенной амплитуде приложенного напряжения между пластинками

$$E_m = 2k_0 l \cdot E_a,$$

где  $E_a$  — постоянное напряжение между анодом и катодом,  $k_0$  — некоторая постоянная осциллографа, зависящая от геометрических размеров электродов.

ж) Ламповые измерители осуществляются по одной из предложенных многочисленных схем, которые основаны на использовании прямолинейных участков характеристик электронных ламп. Все известные схемы можно подразделить на следующие типы: одноламповые, многоламповые, с двухэлектродной лампой, с многоэлектродной лампой, с простой схемой, с компенсацией анодного тока и без нее, с питанием постоянным током от аккумуляторов и от сети переменного тока, с анодным или сеточным детектированием и т. д. Совершенный ламповый измеритель д. б., во-первых, переносным, затем иметь градуировку, независимую от частоты и неизменную во времени, обладать высокой чувствительностью, иметь широкие пределы измерений, иметь бесконечно большое сопротивление, минимальную емкость, обладать отсчетом, пропорциональным действующему значению приложенного напряжения, и т. д. Минимальное значение напряжений, к-рые можно измерять, обычно порядка  $10^{-6}$  В, максимальное — до сотен В. Простейшая схема лампового измерителя напряжения высокой частоты представлена на фиг. 7. Замыкая цепь  $ab$ , на сетку лампы дают отрицательное смещение  $E_1$ , сводящее  $I_a$  до нуля. При введении между  $a$  и  $b$  измеряемого напряжения появляется ток  $I_a$ , к-рый опять сводится до нуля последующим увеличением смещения на сетку до  $E_2$ . Разность  $E_2 - E_1$  и будет равна измеряемой амплитуде  $E_m$ . Схемы ламповых измерителей позволяют измерять также и максимальные значения напряжений высокой частоты. При очень больших  $E_{x \max}$  прибегают к схемам, использующим коэф. усиления обыкновенной лампы. Если  $E_{x \max}$  соответствует такому разряду в воздухе, то прибегают к специальным «коронным», или ионизационным, измерителям.



Фиг. 7.

3. Измерители активного сопротивления при высокой частоте. Пределами измерений активного сопротивления являются, с одной стороны, единицы  $\Omega$ , а с другой, — миллионы  $\Omega$  (M $\Omega$ ). Что касается принципа измерений, то основными здесь являются измерения по тепловому действию тока путем замещения, поглощения, а также по измерению напряжения и мощности и т. п.

а) Калориметрический измеритель состоит из калориметра, в к-рый помещается измеряемое сопротивление, по которому пропускают ток высокой частоты. В этом случае  $r_x = \frac{P}{I^2}$ , где  $I$  — сила тока, определяемая одним из вышеупомянутых способов, а  $P$  — мощность, определяемая напр. калориметрич. способом (см. ниже). Иногда применяют следующий метод измерений  $r_x$ : сопротивление нагревают током высокой частоты  $I$  до нек-рой  $t'$ , отсчитываемой по термометру калориметра, а затем повторяют то же постоянным током  $i$ , тогда

$$r_x = \frac{I^2 R}{i^2},$$

где  $R$  — сопротивление при постоянном токе. Предложен ряд вариантов калориметрич. измерителя, каждый из которых обладает специфич. преимуществами и недостатками. Наиболее чувствительным и точным принято считать т. н. дифференциальный калориметрич. метод, состоящий в применении двух калориметров, точнейших по размерам и конструкции. В один из них помещают испытуемый объект, через который пропускают ток высокой частоты, а в другой помещают нагреватель, через к-рый пропускают постоянный ток, регулируемый так, чтобы  $t'$  в обоих калориметрах была одинаковой. В последнем случае можно принять, что мощности, выделяемые в калориметрах, равны, и искомо

$$r_x = \frac{I^2 R}{i^2}.$$

Затем измерения повторяют при обмене калориметров ролями. За окончательный результат принимается среднее значение.

б) Измеритель, основанный на замещении, заключается в следующем: колебательный контур с включенным в него тепловым измерителем тока настраивают в резонанс с ламповым генератором, отмечая при этом силу тока  $I$  в контуре. Затем в контур включают эталонное сопротивление  $r_n$  и отмечают новое значение силы тока  $I_n$  в контуре; тогда

$$r_x = r_n \frac{I_n}{I - I_n} - R,$$

где  $R$  — сопротивление измерительного прибора. Этот метод служит для определения активного сопротивления колебательного контура. Другим вариантом является следующий. Нек-рый колебательный контур настраивают в резонанс с частотой лампового генератора. Затем измеряют три значения тока:  $I_1$  — когда контур содержит только собственное сопротивление  $r$  и сопротивление измерительного прибора, затем  $I_x$  — когда контур содержит измеряемое сопротивление  $r_x$ , и наконец  $I_n$  — когда контур содержит эталонное сопротивление (вместо  $r_x$ ); тогда

$$r_x = r_n \frac{I_n (I_1 - I_x)}{I_x (I_1 - I_n)}.$$

Предложен ряд вариантов описанного метода.

в) Измеритель, основанный на поглощении, состоит в следующем: колебательный контур с индуктивностью  $L$ , емкостью  $C$  и сопротивлением  $r_x$  связывается с двумя мало-

мощными ламповыми генераторами. Первым этапом является установление тона биений звуковой частоты при разомкнутом контуре, а затем контур замыкается. Расстройка контура путем изменения  $C$  имеет следствием изменение высоты тона биений согласно кривой фиг. 8. В этом случае

$$r_x = \frac{1}{2\omega} \left( \frac{1}{C'} - \frac{1}{C''} \right),$$

где частота  $\omega$  определяется одним из методов измерения частоты (см. Частоты измерения). Здесь точность измерений  $r_x$  порядка 0,25%.

г) Измеритель с ламповым вольтметром заключается в том, что ламповый вольтметр включается параллельно конденсатору колебательного контура, активное сопротивление к-рого надлежит определить. Сам контур настраивается в резонанс с частотой лампового генератора. Измеряя напряжение  $E$  на обкладках конденсатора при резонансе и  $E_n$  при введении в контур эталонного сопротивления  $r_n$ , находят искомо

$$r_x = r_n \frac{E_n}{E - E_n}.$$

д) Измеритель с реактивным сопротивлением, также применяемый для измерений активного сопротивления колебательного контура, состоит в следующем. Настройка исследуемого контура в резонанс с ламповым генератором, определяют ток  $I_r$  в исследуемом контуре. При резонансе реактивное сопротивление равно нулю. Далее, расстраивая несколько контур изменением  $C$  или  $L$  при сохранении постоянства индуктируемой эдс, получают значение тока в контуре уже  $I_r$ ; тогда

$$r_x = \pm \frac{\lambda_r (C_2 - C_1)}{6\pi \cdot 10^8 C_r \cdot C_1} \sqrt{\frac{I_r^2}{I_1^2 - I_r^2}}$$

для случая изменений  $C$  и

$$r_x = \pm \omega (L - L_r) \sqrt{\frac{I_r^2}{I_1^2 - I_r^2}}$$

для случая изменения  $L$ , где  $r$  — в  $\Omega$ ,  $C$  — в  $F$ ,  $I$  — в  $A$  и  $\lambda$  в  $m$ .

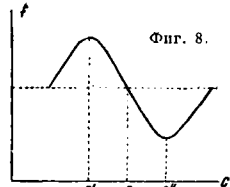
е) Измеритель, основанный на определении декремента затухания (см.), состоит в измерении величин, определяемых ф-лой

$$r_x = 152,3 \frac{\theta \cdot \lambda_r}{C_r},$$

где  $C_r$  — емкость контура в см,  $\lambda_r$  — длина волны в м, соответствующая резонансу, а  $r_x$  — в  $\Omega$ . Величину активного сопротивления можно также определить по вариации логарифмич. декремента путем включения измеряемого  $r_x$  в нек-рый колебательный контур с предварительным определением  $\theta_2$  при отсутствии  $r_x$  и последующего определения  $\theta_1$  при наличии  $r_x$ , тогда

$$r_x = 152,3 \frac{(\theta_2 - \theta_1) \cdot \lambda_r}{C_r}.$$

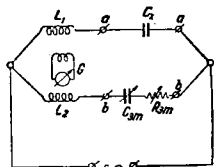
ж) Измерители с вариацией электрических параметров основаны на том принципе, что схема в виде колебательного контура настраивается в резонанс с частотой электрич. колебаний, после чего один из ее параметров или частота генератора меняется на нек-рую величину. Происшедшее вследствие этого изменение режима в цепи зависит от акти-



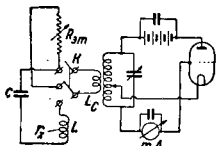
вного сопротивления контура и дает исходные величины для вычисления  $r_x$ . Активное сопротивление какого-либо одного элемента здесь м. б. определено лишь в том случае, если сопротивление остальных элементов контура известно.

3) Измеритель с дифференциальным трансформатором. В одну из ветвей первичной обмотки трансформатора, напр. в точки  $aa$  (фиг. 9), включается измеряемый объект, напр. конденсатор. В точки  $bb$  включается цепь, кажущаяся сопротивлением которой устанавливается тождественным с кажущимся сопротивлением измеряемого объекта. Регулировкой  $C_{зм}$  и  $R_{зм}$  добиваются установления нуля эдс в катушке индикатора. Неизвестное активное сопротивление определяется из ур-н, изображающего равенство активных сопротивлений цепей  $aa$  и  $bb$ . Такой измеритель дает удовлетворительные результаты при частотах до  $10^6$  Гц. Кроме того здесь требуется особенно тщательное соблюдение предосторожности, свойственные Р.

4) Другие типы измерителей. К 1934—1935 гг. предложено еще большее количество новых типов и схем измерителей активного сопротивления; из них опишем следующие. 1) Измеритель Штюрмера



Фиг. 9.



Фиг. 10.

для измерения  $r_x$  колебательных контуров состоит из измеряемого колебательного контура, связанного через катушку связи  $L_c$  с ламповым генератором (фиг. 10). При нижнем положении переключателя  $K$ , генератор настраивается в резонанс по наибольшему спадаанию тока в цепи сетки (по миллиамперметру mA). Затем  $K$  переключается в верхнее положение, и помощью эталонного радиочастотного сопротивления  $R_{зм}$  добиваются того же значения спадаания тока по миллиамперметру, как это было при настройке в резонанс; тогда, если

$$\omega^2 L_c^2 \ll R_{зм}^2,$$

то

$$r_x = R_{зм}.$$

Здесь удается измерять  $r_x$  порядка нескольких  $\Omega$  с точностью до 1%. 2) Измеритель  $r_x$  для больших токов и напряжений  $I$  состоит в том, что измеряется сила тока  $I$  в измеряемом контуре, связанном с ламповым генератором большой мощности, и напряжение  $E$  на клеммах катушки  $L_c$  (фиг. 11); тогда

$$r_x = \left(\frac{E}{I}\right)_{\min},$$

где  $r'_x$  — искомое сопротивление плюс сопротивление прибора. Этот метод имеет широкое применение при измерениях  $r_x$  антенн. 3) Определение  $r_x$  путем измерения частоты. Если  $L$  колебательного контура известно и если имеется возможность точного измерения частоты связанного с ним генератора, то хорошие результаты получаются в том случае, когда резонанс отмечается ламповым вольтметром, включенным параллельно конденсатору контура. Пусть в этом случае частота соответству-

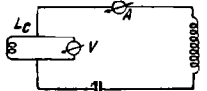
ет  $f_1$ . Далее изменяют частоту лампового генератора до тех пор, пока показания лампового вольтметра не уменьшатся вдвое, тогда

$$r_x = 4\pi L(f_2 - f_1).$$

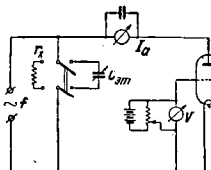
4) Абсолютный измеритель  $r_x$  м. б. применен для измерения любой величины  $r_x$ . Схема прибора представлена на фиг. 12. Здесь  $r_x$  включается в анодную цепь; с помощью потенциометра добиваются исчезновения анодного тока. Далее вместо  $r_x$  включается  $C_{зм}$ ; изменяя его емкость до исчезновения анодного тока, будем иметь

$$r_x = \frac{1}{2\pi f \cdot C_{зм}}.$$

4. Измерители емкости  $C_x$  при высокой частоте. Пределами измерений емкости являются доли см и миллионы см. Основными принципами являются здесь принцип моста Уитстона, принцип резонанса и принцип биений и комбинационных тонов.



Фиг. 11.



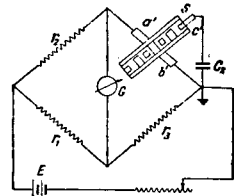
Фиг. 12.

а) Абсолютный измеритель емкости основан на ф-ле

$$C_x = \frac{I}{E \cdot \omega} \cdot 10^6,$$

где  $C_x$  — в  $\mu F$ ,  $I$  — ток, измеряемый тепловым амперметром,  $E$  — напряжение, измеренное статич. вольтметром, и  $\omega$  — частота (см. *Частоты измерения*). Наиболее точным является измеритель Максвелла-Томсона, схема к-рого представлена на фиг. 13. Измеряемый конденсатор  $C_x$  через посредство коммутатора  $S$  вводится в плечо моста, питаемого батареей  $E$ . Коммутатор, непрерывно переключая точку  $c'$  то к  $a'$  то к  $b'$ , тем самым то заряжает, то замыкает накоротко и разряжает конденсатор. В момент разряда равновесие нарушается, и через гальванометр  $G$  течет ток.

Однако существует такое соотношение между  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $C_x$  и числом прерываний  $n$ , при к-ром гальванометр не реагирует. В качестве коммутатора применяют специальные устройства в виде фоники мотора (синхронизованного камертонным генератором) с системой червячных передач и контактных приспособлений. Точность этого измерителя превышает  $10^{-5}$ .



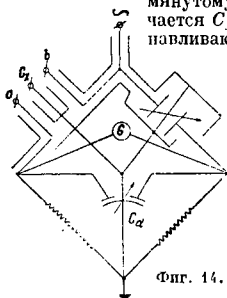
Фиг. 13.

б) Измерение емкостей моста. Для относительного измерения емкости применяют один из многочисленных вариантов моста Уитстона, питаемого переменным током (см. *Измерения*, Измерения в радиотехнике). Величина измеряемой емкости м. б. определена через емкость, включенные в остальные плечи моста (схема Циклинского), через емкость и сопротивление (схема Сотт), через сопротивление и индуктивность (схема Максвелла), через взаимную индуктивность и сопротивление (схема Кемпбелла) и др. Индикаторами применяют

ся здесь электрометры, вибрационные гальванометры, газосветные трубки, детекторы, телефоны и т. п. Ряд мостов позволяет измерять  $C_x$  от 50 до  $10^6$  см с точностью до 1% (схема Сотти). Мост Цикнера позволяет измерять  $C_x$  от 0 до 100 см с точностью до 1%. Сущность последнего заключается в создании эталонного конденсатора  $C_{эм}$  с начальной емкостью, равной нулю, и в уравнивании фазовых углов помощью дифференциального конденсатора (фиг. 14). Иногда хорошие результаты дает измеритель в виде неравноплечего моста с компенсацией разности фаз. Здесь при измерении  $C_x$  от 100 до 30 000 см можно получить большую точность.

в) Измерители, основанные на явлении резонанса, являются наиболее простыми. Даваемая точность порядка 2%. Сущность состоит в том, что нек-рый колебательный контур помощью переменного конденсатора  $C_n$  настраивается в резонанс с частотой возбуждаемого переменного тока. Затем параллельно упомянутому конденсатору подключается  $C_x$ , и изменением  $C_n$  устанавливается резонанс, что будет при  $C_n = C_n' + C_x$ ; следовательно  $C_x = C_n - C_n'$ .

г) Другие измерения  $C_x$ . Из большого числа методов следует упомянуть метод дифференциального трансформатора, метод, основанный на вычислении по формуле Томсона, и наконец метод сложных биений. Последний да-



Фиг. 14.

ет наиболее точные результаты и поэтому применяется для измерения как малых, так и ультрамалых емкостей. Основания метода состоят в том, что создаются биения звуковой частоты между частотами двух генераторов, в колебательный контур одного из к-рых включено  $C_x$ . Затем вместо  $C_x$  включается  $C_{эм}$  и устанавливается такое его значение, при к-ром биения звуковой частоты будут иметь то же значение, что и при  $C_x$ . Последнее осуществляется по вторичным биениям с частотой эталонного звукового генератора или помощью другого измерителя звуковой частоты (см. *Частоты измерения*). Для полного устранения ошибки увеличения частоты предложен метод трех генераторов, из к-рых два, стабилизированные кварцем, обладают разностью между частотами  $f_1$  и  $f_2$ , соответствующей высокой частоте, а третий генератор с параметрич. стабилизацией, содержащий  $C_x$ , настроен на частоту  $f_0$ , среднюю между  $f_1$  и  $f_2$ , причем с таким расчетом, что  $f_1 - f_0 = f_0 - f_2$ . В этом случае получаются нулевые биения, к-рые позволяют при замене  $C_x$  соответствующим  $C_{эм}$  установить последний так, что с большой точностью  $C_x = C_{эм}$ .

д) Применение измерителей  $C_x$  для измерения других величин имеет наиболее широкое приложение. Так, пользуясь одним из упомянутых измерителей  $C_x$ , можно определить диэлектрич. проницаемость (постоянную) различных диэлектриков, напр. путем двукратного измерения  $C_x$ , как в присутствии диэлектрика, так и при наличии такового; тогда  $E = \frac{C_x}{C_x'}$ . Далее нетрудно измерить чрезвычайно малые удлинения, деформации, изменения  $t^\circ$  и т. д. Пользуясь

в частности методами измерения ультрамалых  $C_x$ , можно измерять различные величины с точностью, недоступной другим методам современной метрологии.

Отметим еще методы измерений распределенных емкостей катушек индуктивности и схем. Связывая незамкнутое  $L$  со вспомогательным генератором, устанавливают резонанс одним из известных способов, затем измеряют частоту резонанса и величину  $L$ . В этом случае

$$C_x = 253 \frac{\lambda^2}{L},$$

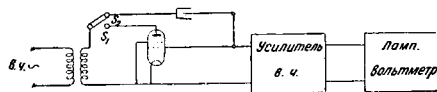
где  $C_x$  и  $L$  — в см, а  $\lambda$  в м. Если то же самое проделать, замкнув индуктивность на эталонный конденсатор  $C_{эм}$ , то

$$C_x = 253 \frac{\lambda^2}{L} - C_{эм}.$$

Ф-ла принимает другое выражение, если взять 2 различных значения эталонного конденсатора и измерить соответственно 2 значения частоты; тогда

$$C_x = \frac{C_{эм}' - C_{эм}}{\left(\frac{\lambda'}{\lambda}\right)^2 - 1} - C_{эм}'.$$

Следует еще указать, что путем измерения одним из упомянутых методов статич. емкости  $C_a$  антенны можно определить динамическую емкость антенны (см.), т. е. отношение полного заряда



Фиг. 15.

антенны к амплитуде напряжения в пучности при прямолинейном проводе, колеблющемся на основной частоте, исходя из ф-лы

$$C_d = \frac{2}{\pi} \cdot C_a.$$

Для случая зависимости от длины волны

$$C_d = \frac{\sin \theta}{\theta} \cdot C_a,$$

где

$$\theta = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{2a}{\lambda}.$$

Зная  $\theta$ , действующую емкость антенны можно определить по ф-ле

$$C_x = \frac{1}{2} C_a \left(1 - \frac{\sin 2\theta}{2\theta}\right).$$

е) Измерение емкости изоляторов производится помощью дифференциального трансформатора (фиг. 9). Изолятор включается на место  $C_x$ , и диэлектрич. сопротивление утки компенсируется помощью  $R_{эм}$ . Конденсатор  $C_{эм}$  вращается до тех пор, пока ток во вторичной системе не будет равен нулю, тогда  $C_x = C_{эм}$ . Исключительно высокую чувствительность, составляющую тысячные доли см, дает применение системы Гулла при измерении весьма малых междуэлектродных емкостей (фиг. 15). Фиксируя отклонение лампового вольтметра при положении рубильника  $S_1$ , а затем переключая на  $S_2$ , изменяют емкость измерительного конденсатора до тех пор, пока ламповый вольтметр не покажет то же отклонение, что и при положении переключателя  $S_1$ . Установленная на измерительном конденсаторе емкость равна измеряемой межэлектродной (сетка — анод) емкости лампы. В качестве измерительного конденсатора применяют конденсатор типа, аналогичного известной конструкции конденсатора Вульфа. Путем изме-

рения изменений малых емкостей конденсаторов с эластичным электродом представляется возможным напр. измерять изменения давления воздуха в  $10^{-4}$  ат.

5. Измерители коэффициента индуктивности  $L_x$ . Пределами измерений являются, с одной стороны, доли см, а с другой, —  $10^{16}$  см. Методы измерений  $L_x$  аналогичны методам измерений  $C_x$  (ниже имеются в виду индуктивности без сердечников, напр. из феррокарта).

а) Абсолютный измеритель  $L_x$  состоит из колебательного контура, составленного из  $L_x$ , эталонного конденсатора переменной емкости  $C_{зм}$  и термозлемента с гальванометром. Настраиваясь в резонанс с частотой связанного лампового генератора и измеряя частоту, силу тока в контуре и падение напряжения на индуктивности  $L_x$ , имеем

$$L_x = \frac{E}{I \cdot \omega}.$$

Если учесть сопротивление конденсатора, то

$$L_x = \frac{E}{I \cdot \omega} \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{\vartheta^2}{\pi^2} \right),$$

где  $\vartheta$  — декремент контура измерителя.

б) Измерение индуктивности мостами, питаемыми переменным током, аналогичное тому, как и при измерении емкостей, является наиболее удобным. Величина  $L_x$  м. б. здесь определена с помощью одного из многочисленных вариантов моста Уитстона как путем сравнения в схеме моста с эталонной индуктивностью, так и эталонной емкостью или сопротивлением. Наиболее распространенным является мост Андерсона (рис. 16), где

$$L_x = C \cdot r_1 (r_4 + 2r_5)$$

при  $r_1 = r_2$  и  $r_3 = r_4$ . Далее следует упомянуть о мосте Гиббс, могущем дать среди других мостов наиболее точные результаты (до 0,001%) при соблюдении особых условий. Для измерения малых индуктивностей упомянем мостик Долзалека, основанием которого является сравнение  $L_x$  с  $L_{зм}$ , коэф. индуктивности к-рой можно плавно изменять вдвиганием особого сердечника, что отмечается по шкале. Этот мостик позволяет определять  $L_x$  от  $10^2$  до  $10^7$  см с точностью порядка 2%. Что касается конструкции и особенностей современных эталонов индуктивности, то они отвечают особым условиям — неизменности формы (для чего однослойно наматываются на цилиндре из кварца или пайрекса), малому  $r$ -ному коэф-ту, большой механич. прочности, малому затуханию [для чего применяется *литцендрат* (см.)] и т. д.

в) Другие методы измерения  $L_x$ . В тех случаях, когда можно ограничиться точностью 2—5%, имеют применение многочисленные варианты резонансного метода, состоящего в принципе в том, что контур, составленный из  $L_x$  и эталонного конденсатора  $C_{зм}$ , возбуждается и настраивается в резонанс с частотой лампового генератора, частота к-рого измеряется отдельно. Здесь

$$L_x = 253 \frac{\lambda^2}{C_{зм}},$$

где  $L_x$  и  $C_{зм}$  в см и  $\lambda$  в м. Измерение малых  $L_x$  производится также по методу биений аналогично тому, как и при измерении  $C_x$ . Из других методов упомянем метод дифференциального трансформатора и метод замещения, для чего прибегают к специальным эталонным переменным индуктивностям, представляющим обычно систему подвижных и неподвижных обмоток (см. *Вариометр*) и т. д. При измерении индуктивности ан-

тенны прибегают к следующему косвенному методу. Сначала измеряют собственную длину волны  $\lambda_0$  антенны, затем в лучность тока вводится эталонная индуктивность  $L_{зм}$  и измеряется удлиненная волна  $\lambda_1$  антенны; тогда

$$L_x = L_{зм} \frac{\lambda_0^2}{\lambda_1^2 - \lambda_0^2}.$$

Динамическая же индуктивность антенны определяется из ф-лы

$$L_d = L_0 \frac{1 - \cos \theta}{\theta \cdot \sin \theta},$$

где

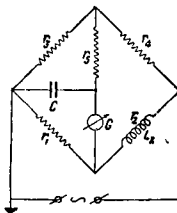
$$\theta = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda_1}.$$

Действующая индуктивность

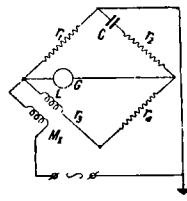
$$L_0 = \frac{1}{2} L_x \frac{2\theta - \sin 2\theta}{2\theta \sin \theta}.$$

Об измерении индуктивности конденсаторов см. Измерение, Измерения в радиотехнике.

6. Измерители коэффициента взаимной индукции  $M_x$ . Абсолютным методом является следующий. По первичной обмотке пропускается высокочастотный ток  $I_1$ ,



Фиг. 16.



Фиг. 17.

измеряемый напр. тепловым прибором. На концах же вторичной обмотки измеряется напряжение  $E_2$ , напр. катодным вольтметром; тогда

$$M_x = \frac{E_2}{\omega \cdot I_1},$$

где частота  $\omega$  определяется одним из методов измерения частоты (см. *Частоты измерение*). К числу относительных методов принадлежат методы сравнения с эталонной взаимной индукцией, затем методы мостов, метод резонанса, метод дифференциального трансформатора и т. д. Метод моста, один из вариантов которого представлен на фиг. 17, дает возможность определить  $M_x$  наиболее просто:

$$M_x = L \frac{r_1}{r_1 + r_2}$$

или

$$M_x = C \cdot r_1 \cdot r_4;$$

здесь  $L$  — индуктивность одной из катушек. О других методах см. *Измерение, Измерения в радиотехнике*. Простым методом является также метод лампового вольтметра. Так, последовательно с первичной катушкой измеряемой взаимной индукции включают переменное сопротивление  $R$  и питают их током  $I$  частоты  $f$ . Ламповый вольтметр приключают ко второй катушке взаимной индукции и с помощью сопротивления  $R$  уравнивают желаемое отклонение. Затем делитель напряжения присоединяется к первичной катушке и с помощью  $R$  опять уравнивают прежнее показание лампового вольтметра; тогда

$$M_x = \frac{R}{2\pi f}.$$

7. Измерители коэффициента связи  $k$ . Простейшим методом определения  $k$  двух индуктивностей является раздельное измерение  $L_1$ ,  $L_2$  и  $M$  и вычисление  $k$  согласно ф-лы

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

В случае наличия емкостной связи (см.) прибегают к следующему способу (фиг. 18). Контур  $I$  размыкают, а контур  $II$  связывают слабой связью с высокочастотным генератором. Измеряя напряжение  $E_{12}$  на обкладках конденсатора  $C_{12}$ , а ватем  $E_1$  между точками  $a$  и  $c$  и далее, размыкая контур  $I$  и замыкая контур  $II$ ,  $n$ -ый связывается с высокочастотным генератором, и производя аналогичные измерения  $E_{21}$  и  $E_2$  в контуре  $II$ , получим

$$k = \sqrt{\frac{E_{12} \cdot E_{21}}{E_1 \cdot E_2}}$$

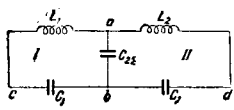
Этот же метод и ф-ла справедливы при наличии как *гальванической связи* (см.) (когда вместо  $C_{12}$  включено сопротивление), так и *автотрансформаторной связи* (см.) (когда вместо  $C_{12}$  включена катушка индуктивности). Коэф. связи  $k$  можно измерять также методом дифференциального трансформатора.

8. Измерение частоты и длины волны — см. *Частоты измерение*, *Волномер*, *Измерение*. Измерения в радиотехнике. Измерение частот *связанных колебаний* (см.) — см. *Измерение*. Измерения в радиотехнике. Измерение собственной длины волны антенны производят следующим путем. Связывая с антенной высокочастотный генератор, изменяют настройку последнего, т. е. его частоту. Наблюдая в это время за тепловым прибором, включенным в антенну, легко заметить, что прибор будет показывать ряд максимальных значений токов. Все эти максимумы соответствуют оборотам антенны. Следовательно максимум, соответствующий наибольшей длине волны генератора, будет тем самым определять собственную длину волны антенны. Длина волны генератора определяется одним из способов, указанных в ст. *Частоты измерение* (см.). Совершенно аналогично представляется возможным определить собственную длину волны катушки индуктивности той или иной схемы или электрич. цепи.

Измерения собственной длины волны пьезокварцевой пластинки можно производить рядом методов. Напрямейшим является метод Кеди, состоящий в том, что кварцевая пластинка помещается параллельно конденсатору некого колебательного контура. Снимая кривую резонанса контура с кварцем, легко обнаружим в кривой ряд впадин. Наибольшей глубины впадина на некоем участке резонансной кривой соответствует собственной частоте одного из видов колебаний пьезокварцевой пластинки (см. *Пьезоагрегаты и Стабилизация частоты*). В тех случаях, когда можно ограничиться небольшой точностью, длину волны собственных колебаний кварцевой пластинки определяют путем измерения акустических волн. Для этого в одном из электродов держателя кварцевой пластинки делают отверстие и припаивают к нему трубку, в  $k$ -ую помещают поршень, передвигаемый помощью микрометра. Перемещая поршень и отмечая силу тока в цепи сетки

генератора, заметим ряд максимумов и минимумов. Расстояние между двумя максимумами соответствует половине длины акустич. волны. По известному соотношению между скоростью распространения звука в воздухе при данной  $t^\circ$  и скоростью распространения электромагнитных колебаний находим собственную длину волны пьезокварцевой пластинки. Здесь получается точность измерений порядка 0,1%.

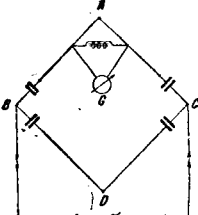
9. Измерители мощности  $P_x$ . Проще всего определить  $P_x$  при незатухающих колебаниях путем раздельного измерения действующей силы тока  $I$  и активного сопротивления  $r$ , тогда  $P_x = I^2 \cdot r$ . Можно определить  $P_x$  также путем измерения  $I$  и  $E$ , тогда  $P_x = E \cdot I$ . Однако это определение верно лишь для случаев, когда угол фаз между  $E$  и  $I$  равен нулю, т. е. когда  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ . Удобной является схема, представленная на фиг. 19. Здесь объект  $Z$  включается последовательно с двумя равными малыми сопротивлениями (меньшими  $Z$ ). Сопротивление же  $R_1$  значительно больше  $Z$ . Здесь  $P_x = k \cdot I_a$ , где  $I_a$  — ток в анодной цепи, а  $k$  — нек-рый коэф., определяемый при градуировке. Таким ваттметром можно измерить мощности менее



Фиг. 18.



Фиг. 19.



Фиг. 20.

20  $\mu$ W. Лампы здесь д. б. с тождественными характеристиками. Из других методов измерения упомянем метод дифференциального конденсатора, ватем метод мостика из терморпар (фиг. 20) согласно ф-ле  $P_x = \frac{\alpha}{k}$ , где  $\alpha$  — отклонению гальванометра  $G$ , а  $k$  — постоянная. Т. о. гальванометр  $G$  м. б. отградуирован в W. Далее следует упомянуть об измерителе  $P_x$  с безинерционным осциллографом. Если отклонение пучка в одном направлении производится полем, интенсивность  $k$ -рого пропорциональна току, а отклонение в другом направлении полем, пропорциональным напряжению, то получаемая на экране площадь замкнутой фигуры Лиссажу дает для этого случая ф-лу

$$P_x = 3 \cdot 10^8 \frac{k \cdot C \cdot S}{\lambda}$$

где  $S$  — площадь фигуры в  $см^2$ ,  $C$  — емкость конденсатора, включенного параллельно одной паре отклоняющих пластин в  $F$ , и  $k$  — постоянная, определяемая при первоначальной градуировке измерителя. Передко  $P_x$  определяется также методом калориметра, вапр. определением  $P_x$ , выделяемой на катушке индуктивности при прохождении высокой частоты тока. Последняя в этом случае помещается в калориметр, тогда

$$P_x = \frac{Q \cdot \Delta \theta}{0,239 \cdot T}$$

где  $Q$  — количество тепла в cal, необходимое для повышения  $t^\circ$  всей системы на  $1^\circ$ ,  $\Delta \theta$  — повышение  $t^\circ$  жидкости и  $T$  — продолжительность измерений в ск. В P. часто приходится определять  $P_x$  рассеиваемую на аноде генераторной лампы. Общепринятым здесь является метод калориме-



трический. В случае лампы с водяным охлаждением измеряют в см<sup>3</sup> количество воды, прошедшей через охлаждающую систему за время  $T$ , причем одновременно измеряется разность температур  $\Delta\theta$ —входящей и выходящей воды. В этом случае мощность, рассеиваемая на аноде, будет

$$P_a = \frac{A \cdot \Delta\theta}{0,239 \cdot T}.$$

В случае «сухой» лампы применяют способ термометра, подвешиваемого вблизи генераторной лампы, и отмечают его показание. Затем, разрывая цепь колебательного контура генератора, дают на сетку генераторной лампы положительный потенциал до тех пор, пока термометр не покажет ту же  $t^\circ$ , что и при генераторном режиме лампы. Беря в последнем случае отсчеты  $I_a$  и  $E_a$ , определяют  $P_a$  из соотношения

$$P_a = I_a \cdot E_a.$$

Что касается измерения мощности, излучаемой антенной, то это производят, исходя из существующей зависимости (см. *Излучение и прием*)

$$P_2 = \frac{1}{90} E^2 \cdot d^2,$$

где  $P_2$  — излучаемая мощность в  $W$ ,  $E$  — напряженность поля в  $mV/m$  и  $d$  — расстояние между передающей антенной и местом измерения напряженности поля по прямой. Клд лампового генератора определяется из соотношения

$$\mu = \frac{P_1}{P_2} 100\%.$$

здесь  $P_2 = I_a E_a + I_f \cdot E_f$ , где  $E_a$  и  $E_f$  — постоянные напряжения — анодное и накала,  $I_a$  и  $I_f$  — соответствующие токи, а  $P_1$  — мощность в анодном контуре, определяемая как произведение квадрата силы высокочастотного тока в контуре на активное сопротивление контура. При больших мощностях  $P_1$  определяется фотометрически — по одинаковой яркости свечения ламп при постоянном и высокочастотном токе.

10. Измерение логарифмического декремента затухания  $\delta$ . а) Измерение  $\delta$  колебательного контура производится, исходя из ф-лы

$$\delta = \pi \left( \frac{\lambda_2^2}{\lambda_f^2} - 1 \right) \sqrt{\frac{I_2^2}{I_f^2 - I_2^2}}$$

(здесь  $\lambda_2 > \lambda_f$ ),

где  $I_f$  — ток в контуре при резонансе,  $I_2$  — ток в контуре при небольшой расстройке,  $\lambda_f$  — длина волны, соответствующая резонансу,  $\lambda_2$  — длина волны при небольшой расстройке. Аналогично

$$\delta = \pi \left( \frac{C_2}{C_r} - 1 \right) \sqrt{\frac{I_2^2}{I_f^2 - I_2^2}}.$$

Далее  $\delta$  можно определить, исходя из ф-лы

$$\delta = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{C_2 - C_1}{C_r},$$

где  $C_r$  — емкость контура при резонансе, при этом сила тока в индикаторе, связанном с контуром, будет  $I_r$ ,  $C_2$  и  $C_1$  — емкости контура, соответствующие силе тока в индикаторе, равной  $\frac{I_r}{2}$ , причем  $C_1 > C_r > C_2$ . Из других методов упомянем метод мостика с дифференциальным термоэлементом, метод трех термоэлементов, метод подстановки и наконец метод с катодной трубкой. Простой метод предложен Рунге для измерения декремента колебательного контура. К колебательному контуру присоединяется ламповый вольтметр, служащий индикатором. Далее с упомянутым контуром связывается ламповый генератор мощностью порядка 10  $W$ , в коле-

бательный контур которого включается тепловой амперметр. Катушка контура генератора имеет поворотное короткозамкнутое кольцо, установку которого можно считать по шкале. Настройка генератор в резонанс с измеряемым контуром посредством переменного конденсатора при средней установке короткозамкнутого кольца, получить максимальное отклонение лампового вольтметра. Затем, увеличивая анодное напряжение до тех пор, пока ток в колебательном контуре не возрастет в  $\sqrt{2}$ , что одновременно увеличит показания лампового вольтметра, поворачивают короткозамкнутое кольцо катушки в обе стороны от средней установки до получения предыдущего максимального отклонения лампового вольтметра. Тогда декремент контура равен сумме расстроек, выраженных в % и отсчитанных по шкале, умноженной на  $\pi$ .

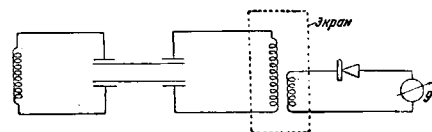
б) Измерение  $\delta$  пьезокварцевой пластины производится так. Последовательно с кварцем  $Q$  (фиг. 21) включается детектор  $D$  с гальванометром  $G$ . Вся эта система замыкается на катушку индуктивности  $L$ , к-рую в свою очередь связывают с высокочастотным генератором. Изменяя частоту лампового генератора и одновременно измеряя величину тока  $I$ , проходящего через гальванометр, получаем ряд точек резонансной кривой; тогда

$$\delta = \pi \frac{f_2 - f_1}{f_r} \sqrt{\frac{y}{1-y}},$$

где

$$y = \frac{I_1 \cdot I_2}{I_r^2};$$

$I_1$ ,  $I_2$  и  $I_r$  — силы тока при частотах  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_r$ , причем  $f_1 > f_r > f_2$ , а  $f_r$  — частота, соответствующая резонансу. С целью уменьшения паразитных связей и непосредственных влияний изменяют схему фиг. 22.



Фиг. 22.

11. Измерители напряженности электромагнитного поля. Вследствие большого числа величин, входящих в определение напряженности поля  $E$ , точность здесь порядка 10—20% и лишь в новейших (с 1934 г.) сложных устройствах точность достигает порядка 5%. Простейшим сравнительным методом измерений напряженности поля является метод шунта, или параллельных омов, состоящий в том, что телефон приемника шунтируется безиндукционно-беземкостным переменным сопротивлением. Подбирая величину такого сопротивления до полного исчезновения звука в телефоне, коэффициент слышимости определяем из соотношения

$$A = 1 + \frac{r_T}{r_s},$$

где  $r_T$  — сопротивление телефона, а  $r_s$  — сопротивление шунта. Улучшенным методом является следующий. Приемную антенну и сам приемник настраивают в резонанс с измеряемой радиостанцией. Помощью шунта  $r_s$  параллельного телефону, устанавливают коэффициент слышимости  $A$

и ватем, возбуждая местный источник колебаний с помощью шунта в генераторе, устанавливают ту же слышимость; тогда

$$E = \frac{r_2 \cdot I_2}{h_2},$$

где  $h_2$  — действующая высота антенны,  $r_2$  — активное сопротивление антенны,  $I_2 = I_0 \frac{M_2}{M_1}$ , где  $M_1$  — коэффициент взаимоиндукции между антенной и приемником,  $M_2$  — то же между приемником и местным источником высокочастотных колебаний и  $I_0$  — ток в контуре местного генератора, связанного с приемником. При измерениях больших величин  $E$  (больше 30  $\mu\text{V}/\text{м}$ ) используют метод приемной рамки, замкнутой на конденсатор переменной емкости и настраиваемой на волну передающей радиостанции. Здесь

$$E = \frac{r_2 \cdot \lambda \cdot I_2}{2\pi \cdot n \cdot S},$$

где  $I_2$  — измераемый ток в рамке при резонансе в мА,  $r_2$  — активное сопротивление антенны в  $\Omega$ ,  $\lambda$  — волна измеряемой радиостанции в м,  $n$  — число витков рамки,  $S$  — площадь одного витка в м<sup>2</sup>,  $E$  — напряженность поля в  $\mu\text{V}/\text{м}$ . При более точных измерениях, учитывающих синусоидальное распределение тока и напряжения по длине провода рамки, следует еще умножить написанное выражение на  $\frac{kl}{\sin kl}$ , где  $l$  — половина длины провода рамки и  $k$  — коэф., зависящий от  $\lambda$ . Вместо измерения  $I_2$  можно измерить напряжение  $E_c$  на конденсаторе рамки; тогда

$$E = \frac{E_c \cdot C \cdot \omega \cdot r_2}{h_2},$$

где  $h_2$  — действующая высота рамки. При более точных расчетах следует исходить из выражения

$$E = \frac{2kl \cdot E_c \cdot C \cdot \omega \cdot r_2}{h_2 \cdot \sin 2kl}.$$

Для определения величин  $kl$  связывают рамку с высокочастотным генератором и при резонансе измеряют силу тока у конца провода рамки и силу тока в середине рамки. Отношение величин сил токов определяет величину  $\cos kl$ .

Для измерения слабых полей применяют методы сравнения (компарирования) эдс в приемной рамке с известной эдс, подаваемой в рамку от местного высокочастотного источника (радиокомпарирование) или от низкочастотного источника (аудиокомпарирование). Первые дают большую точность, чем вторые, и поэтому имеют наиболее широкое распространение. В настоящее время предложено большое число схем компараторов, совершенствование, равно как и повышение точности к-рых весьма быстро прогрессирует. Подробнее см. *Компаратор в радиотехнике*. Современные компараторы позволяют измерять интенсивность атмосферных и иных полей, а также эффект замирания при радиоприеме.

12. Измерение параметров электронных ламп — см. *Лампа электронная*.

13. Измерение параметров антенн — см. *Радиост. Выше мы упомянули уже методы измерений активных сопротивлений антенн статич. и динамич. емкостей и индуктивности антенн, собственной длины волны, мощности излучения и других параметров антенн. Здесь приведем еще следующие методы измерения.*

а) Действующая высота рамки определяется, исходя из ф-лы

$$h_2 = \frac{2\pi \cdot n \cdot S}{\lambda},$$

где  $n$  — число витков рамки,  $S$  — площадь одного витка рамки в м<sup>2</sup>,  $\lambda$  — длина рабочей волны,  $h_2$  — действующая высота в м.

б) Действующая высота передающей антенны  $h_1$  в м определяется, исходя из ф-лы

$$h_1 = \frac{\lambda \cdot d \cdot E}{120 \cdot \pi \cdot I_1},$$

где  $I_1$  — ток в пучности,  $E$  — напряженность поля в  $\mu\text{V}/\text{м}$ ,  $d$  — расстояние места измерений до антенны по прямой в км.

в) Измерение сопротивления излучения антенны и сопротивления заземления состоит в том, что на расстоянии примерно пяти длин волн от передающей антенны устанавливают приемную антенну и измеряют силу тока  $I_1$  в передающей и  $I_2$  в приемной антеннах. Затем передающую антенну снижают на 0,1 первоначальной высоты и настраивают так, чтобы ток  $I_1'$  доставлял прежнюю мощность; тогда сопротивление излучения

$$r_r = \frac{I_1^2 - I_1'^2}{I_1^2 \cdot I_2^2 - I_1'^2 \cdot I_2^2} \cdot I_2^2 \cdot r_1,$$

а сопротивление заземления

$$r_g = r_j - r_a,$$

где  $r_1$  — эффективное сопротивление передающей антенны,  $r_a$  — сопротивление антенного провода, а

$$r_j = I_1^2 \cdot r_1 \cdot \frac{I_2^2 - I_2'^2}{I_1^2 \cdot I_2^2 - I_1'^2 \cdot I_2^2}.$$

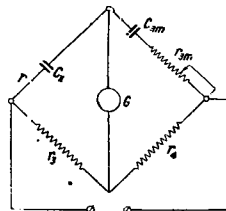
14. Измерение угла и сопротивления потерь конденсатора. Как известно, конденсатор с потерями эквивалентен конденсатору без потерь, зашунтированному утечкой

$$r_s = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \psi},$$

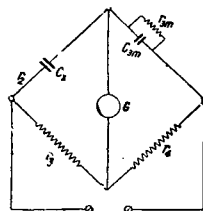
где  $\psi$  — угол потерь, а  $C$  — емкость конденсатора. Можно также представить конденсатор с потерями в виде конденсатора без потерь, последовательно с к-рым включено сопротивление:

$$r = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\omega \cdot C}.$$

Измерение эквивалентных шунтирующих и последовательно включенных сопротивлений можно



Фиг. 23.



Фиг. 24.

осуществить по схемам а и б фиг. 23 и 24. Из схемы фиг. 23 имеем

$$r = r_{3m} \cdot \frac{r_3}{r_4},$$

а из схемы фиг. 24

$$r_s = r_{3m} \cdot \frac{r_3}{r_4}.$$

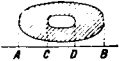
Зная  $r$  и  $r_s$ , нетрудно определить  $\operatorname{tg} \psi$ . Измерение самого сопротивления потерь производят путем составления колебательного контура из нек-рой катушки индуктивности, измеряемого конденсатора и теплового прибора. Этот колебательный контур связывают с высокочастотным

ламповым генератором и измеряют его активное сопротивление (напр. методом замещения). Затем вместо конденсатора с потерями включают эталонный конденсатор без потерь и снова определяют активное сопротивление контура. Разность измерений двух значений активных сопротивлений дает значение сопротивления потерь конденсатора. Последнее для различных конденсаторов находится обычно в пределах от сотых долей  $\Omega$  до двух десятков  $\Omega$ . Поскольку сопротивление потерь есть ф-ция частоты и емкости, то приведенное сопротивление потерь

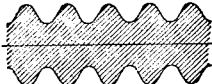
$$r_0 = \frac{300 \cdot r}{\lambda} \cdot (C \cdot 10^8)^{3/2},$$

где  $\lambda$  — длина волны в м,  $C$  — емкость в  $\mu F$  и  $r$  — в  $\Omega$ . У хороших конденсаторов угол потерь  $\psi < 20^\circ$ .

15. Измерители коэф-та модуляции и  $k_m$ . Точность современных измерителей ко-

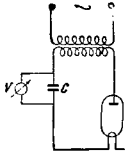


Фиг. 25.

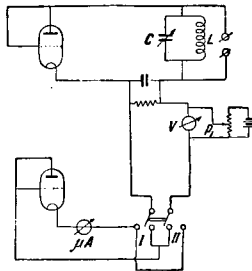


Фиг. 26.

эффициента модуляции  $k_m$  находится в пределах 1—10%. Принципы, лежащие в основе измерителей, заключающиеся в применении шлейфовых или безинерционных осциллографов, ламповых вольтметров, тепловых измерителей тока и напряжения и т. п. Основные измерители  $k_m$  требуют последнего вычисления, однако существуют и прямо показывающие измерители. Ряд методов предполагает измерение  $k_m$  вблизи передатчика, другие же позволяют измерять  $k_m$  на  $G$ ; чем-



Фиг. 27.



Фиг. 28.

пой радиостанции. Наиболее точным способом измерения  $k_m$  считается способ, определяющий наибольшую ( $I_{m(max)}$ ) и наименьшую ( $I_{m(min)}$ ) амплитуды модулированных колебаний по кривой, снятой шлейфовым осциллографом; тогда

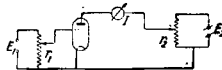
$$k_m = \frac{I_{m(max)} - I_{m(min)}}{I_{m(max)} + I_{m(min)}}.$$

Далее  $k_m$  можно определить с помощью безинерционного осциллографа по фигурам Лиссажу, получаемым на экране. При модуляции фигура Лиссажу будет заключать два эллипса (фиг. 25). Отрезок  $AB$  будет пропорционален  $I_{m(max)}$ , а отрезок  $CD$  —  $I_{m(min)}$ . В отдельных случаях применяется способ прямолинейной развертки колебаний. В этом случае кривая, получаемая на экране безинерционного осциллографа, позволяет определить  $I_{m(max)}$  и  $I_{m(min)}$  (фиг. 26). Далее  $k_m$  можно измерять путем определения напряжения на обкладках конденсатора  $C$ , заряжаемого через диод (фиг. 27) напр. статич. вольтметром, показания которого пропорциональ-

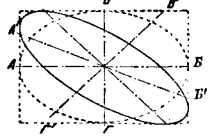
ны амплитуде подводимого напряжения. Определяя  $E$  в отсутствии модуляции, а затем  $E_m$  при наличии модуляции, имеем

$$k_m = \frac{E_m - E}{E}.$$

Насаживая подвижные системы двух статич. вольтметров на одну ось под углом  $81^\circ$ , осуществляют измеритель с непосредственным отсчетом  $k_m$  по принципу фиг. 27. Для измерения наибольшей амплитуды напряжения модулированных колебаний представляется возможным использовать неоновую лампу благодаря постоянству напряжения зажигания последней. Предложив ряд схем, измеряющих  $k_m$  с помощью нескольких тепловых амперметров, затем с помощью теплового амперметра и вольтметра, а также лампового вольтметра с компенсацией и т. д. Наибольшее распространение имеет нижеследующая схема, пригодная для измерений как вблизи, так и вдали от передатчика (фиг. 28). Колебательный контур  $LC$  настраивается на частоту радиостанции. Когда переключатель находится в положении  $I$ , схема измеряет  $E_{m(max)}$ , для чего потенциометр  $P_1$  устанавливается на исчезновение анодного тока. Показания  $V$  будут пропорциональны  $E_{m(max)}$ . Для измерения  $E_{m(min)}$  переключатель устанавливается в положение  $II$ . Регулировочной потенциометра  $P_1$  снова добиваются



Фиг. 29.



Фиг. 30.

исчезновения тока  $I_a$ . Показания  $V$  будут пропорциональны  $E_{m(min)}$ . Здесь

$$k_m = \frac{E_{m(max)} - E_{m(min)}}{E_{m(max)} + E_{m(min)}}.$$

Схема при тщательном экранировании дает точность до 2%.

16. Измерение разности фаз  $\varphi$  можно произвести помощью схемы фиг. 20: к точкам  $AD$  и  $BC$  подводят два синусоидальных тока  $I_1$  и  $I_2$ , имеющих одинаковые фазы; тогда отклонение гальванометра  $G$  будет  $a_1 = kI_1$ . Затем вместо  $I_1$  подводится  $I'_1$ , тогда  $a'_1 = k'_1 I'_1$ . Здесь

$$\cos \varphi = \frac{a'_1 \cdot I_1}{a_1 \cdot I'_1}.$$

Изображенная на фиг. 29 схема Траутвейна позволяет определить фазовый угол путем трех измерений. Приложенные напряжения в цепи сетки и анода подгоняют к напряжениям, имеющим место при градуировке. Затем по данной величине анодного тока  $I$  определяют разность фаз  $\varphi$  по кривой градуировки. Разность фаз определяют также с помощью цепной линии. Угол сдвига фаз можно определить также с помощью трубки Брауна путем определения длин диаметров двух эллипсов, описываемых светящейся точкой на экране (фиг. 30). Здесь

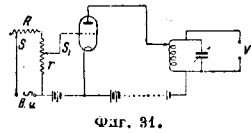
$$\cos \varphi = \frac{A'B' \cdot B'G'}{AB \cdot BG}.$$

17. Измерение коэффициента усиления и величина высокочастотного усиления (см.) производится по схеме фиг. 31. Здесь сначала приключают ламповый вольтметр к клеммам  $r$  и передвигают движок  $S_1$  так, чтобы параллельно лампе было включено наибольшее со-

противление. Затем регулировкой движка  $S$  добиваются возможно большего отклонения лампового вольтметра. Далее ламповый вольтметр переключают в анодную цепь и движок  $S_1$  устанавливают так, чтобы между сеткой и нитью было короткое замыкание. В последнем случае вольтметр не должен давать отклонений. Затем регулируют  $S_1$  до тех пор, пока не получится прежние показание вольтметра. Пусть в первом случае сопротивление  $r_1$ , а во втором случае  $r_2$ ; тогда коэф. усиления напряжения

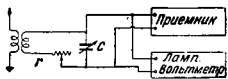
$$k_v = \frac{r_1}{r_2}.$$

При очень больших усилениях прибегают к методу аттенуатора, при котором ток, соответствующий падению напряжения на усилителе, определяется косвенным путем. Вышеизложенное имеет в виду усилители без регенерации. При регенерации усилителя непосредственное измерение коэф. усиления напряжения весьма затруднительно. Измерение истинного усиления высокой частоты приемника производится путем включения в колебательный контур достаточного большого активного сопротивления  $r$  и измерения напряжения ламповым вольтметром. При отсутствии регенерации показания последнего д. б. одинаковы как при выключенном, так и включенном накале ламп приемника (фиг. 31). Регулируя сопротивление  $r$ ,



Фиг. 31.

можно получить и при наличии регенерации то же отклонение лампового вольтметра, что и при отсутствии регенерации. Т. о.  $r$  является мерой обратной связи. Если активное сопротивление контура есть  $R$ , то при регенерации оно будет  $R-g$ , а коэф. регенерации



Фиг. 32.

$$k_r = \frac{R}{R-g},$$

откуда истинный коэф. усиления

$$k = k_r \cdot k_p,$$

где  $k_v$  — коэффициент усиления в отсутствие регенерации.

Лит.: Х у л д А., Курс физики, т. 1, Берлин, 1923; Г у н д А., Измерения при высокой частоте, пер. с нем., М.—Л., 1931; Ш а р о н В., Радиотехника, измерения и расчеты, Л., 1932; К я н д и с к и й Г. В., Радиотехнич. измерения, М.—Л., 1932; А н д е л о в и ч Е., Радиотехнич. измерения, М.—Л., 1932; А р д е н н е М., Техника измерений усилителей, пер. с нем., М.—Л., 1933; П и р о в В., Основные радиотехники, измерения, М., 1933; М о у л л и Е., The Theory of a Practice of Radio Frequency Measurements, W., 1926; К л е й н Н. U., W i r t z K., Radiotelegraphisches Praktikum, 3 Aufl., V., 1927; N e s p e r E., Messtechnik für Radio-Amateure, V., 1928; A r d e n n e M., Verstärkemesstechnik, V., 1929; B r o w n H., Radiofrequency Electrical Measurements, N. Y., 1931; M o r e s c r o f t J., Principles of Radio Communication, N. Y., 1933; Н и л л А., High-Frequency Measurements, N. Y., 1933; S m y t h В. E., M i c h e l s W., Advanced Electrical Measurements, L., 1933; G o l d i n g E., Electrical Measurements a. Measuring Instruments, in der Luftfahrt, W., 1932; O a k l e y H., Some Developments in High Frequency Measuring Equipment, «Radio Broadcast», N. Y., 1930, v. 16, 5, p. 262; Some New Radio Instruments, «Electrical Review», London, 1930, v. 106, 2725, p. 294.

А. Вайнберг.

**РАДИОНАВИГАЦИЯ**, наука о применении радиоволн в целях вождения или ориентирования в пространстве подвижного объекта, имеющего соответствующую радиостанцию. Р. — один из от-

делов *техники высокой частоты* (см.), позволяющих осуществить безопасное движение судов (как морских, так и воздушных). Решение задачи Р. основывается на существовании закономерной зависимости между электрич. и магнитной компонентами электромагнитной волны и направлением движений последней (см. *Волны электромагнитные*), а также на свойстве волн распространяться по дугам большого круга. Для реализации поставленной в Р. цели необходимо определенное овладение процессом в пространстве: или создание и изменение электромагнитного поля по ранее заданному закону или однозначный анализ (определение направления) такого поля. Отсюда вытекают два возможных метода Р.: направленные излучение или направленный прием (см. *Направленное радио*). Р., как и всякая радиосигнализация, осуществляется путем совместной работы передающего и приемного радиоустройств, причем необходимым условием является сообщение направленных свойств одной из этих двух станций. Направленные передатчики (точнее передающие устройства) принимаются с помощью ненаправленных приемников (точнее приемных устройств), причем положение последних определяется по характеру принимаемого сигнала; направленные приемники дают возможность определить направление, в котором следует искать любой ненаправленный передатчик. Решающим для Р. фактором являются в обоих случаях радиосети, применяемые в самых разнообразных формах; выбор же схемы и конструкции собственно передатчика и приемника особой роли не играет.

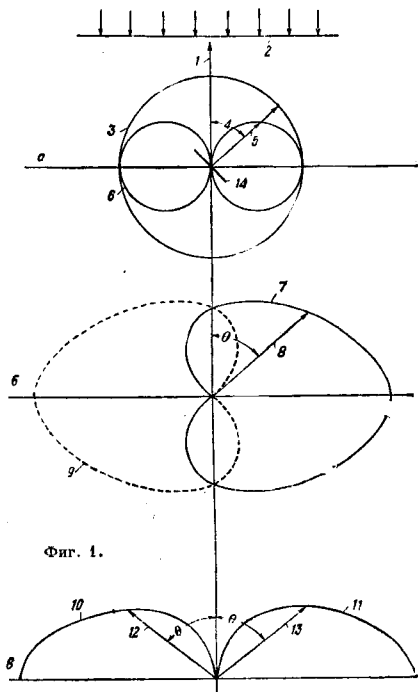
Методы Р. используются в настоящее время как при мореплавании, так и в авиации; при этом в первом случае преимущественно применяется направленный радиоприем, а во втором — направленный радиопередатчик; однако эти характеристики не являются общими: способы реализации Р. в разных государствах сильно отличаются один от другого. С навигационной точки зрения методы Р. могут быть сгруппированы в следующие 3 главн. раздела: 1) передача от корабля и (направленный) прием на неподвижной станции; результат определения на последней местоположения корабля передается в форме обычных радиосигналов кораблю; 2) передача от неподвижной радиостанции и (направленный) прием на корабле; 3) передача (направленная) от неподвижной радиостанции и прием на корабле обычным приемным устройством. Как общее правило направленные передатчики, применяемые в Р., носят название *радиомаяков* (см.), а направленные приемники, используемые в Р., — *радиопеленгаторов*, или *пеленгаторов* (см.); ненаправленные передатчики, применяемые в Р., часто называются *радиофарарами*. Термин «пеленгатор» является общим для всех видов направленного радиоприема в Р. как на корабле, так и на неподвижной станции; часто пеленгатор, установленный на корабле, называется также *радиоколлассом* (см.). При первом методе корабль посылает определенные сигналы (по международному коду), содержащие просьбу к специальной неподвижной радиостанции, имеющей направленный прием, об определении местоположения корабля. По получении от неподвижной станции согласия корабль посылает специальные сигналы; во время передачи таких сигналов 2 или 3 станции (неподвижные), работающие координированно с первой неподвижной станцией, производят его засечку (см. *Засечка в радиотехнике*). Результат определения

местонахождения корабля (обычно в виде долготы и широты) передается снова первой станцией кораблю. В этом способе применяются на неподвижных станциях следующие главные системы пеленгаторов: а) поворотная рамка, б) двойная рамка Робинзона (редко), в) *гониометр* (см.) Беллини и Този или г) сист. Эйдюка.

Второй метод реализуется различными вариантами. Наиболее общим для ряда стран и для обоих видов Р. (морской и авиационной) является применение обычного рамочного пеленгатора (см. *Рамка*). В Англии на самолетах нередко устанавливались пеленгаторы в виде двойной рамки Робинзона. При одном типе конструкции этой системы рамки располагаются в крыльях самолета. В другом типе конструкции — фюзеляжном — рамки монтируются под прямым углом одна к другой на каркасе, размещенном в фюзеляже самолета. В Англии также встречались на кораблях пеленгаторы Беллини и Този.

Наиболее современной установкой радионавигационного приема является прибор, с 1935 г. весьма часто применяемый в авиации США и Европы под названием «радиокомпас» в собственном смысле этого слова. По существу это — рамка, или другой вид замкнутой антенны, обычно неподвижно закрепляемая так, что плоскость ее перпендикулярна продольной оси самолета, и небольшая открытая антенна, приемник, коммутатор того или иного вида и визуальный индикатор, показывающий отклонение в определенную сторону самолета от нулевого пеленга на ту передвижную радиостанцию, на которую летит самолет. Стрелка индикатора передвигается влево или вправо от центрального положения в зависимости от того, будет ли фаза напряжения, возбуждаемого в рамке, опережать или отставать от фазы напряжения, возбуждаемого открытой антенной (см. *Кардиоидные схемы*). Эта разность фаз является функцией величины и направления угла, образуемого фронтом волны и плоскостью рамки. Принцип действия радиокомпаса представлен схематически на фиг. 1; она изображает диаграммы направленности открытой антенны (окружность) и рамки (восьмеркообразная кривая). Схема фиг. 1 изображает преобразование характеристик рамки и отклонения стрелки индикатора влево или вправо: 1 — направление желаемого курса; 2 — фронт волны; 3 — диаграмма направленности, получаемая от неподвижной, ненаправленной антенны; 4 —  $\theta$  — угол отклонения от курса; 5 — направление полета (стрелки показывают составляющие напряжения, вызываемого рамкой и антенной при полете в этом направлении); 6 — диаграмма направленности, получаемая от рамки (положительна для правой половины, отрицательна — для левой); 7 — результирующая диаграмма от рамки и антенны; 8 — напряжение при отклонении от курса вправо на угол  $\theta$ ; 9 — результирующая диаграмма при изменении полярности рамки на обратную; 10 — диаграмма отрицательного тока; 11 — диаграмма положительного тока; 12 — отрицательный ток при отклонении на угол  $\theta$  от курса влево; 13 — положительный ток при отклонении на угол  $\theta$  от курса вправо; 14 — положение плоскости рамки при отклонении на угол  $\theta$  от курса вправо. Когда  $\theta = 90^\circ$  (направо), то имеем максимум напряжения в рамке (плоскость ее под прямым углом к фронту волны). Если же  $\theta = 90^\circ$  (налево), то фаза индуцируемого в рамке напряжения будет сдвигута точно на  $180^\circ$  относительно фазы, когда  $\theta = 90^\circ$  (направо), т. е. напряжение, вызываемое рамкой при отклонении от курса влево, противоположно направлению, вызываемому рамкой при отклонении вправо. На практике электрич. параметры антенн в связь их с приемником выбираются так, чтобы максимальное напряжение, вызываемое рамкой (когда  $\theta = 90^\circ$  влево или вправо), имело то же абсолютное значение, как и напряжение, получающееся в контуре приемника от открытой антенны. Кардиоидна на фиг. 1, б сплошной линией представляет просто сумму двух кривых напряжения на фиг. 1, а. Из нее видно, что величина результирующего напряжения — изменяется вместе с перемещением

пута точно на  $180^\circ$  относительно фазы, когда  $\theta = 90^\circ$  (направо), т. е. напряжение, вызываемое рамкой при отклонении от курса влево, противоположно направлению, вызываемому рамкой при отклонении вправо. На практике электрич. параметры антенн в связь их с приемником выбираются так, чтобы максимальное напряжение, вызываемое рамкой (когда  $\theta = 90^\circ$  влево или вправо), имело то же абсолютное значение, как и напряжение, получающееся в контуре приемника от открытой антенны. Кардиоидна на фиг. 1, б сплошной линией представляет просто сумму двух кривых напряжения на фиг. 1, а. Из нее видно, что величина результирующего напряжения — изменяется вместе с перемещением

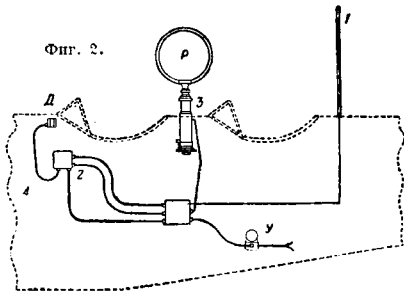


Фиг. 1.

$\theta$  слева направо. Это напряжение не является симметричным относительно оси курса; поэтому определенное отклонение вправо не вызывает того же напряжения, как такое же отклонение влево. Требуемая симметрия получается при периодич. изменении полярности рамки на обратную. Тогда кардиоидна приобретает вид, изображенный пунктиром. Такое периодич. изменение полярности может быть или механическим (напр. в радиостанции для «полета на цель» — «Zielfluggerät») или, чаще, — электрическим (путем включения лампового генератора звуковой частоты). Схема фиг. 1, б изображает разность воздействий между двумя кардиоидами, представленными на фиг. 1, а. Эта разность воспринимается приемником помощью схемы мостика или др. Полученная разность значения напряжения по существу является напряжением переменного тока, когда  $\theta = 0$  (по курсу), с положительной составляющей постоянного тока, когда  $\theta$  лежит

правую, и с отрицательной составляющей, когда  $\theta$  лежит влево от курса. Эта составляющая постоянного тока проходит через гальванометр постоянного тока с нулем посредине. Отклонение самолета на  $2^\circ$  вызывает смещение стрелки на 3 мм.

Конкретная установка радиоконпаса Крюзи на самолете дана на схеме фиг. 2. Радиоконпас Крюзи м. б. установлен на любом самолете. Если рамку его сделать вращающейся, то он м. б. использован и в качестве радиопеленгатора. Удовлетворительно спеленгированные направления можно получить в средних условиях: над землей — на расстоянии 480 км, а над водой — 1 000 км при волнах длиной более 500 м. При благоприятных условиях указания направления можно получить на расстоянии 2 400 км. Положение стрелки на большой шкале показывает, следует ли самолет по намеченному пути или отклонился от своего курса. Для сохранения курса пилот должен все время следить за тем, чтобы стрелка находилась в нулевом положении;

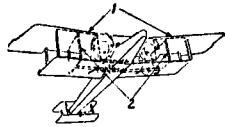


Фиг. 2.

это значительно облегчает управление самолетом и устраняет необходимость все время прислушиваться к радиосигналам. Прибор состоит из радиопеленгаторного приемника, устанавливаемого в любой точке самолета, дистанционного регулятора настройки для автоматич. регулирования (или регулирования от руки) силы звука, прибора переключения, устанавливаемого в доступном для пилота месте, динамометрич. указателя  $D$  найденного направления (на приборной доске) и неподвижной рамочной антенны  $P$  для вождения на цель или вращающейся рамочной антенны, для определения местонахождения. Умформер  $У$  и накальная аккумуляторная батарея служат источником питания. (На фиг. 2: 1 — стержневая антенна, 2 — присоединение телефонов, 3 — механизм для вращения антенны, 4 — распределительная коробка.) Радиопеленгаторный приемник имеет диапазон волн 200 — 2 000 м. Указатель спеленгированного направления типа динамометра, установленный на приборной доске, имеет черный циферблат со светящейся стрелкой и шкалой. Стрелка передвигается на  $70^\circ$ , имеет чувствительность в 100  $\mu A$  (при полной шкале) и может до нек-рой степени служить указателем поворота. Съемная обтекаемой формы рамочная антенна, диаметр к-рой равен 534 мм, имеет лобовое сопротивление приблизительно в 1,2 кг при скорости в 304 км/ч и 3,64 кг при скорости 400 км/ч, когда она находится под прямым углом к направлению полета. Вращающаяся рамочная антенна м. б. повернута рукой на  $230^\circ$  и закреплена в любом положении. Вместе с рамочной антенной применяются стандартная мачта для антенны высотой в 1,633—

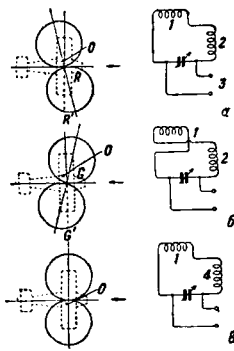
2,44 м или жесткая антенна длиной в 2,75—3 м. Приемник, пеленгатор, рамочная антенна и вращающийся механизм везят приблизительно 20,5 кг. При пользовании радиопеленгатором; пилот выбирает станцию, надевает головные телефоны и производит настройку на эту станцию посредством дистанционного регулятора. Если стрелка стоит на нуле, самолет летит по направлению к радиовещательной станции, если она отклонилась влево от нуля, то самолет держит курс вправо, и пилот должен до тех пор поворачивать самолет влево, пока стрелка не займет нулевого положения.

Поскольку пеленгаторы (рамочный, гониометрический и Эйдкока) уже описаны (см. Пеленгатор, Рамка, Замкнутая антенна, Радиоконпас, Гониометр), далее приводятся лишь детали одной из моделей (принятых в воздушном флоте Великобритании) пеленгатора по системе Робинсона. Переключатель (основную схему действия пеленгатора Робинсона см. Пеленгатор, фиг. 9) устраивается в форме радиального коммутатора, на лицевой стороне которого расположены 3 сектора (белый, красный и зеленый), соответствующие трем схемам включения рамок (переключение происходит автоматически). При первом положении (на красном секторе) вспомога-



Фиг. 3.

тельная 1 и главная 2 рамки соединены последовательно (фиг. 3 и 4), а результирующая диаграмма принимает форму, показанную на фиг. 4 (3 — усилитель). Если самолет летит прямо на передающую радиостанцию, то сила принимаемого сигнала будет примерно пропорциональна отрезку  $OR$  (фиг. 4, а). Если переключатель на втором положении (зеленый сектор), то вспомогательная рамка включается к глав-



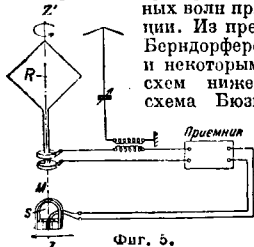
Фиг. 4.

ными; прием от станции будет пропорционален отрезку  $OG$  (фиг. 4, б). Для того чтобы удостовериться в том, что сигналы соответствуют  $OR$  и  $OG$ , а не  $OR'$  и  $OG'$  (последнее равносильно ошибке при  $P$  на  $90^\circ$ ), введен третий (белый) сектор, вводящий в схему только вспомогательную рамку; вместо главной катушки в цепь включается балансная катушка 4 (во избежание нарушения резонансного положения). В этом случае полярная диаграмма будет соответствовать фиг. 4, в, причем при правильном полете (на станции) в телефоне не должно быть слышно сигналов.

На практике стрелка коммутатора вращается со скоростью ок. 1 об/сек.; таким обр. пилот при правильном курсе слышит в своем телефоне два сигнала равной силы с паузой (молчание) между ними, соответствующей приему только на вспомогательную катушку. В этой модели отношение площади витков вспомогательной катушки к таковой же главной катушки порядка

1 : 6. Наряду со слуховыми пеленгаторами описанных выше систем за последние годы начали приобретать практич. значение также и пеленгаторы с автоматическим отсчетом по лимбу азимута направления распространения электромагнитных волн принимаемой радиостанции.

Из предложенных Бюзины, Берндорфером-Дикманом, Хеллом и некоторыми другими авторами схем ниже описывается только схема Бюзины, представленная на фиг. 5. К рамке  $R$ , вращающейся вокруг вертикальной оси  $Z-Z'$ , жестко прикреплен магнит  $M$  магнитно-электрич. системы. С контуром рамки связана ненаправленная приемная антенна т. обр., что результирующая диаграмма направленности получается кардиоидной (см. Кардиоидные схемы). Воспринятая энергия выпрямляется и после усиления подводится к по-

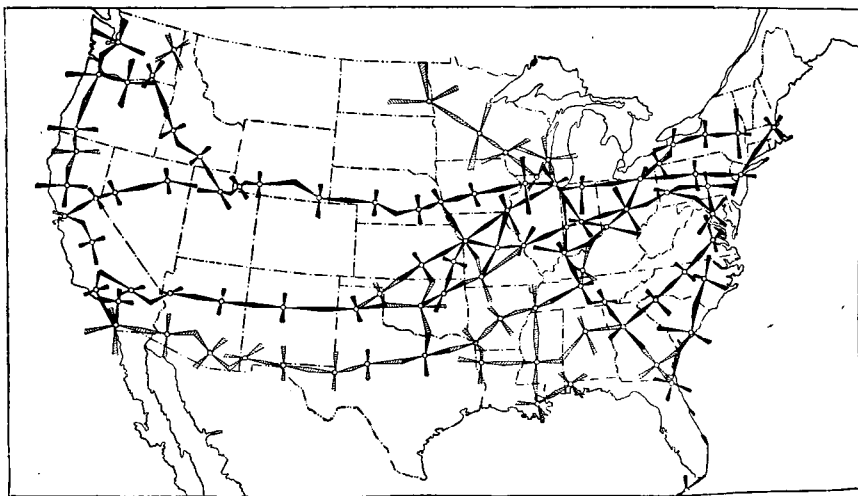


Фиг. 5.

также и принцип гониометрический: в этом случае ф-ию вращающейся рамки выполняет искательная катушка гониометра. Построенное Бюзины по этому принципу 10-ламповое приемное устройство определяет пеленги с точностью до  $2^\circ$  при напряженности поля пеленгуемой радиостанции в  $40 \mu V/m$ . Вследствие относительного поворота катушки  $S$  в поле магнита  $M$  образуются добавочные индукционные токи, искажающие показания. Поэтому в цепи катушки выбирают сопротивления достаточно большими, а оконечные лампы в приемнике применяют с высоким внутренним сопротивлением. Согласно Бюзины при 600 об/мин. ошибки указателя достигают  $1^\circ$ . Для тех случаев, когда однозначность пеленга не требуется, Бюзины предложил не ставить стесняющей (аэродинамической) вспомогательной антенны использовать тот же принцип, но без кардиоидной схемы по диаграмме в виде двух окружностей.

Третий метод Р. основан на применении на неподвижной радиостанции той или другой системы направленной радиопередачи; при этом указание курса или ориентировка на корабле

получается путем приема на приемник с обычной антенной без какого-либо направленного антенного устройства. Передающая радиостанция в этой системе называется радиомаяком. Применяются два типа радиомаяков: 1) для самоориентирования и 2) для курсовождения, иначе называемые: первый — радиомаяк с вращающейся диаграммой излучения и второй — радиомаяк с равносигнальной зоной. Новыми усовершенствованиями в радиомаяках (основные принципы обоих типов см. Радиомаяк) являются: а) Радиомаяки с равносигнальной зоной, притом преимущественно слуховые (нашли весьма широкое применение в США); на фиг. 6 представлена государственная сеть радиомаяков (на 1933 г.) для обслуживания важнейших авиалиний. б) Новые типы, где вместе с сигналами, указывающими зону, передаются пилоту на той же волне одновременно телефоном метеорологич. бюллетени; при этом телефонный передатчик получает возбуждение от общего с радиомаячным передат-



Фиг. 6.

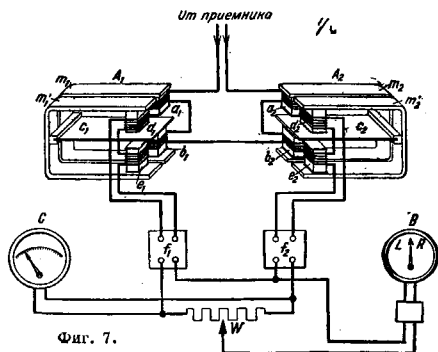
двигной рамке  $S$  индикатора. При этом создается пульсирующий ток, получающий за каждый оборот рамки один максимум. Т. к. поле постоянного магнита  $M$  вращается синхронно с рамкой, то его положение относительно рамки не изменяется; вследствие этого поле рамки  $S$  получает максимальное значение только в одном определенном (однозначном) положении рамки. Поэтому подвижная рамка  $S$  устанавливается в том положении, к-рое ее вынуждает занять поле принимаемой волны. Если поле между полюсными паковечниками магнита параллельно плоскости рамки и если указатель на подвижной рамке индикатора укреплен так, что он параллелен направлению оси подвижной рамки, то при правильном включении катушек указатель показывает прямо направление на передатчик. Однозначно (т. е. с устраненным  $180^\circ$ -ным сомнением) определение получается и тогда, когда диаграмма направленности не является строго кардиоидной. Вместо вращающейся рамки можно применить

получается путем приема на приемник с обычной антенной без какого-либо направленного антенного устройства. Передающая радиостанция в этой системе называется радиомаяком. Применяются два типа радиомаяков: 1) для самоориентирования и 2) для курсовождения, иначе называемые: первый — радиомаяк с вращающейся диаграммой излучения и второй — радиомаяк с равносигнальной зоной. Новыми усовершенствованиями в радиомаяках (основные принципы обоих типов см. Радиомаяк) являются: а) Радиомаяки с равносигнальной зоной, притом преимущественно слуховые (нашли весьма широкое применение в США); на фиг. 6 представлена государственная сеть радиомаяков (на 1933 г.) для обслуживания важнейших авиалиний. б) Новые типы, где вместе с сигналами, указывающими зону, передаются пилоту на той же волне одновременно телефоном метеорологич. бюллетени; при этом телефонный передатчик получает возбуждение от общего с радиомаячным передат-

чика задающего генератора и работает на направленной антенне (вертикальный провод). На самолетоном приемнике путем применения фильтров (см. *Электрические фильтры*) происходит выделение модулирующих (низких) частот равносигнальной зоны от диапазона частот, соответствующего обычной телефонной речи. Во избежание взаимных влияний между двумя передатчиками одного и того же радиомаяка (телефонным и задающим зону) излучение с направленных антенн происходит без несущей волны.

в) Для большего использования одного и того же курса, задаваемого радиомаяком, устраиваются одновременно два полета: один по зоне, а другой с определенным отступлением от зоны. Чтобы избежать опасности столкновения с другими самолетами, чувствительность одного из язычковых индикаторов (см. *Радиомаяк*) понижается; тогда при равном отклонении язычков индикатора самолет летит по курсу, образуемому с биссектрисой равносигнальной зоны определенной небольшой угол.

Один из усовершенствованных стрелочных индикаторов схематически изображен на фиг. 7.



Фиг. 7.

К выходу приемника приключено последовательно по 2 намагничивающие катушки  $a_1b_1$  и  $a_2b_2$ , являющиеся деталями механич. фильтра вибрационного типа; катушки находятся в поле постоянного магнита  $m_1$  (соответственно  $m_2$ ). Язычки  $c_1$  и  $c_2$  реагируют исключительно на надлежачие модулирующие частоты. Для первой модели индикатора этих элементов было уже достаточно для конструирования соответствующего стрелочного прибора. В новом типе индикатора язычки  $c_1$  и  $c_2$  сделаны шире настолько, что своей второй половиной они находятся в поле новых двух пар катушек  $d_1e_1$  (соответственно  $d_2e_2$ ), находящихся в поле второго постоянного магнита  $m'_1$  ( $m'_2$ ). Вследствие вибраций язычков в этих последних катушках, называемых генераторными, индуктируются эдс, подаваемые затем к купроксным выпрямителям  $f_1$  (соответственно  $f_2$ ). На стороне постоянного тока включено сопротивление  $W$ . Если напряжения точно равны, то включенный на схеме моста стрелочный прибор  $B$  гальванометрич. типа показывает среднее положение: это означает, что самолет летит по заданному радиомаяком курсу. Смотря по тому, какое из выпрямленных напряжений (на  $f_1$  или на  $f_2$ ) доминирует, получается на стрелочном приборе правое  $R$  или левое  $L$  отклонение, указывающее на смещение самолета влево или вправо от заданного курса. Переключатель служит для перемещения отклонений в зависимости от того,

летит ли самолет на радиомаяк или от него. Т. к. такой индикатор действует по принципу и у левого метода, то для контроля наличия вообще напряжения на сопротивлении  $W$  включен прибор  $C$ . Путем перестановки скользящего контакта на сопротивлении  $W$  можно получить несимметричные показания. Этот вариант как раз соответствует полету по курсу, образуемому с главным небольшой угол по радиальному побочному курсу, причем стрелка прибора так же, как и раньше, должна находиться в нулевом положении. Такой прибор назван девиометром. г) В Германии Крамар разработал несколько иную систему подачи сигналов: обе направленные антенны излучают одновременно, но модулируются по вытянутым пилообразным кривым, симметричным в зеркальном отображении, т. е. если в одной направленной антенне наибольшая амплитуда, то во второй — наименьшая; в другие моменты времени получают промежуточные значения. Если приемник получает несимметричные кривые (например самолет не в зоне), то на индикаторе получается боковое отклонение. Благодаря своей зеркалообразной структуре обе модуляции при равенстве напряженностей поля сливаются в одну продолжительную черту.

Борьба с ночным эффектом при Р. (появлением ошибок при Р. ночью и в сумерки). Ночные ошибки возникают при всех методах Р., использующих длинные и средние волны, как только при этом переходит за некоторую определенную величину расстояния. Ночной эффект заключается в том, что направления движения электромагнитных волн, правильно и всегда одинаково определяемые при Р. днем, с наступлением сумерек начинают колебаться, вследствие чего получают ошибочные определения пеленга. Это явление наблюдается обычно в течение всей ночи, но наиболее сильно выражается б. ч. во время сумерек. Вообще говоря, ночные колебания пеленга обуславливаются теми же причинами, как и явления *замирация* (см.) в тех же самых диапазонах волн. К этому заключению можно прийти уже из чисто внешнего сравнения обоих эффектов. Ночной эффект и *замирация* возникают в одно и то же время и при тех же самых дальностях распространения, они ярче выражены при диапазоне более коротких волн и наконец при распространении над сушей оба явления проявляются сильнее, чем над морем. Общей для обоих явлений причиной является воздействие ионного слоя (ранее называвшегося слоем Кеннели-Хевисайда) — верхней ионизированной атмосферы. Наиболее вероятно следующее объяснение возникновения ночного эффекта. В обычно применяемом для Р. диапазоне средних волн (см. далее таблицу) актуальной является исключительно поверхностная (распространяющаяся по поверхности земли — иначе прямая) волна; при этом вектор напряженности электрич. поля волны лежит в плоскости большого круга, проходящего через передатчик и приемник; т. о. не существует слагающих поля, перпендикулярных этой плоскости. Вертикально расположенная рамка [вообще *замкнутая антенна* (см.)] дает минимум приема в том случае, если нормаль к ее плоскости направлена на передатчик. Если же при наступлении вечера ионный слой для изучаемого диапазона волн становится способным к отражению или преломлению, то кроме прямого пути распространения появляется еще и косвенный путь. При прохождении волны по этому послед-

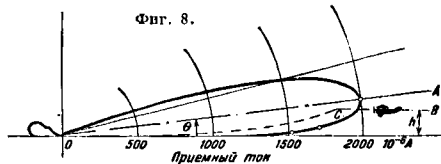


нему возникает вследствие воздействия ионизированных слоев вращение плоскости поляризации излученной волны, и на приемнике полагается составляющая электрич. вектора, направленная перпендикулярно к плоскости большого круга. С вследствие воздействия этой горизонтальной составляющей на рамку нормаль к последней не указывает уже более на передатчик, а дает некое другое направление.

Кроме этой причины появления ошибок при Р., указанной рядом авторов, в том числе Энкерслем и Танимура, Николье и Шеленг приводит в качестве причины вращений плоскости поляризации изменения в магнитном поле земли. При этом оказывается достаточным совершенно незначительных изменений в напряженности земного поля, для того чтобы вызвать сильные вращения. Вращения поляризации вызывают также и вариации электронной концентрации при постоянном поле земли. Если такие вращения протекают по времени быстро, то положения минимума (при пеленгировании) и самоориентирования и зоны (при курсовождении) изменяются так быстро, что их часто невозможно проследить. Наблюдаются случаи, при которых минимум в кратчайшее время обегает полные 360°. По временам минимум исчезает совершенно; это бывает тогда, когда на приемное устройство падает вращающееся поле. Ночные блуждания пеленга делаются заметными на том расстоянии, на котором напряженность поля пространственной волны становится сравнимой с напряженностью прямой волны. Величина этого расстояния зависит не только от длины волны, но и гл. обр. от антенны, примененной на передатчике. Чем сильнее подается посылаемое вверх излучение, тем больше расстояние, в котором Р. свободна от ночного эффекта. Опыт показывает, что ночной эффект возникает особенно сильно при тех способах Р., при которых на одной из сторон (передатчик-прием) применяются замкнутые антенны; последние сильно реагируют на прием горизонтальной поперечной (к плоскости большого круга), составляющей напряженности электрич. поля. Для исключения ночного эффекта стремятся использовать такие методы, которые не реагируют на поперечные составляющие поля. Наиболее известен из них способ Эйдкока (см. *Пеленгатор*, фиг. 12); применение его несколько затрудняется тем, что требуется частая компенсация (балансные конденсаторы и т. д.), и неудобством использования вследствие наличия антенного устройства больших габаритов. В последнее время пытаются устранить влияние ночного эффекта путем полного отделения поверхностной волны от пространственной. Этой цели достигают такими методами: 1) передатчиком излучают серию совсем коротких сигналов (импульсов) т. о., что на приемнике производится разделение сигналов от поверхностных волн (периодически повторяющихся) от сигналов пространственной волны (беспорядочных). В качестве достаточно чувствительного индикатора применяют на приемнике трубку Брауна. 2) С 1935 г. в США широко применяется замена на радиомаяках замкнутых антенн парно совместно включаемыми вертикальными антеннами, т. н. ТЛ (transmission lines), или фидерными антеннами. Что касается приема сигналов радиомаяков, то уже сравнительно давно применяли там же вертикальный провод, приобретающий для самолетов вид стержневой (ок. 1 м) антенны; теперь снова вернулись к типу горизонтальных (напр. подфюзеляжных антенн). Все указанные причины появления и методы

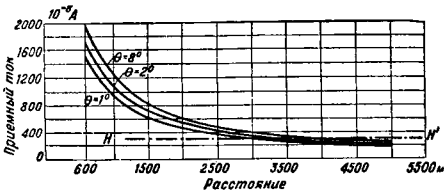
устранения ночного эффекта остаются действительными как для пеленгаторов, так и для радиомаяков.

Вертикальная Р. (для авиации). Находящиеся большей частью в стадии предварительных экспериментов методы вертикальной Р. имеют целью обеспечение «слепой посадки» самолета в условиях невидимости земных ориентиров специально подготовленного аэродрома. Из многочисленных попыток решения задачи вертикальной Р. опишем имеющий наибольшее распространение (все же в опытном порядке) метод гл и с а д ы. При этом способе используется направляющий луч, вертикальная характеристика к-рого представлена на фиг. 8. Если самолет



Фиг. 8.

при постоянной высоте полета  $h$  приближается к направляющему лучу по пути  $BC$ , то напряженность поля у самолетного приемника будет возрастать по двум причинам: во-первых, вследствие общего закона распространения (примерно обрат-



Фиг. 9.

но пропорционально расстоянию от передатчика) и, во-вторых, благодаря направленной характеристике — в виду приближения к оси  $OA$  направляющего луча. Если глсссада (жирная кривая на фиг. 8) выбрана т. о., что возрастание



Фиг. 10.

напряженности поля у приемника на самолете вследствие приближения к передатчику равно уменьшению той же величины из-за удаления от оси глсссады  $OA$ , то самолет планирует по кривой  $CO$ , касающейся земли примерно по касательной. Преимуществом такого метода вертикальной Р. является удобство эксплуатации: никаких перестроек на приемнике не требуется, необходимо лишь вести самолет так, чтобы на приборе было постоянное отклонение. Конструкцию глсссады легко получить графически, если известна вертикальная диаграмма напрявленности

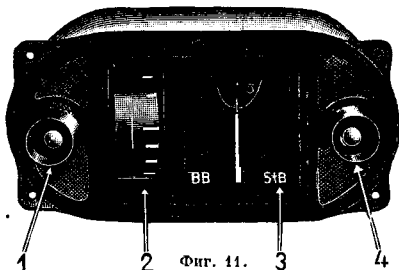
$$E(d = \text{Const}) = f(\theta).$$

Если измерено  $E$  для определенных значений  $d$  ( $\theta$  в любых единицах), то можно построить для  $\theta$ , как параметра, семейство кривых (фиг. 9), указывающих в ф-ии от  $d$  (расстояние) соответ-

стающую напряженность поля  $E$ . Тогда глосса определяется по ф-ле

$$h = d \operatorname{tg} \theta$$

из точек пересечения семейства кривых (фиг. 9) горизонталями  $H-H'$ , соответствующими тому постоянному показанию прибора, к-рое выбрано для посадки (фиг. 10). Полную схему современного оборудования аэродрома различными приборами  $P$ , кроме вертикальной  $P$ . см. *Радиомаляж*, фиг. 14. На фиг. 11 представлен индикатор, устанавливаемый на приборной доске пилота для осуществления слепой посадки (1 — лампочка, зажигающаяся при прохождении самолета над внешним маркером; 2 — дистанциометр, грубо показывающий расстояние самолета от аэродрома; 3 — индикатор посадочной дорожки; 4 — лампочка, зажигающаяся при прохождении самолета над внутренним маркером).



Диапазон частот для  $P$ . На двух последних международных конференциях (в Мадриде в 1932 г. и в Люцерне в 1933 г.) выработан с участием СССР следующая таблица диапазонов частот для  $P$ .

$f$ , кГц	$\lambda$ , м	Для всего мира	Для Европы	Для остальных частей света
285—290	1 053—1 034	—	Автосвязь	Радио- майки
290—315	1 034— 952	Радио- майки	Радиомаяки морские	—
315—320	952— 936	—	Радиомаяки морские	Автосвязь
365—385	822— 779	—	Радиопен- гация	—

Лит.: Баженов В. и Мисоелов Н., *Радиомайки* М., 1936; Кербер Л. и Кербер Б. *Самолетные радионавигационные станции*, М., 1936; Fassbender H., *Hochfrequenztechnik in der Luftfahrt*, В., 1932; Fassbender u. Krüger K., *Hochfrequenztechnik, Die Physik in regelmäßigen Berichten*, Lpz., 1934, В. 2, Heft 1; Eckersley, «Physikalische Berichte», Brschw., 1934, В. 1, p. 141; v. d. Pol, *ibid.*, В. 12, p. 1628; Harbich u. Kähnemann, *ibid.*, В. 13, p. 723; Smith R. o. e., *ibid.*, В. 12, p. 2624; Watson Watt, H. e. r. d. a. B. in Bridge-Bell, *The Cathode Ray Oscillograph in Radio Research*, L., 1933; Diamond, «Physikalische Berichte», Brschw., В. 14, p. 762; Bisignies H., *Appareils indicateurs donnés par lecture directe la direction d'une onde*, «L'onde électromagnétique», P., 1927, t. 6; Busignies H., «Un nouveau radiocompas», *ibid.*, P., 1930, t. 3; Heil R., *Direktzeigendes Funktelegraphisches Feilverfahren*, *ibid.*, 1929, В. 33.

**РАДИОПОМЕХИ**, посторонние электромагнитные возмущения различного происхождения и характера, искажающие или ослабляющие радиопередачи и радиоприем и в конечном счете нарушающие нормальные радиосвязи, радиовещание, дальнейшие телемеханику по радио и т. п.  $P$ . в большинстве случаев являются следствием воздействия посторонних электромагнитных и

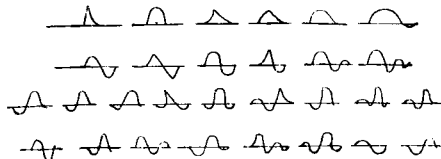
электрич. полей на радиоприемные и радиопередающие устройства или отдельные их элементы. Сюда относятся  $P$ .: 1) природного происхождения — *атмосферные помехи* (см.), космические и т. п., 2)  $P$ ., исходящие от различных электромагнитных установок и механизмов (помехи промышленных, транспортных, медицинских, лабораторных и т. и. аппаратов), 3) взаимные помехи между передающими радиостанциями (интерференция, наложение разговоров и сигналов, так назыв. Люксембургский эффект, и т. д.), включая помехи, вызванные посторонними излучениями передатчиков: гармоника, мешающие, слагающие модуляции и т. п., и 4) помехи, связанные с условиями и характером распространения электромагнитных волн (эхо, замирания, паразитная модуляция в ионосфере и т. п.) и т. д. Радиопомехи могут быть вызваны также причинами, кроющимися непосредственно в радиоприемных и радиопередающих устройствах (шумы ламп, паразитные явления, шорохи и трески как при манипуляциях, так и в результате механич. неисправностей отдельных элементов или объектов в целом и т. д. и т. и.). Под  $P$ . иногда подразумевают также и обратные помехи, т. е. помехи, оказываемые различными электрич. установкам и механизмам со стороны радиоприемных устройств, в частности со стороны тех или иных передающих радиостанций. Последнего типа помехи представляют совершенно особую область современной электротехники. По признаку течения процесса  $P$ . подразделяются на периодические, квазипериодические и аperiodические. По характеру воздействия — на помехи в зоне излучения и помехи в зоне индукции (статич. полей). По расположению очага возмущений, создающих  $P$ ., различают помехи местные и помехи отдаленные. Для устранения или уменьшения  $P$ . прибегают как к средствам уменьшения помех в месте их возникновения, так и к особым условиям радиоприема: повышение *избирательности* (см.) приемных устройств, тщательное экранирование, специальные *электрофильтры* (см.), направленные передачи и прием (см. *Направленное радио*), прием на несколько разнесенных антенн (см. *Техника высокой частоты*), прием со сложной трансформацией принимаемых сигналов и т. д. Экспериментальное изучение  $P$ . производится гл. обр. помощью специальных *компараторов* (см.) (характеризующих относительную напряженность поля помех), вращающихся рамок (см.) и *пеленаторов* (см.) (помощью которых констатируются направление и центры помех) и *оциллографов* (см.) или специальных пишущих устройств (фиксирующих число помех). Подробнее о методах измерения  $P$ . см. *Радиометрия*. Современное состояние техники борьбы с  $P$ . таково, что уже в принципе представляется возможным полностью избавиться от помех, исходящих от различного рода электромагнитных установок и механизмов (т. и. промышленных помех), а также от статических и периодических помех. Значительно м. б. ослаблены различного рода другие  $P$ . из категории местных  $P$ ., включая и  $P$ ., вызванные посторонними излучениями передатчиков, а также  $P$ ., имеющие источником непосредственно радиоприемные и радиопередающие объекты. Гораздо более сложной задачей является не только устранение, но и заметное ослабление  $P$ ., обусловленных природными явлениями, характером распространения электромагнитных волн и подчас взаимными  $P$ . между передающими радиостанциями. Особенно это относится к случаю, если

Р. носят аperiodич. и квазипериодич. характер, с очагами вдали от приемного пункта, причем в различных направлениях. Затрудняющим здесь обстоятельством является то, что исключается возможность воздействия на источник помех. Поэтому все меры борьбы с такими Р. концентрируются в пункте радиоприема, причем эффект борьбы сводится вл. обр. к уменьшению до известного предела влияния Р.

Р. природного происхождения. Самыми серьезными Р. этой категории являются т. н. атмосферные помехи, возникающие в результате большого числа причин, начиная от грозных разрядов и кончая космич. явлениями. Не-р-ыми авторами доказывалось, что основными причинами другого рода природных Р. являются магнитные и электрич. бури, распространяющиеся с чрезвычайной быстротой, в результате чего получаются неравномерные, не подчиняющиеся никакому физич. закону токи и импульсы токов. Р. атмосферные м. б. разбиты на две основные группы. К первой группе относят Р., возникающие только при особых атмосферных феноменах. Ко второй группе относят Р., существующие при обычных условиях. К первой группе принадлежат Р., сильно сказывающиеся в течение коротких промежутков времени. Сюда принадлежат также Р., наблюдающиеся во время песчаных бурь. Р. второй группы, сила и повторяемость которых бывают переменными, представляет собой большинство атмосферных Р. Различают Р. местные и повсеместные. Первые сопровождаются резкими колебаниями барометрич. давления, резкими изменениями  $t$  и т. п. в радиусе 300—400 км от приемной радиостанции. Замечаются они нерегулярно в диапазоне как длинных и средних, так и промежуточных и коротких волн. Сильнее проявляются они на суше. Вторые, вызываемые более регулярными естественными процессами, периодически меняются в течение суток, усиливаясь с темнотой и ослабевая при солнечном свете. Они достигают максимума после полуночи и минимума после полудня. С увеличением высоты сила Р. растет. По мере приближения к тропич. и субтропич. областям атмосферные Р. становятся сильнее и учащаются. В Европе атмосферные Р. наименее сильны в ее северной части, в особенности у берегов Норвегии. Вообще все местности, расположенные на побережья, менее подвержены атмосферным Р. Англия находится в этом отношении в более благоприятных условиях, нежели материк. Наиболее неблагоприятным в Европе в отношении атмосферных Р. являются склоны Альп. В СССР основными центрами атмосферных Р. являются тундра и ю.-в. часть Союза. Первый центр Р. зимой исчезает, второй же существует в течение всего года, причем в летние месяцы он проявляет себя особенно сильно. Главными очагами атмосферных Р. в бассейне Средиземного моря являются горы Атласа в Алжире и Марокко. Области сильных атмосферных Р. в Африке находятся у Конго и в Камеруне. В Азии наиболее благоприятные условия существуют у берегов Тихого океана. Области с особенно большим количеством Р. являются здесь долины рек и заболоченные районы. Свообразные условия существуют в Японии. Здесь в северных частях Р. наиболее слабы. В южных районах атмосферные Р. значительны. Здесь находятся области с небольшими атмосферными Р. рядом с областями, где сосредоточены сильные Р. В Сев. Америке наиболее благополучным в отношении атмосферных Р. является западный

берег (Калифорния), в то время как восточное побережье подвергается очень сильному Р. Наихудшей областью земного шара считают Мексиканский залив (Мексика и прилегающие штаты США). В юж. Америке наиболее благоприятной областью является Чили. Незначительны Р. и на южном Атлантическом побережье Аргентины. К северу Р. усиливаются.

Накопившийся материал распределению атмосферных Р. на земной поверхности дает возможность с нек-рой точностью составить карты условной приема в той или иной точке, намеченной под установку приемной радиостанции. Сам по себе характер Р. часто дает возможность в известной мере определить ее причину. Так напр., треск и внезапные и громкие, появляющиеся отдельными группами в телефоне приемников, считаются следствием близких и отдаленных грозных разрядов. Шипение и свист и длящийся свистящий шум рассматриваются как следствие статич. Р., вызванных соприкосновением заряженных частиц с антенной. Скрип и продолжительный треск являются следствием процессов, происходящих в верхних слоях атмосферы, и т. д. В настоящее время установлено, что сила Р. является ф-ией длины принимаемой волны. Некоторые отклонения от



Фиг. 1.

этого общего правила объясняются временным распределением особых атмосферных Р. При волнах короче 100 м имеет место не только значительное уменьшение силы атмосферных Р., но и их числа и продолжительности. В диапазоне ультракоротких волн наблюдается дальнейшее уменьшение Р. Естественно, что при барометрич. депрессиях Р. значительно возрастают. При солнечных затмениях наблюдается уменьшение атмосферных Р. Большую роль в создании атмосферных Р. играют различные космические факторы. Так например, по наблюдению ряда исследователей увеличение числа солнечных пятен сопровождается понижением интенсивности многочисленных разновидностей атмосферных Р. Во время лунного затмения также констатировано уменьшение интенсивности атмосферных Р., причем в большей мере на средних волнах и в меньшей мере на длинных. Видимые метеоры сопровождаются, наоборот, радиопомехами. В настоящее время происхождение основных атмосферных Р. не выяснено до конца, их связывают с пертурбациями электрического поля, происходящими в слоях атмосферы, прилегающих к земле (до 8 км высотой). Другая часть Р. создается в верхней атмосфере в результате кольцевых электронных потоков, окружающих земной шар. Характер изменений атмосферных Р. (суточных и годичных) см. *Атмосферные помехи*. Наблюдаемые формы импульсов влс атмосферных Р. представлены на фиг. 1. Кроме направленных Р., создаваемых определенными центрами, существуют атмосферные Р., распределенные в пространстве по всем направлениям. Однако имеет место закономерное изменение их направления во времени. Средняя максимальная напряжен-

ность поля атмосферных Р. порядка 0,2 В/м, а средняя продолжительность порядка 3—4 миллисекунд. Математически атмосферные помехи представляются, как и всякий импульс конечной длительности, в виде двойного интеграла Фурье, охватывающего весь спектр радиочастот. Следовательно никакая отстройка от атмосферной Р. полностью не избавится. Атмосферный разряд формы а (фиг. 2) математически выражается функцией

$$e = A \cdot \sin \omega t,$$

где  $A$  — максимальное значение эдс разряда,  $\omega$  — угловая частота разряда. Атмосферный разряд формы б (фиг. 2) выражается ф-ией

$$e = A \sin \omega t - \frac{A}{3} \sin 3\omega t.$$

То же формы в (фиг. 2)

$$e = A (\sin \omega t - \sin 3\omega t)$$

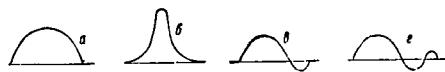
и наконец формы е (фиг. 2)

$$e = A \cdot e^{-\frac{\omega}{2} t} \sin \omega t.$$

Для Р. формы е отношение амплитуд напряжения сигнала и Р. на индуктивности настроенной антенны

$$q = \frac{E_L}{C_L} = \frac{E \cdot \delta}{A \cdot \delta' \cdot \sigma' \omega},$$

где  $E$  — максимальный градиент электрич. поля сигнала его [максимальная напряженность



Фиг. 2.

поля (см.),  $\theta$  — угловая частота сигнала,  $A$  — максимальное значение эдс разряда,  $\delta$  — декремент антенны и  $\omega$  — угловая частота разряда. Из написанного выражения видно, что Р. уменьшается с уменьшением декремента антенны, с повышением частоты сигнала и с увеличением поля сигнала. Однако существует наимыгоднейший декремент, ибо при чрезмерно малом  $\delta$  увеличивается продолжительность импульса атмосферной помехи и искажается форма принимаемого сигнала. Опыт показывает, что проведение декремента на частоту не д. б. менее 100. Для аперриодической антенны

$$q = \frac{E \cdot \delta'}{A \cdot \omega \cdot \delta' \sigma'},$$

где  $\delta'$  — декремент анодного контура без декремента, вносимого лампой. Для настроенной *вмкнутой* антенны (см.) (рамки) значение  $q$  аналогично значению для настроенной антенны. Т. о. можно сделать вывод, что для данной формы атмосферного разряда настроенная рамка не имеет преимуществ перед настроенной открытой антенной за исключением направленного действия. Аперриодич. замкнутая антенна по отношению к аперриодич. открытой антенне в отношении атмосферных помех данной формы других преимуществ помимо направленности не имеет. Предложены (комисией США на Всемирном радиоконгрессе в Мадриде в 1932 г.) следующие

ориентировочные нормы относительного соотношения уровня Р. и сигнала (табл. 1).

Табл. 1. — Соотношение уровня помех и сигнала.

Способ приема	Предельный прием		Хороший прием	
	Отнош. сигнала к помехе	Децибел	Отнош. сигнал к помехе	Децибел
Слуховой телеграфный прием	0,5 — 2	—5 — +5	2 — 3	5 — 10
Однудатор. телегр. прием.	2 — 3	5 — 10	3 — 10	10 — 20
Буквенчатый телегр. прием.	5 — 10	15 — 20	18 — 30	25 — 30
Коммерч. телефон . . . . .	3 — 6	10 — 15	18 — 30	25 — 35
Вещание . . . . .	5 — 10	15 — 20	30 — 100	30 — 40

На практике можно руководствоваться также следующими средними экспериментальными цифрами для приема в населенных местностях, приведенными в табл. 2.

Для коротких волн можно пользоваться графиком фиг. 3, полученным в США для условий, родственных СССР. Вообще говоря, сила мешающего действия Р. тем больше, чем шире полоса частот, пропускаемых приемником. Т. о. радиотелеграфный прием (ширина полосы 150 Hz) будет подвержен помехам в 40—50 раз слабее, нежели радиотелефонный (ширина полосы 6 000—8 000 Hz). Следовательно повышение избирательности приемных устройств является одним из способов, в нек-рой мере уменьшающим атмосферные Р. Материалы о распределении интенсивности атмосферных помех по частотам и по времени показывают, что интенсивность Р. в различных частях спектра частот изменяется по законам, аналогичным законам прохождения волн, соответствующих этим частям спектра. На фиг. 3

Табл. 2. — Сила помех в населенных местностях.

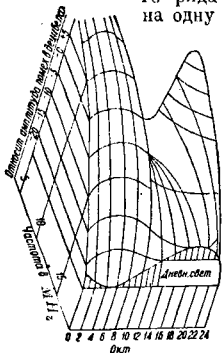
Характер передачи	Длина волны в м	Сила помех								
		Слабая (зима)			Средняя (весна и осень)			Сильная (лето)		
		*1	*2	*3	*1	*2	*3	*1	*2	*3
Телеграфн. прием на слух . . . . .	10 000	5	10	15	10	20	30	30	40	50
	5 000	3	5	10	5	10	15	10	20	40
Быстродейств. телеграф (100 слов/мин.)	10 000	25	50	75	50	100	150	75	200	300
	3 000	10	15	25	15	30	50	30	60	100
Коммерческий радиотелефон . . . . .	2 000	40	100	300	80	200	600	300	600	1 200
	1 500	150	400	1 200	300	1 000	3 000	500	1 500	5 000
	500	50	150	400	100	300	1 000	150	500	1 500

Качество приема: \*1 — плохое, \*2 — удовлетворительное, \*3 — хорошее.

представлена пространственная диаграмма для коротковолнового диапазона частот, составленная на основании измерений, произведенных Паттером (1930 г.). По ординатам отложена относительная амплитуда помех в децибелах. За нулевой уровень приняты Р., создающие в приемнике тот же эффект, что и поле силой 1  $\mu\text{V}/\text{м}$  при незатухающих колебаниях. По поперечному направлению отложены часы суток, а по продольному — частоты в МГц. Диаграмма распределения интенсивности помех для более длинных волн представлена на фиг. 4. Что касается ультрако-

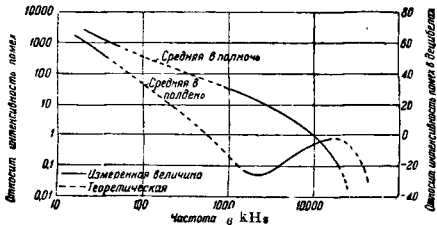
ротких волн, то в нормальных условиях Р. находитесь ниже уровня шумов электронных ламп и поэтому заметно не ощущаются.

Методы уменьшения атмосферных Р. В настоящее время предложено большое число различных схем и методов уменьшения атмосферных Р., однако ни одна из этих схем практически не дает полного устранения атмосферных Р. Одной из интересных схем является схема Беллезейца, состоящая из целого ряда контуров, настроенных на одну и ту же частоту. Между контурами включены усилительные лампы, причем последний контур связан с первым обратной связью. При частотах, близких к собственной частоте контуров, в каждом из них возникает сдвиг фазы относительно предыдущего, достигающий в последнем контуре  $180^\circ$  и более. Т. о. знак обратной связи для рассматриваемой частоты оказывается в последнем контуре положительным, и обратная связь вызывает усиление. Здесь атмосферные



Фиг. 3.

Р. создают ударное возбуждение собственной частоты контуров и проявляются слабее благодаря ослабляющему действию обратной связи на эту частоту. В некоторых случаях при телеграфном приеме в целях уменьшения влияния атмосферных Р.

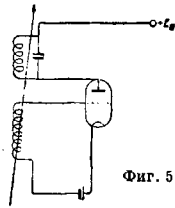


Фиг. 4.

прибегают к использованию вместе с другими методами еще и метода тональной селекции, напр. путем настройки вторичных обмоток трансформаторов на иной частоты на определенную частоту, к использованию особого тонального избирательного контура, далее механического резонанса реле пишущих аппаратов и т. д. Кроме упомянутых средств применяются также комбинации антенн. Так, приемная антенна состоит из трех отдельно расположенных друг от друга антенн. Расстояние двух крайних подбирается так, чтобы при правильном установлении связи с общим приемным контуром эдс возникающие от волны сигналы в обеих антеннах взаимно уничтожались, Р. же оставались. Помеха между ними средней антенну и соответственно подбирая связь с общим приемным контуром, можно добиться некоего уменьшения Р., для которой знак связи окажется противоположным по отношению к обеим антеннам, так что остаются лишь сигналы, принимаемые центральной антенной. Несколько более эффективные

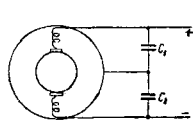
результаты дает применение *гоиометров* (см.), антенн Бевереджа (см. *Волновая антенна*) и особенно комбинации гоиометра с открытой направленной антенной (см. *Кардиоидные схемы*). При осуществлении двойной комбинации последней системы, т. е. при установлении в направлении принимаемых волн двух одинаковых систем, получается характеристика, обеспечивающая еще лучшее экранирование приемного пространства от Р. Для хорошей работы такой системы расстояние  $d$  между обеими антеннами должно выбираться из отношения  $d/\lambda$  (где  $\lambda$  — длина волны, причем  $d/\lambda = 0,3 \div 0,16$ ). Методы защиты от Р. путем применения остро направленных приемных систем являются наиболее действенными. Как показала практика, что теперь подкрепляется теоретическими выкладками, методы борьбы с атмосферными радиопомехами, основанные на частотной избирательности, оказываются мало действительными и могущими в самом лучшем случае дать результаты, далеко лежащие от исчерпывающих решений. Поэтому в последнее время уделяется внимание селекции направления приема и особенно новым методам приема, основанным на применении нелинейных систем. Упомянем здесь автопараметрические фильтры, предложенные Мандельштамом и Папалексом (см. *Резонанс параметрический*). Эти фильтры в принципе дают возможность уменьшить влияние атмосферных помех даже при значительной силе последних и основаны на явлении деления частоты в нелинейных системах (см. *Частоты трансформация*).

Так, приходящие колебания до воздействия на детектор или индикатор приема подвергаются каскадной трансформации по частоте вниз в специальной колебательной системе. Принципиальная схема деления частоты, употребляемая в названных фильтрах, показана на фиг. 5. Режим подобного регенератора подбирается такой, при котором он недалеко от самовозбуждения, а рабочая точка сдвинута на нижний изгиб характеристики. В результате, если на сетку извне не подается эдс, то схема будет реагировать на всякие электрические толчки следующим образом: в анодном контуре возникнут колебания с частотой  $\omega_0$  анодного контура, к-рые будут передаваться на сетку и тем самым вызывать колебания анодного тока, но т. к. здесь обратная связь недостаточна для самовозбуждения, то эти колебания, возникшие от толчка, затухнут. Если же на сетку извне подается эдс двойной частоты, то возникшие от толчка (от Р.) колебания в анодном контуре будут усиливаться лампой, и кроме того в анодной цепи появится добавочный ток разностной частоты, равной частоте колебаний в анодном контуре. Этот последний будет стремиться поддерживать колебания, облегчая самовозбуждение схемы. Т. о. схему фиг. 5 можно отрегулировать так, чтобы она не самовозбуждалась от толчков в первом случае и самовозбуждалась во втором. Такого рода фильтр располагается в радиотелеграфных приемниках за усилителем промежуточной частоты, а анодный контур фильтра настраивается на частоту, половину от резонансной частоты усилителя. Сигналы после усиления, попадая на фильтр, возбуждают его на половинной частоте, к-рая затем выделяется и вновь трансформируется (путем гетеродинаиро-

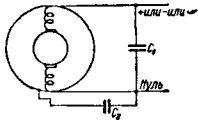


Фиг. 5.

вания) в звуковую частоту. Т. о. ни сигнал ни Р., к-рые будут состоять из модулированных колебаний, дальше фильтра непосредственно пройти не могут, а могут лишь его возбуждать. Для радиотелеграфа в последнее время предложен ряд методов уменьшения влияния Р. Один из этих методов, состоящий в работе двойной телефонной частотой, известен под названием «гармонического», или «тонального», телеграфа. Другой метод, предложенный Хеллом, основан на принципе бильдтелеграфа. Письменные знаки на передающей станции разлагаются на большое количество элементов, которые превращаются в электрич. импульсы, передающиеся один за другим с большой скоростью. На приемной станции импульсы тока усиливаются и с помощью особого устройства вновь превращаются в соответствующие знаки. Верданом предложен новый метод радиотелеграфной связи, в принципе устраняющей искажения, вносимые атмосферными разрядами. Основания метода состоят в закономерно повторяющейся передаче сигналов. Т. о. если кака-либо буква передается несколько раз, то в результате наличия Р. получается ряд знаков, переданных действительно, и ряд, вызванных Р. Последние не размещаются одинаково при разных приемах по отношению к действительно переданным, а располагаются произвольно. По теории вероятности получается, что запись оди-



Фиг. 6.



Фиг. 7.

наковых Р. в один и те же моменты приема двух повторных сигналов может получиться чрезвычайно редко. Если же передача одного и того же сигнала производится три раза, то одинаковый трехкратный прием Р. практически невозможен. Способ Вердана применим в частности при системе Бодо, т. к. эта система многократная и повторение одного и того же сигнала может производиться без нарушения обычной передачи последовательных сигналов. Один из секторов распределителя производит первую передачу, второй сектор повторяет ее с нек-рым запазданием и третий сектор опять ее повторяет с новым запазданием. Помимо телеграфии с и с т е м а В е р д а н а в принципе м. б. применена и в телемеханике. Кроме указанных средств борьбы с атмосферными Р. применяются также с некоторым успехом т. наз. лампывые *ограничители* (см.), позволяющие привести отношение *сила сигнала / сила помехи* к единице. В нек-рых случаях можно уменьшить влияние атмосферных Р. на приемное устройство шунтированием анодной нагрузки последней лампы усилителя высокой частоты или промежуточной частоты помощью неоновой лампы, зажигающейся только при действии Р. и смещающей рабочую точку характеристики ламп усилителя в области больших отрицательных потенциалов. Р. в различных электромагнитных установках и механизмов. Коллекторные электрические моторы, динамо, трамвай, телеграфные аппараты (в особенности Бодо), электрометрические приборы, ртутные выпрямители, лабораторные устройства, рентгеновские аппараты, различные прерыватели, отчасти магнетно и газосветные трубки и т. п., равно как и

выключение и выключение той или иной электрической цепи, могут являться также причиной серьезных Р. При этом токи, получаемые от такого рода Р., вообще говоря, имеют широкий и непрерывный спектр частот, вследствие чего они не м. б. устранены лишь за счет резонансного эффекта контура приемных аппаратов. Математически токи, возникающие от названных Р., м. б. представлены в виде

$$i = \sum_{\omega=0}^{\omega=\infty} i_{\omega}$$

где каждый элементарный ток

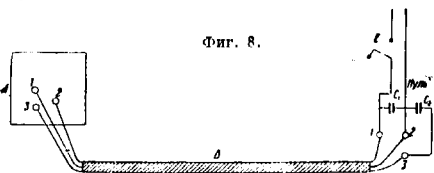
$$i_{\omega} = \frac{a}{\pi} \Delta\omega \cdot \frac{\sin \frac{\Delta\omega}{2} t}{\frac{\Delta\omega}{2} t} \cos \left[ \left( \omega + \frac{\Delta\omega}{2} \right) t + \varphi \right],$$

причем  $i_{max} = \frac{a}{\pi} \Delta\omega$ , величины же  $a$  и  $\varphi$  суть ф-ии  $\omega$  и не зависят от  $t$ . Т. о. величина помех должна в нек-рой мере уменьшаться с повышением избирательности приемников. Действие этого рода помех м. б. направлено тогда, когда они имеют возможность распространяться по электрическим сетям и проводникам, находящимся по соседству с приемным устройством, и далее воздействовать на последнее не только емкостным или индуктивным путем, но и через излучение сети. Поэтому в городах, где имеются благоприятные условия для многократных отражений одного и того же электрич. импульса, число различных Р. значительно больше, чем в открытом месте. Наиболее сильные Р. возникают при емкостной связи мешающей сети с приемным устройством. Что же касается Р., распространяемых путем излучения, то их отношение к Р., распространяемым индуктивным действием сети, может определяться для случая рамочного приемника ф-лой

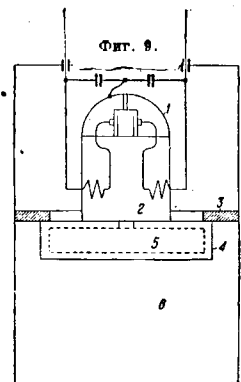
$$\frac{i_{ind.}}{i_{ind.}} = 2\pi \frac{d}{\lambda}$$

где  $d$  — расстояние между приемной рамкой и сетью,  $\lambda$  — длина волны, на к-рую настроен приемник. Исследования показывают, что *паразитные токи* (см.), возникающие в приемниках вследствие индуктивной связи, находятся в той же фазе или смещены на  $180^\circ$  по отношению к паразитным токам, вызванным емкостной связью. Следовательно к приемнику можно присоединить устройства, к-рые взаимной компенсацией паразитных токов, вызванных индуктивной и емкостной связью, устраняли бы Р. Вообще с целью уменьшения Р. прибегают 1) к уменьшению связей источника помех с сетью и сети с приемным устройством, 2) к уменьшению интенсивности искрения и 3) к превращению обычных Р. в симметричные Р. Однако в условиях развития рассматриваемых Р. (города) расчетные нормы поля приходится все же увеличивать в пределах от 10 до 20 децибел. В тех случаях, когда Р. вызываются искрением, значительно, а подчас и полное устранение Р. м. б. достигнуто помощью конденсатора, уменьшающего связь между сетью и целью искрения. Для случаев моторов схемы включения конденсаторов представлены на фиг. 6 и 7. Когда мотор соединен с проводами + и — распределительной трехпроводной системы с заземленным средним проводом, следует пользоваться схемой фиг. 6. В тех случаях, когда мотор соединен с двухпроводной установкой, причем один из проводов является нулевым, прибегают к схеме фиг. 7. Конденсаторы в обоих случаях включаются непосред-

венно не к щеткам, а к зажимам, к которым подведены питающие провода. В случае переносного мотора прибегают к устройству, схема которого представлена на фиг. 8, где *A* — переносный

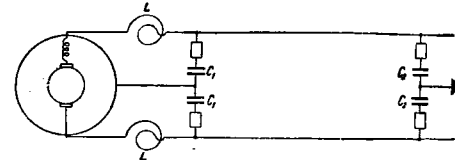


мотор, *B* — трехжильный кабель, *D* — цоколь для 3 штепселей, *E* — выключатель. Здесь используется трехпроводный кабель, что однако несколько уменьшает эффект, поэтому длина его



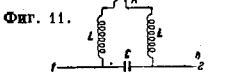
обычно не должна превышать 5 м. В некоторых случаях, напр. когда ось мотора соединена электрически с другими металлическими частями вне мотора, включения конденсаторов недостаточно. В этих случаях соединяют электрически эти части со станиной мотора и затем с конденсатором. На фиг. 9 показано устройство для уничтожения помех, вызываемых электрическим аспиратором (*1* — крышка, *2* — мотор, *3* — изолятор, *4* — коробка, *5* — вентилятор, *6* — камера). Для малых моторов используют конденсаторы в  $0,1 \mu\text{F}$ , для моторов 5—20 л. с. — в  $1 \mu\text{F}$ . В случае больших моторов применение одних конденсаторов оказывается недостаточным, почему прибегают

также к дроссельным катушкам высокой частоты. Практическая схема представлена на фиг. 10. Здесь *L* — дроссели, *C<sub>1</sub>* — конденсаторы, соединенные со станиной мотора, и *C<sub>2</sub>* — конденсаторы, включенные в провода на расстоянии 5—10 м от мотора и соединенные с землей. Опыт показывает, что основной причиной помех от электрических машин является плохая коммутация. Наибольшее число помех дают маломощные машины. Более мощные машины создают помехи, если грязен коллектор или сбился щетки с нейтралей. Для различных прерывателей схема включения конденсаторов представлена на фиг. 11, *a* и *b*. В большинстве случаев величины *C* и *L* имеют порядок соответ-



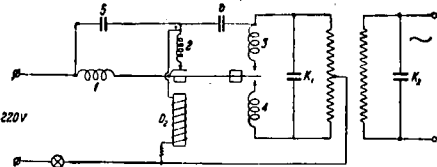
Фиг. 10.

ствующей волны последняя может быть устранена помощью дросселя высокой частоты (порядка  $0,03 \text{ H}$ ) или помощью повторного заземления, помощью конденсаторов, схема которых представлена на фиг. 14. Приводимая схема препятствует прохождению *P.* в дом или из дома в линию. Дроссели и конденсаторы содержатся в различных железных ящиках с расстоянием между ними в несколько м (на фиг. 14  $L \approx 0,0001 \text{ H}$ ,  $C \approx 0,01 \mu\text{F}$ ). Для устранения *P.*, вызываемых электрич. сетями, напр. в случае проводов сильных токов, прибегают к удалению радиоприемной установки не менее чем на нескольких сот м или заменяют провода кабелем. Однако возможен и другой путь, состоящий в том, что, наоборот, устанавливают связь между радиоприемной установкой и мешающей сетью помощью



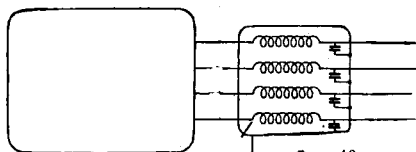
Фиг. 11.

ственно  $0,1 \mu\text{F}$  и  $10^{-4} \text{ H}$ . В целях сильного тока *L* м. б. уменьшена за счет увеличения *C*. На фиг. 12 дана схема включения конденсаторов для более сложных случаев, в частности для прибора, трансформирующего постоянный ток в переменный. Здесь *1, 2, 3* и *4* — дроссели высокой частоты, а *5* и *6*, равно как и *K<sub>1</sub>* и *K<sub>2</sub>*, — конденсаторы. Принцип соединений состоит в том, что во все провода, идущие к контактным виткам, включаются дроссели, а внешние зажимы по-



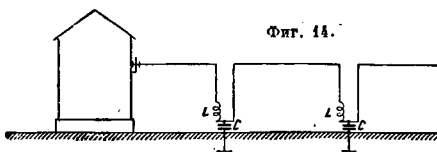
Фиг. 12.

следних соединяются через средство конденсаторов. Защита сети от *P.* возможна также помощью экрана, как например помощью бронированного кабеля, защитная оболочка которого тщательно заземляется. В тех случаях, когда возникает особое затруднения, прибегают к комбинированию обоих методов. В этом случае например прибор, вызывающий *P.*, окружается



Фиг. 13.

металлическим экраном. Во все провода, подходящие или исходящие от прибора, включают дроссели. Далее, между точками внешнего провода, после дроссельных катушек включаются конденсаторы (фиг. 13) емкостью по  $1 \mu\text{F}$ . Экраны же соединяются со всеми электрическими проводами при помощи таких же конденсаторов. При наличии в той или иной линии ме-



Фиг. 14.

шающей волны последняя может быть устранена помощью дросселя высокой частоты (порядка  $0,03 \text{ H}$ ) или помощью повторного заземления, помощью конденсаторов, схема которых представлена на фиг. 14. Приводимая схема препятствует прохождению *P.* в дом или из дома в линию. Дроссели и конденсаторы содержатся в различных железных ящиках с расстоянием между ними в несколько м (на фиг. 14  $L \approx 0,0001 \text{ H}$ ,  $C \approx 0,01 \mu\text{F}$ ). Для устранения *P.*, вызываемых электрич. сетями, напр. в случае проводов сильных токов, прибегают к удалению радиоприемной установки не менее чем на нескольких сот м или заменяют провода кабелем. Однако возможен и другой путь, состоящий в том, что, наоборот, устанавливают связь между радиоприемной установкой и мешающей сетью помощью





ского выпрямителя. Наиболее эффективная защита здесь — дросселирование. Радиальным же является переход на ламповые выпрямители.

Взаимные Р. между радиостанциями и вызываются рядом причин. Основными причинами являются перегрузка радиоэфира частотами действующих радиостанций, зусьб каналов между частотами, нестабильность частот радиостанции, неправильное распределение номиналов частот между радиостанциями, непредвиденное увеличение мощности радиостанций и т. д., наконец часто просто отсутствие должной дисциплины в радиоэфире. Особую группу Р. здесь представляют помехи, вызванные чрезмерно мощными гармониками, и затем различные комплексы комбинационных тонов и паразитных излучений. Правильно распределить частоты между радиостанциями представляет в настоящее время одну из труднейших задач не только в силу обилия радиостанций, но и в силу специфических условий распространения отдельных волн. Последние вопросы, вообще говоря, — междунационального порядка и составляют предмет многочисленных радиоконгрессов и конференций, делающих попытки наиболее эффективного распределения частот между странами и службами (см. *Несущая частота*). Исходными при распределении радиочастот между радиостанциями являются характеристики распространения частот в различных частях спектра, мощность радиостанции и средняя полярная диаграмма излучения, месторасположение, зоны обслуживания, назначение, время работы и ряд других. Мерами, к-рыми располагает современная радиотехника по устранению взаимных Р., являются помимо разумного распределения частот между радиостанциями: 1) замена искровых и дуговых радиостанций, занимающих широкие полосы частот, ламповыми и машинными, 2) устранение или сведение до минимума посторонних излучений передатчиков, в первую очередь гармоник основной частоты излучения, 3) стабилизация несущих частот радиостанций (см. *Стабилизация частоты* и *Частоты измерение*), 4) уплотнение радиоэфира путем перевода работы комплекса радиостанций на общие волны, излучения в эфир одной боковой полосы и т. д., 5) направленные передачи и прием, 6) сокращение полос модуляций, 7) повышение частотной избирательности приемных устройств и т. д. Наконец имеется ряд паллиативных мер, как напр. срезание крайних частот передаваемой полосы, что ведет естественно к понижению качества передачи, передача в эфир трансформированных частот, модуляций (см. *Частоты трансформация*) и т. д. Устранение взаимных помех между радиостанциями требует еще осуществления ряда организационно-технических мероприятий, как напр.: 1) узаконение норм и дисциплины в радиоэфире и санкции против их нарушителей, 2) тщательный централизованный контроль за работой радиостанций (см. *Частоты измерение*) и др. Паразитные излучения самих передатчиков можно разделить на несколько групп: 1) Паразитные колебания с полосою частот от 0,25 до 18 Нз, обусловленных фильтром анодного питания в линейном усилителе. 2) Паразитные колебания с полосою  $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{8}$  основной частоты. Эти колебания вызываются и определяются анодными дросселями, включенными вместе с блокирующими и промежуточными конденсаторами и образующими т. о. новые колебательные контуры. Изменением параметров дросселей и конденсаторов удается устранить этого рода Р. 3) Полоса

частот, сосредоточенная около основной частоты. Совершенной нейтрализацией эта группа Р. устраняется полностью. 4) Р., обусловленные паразитными колебаниями, превышающими основную частоту в 5—15 раз, и вызываемые сеточным и анодными проводами, идущими к лампам с распределенными индуктивностями и емкостями. Устраняются они напр. путем включения в анодные провода дополнительных катушек малых индуктивностей, шунтированных сопротивлением. 5) Р. с полосою частот от 30 до 300 МНз. Вызываются они проводниками (контурами) внутри лампы. Устранить эти Р. оказывается возможным иногда путем выключения параллельно электродам лампы (сетка-нить) небольших конденсаторов. 6) Частоты, соответствующие удertonам основных частот и существующие большей частью при плохих сеточных характеристиках ламп.

Р., связанные с распространением волн, являются следствием постоянного изменения физических свойств и состояния среды. В результате таких изменений во времени, в частности изменения электрических свойств среды, имеют место изменения углов отражения, преломления и величины поглощения энергии, что ведет к колебаниям силы приема радиосигналов, изменению азимута приходящих волн, к мертвым зонам и т. п., иным слсами к Р. нормальному радиоприему. Сюда относятся *замирания* (см.), проявляющиеся в колебаниях силы приема. Замирания разделяют на общие, т. е. такие, которые захватывают широкие полосы частот одновременно, и избирательные, т. е. захватывающие лишь близкие частоты и представляющие собой непрерывное явление. К общим замираниям относят суточные изменения в условиях прохождения волн, причиной чего является изменяющаяся ионизация атмосферы. Сюда относят также замирания, связанные с близким расположением приемного устройства к мертвой зоне. Причиной избирательного замирания считают изменение поляризации луча (наблюдаются углы поворота плоскости поляризации до 90°), а также интерференцию нескольких лучей, прошедших по путям различной длины, поэтому избирательные замирания подразделяются на поляризационные, интерференциальные и смешанные. Характерной чертой избирательного замирания являются резкие колебания мгновенных значений напряженности поля. Глубина замирания (отношение максимальной силы приема к минимальной), а также частота замираний изменяются, вообще говоря, в очень широких пределах. Коэф., характеризующий глубину замирания при дальних связях, может доходить до 100, а частота — от одного пропадания в несколько минут до сотен пропаданий в минуту. Внутренние шумы приемников ограничивают предел усиления, при котором имелась бы возможность при любых замираниях получать при ограничителе одинаковый и чистый прием. При радиотелефонном приеме замирания вызывают не только ослабление силы звука, но и искажения передаваемой речи или музыки. Вызывается это тем, что некоторые частоты, переносимые одной из боковых полос, оказываются заметно ослабленными, в то время как остальные остаются неизменными или даже усиливаются. Если же явление замирания распространяется лишь на несущую частоту, то остаются только боковые, к-рые тоже вызывают искажения передачи. Интерференционное и поляризационное замирания обычно сопровождаются изменением фазы при-

нимаемой волны, что равносильно изменению частоты. Однако практически дестабилизация частоты обычно не велика. По наблюдениям лаборатории фирмы «Телефунен» изменение частоты однако в отдельных случаях достигает 20 кГц. Против общего замирания применяются следующие меры: а) увеличение мощности передачи и концентрация луча в требуемом направлении помощью направленных антенн, б) применение автоматических регуляторов силы сигнала, компенсирующих действия замираний, — ограничивающих колебания силы приема, в частности за счет уменьшения его максимумов. В радиовещании прибегают к отодвиганию области близкого замирания. Для этого прибегают к мерам, устраняющим пространственное излучение при одновременном усилении поверхностного излучения, что осуществляется гл. обр. на передающей стороне (напр. антенна вещательного передатчика Бреславль). Против избирательного замирания используют: а) прием на две антенны, поляризованные взаимно перпендикулярно; б) применение остро направленных антенн; в) укорочение волны до возможного предела; г) одновременное излучение и прием нескольких частот, отличающихся на несколько кГц; д) передача на одной или двух боковых полосах с исключением несущей, которая в месте приема восполняется местным гетеродином; е) применение нескольких разнесенных антенн, расположенных в различных пунктах территории приемной радиостанции. Этот метод является наиболее действенным. Обычно применяют три антенны с расстоянием между ними около 300 м; каждая снабжена своим приемником с последующим сложением сигналов, полученных на выходе каждого приемника, вводя по средством *ограничителя* (см.). Этот метод борьбы с замиранием основан на том, что момент последнего не совпадает по времени в различных точках. Основным условием здесь является полное отсутствие приема на *фидеры* (см.), связывающие антенны с приемными устройствами. Получение в месте приема сигнала посредством двух лучей, пришедших по различным путям, также является причиной искаженных передач. Эффект эхо может быть «прямым», «кругосветным», «повторным» и наконец обусловленным отражением от слоев вне атмосферы. Для борьбы с первым применяют направленные передачи и особенно прием и уменьшают по возможности предел длины волны. Для борьбы со вторым видом эхо прибегают к снабжению приемных и передающих антенн электромагнитными отражателями, исключающими возможность распространения и приема волн в обратном направлении. Для борьбы с остальными применяют те же меры, что и против замираний. Одним из способов устранения Р. вызванных паразитной модуляцией в ионосфере, является установка одной или нескольких антенн (зеркал), открытых или замкнутых, на нек-ром расстоянии от антенны мешающей радиостанции. Эти антенны предотвращают или изменяют место встречи в ионосфере лучей принимаемой и мешающей станций.

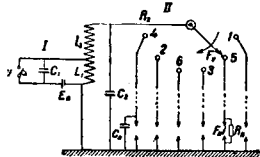
Р., вызываемые самими приемными устройствами. Если применяется регенератор, обратная связь у которого больше критической, то такой приемник является причиной Р. для близкорасположенных приемных устройств. Сила Р. в этом случае является функцией величины связи между регенератором и антенным контуром. Опыт показывает, что при расстоянии между антеннами двух приемных устройств в 100 м взаимные помехи становят-

ся заметными уже при напряжениях лишь более 100 мV на зажимах искусственной антенны. При расстоянии между антеннами в 10 м помехи возможны лишь при напряжении на зажимах выше 50 мV. Практически прибегают к конструированию таких приемников, к-рые не могли бы вызвать Р. даже в руках несведущих лиц. Этому содействуют несколько тщательно отнетирированных ступеней высокой частоты, предшествующих регенератору, или ступени с экранированной лампой, а также специальные приспособления, выключающие приемник при слишком сильной *обратной связи* (см.). В приемниках с большим усилением, даже при отключенной антенне, наблюдаются внутренние Р. в виде шумов, представляющих собой смесь частот всего слышимого диапазона. Этот шум тем сильнее, чем меньше входная мощность и чем больше коэф. усиления. Основными причинами шумов являются: а) колебания тока при химических процессах в батареях, б) колебания вследствие неоднородности контактов, в) температурный эффект и г) прерывистая электронная эмиссия (шротт-эффект, вторичные ионы и т. п.). Этим помех можно избежать при тщательном выполнении приемников и батарейных соединений. Помехи понижаются при применении специальных ламп, при возможно большем коэффициенте полезного действия входного контура. В этих же целях сопротивление анодного контура берут возможно большим и прибегают к уменьшению сеточного сопротивления.

Лит.: Куксеко П., «ТТБТ», 1925, 32, стр. 491; Величутин и Архангельский, Научно-технический сборник НКПИТ, 3, стр. 19, М., 1929; Баждено В., Основы теории радиопомех, вып. 1, М., 1930; Крылов В. И., Научно-технич. сборник НКПИТ, 4—5, стр. 22, М., 1929; Величутин и Архангельский, там же, 2—3, стр. 26, М., 1929; Хитов, там же, 1, стр. 42, М., 1931; Шуккин А., «Вестник электротехники», М.—Л., 1930, 5, стр. 163; Тамашев, «Техника связи», М., 1931, 1, стр. 45; ето же, там же, 1931, 10, стр. 57; Пономарев М., там же, 1931, 10, стр. 501; Сифоров В., «Радиопрогресс», М., 1931, 21—29, стр. 1239; Куксеко П., Радиосборник ОДР, ч. 1, стр. 9, М., 1930; Бонч-Бруевич М., Кругосветные волны, М., 1932; Котельников, «Техника связи», М., 1932, 3, стр. 80; Пономарев М., Помехи радиоприему, М., 1933; Бонч-Бруевич М., Научно-технический сборник, вып. 2—3, стр. 3, Л., 1933; Вольный В., «Изв. электротром. слабого тока», 8, стр. 26, Л., 1934; «Техника связи», 12, стр. 51, М., 1934; Watson W. A. et al., «Wireless World», L., 1923, v. 12, 207; Schindler H. A. et al., Jahrbuch d. drahtlosen Telegraphie u. Telefonie, В., 1923, В. 22, Н. 4; Моули, «Journal of the Institution of Electrical Engineers», L., 1924, 329, p. 353; Apleton, «Proceedings of the Royal Society», L., 1926, v. 103, p. 84; Apleton, ibid., 1926, v. 111, p. 615; Cairus, «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», N. Y., 1927, 22; Schindler H. A. et al., «Elektrische Nachrichten-Technik», Л., 1928, В. 5, Н. 11; Documents du comité consultatif international technique des Communications radioélectriques, Bern, 1929; ibid., 1931; Propositions pour la 3-me Réunion du C. C. J. R., Bern, 1933; Montorio L. E., «Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones», P., 1930, v. 49, 10, p. 875; Marby F., «The Electric Journal», Pittsburgh, Pa., 1930, v. 27, 4, p. 241; H. A. et al., W., «Telefunken-Ztg», В., 1930, v. 1923, p. 14; Moegel H., ibid., 1931, 58, p. 34; Vandoer P. A., «L'onde électrique», P., 1928, 12, p. 538; Erpen F., Jahrbuch d. drahtlosen Telegraphie u. Telefonie, В., 1928, В. 31, Н. 5; Krüger und Plendl, ibid., 1930, В. 35, Н. 5, p. 191; Vilbig Fr., Rundfunkstörungen und ihre Beseitigung, Lpz., 1930; Diamond and Craft, «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», N. Y., 1930, 5, p. 840; Harbich und H. A., «Elektrische Nachrichten-Technik», 1932, В. 5, Н. 10, 361; Wild W., «ETZ», 1933, В. 54, 7, p. 149; Hull, «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», N. Y., 1933, v. 21, 9, p. 1328; Subra H., «Ann. des Postes, Télégraphes et Téléphones», P., 1934, 3, p. 232; Baize P., ibid., 1934, 3, p. 201; Brumiaux et Petit, ibid., 1934, 3, p. 222; Vichon et H., «Hochfrequenz-Technik», 1934, В. 43, Н. 3, p. 85; M. G. S. A., «Journal of the Institution of Electrical Engineers», L., 1934, v. 74, 447, p. 245. А. Вайнберг.

Экранирование как средство борьбы с Р. от электрооборудования на транспортных машинах. Экранирование (см.) является наиболее действительным способом уменьшения помех радиоприему от электрооборудования автомобилей, танков, самолетов и других транспортных машин, снабженных карбюраторными двигателями. Эти Р. обычно вызываются двумя причинами: 1) от системы зажигания двигателя и 2) от динамомашин и регулятора ее (как правило постоянного тока). Последние на самолетах, автомобилях и танках устраиваются таким образом, что экранируется вся внутренняя токонесущая часть их (коллекторные пульсации уменьшаются путем приключения к зажимам последней фильтра из конденсаторов). Однако это недостаточно, потому что помехи могут причиняться проводами, про-

ложенными от динамо к потребителям. Поэтому необходимо экранирование всех проводов, что и выполняется посредством металл. оплетки — чулка, надеваемого на провода. При этом чулок-экран должен присоединяться к корпусу машины, чтобы все индукционные токи тотчас же переходили в корпус, не давая вторичной искры. Такое требование предьявляется ко всей электропроводке в машине: в частности провода рекомендуются присоединять к корпусу машины через каждые 0,25 м с помощью скоб или коротких медных проводников, обматываемых вокруг оплетки провода и присоединяемых под ближайшую гайку

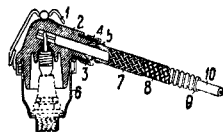


Фиг. 20.

быстро падает. Из схемы видно, что искры проскакивают в трех местах: в прерывателе, в распределителе и в свече. Характер электромагнитных полей, создаваемых искровыми разрядами, весьма сложный и зависит от особенностей пространственного размещения проводов и корпуса машины. Иногда искровой разряд индуктирует в соседнем проводе или в его металл. оплетке напряжение, достаточное, чтобы создать вторичную искру, и-рая в свою очередь является источником помех. Частота  $f$  (длина волны —  $\lambda$ ) электромагнитных колебаний, мешающих радиоприему, определяется



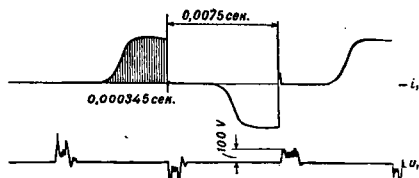
Фиг. 22.



Фиг. 23.

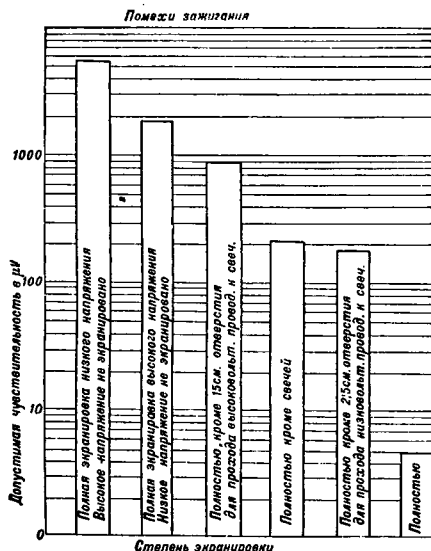
величиной распределенных индуктивности и емкости проводов, в систему которых входит искровой промежуток. Обычно при этом  $f$  порядка 30 000 kHz, т. е.  $\lambda \approx 10$  м; однако и на более длинных волнах Р. еще весьма сильны вследствие искрового характера и большой мощности излучения. Для надежного экрани-

корпуса. Экранирование особенно необходимо для подавления Р., вызываемых системой зажигания двигателя транспортной машины. Независимо от типа зажигания природа Р. одинакова — это искровые разряды, происходящие в цепях зажигания мотора. Далее для конкретности приводится (фиг. 20) эквивалентная схема зажигания 6-цилиндрового мотора.  $L_1$  и  $L_2$  — первичная и вторичная обмотки трансформатора, повышающего напряжение до величины, необходимой для проскакивания в  $F_k$  искры;  $C_1$  — блокирующий конденсатор;  $F_p$  изображает контакт во вращающемся распределителе, регулирующем последовательное получение искры в свечах всех цилиндров;  $R_n$  — сопротивление воздушного промежутка в момент проскакивания искры;  $C_n$  — эквивалентная емкость свечи;  $C_2$  — конденсатор, учитывающий емкость всей проводки между магнето и свечами. Первичный ток получается или от батареи (бобинное зажигание) или от магнето. На фиг. 21 даны осциллограммы первичного тока ( $i_1$ ) и первичного напряжения ( $u_1$ ) для случая зажигания от магнето. В момент разрыва первичного тока возникает сильное возрастание напряжения, к-рое дает искру в свече и затем



Фиг. 21.

корпуса. Экранирование особенно необходимо для подавления Р., вызываемых системой зажигания двигателя транспортной машины. Независимо от типа зажигания природа Р. одинакова — это искровые разряды, происходящие в цепях зажигания мотора. Далее для конкретности приводится (фиг. 20) эквивалентная схема зажигания 6-цилиндрового мотора.  $L_1$  и  $L_2$  — первичная и вторичная обмотки трансформатора, повышающего напряжение до величины, необходимой для проскакивания в  $F_k$  искры;  $C_1$  — блокирующий конденсатор;  $F_p$  изображает контакт во вращающемся распределителе, регулирующем последовательное получение искры в свечах всех цилиндров;  $R_n$  — сопротивление воздушного промежутка в момент проскакивания искры;  $C_n$  — эквивалентная емкость свечи;  $C_2$  — конденсатор, учитывающий емкость всей проводки между магнето и свечами. Первичный ток получается или от батареи (бобинное зажигание) или от магнето. На фиг. 21 даны осциллограммы первичного тока ( $i_1$ ) и первичного напряжения ( $u_1$ ) для случая зажигания от магнето. В момент разрыва первичного тока возникает сильное возрастание напряжения, к-рое дает искру в свече и затем



Фиг. 24.

рования необходимо выполнение следующих требований: а) применение экранирования не должно уменьшать уверенности действия системы зажигания, б) экранирование должно возможно полное устранять помехи радиоприему, в) эффективность экранирования с течением времени не должна уменьшаться. Экранирование выполняется в виде красно-медных (или алюминиевых) или, хуже, железных конусов, надеваемых на те детали зажигания (и вообще электрооборудования), которые являются источниками помех. Всегда плотность соприкосновения экрана-конуса с корпусом и их электрич. контакт д. б.

максимальными. Обычно экранируются свечи (на фиг. 22 — конструкция Бош), щетки магнето и все провода как основного, так и пускового магнето, если последнее имеется. На фиг. 23 показано (в разрезе) экранирование свечи и подводки экранированного провода к ней: 1 — пружина, удерживающая колпачок на свече, 2 — экран свечи, 3 — резиновый сальник, 4 — навинтованная муфта, 5 — железный обруч, 6 — тело свечи, 7 — оплетка из ленты фосфористой бронзы, 8 — оплетка из луженой медной проволоки, 9 — алюминиевый гибкий шланг, 10 — провод магнето. На фиг. 24 представлены результаты измерений (в США), поясняющие степень влияния несовершенства экранирования на величину помех радиоприему, создаваемых системой зажигания одного авиационного мотора.

Лит.: Белов Ф., «Техника и вооружение», 1933; F a s s b e n d e r H., Hochfrequenztechnik in der Luftfahrt, В., 1932; «Ztschr. f. Flugtechnik u. Motorschiffahrt», Мех.—В., 1932, В. 23, п. 135; D i a m o n d H. a. G a r d n e r E., «Proceed. of the Institute of Radio Eng.», 1930, v. 18, p. 840. В. Вайкович

**РАДИОПРИЕМНИК**, аппарат (или совокупность аппаратов), предназначенный для приема и выделения от помех сигналов, посылаемых корреспондирующей радиостанцией. В настоящее время Р. — наиболее прогрессивно развивающаяся отрасль в радиоаппаратуростроении. Развитие техники радиоприема во всех ее направлениях, в особенности за последние годы, было настолько интенсивным и плодотворным, что Р. почти всех категорий, особенно же радиовещательные, к настоящему времени до неузнаваемости изменили свое лицо как в отношении схем, так и по своей структуре по сравнению с тем, что было зафиксировано в статьях, посвященных этому вопросу в основных томах ТЭ (см. *Ламповый приемник*, *Техника высокой частоты*, *Пр и е м*). Все изменения, происшедшие в Р. за последние годы, обязаны гл. обр. появлению целого ряда новых *электронных ламп* (см.), открывших совершенно новые возможности в конструировании Р. всех категорий. Как правило все новинки, появляющиеся в области радиоприема, скорее всего проникают в радиовещательные Р., к-рым вообще присущ наиболее быстрый «моральный износ» и к-рые по этой причине выпускаются ежегодно в целом ряде новых вариантов и образцов. Вследствие этого радиовещательные Р. к настоящему времени достигли наиболее высокого технич. уровня. Что же касается Р. других категорий, то можно отметить в настоящее время четко наметившуюся тенденцию заимствования и перенесения в них методов, давно существующих в радиовещательных Р. и уже зарекомендовавших себя здесь с лучшей стороны. Т. о. радиовещательные Р. оказываются в положении, указывающем пути возможного развития Р. всех других категорий. На радиовещательных Р. в массовом масштабе проверяется все то новое, что по части радиоприема появляется в изобилии за границей, а затем уже только зарекомендовавшее себя со значительным опозданием проникает в Р. других категорий после основательной всесторонней опытной проверки этих новинок. В соответствии с этим характером развития техники радиоприема здесь будут сначала описаны новейшие радиовещательные Р., а затем уже Р. других категорий, усовершенствования к-рых за последние годы в значительной степени заключаются в использовании методов, впервые развитых для целей радиовещательного приема. Т. к. в части приемной радиоаппаратуры наибольшие успехи достигнуты в США, Англии

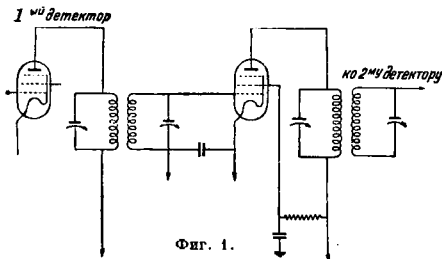
и Германии и Р., изготавливаемые в СССР, не отпадают всем современным возможностям в этом деле, здесь описание современных достижений в этом вопросе гл. обр. будет произведено по заграничным образцам.

**Радиовещательные Р.** Современные вещательные Р. классифицируются по следующим признакам: 1) по схеме, характеризующей числом и типами используемых ламп и числом избирательных контуров в Р., 2) по перекрываемому диапазону волн, 3) по характеру питания, определяющему границы возможного использования Р. и 4) по конструктивному оформлению, находящемуся в тесной связи с назначением Р.

Схемы вещательных Р. Наиболее популярной и технически-совершенной схемой радиовещательного Р. является схема супергетеродина (см. *Супергетеродинный прием*). Большая часть выпускаемых за границей вещательных Р., претендующих на максимальное использование современных возможностей радиоприема, за последнее время собирается как правило по схеме супергетеродина. В 1929 г. в Англии на Лондонской выставке «суперы» составляли меньше 1% от общего числа выставленных приемников (см. *Ламповый приемник*). Число Р., собранное по т. н. прямым схемам, т. е. с усилением сигналов на их частоте, было: 3-ламповых 38%, 4-ламповых 27% и 5-ламповых 24% от общего числа Р. В 1932 г. на той же выставке суперы составляли уже 17% от общего числа Р.: 3-ламповые Р. прямой схемы — 39,9%, 4-ламповые — 20,8%, 5-ламповые — 0,3%. Наконец в 1934 г. процент суперов поднялся уже до 67. В Америке рост популярности суперов еще нагляднее. В 1929 г. суперы составляли на нью-йоркской выставке меньше 1%, а в 1935 г. — до 90% от общего числа типов Р. и до 98% от числа чувствительных Р., предназначенных для дальнего приема. Т. о. из приведенных цифр видно, что супергетеродины, завоевывая постепенно новые позиции в радиоприеме, становятся стандартной схемой современного радиовещательного Р. В связи с этим и развитие техники радиовещательного приема за последние годы происходило по преимуществу по пути совершенствования схемы супергетеродина в ее отдельных деталях, элементах и частях. Мало того, усовершенствование существующих и разработка новых ламп также были подчинены интересам развития суперов: большинство новых ламп предназначено гл. обр. для суперов, и здесь свойство их м. б. реализовано с максимальным эффектом.

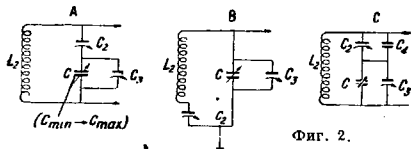
Суперы, выпускаемые в настоящее время, значительно разнятся от прежних суперов выпуска 1925—29 гг. Отличительные свойства современных суперов следующие: 1) Они предназначены для приема с открытой антенной. 2) В них развит т. н. предварительная селекция (преселекция, см. *Супергетеродинный прием*) до преобразования частоты: все новые суперы как правило имеют не меньше двух избирательных контуров, не считая гетеродинного, тогда как прежде прием осуществлялся от настроенной рамки, являющейся единственным контуром до трансформации частоты. 3) Промежуточная частота представляется как правило одним каскадом усиления с двумя полосными фильтрами на входе каскада и на его выходе. Каждый полосный фильтр состоит из двух настроенных контуров, связанных т. о., что получается столбчатая кривая резонанса с двумя волнами связи, лежащими в пределах полосы 9 000 kHz. Схема каскада промежуточного усиления, принятая в

подавляющем большинстве  $P$ , дана на фиг. 1. Каскад промежуточной частоты в новых суперах значительно повышает общую избирательность  $P$  при сохранении хорошего качества воспроизведения, значительно более высокого, чем в прямых схемах. 4) В новых суперах настройка всего  $P$  осуществляется от одной рукоятки (одноручечное управление), причем на одну ось насажены конденсаторы всех приемных контуров предварительной селекции (2—3), а также гетеродинного контура. Выравнивание настройки гетеродинного контура, отличающегося по частоте относительно приемных контуров на величину промежуточной частоты, совершается одним из следующих способов: а) приданием подвижным пластинам соответствующей конфигура-



Фиг. 1.

ции; б) сдвигом ротора конденсатора; в) включением комбинированных добавочных конденсаторов. Существует несколько схем включения таких конденсаторов (на фиг. 2 представлены основные схемы). На схеме А (фиг. 2), наиболее



Фиг. 2.

распространенной, с помощью полупеременного конденсатора  $C_2$  настраивают  $P$  на минимальную волну диапазона, конденсатором  $C_3$  — на максимальную частоту. Величина индуктивности  $L_2$ , емкости  $C_2$  и  $C_3$  для перекрытия определенного диапазона определяется из ур-ий:

$$C_2 = \frac{C(\theta C_{min} + C_{max}) - C_{min} C_{max}(\theta + 1)}{C_{min} + \theta C_{max} - C(1 + \theta)},$$

$$L_2 = \frac{(\eta - \delta)(C_2 + C_{max})(C_2 + C_{min})}{C_2^2(C_{max} - C_{min})},$$

$$C_3 = \frac{\delta}{L_2} - \frac{C_2 C_{min}}{C_2 + C_{min}}.$$

В формулах приняты следующие обозначения:  $C_{max}$ ,  $C_{min}$  и  $C$  — максимальное, минимальное и среднее значение емкости переменного настраиваемого конденсатора гетеродина;

$$\theta = \frac{\varepsilon - \delta}{\eta - \varepsilon},$$

где в свою очередь

$$\delta = \left( \frac{C_{min} C_2}{C_{min} + C_2} + C_3 \right) L_2;$$

$$\varepsilon = \left( \frac{C C_2}{C + C_2} + C_3 \right) L_2$$

и

$$\eta = \left( \frac{C_{max} C_2}{C_{max} + C_2} + C_3 \right) L_2.$$

Наконец 5) в новых суперах используются новые многоэлектродные и многократные лампы, поз-

волившие значительно снизить общее число ламп в современных суперах.

Решающее значение в современных суперах получили следующие типы новых ламп: 1) в каскадах усиления высоких частот — пентоды; 2) в преобразователях частот — пентоды, геттоды и особенно октоды и т. н. триод — гексоды, триод — геттоды и триод — пентоды; 3) в качестве второго детектора — двойные диоды, т. е. дуплекс — диоды — триоды, дуплекс — диоды — пентоды и триплекс — диоды — триоды и наконец 4) в оконечных каскадах: мощные подогретье *пентоды* (см.), двойные лампы — триоды и пентоды для усиления по классу В. (Об этих лампах см. *Электронная лампа*.) Все достигнутое в суперах за последние годы обязано почти исключительно этим типам ламп. Применение их позволило собирать суперы с 4—5 лампами, дающие по всем показателям результаты лучшие, чем старые суперы с 8—10 штатными лампами. В результате применения этих ламп суперы в настоящее время конкурируют не только с  $P$  прямой схемы с числом ламп 5 и больше, но и с простейшими 3-ламповыми  $P$ . Прямой схемы, причем эта конкуренция распространяется не только на электр. данные  $P$ , в чем суперы имеют значительные преимущества, но и на такие факторы конструктивного порядка, как компактность, простота устройства, стоимость.

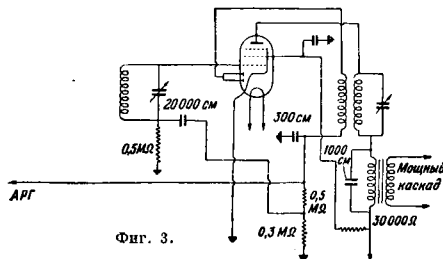
Современные суперы  $m$  с б. разбиты на две группы: многоламповые — с общим числом ламп (исключая кенотрон) 5 и больше, малоламповые с числом ламп 4 и меньше. Состав схем наиболее распространенных современных суперов показан в табл. 1, где используются следующие обозначения: буква С обозначает 1-й детектор с конверсией (преобразованием частоты), буква Г рядом с С обозначает, что в преобразователе частоты имеется отдельная лампа в качестве гетеродина; цифра перед буквой С обозначает число каскадов усиления высокой частоты на частоте сигнала до конверсии частоты, цифра после С — число каскадов усиления промежуточной частоты, V — 2-й детектор, буква M (или 1 V 1) — использование детекторной лампы в рефлексной схеме для одновременного усиления высокой и низкой частот и детектирования; цифра после V: арабская — число каскадов предварительного

Табл. 1. — Состав схем современных суперов.

Многоламповые суперы	Малоламповые суперы
1. . . . . 1 C 1 V 1	1. . . . . C 1 0 I
2. . . . . 1 C 1 V 1	2. . . . . C V I
3. . . . . 1 C 1 V 1	3. . . . . C M I
4. . . . . 1 C 1 V A 1	4. . . . . C 1 V I
5. . . . . 1 C 1 V П	5. . . . . 1 C 1 0 I
6. . . . . 1 C 1 V Q 1	6. . . . . 1 C V I
7. . . . . 1 C 1 V A Q 1	7. . . . . 1 C M I
8. . . . . 1 C 1 1 V I П	

усиления низкой частоты, римская — число ламп в оконечном каскаде. Буквы А и Q, обычно после V, обозначают: А — что для автоматич. регулирования громкости используется отдельная лампа, Q — что для автоматич. молчания приемника при отсутствии сигналов используется также отдельная лампа; буква Ф обозначает использование лампы для изменения фазы сигнала при пуш-пуллном выходе (см. *Пуш-пулл*) со схемой перехода на сопротивлениях. I — лампа для индикации, T — лампа автоматич. тональной регуляции. Черта над V обозначает применение обратной связи для повышения избирательности и усиления. Большие возможности в смысле сокращения числа ламп открыли рефлексные схемы

(см. *Рефлексный прием*), к к-рым снова вернулись в малоламповых суперах. Рефлексная схема осуществляется в этих суперах в лампе дуэленс—диод—пентод, в к-рых пентодная часть используется одновременно для усиления высокой и низкой частоты по схеме фиг. 3 (АРГ на фиг. 3—автоматич. регулировка громкости сигналов, см. ниже). Еще большие возможности в смысле сокращения числа ламп в приемниках открылись металл. оксидные детекторы для высоких частот, появившиеся в Англии под названием вестекторы и в Германии под названием сиротуры (Siemens Rundfunk Detector), причем в Англии выпущены такие детекторы, хорошо работающие при частотах до 1,5 MHz и применяемые в Р. прямых схем. Вестекторы и сиротуры работают без смены очень долгое время, стоят дешевле ламп, занимают не большие места в Р., чем обычные высокоомные сопротивления, очень напоминая своим внешним видом последние, не требуют лишних источников тока для приведения их в действие, могут применяться одновременно и для автоматического регулирования громкости; в особенности в этом отношении для суперов удобен пуш-пуллный образец вестектора, выпущенный в Англии. Эти детекторы позволили еще



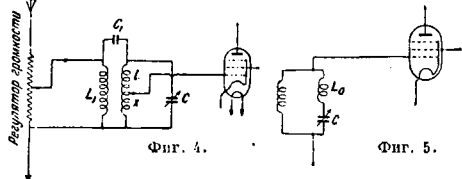
далее пойти по пути сокращения ламп в суперах. Это оказалось тем более возможным, что выходные пентоды последних конструкций требуют очень незначительных напряжений от сигнала для отдачи своей полной мощности; так напр., англ. фирмы выпускают пентоды (см. *Электронная лампа*), к-рые отдают полную мощность в 3,4 W (кпирфактор 5%) при действующем напряжении от сигнала 2,7—3,5 V. Вестектор в супере при применении в 1-м детекторе современных смесительных ламп и при приеме местных станций на комнатную антенну это напряжение легко развивает на входе пентода. В последнее время в Англии выпущены мощные пентоды той же мощности в комбинации с двумя диодами, работающими от несколько увеличенного катода, благодаря чему оказалось возможным собирать малоламповые суперы без применения вестектора. Эти лампы позволили значительно увеличить серию возможных схем малоламповых суперов. В табл. 1 в схемах с этими лампами на месте буквы V стоит 0, что означает, что во 2-м детекторе нет отдельной лампы. В самое последнее время нашли широкое применение во 2-м детекторе маленькие лампы с двумя диодами, заменившие собой вестекторы в современном Р.

Преимущества суперов по сравнению с Р. прямых схем заключаются в следующем: 1) Суперы обеспечивают наибольшую допустимую избирательность по сравнению с какой-либо другой схемой при той же чувствительности за счет увеличения общего числа настроенных контуров, через которые пропускается сигнал, причем

часть из этих контуров, относящаяся к промежуточной частоте, не требует перестройки при изменении принимаемой волны. 2) Суперы дают большую равномерность усиления и избирательности по диапазону волн Р., чем какая-либо другая схема, так как избирательность и усиление в них в значительной степени определяются частью Р., работающей на промежуточной частоте. 3) В супере обеспечивается большая точность воспроизведения сигналов благодаря возможности применения полосных фильтров на зафиксированной раз навсегда промежуточной частоте. 4) Суперы позволяют изготовлять Р. с очень большим диапазоном волн, т. н. «всеволновые приемники», дающие диапазоны с 200—300-кратным удлинением волн по сравнению с 10-кратным удлинением в прежних радиовещательных Р. Однако наряду с этими бесспорными преимуществами суперы имеют и свои недостатки, неизвестные в других схемах. Эти недостатки следующие: 1) Тенденция к образованию свистов и всякого рода подвистываний при настройке Р., особенно на местную станцию и вблизи ее волны. 2) Требуется более тщательная регулировка Р.; особенно нужно отметить трудности осуществления отчетливо и точно действующего 1-го детектора с конверсионной частоты. Это обстоятельство вообще отражается на методах массовой продукции суперов, которая требует значительного усиления контроля при сборке Р. и более тщательного выполнения деталей приемника и его заводской регулировки.

Свисты в суперах обязаны гл. обр.: 1) наличию так наз. зеркального приема, или «приема вторым каналом», обуславливаемого приемом какой-либо мешающей станции, отличающейся от принимаемой обычно на сторону увеличения частоты на величину удвоенной промежуточной частоты; 2) возникновению обертонных промежуточной частоты в 1-м детекторе в результате преобразования частоты; 3) проникновению в каскад промежуточных частот приема местных (расположенных вблизи от места приема) мощных мешающих радиостанций, работающих на волнах, как-раз совпадающих с промежуточной частотой приемника; 4) наличию гармоник в гетеродине. На преодоление свистов в современных суперах за последние годы обращено очень большое внимание; для этого детально были изучены причины, вызывающие эти свисты. В результате этих исследований свисты в современных суперах удается уменьшить до практически исчезающей величины совокупным проведением в жизнь следующих мероприятий: 1) Применением контуров преселекции не менее двух с малыми потерями. При двух контурах (не считая гетеродиного) удается достигнуть величины отношения приема на основной частоте к зеркальной в среднем порядка 8 000—10 000 при верхнем пределе для нек-рых приемников, достигающем 20 000, при 3 контурах — до 50 000—80 000 и больше. Однако хорошей преселекции в последних суперах удается достигнуть при одном контуре преселекции, применяя специальные схемы; напр.) в 3-ламповом супере «Науэв» фирмы «Телефункен» удалось достигнуть очень хорошей преселекции, применяя один контур при схеме входа этого супера, показанной на фиг. 4, где  $L_1$  и  $C_1$  — катушка и конденсатор — связи антенны с контуром преселекции. Катушка контура преселекции имеет отвод, к к-рому (точка  $z$ ) и присоединена сетка первой лампы. Назначение этого отвода ясно из фиг. 5, где та же схема показана в другом виде. В этой схеме конденсатор

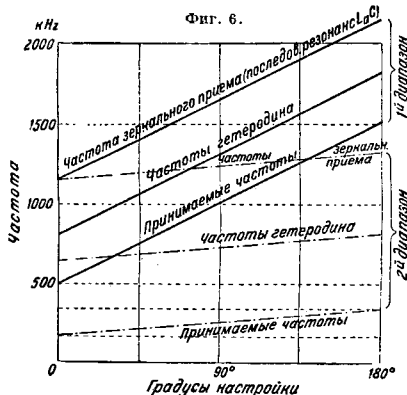
оказывается включенным в участок цепи с частью индуктивности контура  $L_a$ . Этот участок имеет настройку на определенную частоту, большую, чем частота настройки самого контура. При проинтегрировании в контур токов частоты, соответствующей частоте участка  $L_a C$ , эти токи зададут минимальное напряжение между сеткой и катодом лампы. Частота же, совпадающая с частотой контура, даст полный максимальный эффект, так как частота зеркального приема больше, чем принимаемая в Р. «Науэн», участок  $L_a C$  рассчитывается т. о., чтобы он совпадал с частотой зеркального приема на всем диапазоне Р. На фиг. 6 показаны кривые настройки приемного контура, гетеродина и участка  $L_a C$  в Р. «Науэн» для двух



Фиг. 4.

Фиг. 5.

его диапазонов частот (волн): а) для диапазона от 500 до 1 500 kHz (промежуточная частота 313 kHz) и б) для диапазона от 100 до 350 kHz (промежуточная частота 490 kHz). Эта схема дает очень хорошие результаты при выбранных промежуточных частотах, к-рые взяты различными для обоих диапазонов. Изменение промежуточной частоты здесь достигается переключением



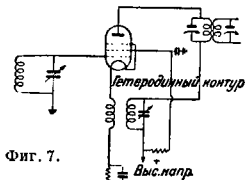
Фиг. 6.

катушек и конденсаторов в контурах (двух) промежуточной частоты. 2) В правильном выборе промежуточной частоты. При выборе промежуточной частоты руководствуются следующими соображениями: более высокая промежуточная частота позволяет легче освободиться от помех приема на втором канале, но в виду приближения ее к принимаемым волнам появляются помехи из-за проникновения посторонних передач на частоте сигнала. Низкая промежуточная частота дает чрезмерные помехи от второго канала, но зато при низкой частоте легче получить высокую избирательность, а избирательность относительно смежных каналов определяется в суперрежиме почти исключительно избирательностью на промежуточной частоте. В амер. приемниках выбрана стандартная промежуточная частота 175 000 Hz ( $\lambda = 1\ 715$  м), дающая хорошие результаты для

вещательного диапазона, принятого в Америке (200—550 м). Однако для приема в европейских условиях при удлиненном диапазоне вещательных волн (200—2 000 м), а также в амер. всеволновых приемниках с диапазоном до 2 000 м эта промежуточная частота непригодна, поэтому в Европе применяют промежуточную частоту или в пределах 110 000—125 000 Hz или порядка 475 000 Hz ( $\lambda = 630$  м) с повышением частоты при приеме длинных волн и понижением при приеме средних, причем при наличии одной промежуточной частоты для диапазонов выше и ниже ее Р. имеет пропуск в принимаемом диапазоне от 600 до 800 м приблизительно. В США в большинстве всеволновых приемников установлена промежуточная частота в 456 kHz ( $\lambda = 660$  м). При расчете полосовых фильтров промежуточной частоты руководствуются следующими соображениями: 1) избирательность на промежуточной частоте определяется отношением  $\frac{\omega L}{R}$  (множитель напряжения) для катушек и правильным выбором связи контуров; 2) усиление определяется динамическим сопротивлением контуров, равным  $\frac{\omega^2 L^2}{R}$ . Т. к. сопротивление катушек

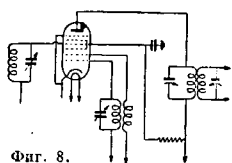
не пропорционально величинам их индуктивности, то, исходя из соображений, приведенных выше, выгодно иметь контуры на промежуточной частоте с большой индуктивностью и малой емкостью. Так напр., для европейской промежуточной частоты 110 000 Hz оптимальная величина индуктивности промежуточного контура получается равной порядка 10 000 мкн. Динамическое сопротивление катушки при этом удается получить порядка 100 000—300 000  $\Omega$  при сотовой машинной намотке. Значительно лучшие результаты можно получить, применяя в промежуточном усилении катушки с железным сердечником (Феррокарты и катушки), динамическое сопротивление к-рых получается порядка 600 000  $\Omega$  и больше. 3) Для того чтобы в каскады усиления, а также контуры промежуточной частоты не проникали мешающие сигналы от мощных радиостанций, расположенных вблизи места приема и работающих на частотах, к-рые совпадают с промежуточной частотой Р., на входе его, параллельно зажимам «антенна — земля», включая пропускающий контур, а в цепях гетеродина — *заграждающий контур* (см.), в точности настроенные на промежуточную частоту. 4) Наконец значительную роль в ликвидации свистов в суперрежиме играет правильно построенный (рассчитанный и отрегулированный) 1-й детектор конверсии. При конверсии благодаря работе лампы в детекторном режиме выделяются обертоны промежуточной частоты. В некоторых участках настройки Р. образующиеся при конверсии обертоны промежуточной частоты могут совпадать с настройкой Р. на частоту сигнала. Напр. если промежуточная частота приемника 110 000 Hz, то это произойдет при настройке Р. (его контуров селекции) на частоты 220 000, 330 000 и т. д. Hz. Это одна из самых важных и трудно устраняемых причин свистов в суперрежиме. Уменьшить влияние этой причины можно лишь при правильном подборе характеристик детектора. Теория показывает, что в этом отношении в суперрежиме желательно применять в качестве первого детектора детектор с квадратичной характеристикой, располагающейся в области отрицательных потенциалов на сетке. Практически удовлетворительные результаты в этом смысле дают лампы с переменным  $\mu$ , одно время очень широ-

ко применявшиеся в конвертерах с отдельным гетеродином. Очень хорошие результаты в качестве конвертеров дают пентоды высокой частоты с переменным  $\mu$ , получившие широкое распространение в современных суперах. Пентоды используются в конвертерах с отдельным гетеродином в качестве детектора, а также в одноламповых конвертерах, где они выполняют одновременно роль и детектора и гетеродина. Гетеродинный контур при этом включается в анодную цепь, катушка связи — в цепь катода. Схема такого конвертера показана на фиг. 7. Другим, более современным и технически совершенным решением вопроса является применение в конвертерах (одноламповых) ламп с двойным управлением:



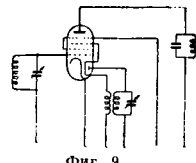
Фиг. 7.

гетодов (схема суперного конвертера с этими лампами см. *Электронная лампа*), а также октодов и триод-гексодов. Схема конвертера с октодом показана на фиг. 8. Она отличается от конвертера с гетодом тем, что между экранированной 5-й сеткой и анодом расположена еще одна (шестая по счету) сетка — противодинамическая, соединенная с катодом. Благодаря



Фиг. 8.

введению этой сетки детекторная система в лампе работает как пентод. Схема конвертера с экранной в Англии и Германии лампой триод-гексод показана на фиг. 9. В этой лампе для генерирования колебаний имеются отдельные анод и сетка малых размеров, работающие от общего для всей лампы подогревного катода. Все описанные детекторы — конвертеры в современных супергетеродинах — почти полностью освобождают супергетеродинный прием от свистов, имевших место в суперах прежних конструкций, причем это достигнуто здесь за счет того, что конверсия частоты происходит мультипликационным методом на семействе почти прямолинейных, кривых, изменяющих свою крутизну под влиянием



Фиг. 9.

приходящих сигналов. К современному конвертеру частоты в суперах помимо указанного выше требования осуществления конверсии с минимумом гармоник, к-рое и вызвало разработку целого ряда новых ламп, позволивших в значительной степени это требование удовлетворить, предъявляются также следующие требования: 1) невозможность излучения колебаний, генерируемых гетеродином в антенну, 2) наличие высокого анодного сопротивления лампы для возможности использования контуров промежуточной частоты с малым затуханием и 3) возможность регулировать усиление сигналов в лампе конвертера наравне с лампами усиления высоких частот при отсутствии влияния на генерацию колебаний. Эти требования в наиболее полной форме выполняются в схемах конвертеров, приведенных здесь, к-рые являются послед-

ним усовершенствованием известных схем преобразователей с гексодами и геттодами (см. *Электронная лампа*), разработанными в 1932—33 гг. Далее схема каждого конвертера м. б. оценена по тому усилению, которое от него можно получить в условиях радиоприема. Усиление, даваемое конвертером, определяемое в виде отношения напряжения промежуточной частоты, получаемого между сеткой и катодом лампы каскада усиления промежуточной частоты, к напряжению сигнала, подводимого к сетке 1-го детектора, м. б. найдено из следующего у-рия:

$$V = AS_1 R_0^{1-3}$$

Здесь  $A$  — постоянная, зависящая от степени связи контуров промежуточной частоты: одного, включенного в цепь анода 1-го детектора, другого, — в цепь сетки каскада промежуточной частоты; для оптимальной связи  $A = 0,5$ , обычно оно равно  $0,4$ ;  $S_1$  — крутизна конверсии (проводимость конверсии); как обычно,  $S_1 = \frac{di_a'}{de_g}$ , где  $i_a'$  — ток промежуточной частоты, образующийся в аноде, а  $e_g$  — напряжение частоты сигнала на сетке лампы;

$R_0 = \frac{\omega^2 L^2}{R}$  — динамическое сопротивление контура промежуточной частоты, включенного в анодную цепь конвертера. В настоящее время в виду выпуска очень значительного ассортимента ламп для целей конверсии иностранные лампы фирмы дают для каждой лампы, выпускаемой для этой цели, величины  $S_1$ . В табл. 2 показаны величины  $S_1$ , обеспечиваемые последними английскими лампами, предназначенными для 1-го детектора. Показанные в табл. 2 величины  $S_1$  получаются тогда, когда гетеродин развивает на сетке лампы т. н. напряжение оптимального гетеродинирования, т. е. напряжение гетеродина, при к-ром лампа дает наибольшее усиление (см. *Супергетеродинный прием*). На фиг. 10, где показана кривая зависимости анодного тока от напряжения сигнала, подводимого

Табл. 2.—Характеристики некоторых ламп.

Показатели	Пентод «Mazda» AC/S-2 Pen	Геттод Ферранти VH	Октод Молларда FC-4
Напряжение на аноде, В . . .	250	200	250
Ток в аноде, mA . . . . .	5,5	4	1
Опт. гетеродинирования, V	3	—	—
Крутизна конверсии $S_1$ , mA/V . . . . .	2,4	0,65	0,8
Крутизна сетки, характери- стики S, mA/V . . . . .	5,5	—	—
Усиление при конверсии . . .	192	52	100
Усиление на высокой частоте	440	—	—

к лампе, оптимальное гетеродинирование получается при напряжении  $AB$ . В той же табл. 2 показана величина усиления, которое дают эти лампы при динамическом сопротивлении контура в  $200\ 000\ \Omega$  при работе в качестве конвертеров и усилителей. Прежние экранированные тетродные и двухсеточные лампы при применении их в 1-м детекторе прежних суперов давали усиления, не превосходящие цифры 25. Геттод и октод не требуют резко выраженной оптимальной величины напряжения от гетеродина, а сами автоматически поддерживают свой режим в оптимальных условиях. Хотя, как видно из табл. 2, геттод и дает значительно меньшее усиление, чем



Фиг. 10.



пентод, однако по всем другим показателям он превосходит пентод как конвертер. Кроме того приведенный в таблице пентод по своим параметрам вообще является рекордным; обычные же рядовые пентоды дают усиление, лишь весьма незначительно превосходящее усиление геттодов. В виду того что пентод дает как правило большее усиления при конверсии, чем геттод, он продолжает находить применение в современных суперх. Развитием пентода является вышущенная недавно лампа пентод — триод, в к-рой в одном баллоне сконденсированы пентод для детектирования и триод для гетеродинамирования, работающие от общего катода. В этом отношении серьезным конкурентом пентоду является появившийся недавно октод, а также лампы триод—пентод и триод—геттод.

Автоматическая регулировка громкости сигналов (АРГ) как обязательная деталь применяется в каждом Р. для дальнего приема. АРГ в Р. выполняет следующие функции: 1) поддерживает одинаковую силу сигналов различной громкости на выходе, 2) устраняет перегрузку детектора и выходной лампы, что особенно важно в суперх для избежания микрофонного действия гетеродина или конвертерной лампы, и 3) выравнивает изменения силы сигналов, обзанных замиранием (см.).

Во всех современных приемниках АРГ осуществляется обычно от отдельных диодных ламп или от многократных ламп с диодами (см. *Электронная лампа*), причем эти же лампы обеспечивают и детектирование сигналов для последующего усиления на низкой частоте. Применение этих ламп позволило в значительной степени упростить схемы АРГ и привести их к виду, совершенно доступному в любых, даже простейших Р., тогда как при прежних лампах АРГ было достоянием только очень сложных и дорогих Р. Существует целый ряд различных схем АРГ. Здесь приведены принципиально основные.

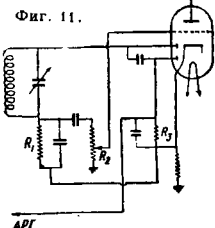
1) Простое АРГ (фиг. 11). Здесь для детектирования использован один диод, для АРГ — другой. АРГ вызывается напряжением, падающим на сопротивлении  $R_3$ , и начинается с минимальных напряжений сигнала, вызывая некоторое снижение чувствительности при слабых сигналах. На фиг. 12 изображена кривая этого вида АРГ (кривая 1). 2) АРГ с задержкой (фиг. 13). Здесь к диоду АРГ приложено некоторое отрицательное напряжение  $E$  благодаря падению напряжения на сопротивлении  $R_4$ . АРГ начинается при напряжениях сигнала, подводимого ко второму диоду выше  $E$ . Кривая 2 регулирования показана на фиг. 12. 3) АРГ с усилением (фиг. 14). Здесь для АРГ использована отдельная лампа дуплекс—диод—триод. Сигнал для АРГ сначала усиливается триодной частью этой лампы, затем передается на диоды, включенные параллельно. Эта схема дает более совершенное и чувствительное АРГ. На фиг. 12 дана

ее кривая регулирования (кривая 3). В Германии аналогичное АРГ получается при применении в каскадах высокой частоты специальных ламп — «усилительных геттодов», в которых регулируемое напряжение подводится к двум сеткам — управляющей и специальной, расположенной между двумя экранирующими сетками.

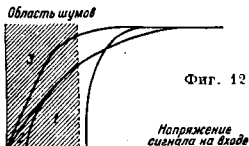
Регулирующее напряжение, достаточное для очень чувствительного регулирования, обеспечивается здесь от диода без предварительного усиления, как в схеме на фиг. 14. Все эти схемы АРГ м. б. осуществлены при применении обычных триодных ламп и отдельных диодных ламп или металлических детекторов (вестектор, сиуртор) для детектирования и автоматического регулирования громкости. В простейших Р., особенно в Р. с прямыми схемами (см. выше), в к-рых часто детектирование рационально осуществлять по методу *гридлика* (см.), АРГ реализуется или по схеме фиг. 15 с вестектором или по схеме фиг. 16 с использованием лампы дуплекс—диод—триод. Обе схемы АРГ с задержкой. Их действие основывается на том, что детектор закорачивает сопротивление нагрузкой детектора  $R_1$  при прохождении тока сверху вниз по схеме и позволяет развиваться полностью напряжению на сопротивлении  $R_1$  при прохождении тока в обратном направлении.

Тихая настройка Р. с АРГ (в особенности при схемах последнего с усилением) в отсутствии приема сигналов чрезвычайно шумливы. Для ликвидации этого недостатка в по-

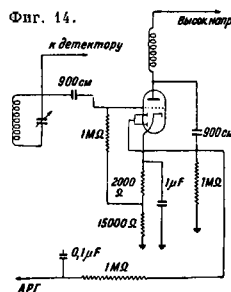
следних Р. с АРГ применяется дополнительное автоматическое регулирование порога чувствительности Р., или (как его иначе называют в английской радиолитературе) автоматич. регулирование «молчания» при настройке (АРМ) или «тихой настройке». В принципе этот вид регулирования заключается в том, что в отсутствие приема большим отрицательным смещающим напряжением на управляющую сетку приводится в бездействие лампа усиления низкой частоты, следующая за детектором. Приходящий сигнал, задавая положительный потенциал на ту же лампу, уравнивающий отрицательное напряже-



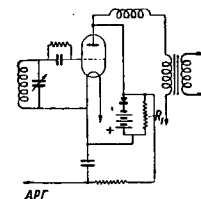
Фиг. 11.



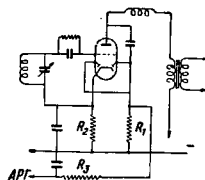
Фиг. 12.



Фиг. 14.

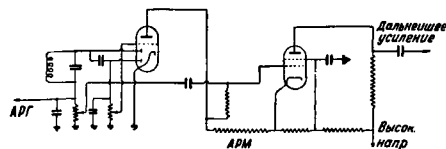


Фиг. 15.



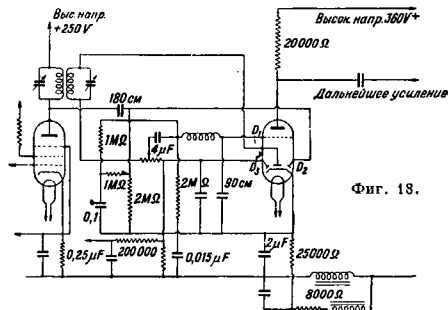
Фиг. 16.

ние на ней, как бы отпирает ее для действия. Простейшая схема такого АРМ в комбинации с АРГ показана на фиг. 17: для АРМ использована отдельная дуэлка — диод — триодная лампа. Такое



Фиг. 17.

комбинирование АРГ и АРМ достигнуто от одной лампы с 3 диодами, т. е. лампы триплекс — диод — триод, выпущенной фирмой «Mazda» — АС/HL DDD (схема на фиг. 18). В ней диод  $D_1$  выпря-

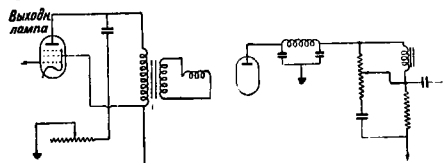


Фиг. 18.

мляет сигнал, диод  $D_2$  приводит триодную часть к молчанию при отсутствии сигнала, диод  $D_3$  обеспечивает АРГ с задержкой. При этой схеме удается осуществить полное регулирование мощности на выходе при напряжении сигнала на входе Р. ок.  $100 \mu V$ ; Р. начинает принимать при  $90 \mu V$  на входе и развивает полную мощность на выходе при  $200 \mu V$ . В последнее время такой же способ регулировки достигнут в малоламповых суперх при применении обычных ламп с 2 диодами.

Тоновый контроль. Для уменьшения подвистываний, получающихся при приеме из-за интерференции несущих частот радиостанций, работающих на смежных каналах, а также для обычного уменьшения шумов и тресков почти во всех современных Р. применяется т. н. тоновый контроль, позволяющий регулировать полосу звуковых частот сигнала, проходящих через Р., путем срезу частот самых высоких слагаемых звуковых частот сигнала. Существует целый ряд схем тонового контроля. Схемы эти бывают двойного рода: ручные и автоматические. В первых пропускаемая полоса регулируется по желанию рукояткой, вынесенной на панель, во вторых — автоматически. Действие всех схем тонового контроля основывается на шунтировании выходного сопротивления нагрузки в какой-либо из анодных цепей лампы низкой частоты (детекторной или выходной) цепью с реакто выраженной зависимостью полного ее сопротивления от частоты, причем сопротивление этой цепи помощью включенного последовательно переменного сопротивления может изменяться в широких пределах. В 1-й схеме (фиг. 19) эта цепь состоит из конденсатора и переменного сопротивления. При изменении сопротивления изменяется в ши-

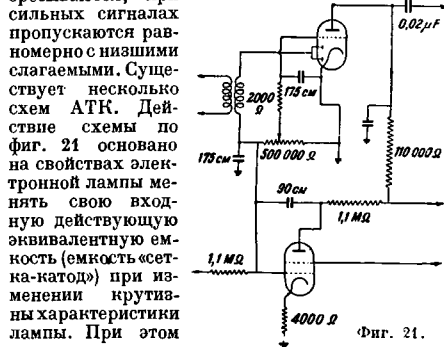
роких пределах блокирующее действие конденсатора для высоких частот. Во 2-й схеме (фиг. 20) одновременно с шунтированием выходного сопротивления нагрузки (обычно в детекторе) производится согласованное по эффекту шунтирование по дифференциальной схеме дросселя низкой частоты; эта схема обладает высоким сопротивлением для высоких слагаемых звуковой



Фиг. 19.

Фиг. 20.

частоты сигнала. Здесь при изменении сопротивления происходит кроме изменения блокирующего действия конденсатора для высоких слагаемых звуковой частоты и изменение (для токов тех же слагаемых) общего сопротивления, представляемого дросселем и шунтирующим участком переменного сопротивления. В автоматическом тоновом контроле (АТК) при слабых сигналах высокие составляющие сигнала автоматически срезаются, при сильных сигналах пропускаются равномерно с низшими слагаемыми. Существует несколько схем АТК. Действие схемы по фиг. 21 основано на свойствах электронной лампы менять свою входную действующую эквивалентную емкость (емкость «сетка-катод») при изменении крутиины характеристики лампы. При этом указанные изменения м. б. сделаны очень большими, если параллельно аноду и сетке включить дополнительный конденсатор. На схеме фиг. 21 входная емкость лампы с переменной крутииной включена параллельно сопротивлению нагрузки в цепи анодного детектора. При слабых сигналах сетка этой лампы получает очень небольшие смещения, оставаясь вблизи нулевого потенциала. Входная же емкость лампы достигает наибольшей величины примерно  $5000 \text{ см}$ , т. е. она в 50 раз больше, чем статич. емкость дополнительного конденсатора. При сильных сигналах сетка получает большое отрицательное смещение, крутиина лампы уменьшается, входная действующая емкость падает, стремясь к величине статич. емкости. Действие другой схемы (фиг. 22) основывается на изменении сопротивления лампы при изменении напряжения на сетке. Здесь провода АВ и CD представляют собой цепь, помощью к-рой сигналы передаются от детектора к лампам усиления низкой частоты,



Фиг. 21.



Фиг. 22.

роких пределах блокирующее действие конденсатора для высоких частот. Во 2-й схеме (фиг. 20) одновременно с шунтированием выходного сопротивления нагрузки (обычно в детекторе) производится согласованное по эффекту шунтирование по дифференциальной схеме дросселя низкой частоты; эта схема обладает высоким сопротивлением для высоких слагаемых звуковой частоты и изменение (для токов тех же слагаемых) общего сопротивления, представляемого дросселем и шунтирующим участком переменного сопротивления. В автоматическом тоновом контроле (АТК) при слабых сигналах высокие составляющие сигнала автоматически срезаются, при сильных сигналах пропускаются равномерно с низшими слагаемыми. Существует несколько схем АТК. Действие схемы по фиг. 21 основано на свойствах электронной лампы менять свою входную действующую эквивалентную емкость (емкость «сетка-катод») при изменении крутиины характеристики лампы. При этом указанные изменения м. б. сделаны очень большими, если параллельно аноду и сетке включить дополнительный конденсатор. На схеме фиг. 21 входная емкость лампы с переменной крутииной включена параллельно сопротивлению нагрузки в цепи анодного детектора. При слабых сигналах сетка этой лампы получает очень небольшие смещения, оставаясь вблизи нулевого потенциала. Входная же емкость лампы достигает наибольшей величины примерно  $5000 \text{ см}$ , т. е. она в 50 раз больше, чем статич. емкость дополнительного конденсатора. При сильных сигналах сетка получает большое отрицательное смещение, крутиина лампы уменьшается, входная действующая емкость падает, стремясь к величине статич. емкости. Действие другой схемы (фиг. 22) основывается на изменении сопротивления лампы при изменении напряжения на сетке. Здесь провода АВ и CD представляют собой цепь, помощью к-рой сигналы передаются от детектора к лампам усиления низкой частоты,

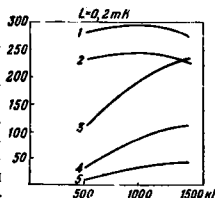
т. е. напр. в цепь, включенную параллельно выходному сопротивлению нагрузки детектора. В анод регулирующей лампы включено очень высокое сопротивление, цепь анода этой лампы связана с цепью  $AB$  через емкость  $0,01 \mu F$ . При сильных сигналах на сетку этой лампы подается большое отрицательное смещение, сопротивление лампы становится высоким, и емкость  $C$  как блокирующая эффекта не дает. При слабых сигналах на сетку подается более положительный потенциал, емкость начинает работать как блокирующая, причем степень блокировки изменяется в зависимости от частоты.

Переменная избирательность. В очень многих современных суперах (мало- и многоламповых) находит применение т. н. «переменная избирательность», дающая возможность при приеме дальних станций понижать общую избирательность всего  $P$ . для уменьшения помех, а при приеме местных станций — понижать ее с последующим повышением качества воспроизведения принимаемой радиостанции. В большинстве суперов переменная избирательность осуществляется в трансформаторах промежуточной частоты путем раздвигания катушек полосового фильтра.

Р. с прямыми и схемами также подверглись за последние годы целому ряду усовершенствований, значительно поднявших их технические свойства. Значение их как  $P$ . дешевых, в особенности в Европе, в значительной степени сохранилось и видимо сохранится и на будущее время. Сказанное в особенности относится к  $P$ . для приема местных станций (собираются по схеме  $\bar{VI}$ ). В Германии напр. выпущен

$P$ . с такой схемой ( $\bar{V}_3 I_8$ ), названный «народным», в очень значительных (до нескольких млн. шт.) партиях с 3 видами питания: от сетей переменного, постоянного тока и от батарей. Для последних  $P$ . выпущены двухвольтовые лампы и специальные батареи, причем выходной пентод работает в экономичном режиме с автоматич. смещением, осуществляемым от металла, детектора «сирутора». В будущем можно ожидать их дальнейшего развития и м. б. снова повышения их роли в технике радиоприема, если удастся еще дальше пойти по пути создания катушек с очень малыми потерями. Наиболее интересные усовершенствования, сделанные в  $P$ . с прямыми схемами, следующие. 1) При конструировании  $P$ . с прямыми схемами применяются очень многие методы, в настоящее время широко используемые в суперах. Напр. в  $P$ . с прямыми схемами перенесена почти без изменений схема дуплекс — диодных детекторов со всеми деталями АРГ. Эти же лампы использованы и в схемах детекторов с обратной связью. 2) Разработан целый ряд схем, в которых очень тонко использованы свойства регенерации для увеличения избирательности  $P$ . В этих схемах предусмотрен очень плавный подход к порогу регенерации. Искажения, вызываемые обратной связью на высокой частоте, в дальнейшем корректируются помощью соответствующих тональных фильтров с преобладающим пропусканием высоких слагаемых звуковой частоты. Эти приемники дают очень высокую для прямых схем избирательность. 3) Наконец самое замечательное, что сделано в этой области, — это разработка катушек с очень низкими потерями. Достигнуто это путем применения в катушках высокой частоты железных сердечников, сделанных из очень тонкого порошка, частицы которого имеют размеры  $1-2 \mu$  и изолированы друг от друга очень тонким слоем

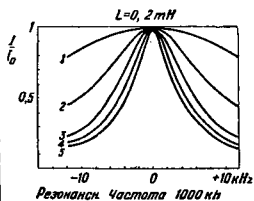
специальной изолирующей склеивающей массы. Коэф. магнитной проницаемости таких сердечников очень мал (ок. 8), но он оказывается достаточно для того, чтобы экономия, получаемая за счет укорочения длины провода катушки, не только с избытком компенсировала дополнительные потери (гистеретические) из-за введения в катушку сердечников, но позволила бы достигнуть очень малых суммарных потерь в такой катушке. Катушки с железным сердечником (феррокарт-катушки) имеют множитель напряжения  $\omega L/R$  значительно выше, чем в лучших цилиндрических катушках с воздушным сердечником, и обеспечивают (что очень важно) равномерность величины  $\omega L/R$  на широком участке частот. На фиг. 23 показаны кривые величины  $\omega L/R$  в зависимости от частоты для следующих катушек: кривая 1 — для катушки с железным сердечником фирмы «Телефункен» под названием «сируфер-катушка»; кривая 2 — для той же катушки, заключенной в металл. экран; кривая 3 — для очень хорошей цилиндрич. катушки из лицендрата (см.); кривая 4 — для той же катушки в экране; кривая 5 — для вариометра (см.). На фиг. 24 показаны кривые резонанса для тех же катушек. Сируфер-катушки и намотаны на H-образные сердечники. Катушки с железным сердечником выпускают очень многие германские и английские фирмы, причем сердечники их устраиваются всевозможных видов: замкнутые и разомкнутые, с коррекцией индуктивности для  $P$ . с одноуровневой настройкой. Размеры и вес этих катушек очень малы; так напр., катушка с железным



Фиг. 23.

сердечником, замкнутая, трансформаторного вида, с керном в середине, выпускаемая герм. фирмой Горлер, весит ок. 7 г и имеет размеры сердечника  $20 \times 22 \times 4$  мм, сама катушка —  $14 \times 12$  мм.  $P$ . собранные с этими катушками, обнаруживают очень высокую избирательность, приближающуюся к избирательности суперов. В Америке и Англии конструированы были  $P$ ., в которых настройка производится одновременным перемещением сердечников во всех контурах. Катушки с железными сердечниками применяются и в суперах, но здесь их роль значительно меньше, чем в прямых схемах.

Диапазоны волн современных вещательных  $P$ . В виду увеличивающегося числа радиовещательных станций на коротких волнах к современным  $P$ . предъявляется требование расширения диапазона волн в сторону коротких волн. В схемах суперов это требование выполняется сравнительно без особых затруднений; по этой причине очень значительное количество выпускаемых в настоящее время суперов дополнительно к обычному вещательному диапазону имеет коротковолновый диапазон, причем последний осуществляется не помощью дополнительного конвертера, а все детали, необ-



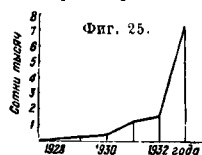
Фиг. 24.

ходимо для настройки, трансформаторного вида, с керном в середине, выпускаемая герм. фирмой Горлер, весит ок. 7 г и имеет размеры сердечника  $20 \times 22 \times 4$  мм, сама катушка —  $14 \times 12$  мм.  $P$ . собранные с этими катушками, обнаруживают очень высокую избирательность, приближающуюся к избирательности суперов. В Америке и Англии конструированы были  $P$ ., в которых настройка производится одновременным перемещением сердечников во всех контурах. Катушки с железными сердечниками применяются и в суперах, но здесь их роль значительно меньше, чем в прямых схемах.

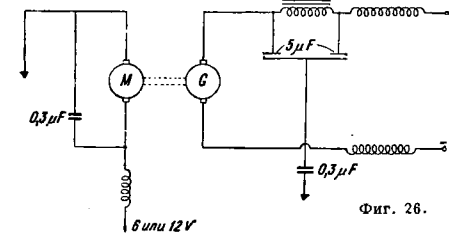
Диапазоны волн современных вещательных  $P$ . В виду увеличивающегося числа радиовещательных станций на коротких волнах к современным  $P$ . предъявляется требование расширения диапазона волн в сторону коротких волн. В схемах суперов это требование выполняется сравнительно без особых затруднений; по этой причине очень значительное количество выпускаемых в настоящее время суперов дополнительно к обычному вещательному диапазону имеет коротковолновый диапазон, причем последний осуществляется не помощью дополнительного конвертера, а все детали, необ-

ходимые для его реализации, внедряются в схему самого Р. И штудные, октодные и гексод-триодные конвертеры прекрасно работают на коротких волнах до 16 м и ниже. Суперы с коротковолновым диапазоном называются всеволновыми. Такие Р. выпускаются в больших количествах и в Европе и в Америке.

Питание современных Р. По характеру питания современные вещательные Р. м. б. разбиты на 5 групп: 1) Р. с питанием полностью от батареи; такое питание применяется гл. обр. в передвижных Р., а также в Р. для сельских местностей, где нет электрич. сетей. 2) Подогревные Р., питаемые от сетей переменного тока с выпрямлением (с помощью кенотронов или механич. выпрямителей) переменного тока в постоянный для питания анодных цепей и с понижением напряжения переменного тока для питания подогревных цепей ламп. Эти две группы Р. являются наиболее распространенными в СССР. 3) Подогревные Р., питаемые от сетей постоянного тока 110—220 В. Для Р. этого типа за границей разработаны специаль-

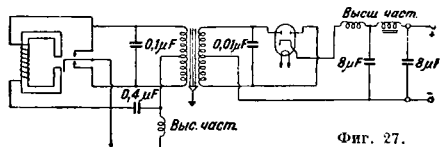


Фиг. 25.



Фиг. 26.

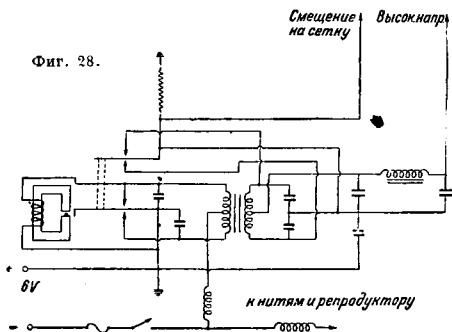
ные лампы с подогревным катодом, подогреваемым нитью, работающей при напряжениях в 18, 20 или 40 В. Подогревные цепи ламп при этом включаются последовательно. Высокое напряжение в этих Р. берется непосредственно от сети после соответствующего сглаживания пуль-



Фиг. 27.

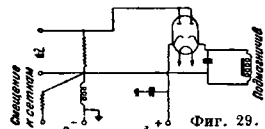
саций в постоянном токе помощью дросселя и больших конденсаторов. 4) Группа автомобильных Р., получивших значительный количественный рост за последние годы несмотря на экономич. кризис (фиг. 25, где показан рост автомобильных приемников в Америке с 1928 г. по 1933 г.). Современные автомобильные Р. полностью питаются от одной стартерной батареи автомобиля напряжением 6 В. Существует 3 метода питания анодных цепей автомобильных Р. А) От динамотора, приводимого во вращение батареей, в цепь динамо включены сглаживающие устройства и фильтры высокой частоты для устранения шумов в Р. (фиг. 26). Б) От механического вибратора, преобразующего постоянный ток в пульсирующий двусторонний. Этот ток трансформируется затем помощью трансформа-

тора со средней точкой в ток более высокого напряжения (фиг. 27). Во вторичной обмотке он выпрямляется и сглаживается кен. тронсом. В) От механич. вибратора и механич. (синхронизированного с вибратором) выпрямителя вместо кенотрона во 2-й обмотке высокого напряжения (фиг. 28). Этот метод встретил большие трудности чисто механич. порядка в разработке, но в настоящее время они преодолены, и питание по этому способу получило широкое распространение в виду следующих его преимуществ: а) высокий кпд, около 69%, тогда как первый метод дает кпд порядка 45—70%, второй — 65%, б) компактность.



Фиг. 28.

5) Р. с универсальным питанием. Существует два вида таких Р.: А) Р. с питанием как от постоянного, так и переменного тока, Б) Р. с питанием от стартерной батареи в автомобиле и от сети переменного тока. Первые для перехода от одного вида питания на другой не требуют никаких переключений (схема питания показана на фиг. 29). В Р. этого типа применяются специальные подогревные универсальные лампы с бифилярной нитью. Цепи подогрева включаются последовательно. Высокое напряжение 90—100 В получается от специального кенотрона с подогревным катодом, работающим по схеме однополупериодного выпрямления. Кенотрон остается в цепи при питании как переменным, так и постоянным током; в последнем случае он сглаживает пульсации в постоянном токе. От второго анода этого кенотрона осуществляется подмагничивание репродуктора (фиг. 29). Оба анода м. б. включены также параллельно. Общее потребление тока от сети в таком Р. — ок. 0,3—0,4 А. В последнее время в Америке выпущена новая лампа для этих Р. (тип 12 А7), к-рая представляет собой оконечный мощный пентод (2 W) с помещенным в него же одноанодным кенотроном. Лампа потребляет общий ток на подогрев катодов ок. 0,3 А при напряжении 12,6 В и устраняет необходимость в использовании отдельного кенотрона, позволяя значительно сократить габариты Р. Во втором виде универсального питания применяются механич. вибратор и кенотрон, а иногда — механич. выпрямители для питания Р. в автомобиле, и тот же кенотрон или отдельный специальный переключатель переводится в схему выпрямителя, питаемого от переменного тока. Для этих приемников также



Фиг. 29.

Фиг. 29.

разработаны специальные подогревные лампы с напряжением под грева в 6 или 13 В.

Конструктивное оформление. Все современные вещательные Р. собираются обычно как правило в одном ящике с репродуктором и в зависимости от наличия или отсутствия устройства для эл. граммофона на все Р. собираются или в ящике, сделанном из дерева или пластмассы, или в тумбочке. В первом случае Р. располагается в нижней части ящика, репродуктор занимает верхнюю часть, будучи прикреплен к передней стенке против отверстия для

Новейшие заграничные вещательные Р. выпускаются в новых образцах ежегодно. Выпуск их обычно приурочивается к осенним радиовыставкам. В выпускаемых образцах применяются все те новые изобретения по радиоприему, к-рые появились за истекший год. В области Р. впереди всех идет Америка, затем Англия и Германия. Америка. В табл. 3 приведены данные новейших амер. Р., выпущенных за последние месяцы 1935 г. В табл. 4 отдельно приведены данные последних Р. для автомобилей. В этой и других таблицах (ниже)

Табл. 3.—Американские Р. (1935 г.).

Фирма и название приемника	Схема	Диапазон волн в м	Промежут. частота в kHz	Питание	Лампа
RCA «Magic brain» 281 . . . . .	$\cdot 1_5 : C_7 \cdot 1_5 A_5, 2 \cdot 1_5 \cdot V_{dd_3} 1_5, 8 II_5, 8$	8,3—2 150	175	Перемен. ток	Стеклоянная
Stewart Warner «Ferrodyn» R-136 . . . . .	$\cdot 1_5 : C_7 \cdot 1_5 \cdot V_{dd} 1_5 I_5$	14—550	455	» »	Металлич.
American-Bosch 595 . . . . .	$\cdot 1_5 : C_7 \cdot I_3 \cdot 1_5 \cdot 1_5 \cdot V_{dd} 1_5 II_5, 5$	16—2 500	456	» »	» »
Midwest Deluxe . . . . .	$\cdot 1_5 : C_5 \cdot I_3 \cdot 1_5 \cdot 1_5 \cdot A_5 \cdot A_{dd} \cdot V_{dd} I_3 I_3 1_5 I_5$	4,5—2 000	456	» »	» »
Fada 190 . . . . .	$\cdot 1_5 : C_7 \cdot 1_5 \cdot V_{dd} I_5 1_5 II_5, 5$	12,5—560	456	» »	» »

Примечание:  $\cdot$  обозначает настроенный контур селекции;  $:-2$  контура: один приемный, другой верхний гетеродинный в 1-м детекторе с конверсной частоты.

выхода звуковых волн. Во втором случае верхнюю часть занимает граммофонные аксессуары (диск для пластин, мотор, тормозящее устройство и устройство для автоматической смены пластины, если оно имеется). Среднюю или нижнюю часть тумбочки или одну из боковых стен шасси Р. занимает репродуктор. Рукоятки регулировки Р. выпускаются или на переднюю стенку или наверх на доску, на к-рой расположены граммофонные детали (английские радиогаммофоны Колумбия, Марконифон). Для воспроизведения широкого диапазона частот сигнала с полной звучности во многих Р. применяется два или даже три репродуктора с различными частотными характеристиками. Современные американские Р. только с радиовещательным диапазоном имеют обычно 3 рукоятки настройки: рукоятка настройки на волну, регулятор громкости, комбинированный с выключателем, и регулятор тона. В европейских Р. добавляется еще переключатель диапазонов. Регулятор тона, как указано было выше, во многих Р. делается автоматическим; в этом случае и во всеволновых Р. имеется только 3 рукоятки. Почти все современные суперы имеют индикаторы настройки Р., указывающие момент настройки точно в резонанс принимаемой станции. Существует большое количество разновидностей этого индикатора: стрелочные, представляющие собой измерительный прибор, но с соответствующими надписями; оптические, изменяющие освещенность на соответствующем индикаторном стекле; катодные, представляющие собой фактически маленькие катодный осциллограф с отклонением катодного пучка, и т. д. В последнее время разработана также схема, обеспечивающая при приближительной установке рукоятки настройки Р. на желаемую станцию автоматич. настройку точно на несущую частоту принимаемой станции. Большинство радиоприемников имеет шкалы с нанесенными названиями станций и «килоциклами». Как правило все радиоприемники, помещающиеся в ящике, имеют гнезда для включения адаптера.

цифровые индексы, помещенные внизу у букв и цифр, обозначающих функцию, выполняемую лампой, указывают число электродов лампы; так, цифра 3 обозначает триод, 5 — пентод,  $dd_3$  — дуплекс — диод — триод, индекс 3В при цифре П — два триода по схеме усиления класса В, то же 5В — 2 пентода по схеме усиления класса В. Если стоят 2 индекса, отделенные запятой,

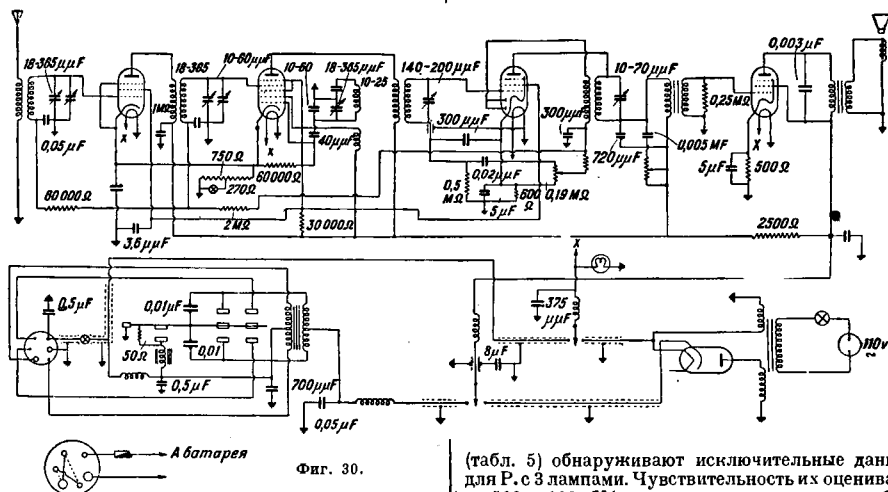
Табл. 4.—Новые американские автомобильные приемники.

Фирма и тип	Схема	Конт. туры	Питание
Majestic 66 . . . . .	$1_5 C_7 1_5 V_{dd_3} I_5$	3/3	Вибратор—неотрон
Zenith 462 . . . . .	$1_5 C_{53} 1_5 V_{dd_3} I_5$	3/4	То же
Studebaker Ab-206 . . . . .	$1_5 C_7 1_5 V_{dd_3} I_5$	3/4	» »
Atwater Kent 926 . . . . .	$1_5 C_7 1_5 V_{dd_3} II_5$	3/3	Умформер
» 926 . . . . .	$1_5 C_7 1_5 V_{dd_3} II_5$	3/3	Вибратор—мех. выпрямитель
RCA-Victor M-105 . . . . .	$1_5 C_7 M_{dd_5} I_5$	3/3	Вибратор—выпрямитель
Emerson 678 . . . . .	$1_5 C_7 M_{dd_5} II_5$	3/3	Вибратор—мех. выпрямитель
Kaddette 90 . . . . .	$C_5 \cdot 1_5 \cdot V_{dd_3} I_5 k$	2/4	Вибратор—неотрон и перемен. ток

это значит, что данная фин. выполняется 2 лампами. Из приведенных таблиц видны следующие свойства амер. Р.: 1) использование очень большого количества ламп (до 2); 2) применение исключительно новых ламп в 1935 г. гл. сб. металл. (металлических); 3) использование в мощных каскадах в большинстве Р. пентодов; 4) включение в Р. коротковолновых диапазонов. Автомобильные Р. в большинстве имеют 5 или 4 лампы, но с использованием 2-го детектора по рефлексной

схеме. На фиг. 30 приведена схема Р. фирмы «General Electric» В-52 с девизом «для дома и авто». Этот Р. имеет универсальное питание, позволяющее использовать его от сети переменного тока 110 В и от стартерной батареи, причем в последнем случае выпрямление высокого напряжения может осуществляться или механич. выпрямителем или кенотроном. Схема этого Р.  $1s_7M_{dd}5_1s_7$

всеволновыми приемниками; 3) использование в мощных каскадах почти исключительно пентодов с большой крутизной; 4) отказ во многих суперах от предварительного каскада высокой частоты с использованием полосного фильтра, состоящего из двух контуров. Особенно хороших результатов англичане достигли в 3-ламповых суперах. Англ. 3-ламповые суперы 1935—36 гг.



Фиг. 30.

Р. имеет одноручное управление, АРЧ с задержкой. Он чрезвычайно компактен, легок, легко переносим. В нем применен динамический громкоговоритель (см.) без подмагничивания. Этот Р. представляет собой конгломерат всех самых последних новинок в области радиоприема. Многоламповые амер. Р. очень сложны и представляют меньший интерес. Английские Р., выпущенных в 1935 г., приведены в табл. 5, из к-рой ясно, что большинство

(табл. 5) обнаруживают исключительные данные для Р. с 3 лампами. Чувствительность их оценивается 500—100  $\mu V/m$  при мощности на выходе в 3 Вт. Избирательность, определяемая отношением напряжения при расстройке Р. на 9 кГц к напряжению при настройке в резонанс, равна не меньше  $10^{-2}$ . Отношение силы приема на основной частоте к зеркальному приему (или приему на 2-м канале) от 1 000 до 5 000; норма для больших суперов не меньше 3 000. Эти данные достигнуты благодаря высокому качеству английских ламп, применяемых в этих Р., а также благодаря использованию катушек с железным сердечником.

На фиг. 31 приведена схема другого чрезвычайно интересного Р., предложенного инж. Кокингом, с одним поворотом конденсатора. Настройка осуществляется одним конденсатором емкостью порядка 150 см без смены катушек. Схема:  $C_7, 3_1 \dots V_{dd} 3_1 I_5 V$ . В этом Р. промежуточная частота взята более высокой, чем самая высокая принимаемая частота, но близкая к ней, т. е. порядка 1 700 кГц. Благодаря этому в принимаемом диапазоне нет зеркального приема и весь диапазон принимаемых частот от 150 до 1 500 кГц перекрывается одним конденсатором с контуром, имеющим диапазон 3 200—1 850 кГц ( $89 \div 167$  м). Это позволило устранить предварительную селекцию, связав антенну с контрольной сеткой преобразователя частоты помощью фильтра, пропускающего все частоты радиовещательного диапазона и срезающего все частоты выше 1 500 кГц

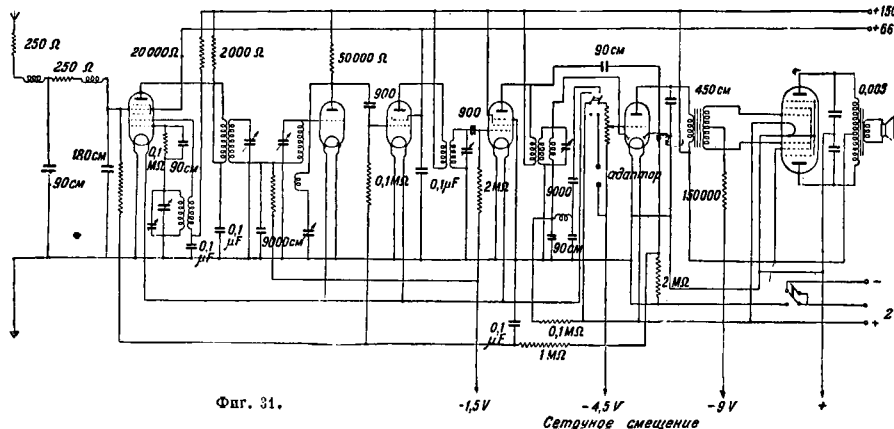
Табл. 5.—Новые английские приемники (1935—36 гг.).

Фирма и название	Схема	Диапазон волн в м	Питание
Ultra-35 . . . . .	$\dots C_{35} \dots I_5 \dots OI_{dd} 5_1$	200—2 000	Перемен. ток
Burton-A55 . . . . .	$\dots C_8 \dots I_5 \dots V_{dd} I_5$	200—2 000	»
Marconiphon-223 . . . . .	$\dots C_7 \dots (1 \dots V)_{dd} 5_1 I_5$	200—2 000	Универс.
Radio Instrument Ritz-Airflow . . . . .	$\dots C_{35} \dots I_5 \dots V_{dd} 3_1 I_5$	16—2 000	Перемен. ток
Wireless World Mondial . . . . .	$\dots I_5 : C_{35} \dots I_5 \dots I_{dd} 3_1 Q_3 \dots V_{dd} 3_1 I_5$	16—2 000	» Универс.
CAC Austin Super Six . . . . .	$\dots C_{35} \dots I_5 \dots V_{dd} 3_1 Q_3 I_5$	16—2 000	Перемен. ток
Pye SE/AC . . . . .	$\dots I_5 : C_{35} \dots I_5 \dots OI_{dd} 5_1$	200—2 000	Металлич. выпрямит.

английских Р. — малоламповые суперы с числом ламп 3, 4 и 5. Несмотря на это англичане, имея чрезвычайно высокие по качеству лампы, достигли очень высокого качества в своих Р. как по чувствительности, так и по избирательности. Основные данные английских Р.: 1) использование самых равнообразных ламп новых видов; 2) отсутствие широкого увлечения многоламповыми

Большие трудности встретились в конструкции промежуточного усиления в этом Р. при принятой в нем частоте. Вопрос удачно разрешен применением буферной триодной лампы с обратной связью, дающей очень хорошие результаты в этой схеме по чувствительности и по избирательности. Интересной особенностью Р. является

между прочим приводит к большой шумливости Р. в отсутствии приема станции, и пожалуй здесь можно указать как на недостаток Р. — на отсутствие автоматически действующей стикхой настройки, широко применяемой в аналогичных англ. приемниках. 3) Промежуточная частота в приемнике 2 700 кНз, причем для того чтобы меша-



Фиг. 31.

использование на выходе лампы со сдвоенными пентодами по схеме усиления класса В. Германия и я. Данные Р. германской фирмы «Телефункен», выпускающей наилучшие Р. в Германии приведены в табл. 6. Для сравнения приве-

ющие передатчики, работающие на частоте, совпадающей с промежуточной, не проникали в промежуточную часть Р., на входе включен пропускающий фильтр, к-рый отверткой можно в точности настроить на мешающую частоту. При приеме

коротких волн каскад высокой частоты аperiодичен, и сигнал помощью конденсатора непосредственно передается на сетку лампы. Гетеродинная часть гетексодного преобразователя генерирует впечатательные и короткие волны, причем при переводе на коротковолновый диапазон 2-я сетка переключается непосредственно на коротковолновые катушки. Гетексодная лампа в промежуточном усилении собрана по схеме пентода, анод ее присоединен к катоду, 4-я сетка использо-

вана в качестве анода. В качестве детектора использована лампа диод—триод, т. наз. б и н о д. Р. имеет оптический указатель настройки и плоскую наклоненную шкалу настройки с несколькими вертикальными шкалами с нанесенными названиями станций, вдоль к-рых передвигается наклонный указатель. Р. выпускается в двух вариантах: в ящике и в тумбочке в составе радиogramмофона.

**Р. профессиональных категорий.** Р. этих категорий переносного и полупереносного типа — судовые, военные, авиационные, экспедиционные, пеленгаторные и др.—за последние годы самостоятельных усовершенствований принципиального характера почти не получили. Все сделанное в них усовершенствования заключаются в перенесении в них большинства методов, развитых в впечатательных Р., как то: применение суперных схем, одноручечное управление, исполь-

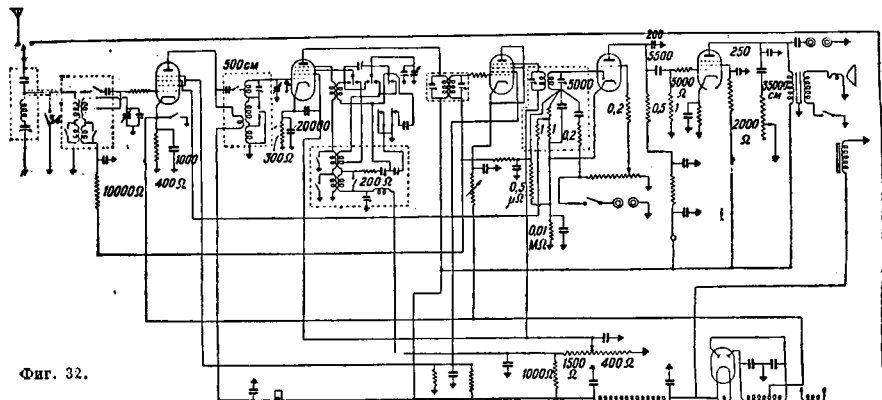
Табл. 6.—Новейшие германские Р. фирмы «Телефункен» (1934, 1935, 1936 гг.).

Тип или название	Схема	Промен. частота кНз	Питание
Meistersuper . . . Германия . . . . .	: C <sub>36</sub> . . 1 . . V <sub>1</sub> g <sub>1</sub> I <sub>5</sub> : s <sub>6</sub> : C <sub>6</sub> . . 1s . . V <sub>d3</sub> I <sub>5</sub>	469	Перемен. и пост. ток То же
		127	
T-512 . . . . .	1935—1936 гг. : V <sub>5</sub> I <sub>5</sub>	—	Перемен. ток и универс. питание То же
		—	
T-523 . . . . .	: I <sub>5</sub> V <sub>5</sub> I <sub>5</sub>	—	То же
T-543 . . . . .	: C <sub>38</sub> . . 1s . . V <sub>d</sub> I <sub>5</sub>	468	Только перемен. ток
564 . . . . .	: C <sub>38</sub> . . 1s . . V <sub>d</sub> I <sub>5</sub> I <sub>5</sub>	129	То же
564 . . . . .	: C <sub>9</sub> . . 1s . . V <sub>d</sub> I <sub>5</sub> I <sub>5</sub>	129	Универс. питание
585 . . . . .	: C <sub>36</sub> . . 1s . . 1s V <sub>d</sub> I <sub>5</sub> I <sub>3,3</sub>	468	Перемен. ток

дены данные для 1934 и 1935 гг. Характерные особенности германских Р.: 1) широкое применение новых ламп в суперах и прямой схеме, 2) использование на выходе почти исключительно пентодов, 3) введение в новые Р. коротковолновых диапазонов. В общем германские Р. имеют по сравнению с английскими еще меньшее количество ламп, что вызвано спросом в Германии на дешевые Р. На фиг. 32 приведена детальная схема одного из лучших по качеству германских приемников «Германия» фирмы «Телефункен» (табл. 6). Особенности этого Р., дающего очень хорошие результаты приема отдаленных станций даже при применении комнатной антенны, следующие: 1) Широкий диапазон воли с включением коротковолнового диапазона. 2) Очень совершенное устройство автоматич. регулятора громкости, обеспечивающего на выходе полную мощность при входящем напряжении 10pV. Это

вовании новых ламп, АРГ и АТК, экономичность питания по методам, принятым в вещательных Р. Вещательные методы конструирования Р. постепенно проникают и в стационарные Р. улового назначения. В связи с изменениями, происшедшими в распространении коротких

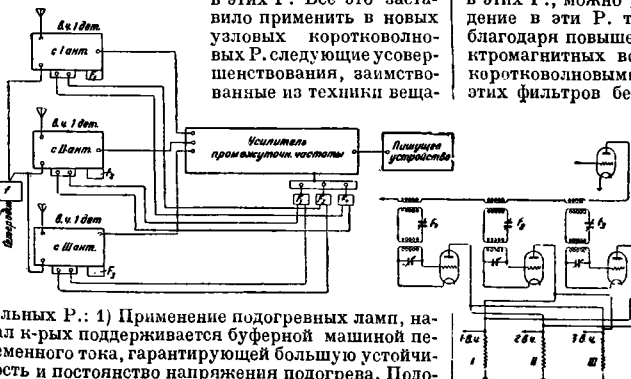
фирма «Bell system» для коммерческих Р. разработала специальный тип подогревных ламп. 2) В современных Р. используется метод одноручной настройки и смена катушек помощью переключателя теми же способами, к-рые применяются в широковещательных Р. 3) В эти Р. проникло



Фиг. 32.

волн в последние годы, вызванными уменьшением солнечных пятен (прохождение пятен через минимум в 1933 и 1934 гг.), к современным Р. коротких волн предъявляются требования расширения диапазонов волн с 10—45 м до 14—100 м, более частой смены волн и их большего количества для поддержания надежной связи в течение суток. Вместе с тем развитие схем привело к применению значительного количества всякого рода дополнительных батарей в этих Р. Все это заставило применить в новых узловых коротковолновых Р. следующие усовершенствования, заимствованные из техники веща-

большинство новых ламп, уже давно применяемых в радиовещательных Р. По этим принципам построены новые Р., выпущенные в 1935 г. в Германии. В 1933 г. аналогичные Р. выпущены были в Америке для узлов коммерческой связи, а также для аэропортовых узлов. Из усовершенствований самостоятельного значения, сделанных в этих Р., можно указать на следующие: 1) Введение в эти Р. тоновой селекции, допускаемой благодаря повышению стабильности частоты электромагнитных волн, излучаемых современными коротковолновыми передатчиками. Полоса частот этих фильтров берется порядка 1 кГц. 2) Увеличение предварительной селекции и увеличение усиления каскадов высокой частоты на частоте сигнала в результате применения пентодов высокой частоты. 3) Развитие методов т. н. системы «диверсии», т. е. приема с нескольких антенн, расставленных на расстоянии не меньше одной длины волны. По этому вопросу имеется очень много предложений, к-рые сводятся к упрощению приемных устройств для этой цели.



Фиг. 33.

тельных Р.: 1) Применение подогревных ламп, накал к-рых поддерживается буферной машиной переменного тока, гарантирующей большую устойчивость и постоянство напряжения подогрева. Подогревные лампы позволили в значительной степени упростить проблему питания в этих Р. при современных схемах АРГ, требующих при применении батарейных ламп большого количества вспомогательных батарей. При применении подогревных ламп также значительно упрощаются схемы гетеродинов, обеспечивающие при применении одной лампы тот же эффект, какой при батарейных лампах м. б. получен лишь при двух лампах, с применением буферной лампы для связи детектора с гетеродином. Кроме того подогревные лампы как правило имеют лучшие параметры, что позволило сократить число ламп в Р. этих категорий. Америк.

на, предложенная в 1931 г. Куксенко, по которой прием с равнесенных антенн осуществляется при одном комплекте усилительных устройств промежуточной частоты и устройств пишущего приема с ограничением и введением фиксированного тона для всех антенн. Эта схема обеспечивает в каждый данный момент прием только с одной антенны; если прием на этой антенне выпадает из-за замирания, специальным регулятором вводится одна из двух других антенн, на которой прием происходит



с полным эффектом. Достигается это применением для целей регулирования специальных частот  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$ , лежащих выше звуковых частот, модулирующих детекторные лампы в устройствах, осуществляющих прием с отдельных антенн. Каждая из этих частот, будучи усилена, регулирует усиление не своего входного устройства, а двух других. Достигается это применением схемы регулятора, показанной в нижней части фиг. 33. Преимуществом этой системы является также: 1) применение одного гетеродина в коротковолновом диапазоне, 2) возможность одноуровневого управления всего устройства в целом, 3) многократное использование не только специальных антенн, не имеющих резко выраженной настройки на одну волну, как система американских антенн ромбовидного типа, «бродсайт» антенны и т. д., но и чувствительных антенн, отдельные диполи к-рых рассчитаны для определенной длины волны. Такой прием в Германии реализуется в диапазоне, отличающемся на 10% в обе стороны от основной волны, в различных направлениях в горизонтальной плоскости. Для этой цели применяется специальное устройство связи с применением ламп. За последние годы широко развиты специальные отрасли радиоприема: телевизионные Р., а также и радиоприемники *ультракоротких волн* (см.) для различных диапазонов волн.

О схемах и конструкциях Р., принятых в СССР, см. *Техника высокой частоты*.

Лит.: Куксе и Ко П. и др., Заграничные вещательные приемники и лампы, сб. М., 1935; Rawlinson, The Reception of Wireless Signals in Naval Ships, «Exper. Wireless a. Wireless Engineer», L., 1934, v. 11, 228; Goldsmith A., Conditions Necessary for an Increase in Usable Receiver Field Strength, «Inst. Radio Engineers», 1934, v. 22, 1; K a a s, Some Notes on Adjacent Channel Interference, *ibid.*, 1934, v. 22, 3; Fischer H., New Airport Receivers; Reichle W., A Highly Selective Weather and Hoax Radio Receiver for Airplane Use, «Bell Laboratories Record», 1934, v. 12, 9; Mögel H., Über neuzeitliche Anforderungen an die Verkehrsanlagen für den kommerziellen Kurzwellenbetrieb, «Anforderungen an die Empfangsanlagen», «Telefunken-Ztg.», 1934, März, 66; H a l l e y G., High-Fidelity Receivers, «Radio Engineering», 1934, v. 14, 3, 4, 5; Polkinghorn T., Short Wave Transoceanic Telephones Receiving Equipment, «Proc. Radio Club of America», 1932, v. 9, 11, Dec.; Cocking W., The Latterly Single Span Receiver, «Wireless World», 1929, v. 34, 22; Owen H. A. r i e s s, The Midget Superheterodyne, *ibid.*, 21; K a m m e r g o e t t, Die Theorie der Misch-Hexode, «Hochfrequenztechnik», 1934, B. 43, H. 5; Cutting F., Gates H., Some of the Features of Motor-Car Radio Design, «Radio Engineering», 1934, v. 14, 1; Leopold J., Die Siruferspule, «Funks», 1934, H. 8; Morris A., The Interference of Electrical Plant with the Reception of Radio Broadcasting, «Proceedings of the Wireless Section», 1934, v. 8; Colebrook F., A Study of the Possibilities of Radio Frequency Voltage Amplification with Screen-Grid and with Triode Valves, *ibid.*; M u h l e m a n n M., Looking ahead in Receiver design, «Radio Engineering», 1935, v. 15, 11; Cruse A., *ibid.*, 1935, v. 15, 10. П. Куксеин.

**РЕАКТИВЫ**, индивидуальные химические вещества или их смеси, предназначенные для осуществления химической реакции в лабораторных условиях. Отличие реакции в лаборатории от любого химич. процесса, идущего в природе или в технике, заключается в том, что она всегда служит целям изучения или исследования: химич. анализ, изучение самой реакции, изучение химич. свойств вещества, законов химии и т. п. Во всех этих случаях необходимо, чтобы реакция протекала возможно чисто и не была затенена или извращена какими-либо побочными процессами. Отсюда — основное и общее требование ко всем препаратам лабораторного назначения — достаточная их чистота и определенность состава, т. е. только с помощью таких препаратов можно осуществлять реакции в чистом виде. По их назначению препараты лабораторного по-

требления можно разделить на Р. для аналитич. целей, к-рым относятся также и индикаторы, препараты для научных и учебных целей, препараты для физич. исследований и наконец краски и Р. для микроскопии и бактериологии.

Аналитические Р. Наиболее важную и ответственную, хотя и не самую большую по количеству группу составляют Р. для аналитич. целей. Разнообразие методов химич. анализа и используемых в анализе реакций очень велико (см. *Анализ химический*); очень многие из аналитич. Р. применяются в различных областях анализа и для различных реакций, поэтому классифицировать Р. сколько-нибудь полно по аналитич. методам или по разделам аналитич. химии не удастся. Однако для большинства аналитич. реактивов все же можно указать типичные области и формы их применения, в соответствии с к-рыми и оцениваются их реактивные качества. Так, в основе весового анализа и нефелометрии лежат реакции осаждения; соответственно этому мы имеем группу Р., предназначенных гл. обр. для осуществления реакций, связанных с образованием трудно растворимых соединений. Примерами таких типичных реактивов-осадителей могут служить растворимые соли бария, щелочные хлориды и сульфаты, молибденоокислый и сернистый аммоний, кремневоольфрамная, сульфосилициловая, хлорная к-ты, азотносульфосеребро и т. п. Затем можно выделить группу Р., предназначенных для осуществления в аналитич. целях реакций окисления и восстановления; одной из специальных форм применения таких Р. является оксидиметрия. Сюда относятся такие Р., как марганцевоокислый и двухромовоокислый калий, бромоватоокислый калий, бертолетова соль, персульфаты щелочей, азотная к-та, треххлористый титан, цинк (без мышьяка) и т. п.

Очень большое значение имеет специальная группа препаратов, предназначенных гл. обр. для непосредственного осуществления аналитич. реакций, а для установки к титров растворов в объемном анализе или для проверки аналитич. реакций, требующих параллельного аналитич. реперанжа. Сюда относятся такие препараты, как иод, безводная сода, шавелевоокислый натрий, соль Мора, янтарная кислота, металлич. железо, окись железа, препараты стали с точно определенным содержанием углерода, серы и т. п.

Достаточно отчетливо обособлена как специфич. группа препаратов для аналитич. целей группа *индикаторов* (см.). Наряду с большим количеством ацидиметрич. и окислительно-восстановительных индикаторов, применение к-рых основано на изменении их цвета, следует упомянуть еще группу ацидиметрич. индикаторов, показания к-рых основаны на появлении или исчезновении флуоресценции раствора в зависимости от изменения концентрации в нем водородных ионов. Особая ценность этих индикаторов заключается в том, что они позволяют применять обычные ацидиметрич. методы определений к растворам, имеющим собственную окраску и исключающим поэтому возможность пользоваться обычными цветными индикаторами. Важнейшим из флуоресцирующих индикаторов является  $\beta$ -метилумбелферон. К группе индикаторов относятся Р., к-рые не принимают непосредственного участия в самой аналитич. реакции, а только сигнализируют о вызванных этой реакцией изменениях среды. Однако в аналитич. практике применяют и такие реакции, к-рые сами приво-

длт к образованию или исчезновению окрашенных ионов или комплексов; препараты, служащие для осуществления подобных реакций, составляют также особую группу аналитич. Р. Эти Р. в большинстве отличаются высокой чувствительностью и пригодны для колориметрич. определений и для капельного анализа. К числу таких Р. относятся роданистый аммоний и калий, нитропруссиды, растворимые соли меди, железистосинеродистый калий и т. п. Сюда же относятся многие из органич. Р. (см. ниже). Наконец особую группу аналитич. Р. составляют препараты, к-рые чаще всего употребляются не для осуществления аналитич. реакций, а для различных воздействий на среду или на исследуемое вещество, необходимых для осуществления основной аналитич. реакции; сюда относятся препараты, с помощью к-рых создается необходимая концентрация тех или иных ионов, переводятся в раствор или разрушаются препятствующие анализу соединения, извлекаются образующиеся окрашенные комплексы и т. д. Примерами таких препаратов могут служить уксусная к-та, едкие щелочи, хлористый аммоний, препараты для буферных растворов (монокалийный фосфат, бифталат калия), растворители (изоамиловый спирт, сероуглерод) и т. п. Сюда же можно отнести Р., служащие для подготовки вещества к анализу, способствующие превращению его в растворимое состояние (царская водка, углекислый калий-натрий).

Р., с помощью которого осуществляется аналитич. реакция, должен отвечать ряду специальных требований; важнейшими из этих требований являются: чувствительность, точность и специфичность. Чувствительность аналитич. Р. нагляднее всего иллюстрируется примерами реакций осаждения и употребляющихся для них Р. Чувствительность Р.-осадителя зависит от величины растворимости образующегося при реакции осадка. Для того чтобы реакция вообще могла быть применена в целях аналитич. осаждения, необходимо, чтобы «нерастворимый» продукт реакции обладал растворимостью не выше величин порядка  $1 \times 10^{-4}$  моль/л. Величины растворимости обычно даются для чистой воды, однако в условиях осуществления аналитич. реакций в присутствии избытка Р.-осадителя благодаря изменением произведений растворимости, вызванным увеличением концентрации соответствующих одноименных ионов, растворимость обычно понижается по сравнению с ее величиной для чистой воды. Поэтому чувствительность аналитич. реакции или вызывающей ее аналитич. Р. не определяется просто величиной растворимости осадка, а д. б. в каждом отдельном случае определяется экспериментально. Чтобы не смешивать понятия растворимости и чувствительности, последнюю обозначают обычно величиной, обратной той минимальной концентрации определяемого соединения, при к-рой оно еще поддается определению с помощью данной реакции; концентрация выражается в моль-литрах. Другими словами, чувствительность реакции или Р. — это тот максимальный объем (в л), в котором 1 г-ион растворенного соединения еще поддается определению. Так, растворимость оксалата кальция в воде выражается величиной  $5 \times 10^{-6}$  моль/л; наименьшая концентрация, при которой ион кальция м. б. открыт путем осаждения цавелевокислым натрием,  $8 \times 10^{-6}$  г-ион в л; чувствительность этой реакции или чувствительность оксалата натрия как Р. на кальций-ион

равна  $12,5 \times 10^{-4}$  л/г-ион. Необходимо иметь в виду, что растворимость данного и того же осадка нередко изменяется в зависимости от порядка осаждения, т. е. от того, который из компонентов реакции является Р.-осадителем. Так, растворимость хромовокислого свинца в воде равна  $1,5 \times 10^{-7}$  моль/л. Если осадить раствор нитрата свинца хромовокислым калием, то наименьшая концентрация иона свинца, поддающаяся определению, равна  $4 \times 10^{-8}$  г-ион/литр; отвечающая этой величине чувствительность хромата калия как Р. на ион свинца равна  $25 \times 10^6$  л/г-ион. Если, наоборот, осадить хромат калия нитратом свинца, то соответствующая наименьшая концентрация равна  $6,8 \times 10^{-8}$ , а чувствительность нитрата свинца как Р. на хромат-ион равна  $15 \times 10^6$ . Примеры чувствительности типичных реакций осаждения и данные о растворимости соответствующих осадков приведены в табл. 1 (чувствительность дана при определении с нефелометром [1]).

Табл. 1. — Данные о чувствительности реакций осаждения.

Определяемый ион	Реактив	Чувствительность Р. (в л/г-ионах)	Растворимость осадка (в моль/л)
Ba <sup>++</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	62,5·10 <sup>4</sup>	BaSO <sub>4</sub> 1,06·10 <sup>-5</sup>
Ca <sup>++</sup>	Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	12,5·10 <sup>4</sup>	CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 5·10 <sup>-5</sup>
CrO <sub>4</sub> <sup>==</sup>	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	15·10 <sup>4</sup>	PbCrO <sub>4</sub> 1,5·10 <sup>-7</sup>
Ag <sup>+</sup>	KCl	83·10 <sup>4</sup>	AgCl 1,6·10 <sup>-5</sup>
Ag <sup>+</sup>	KBr	25·10 <sup>4</sup>	AgBr 4,5·10 <sup>-5</sup>
Ag <sup>+</sup>	KJ	12,5·10 <sup>4</sup>	AgJ 1,5·10 <sup>-6</sup>

Точность Р. определяется степенью его чистоты. Нагляднее всего значение требований к чистоте состава препарата выясняется на примерах препаратов, служащих исходными веществами для установок титров растворов в объектом анализе. Под с п е ц и ф и ч н о с т ь ю Р. подразумевается его избирательность. Громадное большинство Р. дает пригодные для целей анализа реакции с целыми группами ионов или с целыми классами органич. соединений, обладающих одноименными функциями. Типичными групповыми Р. в минеральном анализе являются сероводород, азотнокислосое серебро, карбонаты щелочей и т. п.; чтобы повысить их избирательность, необходимо создать специальные условия среды, в к-рой осуществляется реакция. В практике органич. качественного анализа типичными групповыми Р. являются такие, как сепмикарбазид — на карбонильную группу, фенилизонант — на спиртовую функцию и т. п. Строго говоря, до недавнего времени практика анализа почти не знала действительно специфичных Р.; классич. методы анализа в подавляющем большинстве основаны на применении комбинаций групповых Р. с разнообразными воздействиями на ту среду, в к-рой реакция протекает. Р. повышенной специфичности б. или м. широко вводятся в практику только за последние полтора-два десятилетия и все они относятся к числу органич. Р. Важнейшим стимулом к использованию органич. Р. в анализе неорганич. соединений (гл. обр. катионов) явилось стремление всемерно ускорить самый процесс анализа. Это ускорение необходимо для осуществления правильного аналитич. контроля производственных процессов в ряде отраслей пром-сти, т. к. для управления производственным процессом наибольшую ценность имеют такие анализы, результаты к-рых получаются еще до окончания этого

процесса и отображают его ход. Органич. Р. обычно отличаются острой избирательностью и потому позволяют в ряде случаев вести количественные определения без предварительного выделения исследуемого вещества из смеси и без сложной подготовительной обработки среды; многие из них особенно ценны еще и потому, что образуют с исследуемыми ионами окрашенные соединения и позволяют прибегать к упрощенному методу анализа путем колориметрии. В настоящее время известны органич. Р. почти на все металлы. Примерами таких Р. могут служить диметилглиоксим, бензониоксим, диоксим о-циклогександиона — на никель; нитрово- $\beta$ -нафтол — на кобальт; диметиламинобензилденроданин — на серебро и медь; дифенилкарбазон — на ртуть; ализаринсульфонат натрия — на алюминий и т. п. Органич. реактивы обычно отличаются также высокой чувствительностью. Это заставляет пользоваться рядом органич. Р. даже и в тех случаях, когда они не отличаются острой избирательностью и представляют собой Р. на целые группы ионов. Так напр., о-оксихинолин (оксин) используется для определения алюминия, бериллия, кальция, магния, титана, меди, висмута, молибдена; дифенилкарбазид дает нерастворимые осадки бериллием, цинком, кадмием, ртутью, магнием, хромат-ионом. В отдельных случаях органич. Р. открывают возможность значительно повышать чувствительность аналитич. реакций путем утяжеления органической части молекулы Р.-осадителя; так, вместо оксихинолина можно пользоваться дибромоксихинолином или нафтазином (нафталинсульфоазо-о-оксихинолин) и получать тяжелые осадки с ничтожными количествами бериллия и т. п. Наконец среди органич. Р. имеются такие, которые позволяют получать осадки с теми анионами, для которых среди неорганич. Р. осадителей нет; таков например нитрон, позволяющий весовым путем определять нитрат-ион.

Препараты для исследовательских, синтетических и учебных целей. Эта группа препаратов лабораторного назначения гораздо менее определенная, чем группа аналитич. Р. По существу любое из химич. соединений м. б. объектом лабораторного изучения или может понадобиться для изучения другого соединения; с этой точки зрения к числу Р. можно отнести все известные в химии элементы и соединения. В соответствии с этим еще сравнительно недавно нек-рые иностранные фирмы включали в свои реактивные каталоги громадные количества названий (достигающие многих тысяч). За последние годы однако этот ассортимент малоупотребительных препаратов значительно сокращается, большинство редких названий готовится только по заказу, а постоянный ассортимент неаналитич. Р. ограничивается веществами, применяемыми в химич. практикумах в высшей школе, и типичными представителями различных классов химич. соединений, наиболее часто употребляющимися в химич. исследованиях.

Препараты для физических исследований. Относящаяся сюда группа препаратов лабораторного назначения сравнительно невелика по ассортименту, но чрезвычайно ответственна. Важнейшими физич. свойствами химич. соединений, используемыми в физико-химических исследованиях, являются уд. в., показатель преломления, теплота сгорания,  $\rho_{\text{жидк.}}$ ,  $\rho_{\text{тв.}}$  и  $\rho_{\text{жидк.}}$  при затвердевании и их молекулярные повышения и понижения. Жидкости и смеси, обладающие высоким уд. в., служат для определения

уд. в. минералов и горных пород; типичными представителями препаратов такого назначения являются бромформ, иодметилен, раствор Туэля (двойное соединение иодной ртути и иодистого калия), раствор Рорбаха (двойное соединение иодной ртути и иодистого бария), жидкость Клеричи (муравьино-малоновоискид таллий), борвольфрамат кадмия и т. п. Жидкости определенного высокого показателя преломления служат для юстирования рефрактометров, напр.  $\alpha$ -бромнафталин. Такие вещества, как химически чистая бензойная к-та, нафталин, бензени и др., употребляются в термомохим. лабораториях для калибровки калориметров. Чистейшие растворители, как бензол, уксусная к-та и др., служат для криоскопии. или абзуллиоскопии, определения мол. в.; в последнее время с этой целью начали применять и твердые при обычной  $t^\circ$  вещества, напр. камфору. Т. к. физич. свойства химич. соединений зависят от их чистоты, важнейшим условием возможности использования химич. препаратов в целях физико-химич. анализа является их строгая индивидуальность и минимальное содержание в них примесей.

Краски и препараты для микроскопии. Микроскопич. техника использует очень многие из органич. красителей, применяющихся в текстильной пром-сти; от технич. красок такие красители отличаются только большей чистотой. Однако имеется большой ассортимент и специальных красок, предназначенных специально для микроскопич. исследований. Таковы напр. краски, обладающие т. н. эффектом Романовского, т. е. способные окрашивать в разные цвета различные элементы клетки: краска Гимза, Май-Грюнвальд, Лейшмана и др.; все эти краски базируются на смеси растворимых солей эозина с т. н. азурями, продуктами окисления метиленового синего. Из красителей, которые применяются почти исключительно в микроскопич. технике, можно указать также на такие, как пиронин, метиловый зеленый, голубиный голубой, тионин, опаловый голубой, анилиновый зеленый и т. п. Кроме красителей особую группу чистых препаратов, используемых в микроскопии и бактериологии, составляют углеводы; являясь избирательной питательной средой для микроорганизмов, они служат для их идентификации. Наряду с чистыми препаратами сахаразы, глюкозы, фруктозы, мальтозы, имеющими также и технич. применение, бактериология использует и такие более редкие углеводы, как галактоза, манноза, рамноза и т. п.

Общий ассортимент Р., употребляющихся в лабораториях для описанных выше целей, достигает цифры в 800—900 названий. Число аналитич. Р. и индикаторов обычного ассортимента, обеспечивающих возможность выполнения подавляющего большинства аналитич. реакций, не превышает 300 названий; остальные препараты относятся к ассортименту для научных целей, физико-химич. исследований, микроскопии, бактериологии и т. п.

Производство Р. представляет собой специальную отрасль химич. пром-сти, обладающую рядом специфич. особенностей. Значительная часть реактивного ассортимента в условиях развитой химич. пром-сти получается глубокой и тщательной очисткой технич. солей и продуктов. В большинстве случаев очистка сводится к операциям перекристаллизации, фракционной перегонки, возгонки и т. п. Однако очень часто одних физич. методов очистки ока-

выдается недостаточно и наряду с ними приходится применять и химич. методы. Так напр., очень частой операцией в работах с растворимыми солями щелочных металлов является обработка их сероводородом для освобождения от примесей тяжелых металлов; примером сложной химич. очистки может служить перевод солей кобальта через аммиачные комплексы для освобождения их от следов никеля. Наряду с большим числом случаев необходимости сложной и длительной очистки технич. продуктов практика реактивного производства знает также много и таких случаев, когда технич. продукт вообще не поддается глубокой очистке и соответствующий препарат приходится готовить специально, исходя из чистых исходных материалов и создавая для производства специальные условия, чтобы избежать тех загрязнений, к-рые получаютс я в технич. производстве. Эти случаи особенно часты для нерастворимых препаратов (окиси и т. п.) и для ряда важнейших препаратов массового лабораторного применения, как напр. едкие щелочи, химически чистые к-ты (серная, соляная, азотная, фосфорная, фтористоводородная). Наконец значительную часть ассортимента реактивной пром-сти вынуждена производить для себя целиком, так как относящиеся сюда препараты еще не имеют технич. применения и крупная химич. пром-сть в их производстве не заинтересована. Т. о. реактивное производство включает в себя разнообразнейшие виды химич. производств и в этом отношении представляет собой наиболее универсальную отрасль химич. пром-сти. Основной его особенностью является необходимость создания на всех этапах производственного процесса такой обстановки, к-рая сводила бы к минимуму возможность загрязнения препаратов посторонними примесями. Такая же «асептическая» в химич. смысле обстановка необходима и для всех стадий послепроизводственной обработки препаратов — сушки, измельчения, развески, хранения и т. п. Требования химич. асептики определяют собой не только всю обстановку реактивных производств, но и очень высокую квалификацию всех работников, осуществляющих эти производства.

За границей изготовление Р. на специальную отрасль химической пром-сти начало развиваться в 60-х годах прошлого века, г. обр. в Германии, где pioneered этого дела были две фирмы: Кальбаум в Адлерсгофе близ Берлина и Мерк в Дармштадте. К началу империалистич. войны герм. фирмы были почти монополией поставщиками Р. для всего мира за исключением Франции, которая располагала собственными реактивными производствами, сконцентрированными гл. обр. на з-дах фирмы Пуленвэ близ Парижа. Во время империалистич. войны большинство европ. и амер. государств было вынуждено организовать собственное реактивное производство, и в настоящее время монополия Германии на международном реактивном рынке уничтожена. В СССР производство Р. начало развиваться в послевоенный период, но сколько-нибудь организованная форма появилось только в 1925 г., когда организованное Р. начало концентрироваться на з-дах химико-фармацевтич. пром-сти. Центром научно-исследовательской работы в области реактивной пром-сти с 1919 г. является Ин-т чистых химич. реактивов Наркомтянпрома (ИРЕА). Несмотря на непрерывно возрастающую потребность в Р. и на острый их недостаток в СССР до сих пор еще ни одного з-да, к-рый был бы специально предназначен для их изготовления. В 1933 г. в системе Наркомтянпрома создана трест «Союзлаборреактив», призванный осуществлять производство Р. и аппаратуры для лабораторий и снабжение ими лабораторий Союза; в 1933 г. трест должен закончить подготовительные работы в строительстве первого в СССР реактивного комбината. Картина роста и состояния производства Р. в СССР дает табл. 2, в которой суммированы производства химико-фармацевтич. з-дов, з-лов общинских «Союзлаб» опытного производства Ин-та реактивов и ряда кооперативных з-дов и лабораторий. Удовлетворение потребности лабораторий Союза существующим производством по данным треста «Союзлаборреактив» не превышает 30%.

Табл. 2. — Производство Р. в СССР.

Показатели	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932
Колич. названий	100	229	254	294	366	390	467	506
Общее колич. в т . . . . .	96	178	205	377	512	1 035	868	1 628
Колич. чистых кислот в т . . . . .	190	272	350	473	1 006	1 660	1 748	2 429

К а ч е с т в о Р. Вопрос о качестве Р. является одним из важнейших в реактивном деле; вопрос этот в то же время чрезвычайно сложен, т. к. один и тот же препарат требуется для различных применений и каждое из этих применений предъявляет свои особые требования в смысле его чистоты. У зарубежных фирм нет единообразного подхода к обозначению качества Р. За последние годы большинство фирм остановилось на следующих квалификационных обозначениях лабораторных препаратов: для «аналитических целей», для «научных целей», «чистый», «чистейший». Кроме того фирмы выпускают препараты «гарантированные», т. е. проверенные согласно нормам и методам испытаний, описанным в основных руководствах по испытанию Р. Наиболее известны из таких руководств два: немецкое — Е. Мерка (последнее издание 1931 г.) и американское — Мюррея (последнее издание 1927 г.). Кроме этих руководств Амер. химическое общество, начиная с 1925 г., публикует в своем техническом журнале разрабатываемые им стандарты реактивов. Опыты создания устойчивой квалификации Р. по качеству имеют общий недостаток, заключающийся в том, что для препарата дается только одна средняя квалификация, к-рая должна примирить все требования, к-рые м. б. предъявлены препарату с точки зрения различных его применений. Это не рационально ни с точки зрения производства ни с точки зрения потребления. Поэтому в СССР Ин-т реактивов, в к-ром сосредоточена работа по стандартизации Р., положил в основу стандартизации разделение Р. на три категории по чистоте: «химически чистые», «чистые для анализа» и «чистые» Р. Для каждой квалификации фиксируются допустимые количества примесей и приводятся стандартные методы их определения. Х и м и ч е с к и ч и с т ы е Р. — препараты высшей, достижимой при их производстве степени чистоты; предназначаются для ответственной аналитических работ (в первую очередь для анализа самих Р.) и для наиболее точных физико-химич. исследований. Ч и с т ы е для а н а л и з а Р. — нормальные Р. для всех точных аналитич. определений; по качеству они в среднем отвечают лучшим зарубежным Р., т. е. требованиям Мерка, Мюррея и т. п. Ч и

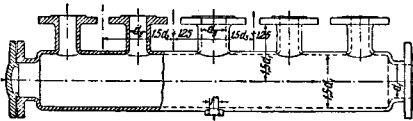
Табл. 3. — Допустимое содержание примесей (в %) в стандартной соляной кислоте.

Примесь	Соляная к-та реактивная (ОСТ 7388)		Соляная к-та техническая (ОСТ 6731)
	хим. чистая	чистая для анал.	
Нелетучий остаток . . . . .	0,001	0,002	—
Сульфат-ион . . . . .	0,0002	0,0005	0,6
Сульфид-ион . . . . .	0,0006	0,001	—
Хлор свободный . . . . .	0,0002	0,0002	0,002
Железо . . . . .	0,0005	0,001	0,003
Тяжелые металлы . . . . .	0,0005	0,0005	—
Мышьяк . . . . .	0,00005	0,0001	0,015

с т ы е Р. — препараты для менее ответственных количественных определений, для учебных целей, для нуждностей синтеза и т. п. Как пример различных требований, предъявляемых к Р. различной квалификации, в табл. 3 приводятся стандарты реактивной и технич. соляной к-ты.

Лит.: 1) Беттгер В., Основы качественного анализа, пер. с нем., М.—Л., 1932.—Кореньblatt А., Химические реактивы высшего качества, свойства, испытание и употребление, 2 изд., М., 1902; Тиммерманс Ж., Понятие об индивидуальности химического вещества, пер. с франц., Л., 1931; Сингаловский Н., Соли редких и цветных металлов, Л., 1932; Борнеман Г., Неорганич. препараты, пер. с нем., Л., 1933; Лонгинов В., Реактивное дело у нас и за границей, «Химия и хозяйство», 1930, 1; Голицына О. химическое реактиве и чистом химическом веществе, «Социалистическая реконструкция и наука», 1934, вып. 3; Башилов И., Организация реактивного дела в СССР, «Химия и хозяйство», 1930, 4; Пржевальский Е., К вопросу о квалификации и стандартизации химических реактивов, «Журнал прикладной химии», 1930, т. 2, 5; Голицына О. Контроль качества реактивов, выданных в СССР, «Заводская лаборатория», Л., 1932, 2; Мерск Э., Reagentien Verzeichnis, 5. Aufl., Darmstadt, 1924; Archibald E., The Preparation of Pure Inorganic Substances, N. Y., 1932; Bergemann G., Anorganische Präparate, Lpz., 1926; Мерск Э., Prüfung der chemischen Reagentien auf Reinheit, 4. Aufl., Darmstadt, 1931; Краусс С., Chemical Reagents, L., 1913; Миллер В., Standards and Tests for Reagent Chemicals, L., 1921; Беттгер В., Studien über die Empfindlichkeit chemischer Reaktionen, «Ztschr. f. angew. Ch.», 1912, В. 25, р. 1992; «American Chem. Soc.» Recommended Specifications for Analytical Reagent Chemicals; «Ind. a. Eng. Chem.», 1925, v. 17, p. 756; 1926, v. 18, p. 636; 1927, v. 19, p. 645; 1928, v. 20, p. 979 (Analytical Edition); 1929, v. 4, p. 171; 1930, v. 2, p. 251; 1931, v. 3, p. 221; 1932, v. 4, p. 154, 347.

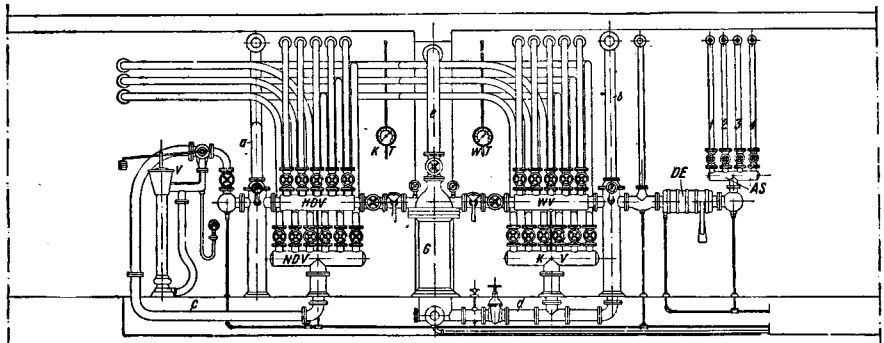
**РЕГУЛЯТОРЫ** пароводопроводных систем, приспособления, которые служат для поддержания постоянства давления,  $t^{\circ}$ , объема и тому подобных целей. Регулирование может



Фиг. 1.

быть произведено от руки и автоматически. Следует предпочесть последний способ регулирования. Регулирование от руки производится при посредстве вентилей, кранов, клапанов и тому

назначение того или иного прибора путем расположения вблизи такового таблички с указанием на ней характеристики арматуры. В больших отдельных производствах трубопроводы для горячей воды, для теплой воды, для пара объединяются поперечными трубами — распределителями. Такой распределитель (фиг. 1) представляет собой обыкновенно металл. цилиндр с большим числом фланцевых штуцеров. Диаметры цилиндров обыкновенно равен 100—500 мм при толщине стенок 10—20 мм для чугуновых и 5—10 мм для стальных распределителей. Каждый распределитель должен иметь резервный штуцер. При одновременном использовании отработанного пара и редуцированного пара высокого давления распределитель служит для смешения этих паров: диам. такого парораспределителя следует брать не слишком малым. В нижней части каждого распределителя имеется спускной кран  $\varnothing$  13—25 мм в свету. В местах примыкания трубопроводов к штуцерам распределителя устанавливаются соответствующие затворы. Для отвода конденсата при паровых распределителях используются конденсационные горшки и тому подобные приборы (см. Паропровод). На фиг. 2 показано расположение распределителей разного назначения в общей системе трубопроводов: HDV — распределитель пара высокого давления; NDV — распределитель пара низкого давления; WV — распределитель тепловой воды; KV — распределитель холодной воды; KT и WT — соответственно указатели температуры холодной и тепловой воды; G — противоточный аппарат; DE — маслоотделитель для отработанного пара; AS — сборник отработанного пара, в к-рый по трубопроводам 1, 2, 3 и 4 поступает отработанный пар от насосов разного назначения; V — редукционный клапан; а — трубопровод, по которому пар высокого давления подается в распределитель HDV и через V по трубопроводу с в распределитель NDV; холодная вода из резервуара для холодной воды поступает через трубопроводы b и d к распределителям WV и KV и к противоточному аппарату G, из к-рого смешанная вода по трубопроводу e направляется в бассейн. Постоянство давления,  $t^{\circ}$  и объема установной на пароводопроводной системе тех или иных Р. предохраняет систему от избыточного (чрезмер-



Фиг. 2.

подобной арматуры, располагаемой так, чтобы она была легко доступна. Высоко расположенные затворы д. б. поэтому снабжены каждой длинной маховиковым шпинделем или цепной передачей. Целесообразным является фиксировать

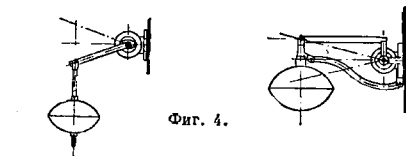
ного) давления, избыточной  $t^{\circ}$  и избыточного объема, могущих при известных обстоятельствах привести к порче системы, а с другой стороны, обеспечивает исправную подачу воды в требуемом количестве и определенной  $t^{\circ}$ . В дальней-

шем будут рассматриваться автоматические Р., в лучшей мере обеспечивающие исправность работы системы, нежели ручные Р., применяемые лишь при малых устройствах.



Фиг. 3.

1. Р. притока воды и Р. давления. Регулирование притока воды производится при посредстве поплавковых вентиляей (фиг. 3), удобно устанавливаемых в сосу-



Фиг. 4.

дах разнообразного назначения и предохраняющих последние от непреднамеренного опорожнения и от перелива воды. Вентильные части делаются из меди или чугуна, а рычаг — из стали. Уплотнение делается при холодной воде из кожи, а при теплой воде — из резины или фибры. Соединение вентилей со стенкой сосуда производится посредством фланцев или винтового соединения или припаиванием штуцера.

Для повышенного давления целесообразно применять поплавковые вентили, указанные на фиг. 4. Объем поплавка, погруженного наполовину в воду, м. б. определен из равенства

$$g_n = 0,5i\gamma, \quad (1)$$

где  $g$  — вес поплавка в кг,  $i$  — искомый объем погруженной в воду части поплавка в  $\text{см}^3$ ,  $\gamma$  — уд. в. воды при данной температуре в сосуде, в к-ром установлен поплавковый вентиль. Для лизового поплавка (фиг. 5), по преимуществу применяемого, объем будет равен

$$i = 2\pi b \left( \frac{a_1^2}{8} + \frac{b^2}{8} \right), \quad (2)$$

где  $a_1$  — внешний диаметр поплавка в см,  $b$  — внешняя высота поплавка в см. При  $b = 0,6a$  получим

$$i = 0,697a_1^2. \quad (3)$$

Так как

$$g_n = 0,5 \cdot 0,697a_1^2\gamma,$$

то

$$a_1 = \sqrt{\frac{g_n}{0,35\gamma}}. \quad (4)$$

Если  $a_2$  означает внутренний диаметр (в см) линзы, то

$$\text{откуда} \quad g_n = 0,697 (a_1^2 - a_2^2) \cdot \gamma_m, \quad (5)$$

$$a_2 = \sqrt{a_1^2 - \frac{g_n}{0,697 \cdot \gamma_m}}, \quad (6)$$

где  $\gamma_m$  — уд. в. материала, из к-рого сделан поплавок. Толщина стенки поплавка будет

$$s = 0,5 (a_1 - a_2). \quad (7)$$

Искомый вес м. б. определен из выражения

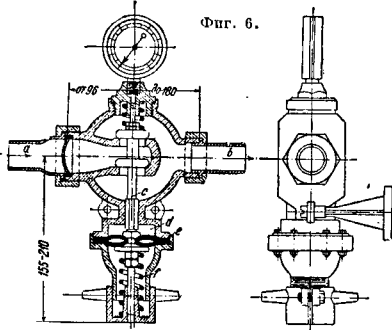
$$g_n = \frac{\left( p \frac{d_m^2 \pi}{4} \pm g_1 \right) l_1 - g_2 l_2}{1}, \quad (8)$$

где  $p$  — давление в водопроводе в  $\text{атм}$ ;  $d_m$  — средний диам. вентильного седла в см; обычно  $d_m = d + (0,4 \div 0,2)$  см;  $d$  — внутренний диам. подающей воду трубы, а также выпускного отверстия вентилей в см;  $g_1$  — собственный вес вентильной тарелки в кг;  $g_1 \approx (0,03 \div 0,04)d^2$ ;  $g_2$  — собственный вес рычага в кг; плечо рычага  $l_1 \approx \frac{1}{8}$  в см; плечо рычага  $l_2 \approx \frac{1}{2}$  в см;  $l$  — плечо рычага поплавка в см; знак плюс ставится, когда вентильная тарелка или вентильный конус расположены под седлом согласно фиг. 5, а знак минус, — когда вентильная тарелка или вентильный конус расположены над седлом. Поплавковые вентили с шаровыми или цилиндрич. поплавками рассчитываются аналогично. О применении поплавковых Р. в фильтрах см. Фильтры.

Для регулирования давления служат в простейшем случае различные предохранительные и редукционные вентили, предохраняющие трубопроводы от чрезмерного давления и от гидравлических ударов. В общем предохранительные вентили необходимо устанавливать тогда, когда давление в основной системе трубопровода больше или м. б. больше начального давления в присоединяемом трубопроводе и когда приходится позаботиться о выравнивании давления в трубопроводах для холодной и теплой воды, чтобы предотвратить переход холодной (обыкновенно с большим напором) воды в трубопровод для теплой воды. Последнего рода обстоятельства встречаются в первую очередь в установках со смешительными аппаратами. В каждом трубопроводе при заборе воды падает гидростатич. давление соответственно расходу воды, длине и диам. трубопровода. Если последний служит для питания смешительного аппарата для холодной и горячей воды, то изменяется установленная  $t^\circ$  смешенной воды всякий раз, когда вследствие одновременного потребления воды в другом месте падает давление в соответствующем трубопроводе. Это отрицательное влияние имеет место даже при изолированно рассчитанных трубопроводах и при равных давлениях. Но особенно неблагоприятно сказывается это явление при неравном давлении или большем расходе в одном из обоих трубопроводов. В рассматриваемом случае оказывают помощь уравнители давления в виде соединенных двойных предохранительных вентилей с внутренней пружинной нагрузкой.

На фиг. 6 представлен редукционный вентиль. Вода повышенного давления проходит через вентиль от А к В; одновременно вода проникает через неплотности штанговой передачи с в камеру  $d$  и производит давление на мембрану  $e$ ; если это давление превышает инерционную силу пружины  $f$ , то мембрана способствует закрытию

вентиля. На фиг. 7 представлен предохранительный вентиль, служащий для предохранения трубопроводов от гидравлических ударов. Вентиль этот присоединяется своим штуцером *a* к любому месту трубопровода (лучше к вертикальному участку трубопровода). При повышении давления в трубопроводе пружина восстанавливает первоначальное положение подвижных частей вентиля. Предохранительный вентиль в резервуарах теплот воды рассчитывается след. обр.

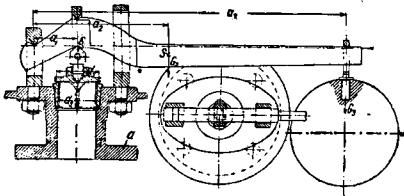


Фиг. 6.

Допускаемое максимальное давление в системе должно равняться тому давлению, на к-рое рассчитан нагревательный прибор (бойлер или котел), т. е.

$$P_{max} = \frac{200\sigma \cdot \eta (\delta - 1)}{D \cdot k}, \quad (9)$$

где  $P_{max}$  — допускаемое максимальное давление в системе в  $кг/см^2$ ;  $\sigma$  — допускаемое напряжение материала бойлера или котла в  $кг/мм^2$ ;  $\eta$  — коэф. надежности шва (отношение прочности продольного шва к прочности цельного материала);



Фиг. 7.

$\delta$  — толщина в  $мм$  стенок нагревательного прибора (бойлера или котла);  $D$  — наибольший внутренний диам. в  $мм$  цилиндрич. части нагревательного прибора (бойлера или котла);  $k$  — коэф. надежности. Количество воды в  $м^3$ , протекающее через  $1 см^2$  свободного сечения вентиля в  $1 ч.$ , будет в среднем равно

$$q = 3,6 \sqrt{P_{max}}. \quad (10)$$

При парообразовании часовое количество тепла  $w_d$  в  $Cal$ , проходящее через  $1 см^2$  указанного сечения, м. б. определено из выражения

$$w_d = q \cdot \gamma (\lambda - t_p), \quad (11)$$

где  $\gamma$  — вес  $1 м^3$  пара в  $кг$ ;  $\lambda$  — общее количество тепла в  $Cal$ ;  $t_p$  — темп-ра кипения. Потребное свободное сечение вентиля определится из выражения

$$\frac{d_s^2 \pi}{4} = \frac{W_{max}}{w_d}, \quad (12)$$

где при непосредственном нагревании

$$W_{max} = w_{s,max} \cdot \Pi, \quad (13)$$

при косвенном нагревании

$$W_{max} = 1300 (T_p - t_p) \cdot \Pi. \quad (14)$$

В этих ф-лах  $W_{max}$  — допустимая максимальная часовая теплопроизводительность (в  $Cal$ ) нагревательного прибора (котла или бойлера);  $w_{s,max}$  — часовая теплопроизводительность (в  $Cal$ )  $1 м^2$  поверхности нагрева нагревательного прибора;  $\Pi$  — поверхность нагрева (в  $м^2$ ) нагревательного прибора;  $T_p$  — темп-ра носителя тепла;  $t_p$  — темп-ра кипения в нагревательном приборе при допустимом максимальном давлении.

Предохранительные вентили при низком ( $p_u < 0,5 atm$  избыточных) и среднем ( $p_u = 0,5 \div 3,0 atm$  избыточных) давлении пара в общем рассчитываются, как указано выше. Чем меньше скорость движения пара, тем меньше потери тепла, но, с другой стороны, тем больше получается поперечное сечение вентиля. Диам. свободного сечения вентиля следует брать не менее  $d_s = 15 мм$ . Собственный вес вентильной тарелки с прикрепленными к ней принадлежностями и с рычагом д. б. не более силы давления пара на вентиль:

$$\left( \frac{d_s + d'_s}{2} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{p_u}{100},$$

где  $d'_s$  — внешний диаметр вентильной тарелки, причем

$$d'_s = d_s + (2 \div 3) мм.$$

Величина  $w_d$  получается при нормальной скорости движения пара, равной (в  $Cal/см^2$ )

$$w_d = n \sqrt{p_u \cdot \gamma (\lambda - t_p)}, \quad (15)$$

где величина  $n$  м. б. взята равной 16 при нормальной скорости движения пара. Чтобы не получились чрезмерно большой диам. вентиля, в расчет принимается большая скорость пара, и тогда можно взять  $n = 21$ . Величины  $\gamma$ ,  $\lambda$  и  $t_p$  относятся к  $p_u = p - 1$ . Величины  $d_s$  и  $W_s$  определяются в данном случае по вышеприведенным ф-лам (12) и (13).

При высоком давлении пара ( $p_u > 3,0 atm$  избыточных) диам. свободного сечения вентиля (в  $мм^2$ ) определится из ф-лы

$$\frac{d_s^2 \pi}{4} = m \Pi \sqrt{\frac{1000}{p_u \cdot \gamma}}, \quad (16)$$

где  $m = 15$  при обыкновенных предохранительных вентилях и  $m = 5$  при вентилях высокого подъема. Давление на одну вентильную тарелку не должно превосходить 600  $кг$ ; в противном случае предусматриваются два и более предохранительных вентиля. Давление в системе регулируется при больших установках косвенно, посредством рычажного веса, при очень малых установках — непосредственно, при помощи нагрузки или давления пружины, в остальных случаях — косвенно, посредством рычажного веса или непосредственно, при помощи силы спиральной пружины. Потребная величина загрузки  $G_3$  в  $кг$  (фиг. 7) при рычажном действии определится из равенства

$$G_3 = \left[ \frac{d_m^2 \pi}{4} \cdot p_u - (G_1 + G_2 \frac{a_2}{a_1}) \right] \frac{a_1}{a_3}, \quad (17)$$

где  $d_m = 0,5 (d_s + d'_s)$  в  $см$ ;  $d'_s = d_s + 2,6 мм$  при  $d_s < 40 мм$ ;  $d'_s = d_s + 4,0 мм$  при  $d_s > 40 мм$ ;  $G_1$  — вес вентильной тарелки, шпинделя и прикрепленных к нему частей;  $G_2$  — вес рычага, приложенный к его ц. т.  $S$ ;  $G_3$  — вес груза, подвешенного на конце рычага, включая вес кольца с резцом, служащего для подвешива-

ния указанного груза;  $a_1, a_2, a_3$  — соответствующие плечи рычага относительно точки вращения его, выраженные в одинаковых мерах длины;  $p_u$  — определенное наибольшее допустимое давление, выраженное в *атм* избыточных. Поперечное сечение рычага в месте воздействия на него вентиляционного шпинделя может быть взято не меньше  $0,66 d_2 \times 0,33 d_3$ . При непосредственной загрузке (в кг)

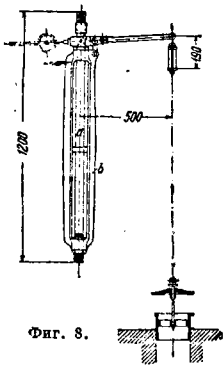
$$G_3 = p_u \frac{d_3^2 \pi l}{4} - G_1, \quad (18)$$

где  $G_3$  представляет собой вес непосредственно сидящих на вентиляционном шпинделе загрузочного шара или цилиндрич. плиток. При пружинной загрузке сила пружины определяется из ур-ия (18), а толщина  $\delta$  винтовой пружины — из выражения

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{G_3 \cdot r}{0,196 \sigma_d}}, \quad (19)$$

где  $r$  — средний радиус витка пружины;  $r \leq 0,5 d_3$ ;  $\sigma_d$  — допустимое напряжение пружинной стали.

Р. температуры. Регулирование  $t^\circ$  нагретой воды происходит при непосредственном нагреве воды топливом путем регулирования подачи воздуха, а при нагреве при помощи носителей тепла (горячей воды, пара) — путем подачи определенного количества отопительной воды или пара. В первом случае мы будем иметь дело с Р. тяги, а во втором случае — с Р. подачи пара или горячей воды. В системах, где производится непосредственный нагрев воды для получения носителей тепла, приходится прибегать к обоим рода указанным Р. Р. тяги работают: а) на принципе расширения или сжатия воды при изменении ее  $t^\circ$  и б) на принципе изменения давления пара. Передача колебаний на воздушный канал происходит у большинства конструкций Р. при помощи рычага и цепи при передаче до 1:200 и более. Р. тяги, действующие при изменении  $t^\circ$  воды, имеют металлическую расширятельную трубу, передающую изменение своей длины на рычаги с большой передачей. На фиг. 8 показан Р. тяги, у к-рого подвижная (расширятельная) труба  $a$  закреплена в направляющей раме  $b$ . Движение трубы  $a$  передается на рычаг и далее посредством цепи на воздушный клапан. Фиг. 9 изображает Р. тяги, расположенный между подъемным трубопроводом с и обратным трубопроводом; подвижная труба в этой установке помещена в гильзе, закрепленной в нижней своей части. В последних двух конструкциях теплая вода течет через прямую расширятельную трубу. На фиг. 10 представлены два типа Р. тяги с *вогнутыми* и расширятельными трубами  $a$ , наполненными жидкостью, способствующей сближению или удалению противоположных частей расширятельной трубы с изменением  $t^\circ$ . Этот прибор привинчивается своей неподвижной частью непосредственно на котел или заделывается в циркуляционный трубопровод. В другом исполнении плечо  $c$  регуляторного рычага  $b$  рас-

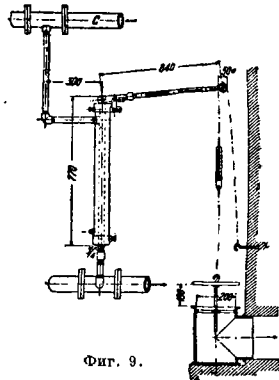


Фиг. 8.

смотриваемого Р. тяги (фиг. 10) может вращаться вокруг болта  $d$ , вследствие чего место прикрепления прибора независимо от положения воздушного клапана. В Р. тяги сист. Самсон используется прямая труба, в к-рую вставлен сменный патрон с металлич. шлангом, заполненным весьма чувствительной по отношению к изменению  $t^\circ$  жидкостью (петroleumный эфир и т. п.); труба вставляется непосредственно в котел, в примонтированный штуцер или в подъемный, а также и обратный трубопроводы.

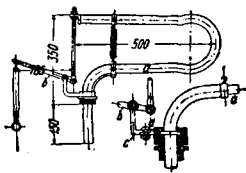
Р. тяги, действующие при изменении давления пара, применяются в тех случаях, когда отопительным средством служит пар низкого давления, причем имеются четыре вида этих Р.: мембранные, пружинно-коробчатые, поплавковые и стойковые.

На фиг. 11 изображен мембранный Р. тяги, в к-ром имеется регуляторная линза с мембраной; регуляторная линза заполнена водой (по обе стороны мембраны); поверх линзы  $a$  помещен медный сосуд  $b$ , несущий на себе дополнительную воронку  $c$ ; посредством отверстия  $e$  сосуд  $b$  соединен с верхним отделением  $d$  линзы; равномерная нагрузка мембраны способствует большой выносливости ее. Помимо указанного типа имеются другие мембранные Р., отличающиеся друг от друга своими деталями. В пружинно-коробчатых Р. тяги (фиг. 12) мембрану заменяет пружинящаяся металлич. гильза, находящаяся под давлением пара; к жесткой



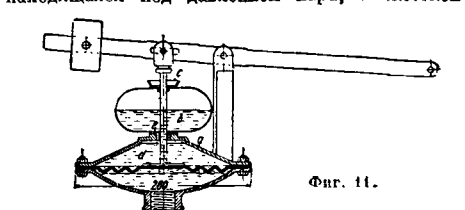
Фиг. 9.

Фиг. 10. Фиг. 10 shows two types of pressure regulators. The top one has a curved tube (lens) with a lever arm. The bottom one has a similar setup but with a different internal structure. Dimensions include 500 for the height of the lens and 500 for the distance from the top of the lens to the lever.



Фиг. 10.

Фиг. 11. Фиг. 11 shows a membrane pressure regulator. It features a lens (a) with a membrane, a copper vessel (b) on top, and a funnel (c). The lens is connected to a chamber (d) via an opening (e). Dimensions include 500 for the height of the lens and 500 for the distance from the top of the lens to the lever.



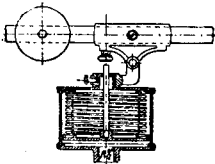
Фиг. 11.

неизгибающейся крышке приделан стержень, воздействующий на рычаг; эти Р. проще, чем мембранные. Поплавковые Р. тяги имеют поплавки в виде шара, колокола, цилиндра и т. п.; этот поплавок поднимается или опускается посредством жидкости соответственно давлению пара и воздействует при помощи рычага с цепью на воздушный клапан; жидкостью служит по преимуществу вода. На фиг. 13 показан поплавковый Р. тяги сист. Стребеля, имеющий колечка-

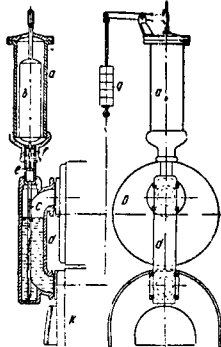


тую трубу *d*, прикрепляемую одним коленом к котлу *K*, а другим к паросборнику *D*; т. о. коленчатая труба *d* соединяет *K* с *D*; чтобы воспрепятствовать притоку воды в сосуд *a* и переливу воды, цилиндрич. поплавок *b* соединен с вентиляльной тарелкой *e*, к-рая садится на свое седло *f*, как только поплавок *b* будет приподнят на такую высоту, к-рая будет отвечать полному закрытию воздушного клапана. Поплавковые *P.* тяги, в которых жидкостью служит ртуть, следует при водонагревательных установках избегать тем более, что имеют хорошие конструкции *P.*, не содержащих ртути.

Стойковые *P.* тяги паровых котлов низ-

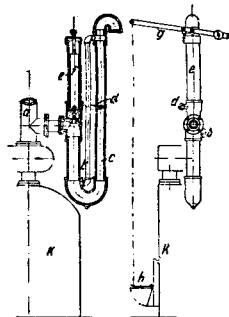


Фиг. 12.

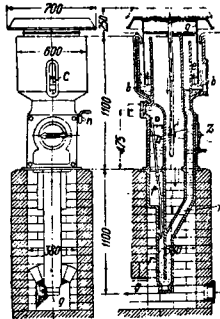


Фиг. 13.

кого давления используют происходящие в стояке колебания уровня воды при помощи воздействия непосредственно или косвенно на поплавок или на сифон. Стойковый поплавковый *P.* тяги, изображенный на фиг. 14, присоединяется своим фланцем к фланцу ответвления паропровода *a* непосредственно над котлом *K*. Посредством привинчиваемой наполнительной воронки *b* наполняют колено стояка водой. При повышении да-



Фиг. 14.



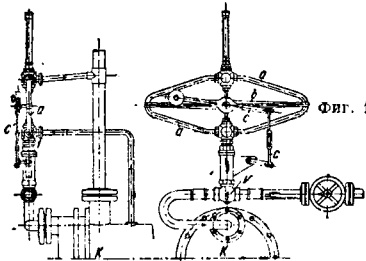
Фиг. 15.

вления пара вода в колене с поднимается и переходит постепенно через соединительную трубу *d* в регуляторный сосуд *e*, в к-ром находится медный поплавок *f*. Последний оказывает воздействие на воздушный клапан *h* при посредстве рычага *g* с цепью. В стойковом сифонном *P.* тяги, представленном на фиг. 15, воздух для горения проходит обыкновенно под нижний край колокола *q*; между этим краем и находящимся под ним уровнем воды остается свободное пространство для прохода воздуха для горения; поперечное сечение этого прохода устанавливается сообразно условиям горения и парообразования; колокол м. б. при помощи противовеса или пере-

даточного механизма *z-i* установлен на различных высотах сообразно с определенными давлениями пара. На фиг. 15: *a* — водяная камера; *г* и *г*<sub>1</sub> — сифонный трубопровод; *g* — воздушный канал; *f* — трубка для свистка; *л* — пробный кран; *с* — водомерное стекло. За исключением механизма *z-i*, дроссельного клапана и колокола стойковый сифонный *P.* не содержит каких-либо подвижных частей; отсутствие рычага с цепью и воздушного клапана, а также пружин и мембран следует отнести к достоинствам этого *P.*, но, с другой стороны, объем последнего и невозможность установки его могут служить препятствием к широкому распространению *P.* этой конструкции. Все *P.* тяги должны отвечать основному правилу, чтобы приток воздуха для горения мог быть регулируем от максимума до нуля. Поперечное сечение *f* канала для максимальной подачи воздуха для горения определяется (в м<sup>2</sup>) из выражения

$$f = \frac{B \cdot mL}{3600 \cdot v}, \quad (20)$$

где *B* — потребное количество топлива в кг/ч; *mL* — действительное количество воздуха для горения в м<sup>3</sup>/кг (*L* — теоретич. количество воздуха для горения; *m* — поправочный практич. коэф.); *v* — скорость притока воздуха в м/сек

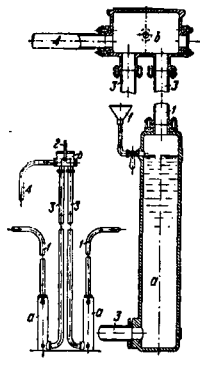


Фиг. 16.

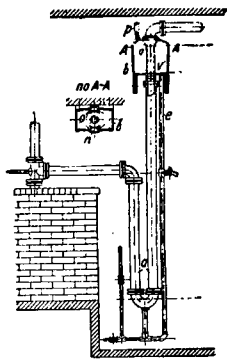
( $v \cong 0,5 \div 2,0$  м/сек). В *P.* подачи пара или горячей воды м. б. использовано также удлинение расширительного тела (трубы) от притока горячей воды. Передача движения м. б. осуществлена косвенно или непосредственно при помощи рычага или пружины, открывающих или закрывающих в большей или меньшей степени вентиль в паропроводе или в трубопроводе горячей воды сообразно потребной *t*<sup>о</sup> расходной воды. В рычажных *P.* подачи пара или горячей воды (фиг. 16) расходная вода течет через расширительную трубу *a*; вследствие наличия жесткой натяжной штанги *b* труба *a* может расширяться лишь в вертикальном направлении, передвигая при этом рычаг *c*, воздвигший на вентиль *v* для пропуска определенного количества пара или горячей воды, сообразно с потребной *t*<sup>о</sup> расходной воды. К расширяемому типу *P.* для подачи пара или горячей воды относятся также различные *термостаты* (см.).

*P.* давления пара применяются при паровых котлах низкого давления и преследуют цель не допускать повышения давления пара свыше определенного предела. Наиболее употребительными *P.* этого типа являются стойки. При омываемой водой поверхности нагрева *N*, равной до 2,6; 3,5; 5,5; 9,6; 11,0; 13,0; > 13 м<sup>2</sup> диам. *d* стойка м. б. взят соответственно равным от 34; 39,5; 49,5; 65,5; 70; 76; 82 мм. На практике внутренний диаметр *d* стойки берется рав-

ным 50 мм для котлов с  $H < 6 \text{ м}^2$ ;  $d = 80 \text{ мм}$  для котлов с  $H > 6 \text{ м}^2$ . Стойки бывают с сосудами и трубчатыми. На фиг. 17 представлено схематически и в деталях расположение двух сосудных стоек  $a$  от двух котлов низкого давления и соединения этих стоек с общим сборным сосудом  $b$ . Пар, поступающий по трубопроводу  $1$ , производит давление на поверхность воды в стойке  $a$ , наполненной ею до места присоединения трубы от воронки  $f$ , гонит эту воду



Фиг. 17.



Фиг. 18.

при превышении давления пара в трубопроводе 3 и далее через сосуд  $b$  в переливную трубу 4. Цифрой 2 обозначена сигнальная трубка. Сосуд  $a$  отвечает емкости трубы длиной 5 м и  $\varnothing 82 \text{ мм}$ . Фиг. 18 показывает трубчатый стоик; вода поступает через боковые каналы  $n$  и через отверстия  $o$  в сосуд  $b$  и оттуда через вентиль  $V$  и наполнительный трубопровод  $e$  обратно. Буквой  $p$  обозначена сигнальная трубка свистка, раздающего до тех пор, пока существует избыточное давление. Оба типа стоек делаются с перекрывающимися сосудами  $b$  или без таковых. При поверхности нагрева котла  $H = 6,0; 8,5; 11,0; > 11,0 \text{ м}^2$  диам. сосуда  $b$  м. б. взять равным 310 мм, а высота его может быть взята равной соответственно 450; 500; 510; 530 мм при одном присоединительном трубопроводе в 51; 60; 70; 82 мм.

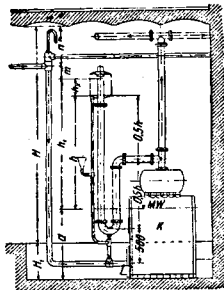
Стойковые устройства д. б. так приспособлены к работе, чтобы при избыточном давлении в 200—250 мм вод. ст. сверх нормального давления излишний пар выдувался до тех пор, пока не восстановится нормальное давление. При пуске в ход оборудования стойки наполняют водой через воронку  $f$  и соединяющий ее со стойками наполнительный штуцер до тех пор, пока не покажется вода в последнем, после чего завинчивается затворная пробка. Для устранения притока конденсационной воды в стойки  $a$  следует отводящийся от паропровода соединительный трубопровод располагать с возможно большим подъемом или надлежит к конденсационному трубопроводу присоединить сливную трубу. При конструировании, а также установке стойковых устройств следует иметь в виду, чтобы рабочее давление не было равно выдвумному давлению. Выдувание наступает при превышении рабочего давления пара примерно на 0,2 ат избыточных. Когда имеются в наличии высота  $H$  помещения недостаточна для установки стоек, то приходится углубляться, располагая котел  $K$

ниже уровня существующего пола на величину  $H_1$ , определяемую (в мм) из равенства (фиг. 19)

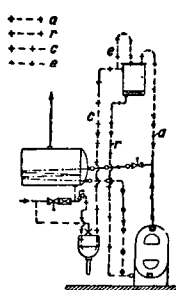
$$H_1 = (h_1 + a + t + n) - H, \quad (21)$$

где  $h_1$  — высота выбрасывания воды над средним уровнем  $MW$  воды в котле;  $h_1 = h + h_x$ ;  $h$  — наибольшее желаемое рабочее давление в мм вод. ст.;  $h = 10\,000 p$ ;  $p$  — наибольшее желаемое рабочее давление в атм избыточных;  $h_x$  — повышенное избыточное давление;  $h_x = 200 \div 300 \text{ мм вод. ст.}$ ;  $a$  — высота среднего уровня  $MW$  воды в котле над местом стойки его;  $t$  — высота, обусловливаемая надежностью удаления воздуха из системы;  $t \geq 100 \text{ мм}$ ;  $n$  — расстояние в мм от середины потолочного конденсационного трубопровода до потолка; это расстояние обуславливается расположением частей оборудования и удобством их монтажа; величины  $H$  и  $H_1$  выражаются также в мм. Сливной штуцер для конденсационной воды у бойлера д. б. расположен по крайней мере на величину  $h_1$  выше среднего уровня  $MW$  воды в котле, причем  $h_1 = h + h_x$ . При низком давлении пара конденсационная вода м. б. направлена в котел для его питания; при среднем и высоком давлении пара следует в конденсационный трубопровод включить конденсационный горшок или другой подходящий прибор, обеспечивающий вытекание конденсационной воды, а не выбрасывание пара.

Р. объема воды служат для контроля нормального уровня воды в системе для автоматич. пополнения воды в последней в случае понижения уровня воды ниже нормального по причине охлаждения ее и для воспринятия излишка воды в системе в случае ее расширения. Следует рассматривать отдельно регулирование объема отопительной воды и регулирование объема расходной воды. Регулирование объема отопительной воды происходит обыкновенно при помощи расширительного



Фиг. 19.

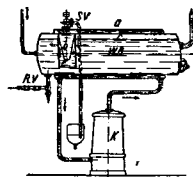


Фиг. 20.

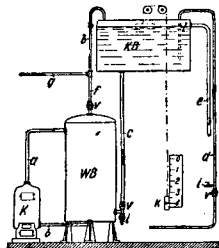
сосуда (фиг. 20), соединенного с котлом предохранительным расширительным трубопроводом  $a$  и обратным предохранительным трубопроводом  $г$ ; расширительный трубопровод присоединяется к расширительному сосуду и котлу в верхних их точках, а обратный трубопровод — в нижних их точках; к расширительному сосуду присоединена кроме того переливная труба  $c$ , оканчивающаяся над раковиной, и воздушная труба  $e$ , высота у которой над высшей точкой трубы  $d$ , б. по возможности не менее 1 м. Высота  $x$  от уровня воды в расширительном сосуде до переливной трубы должна соотнобразоваться с расширенным объемом воды. О расчете расширительного сосуда см. *Специальное водоснабже-*

ние. На фиг. 21 показан расширительный сосуд, расположенный в бойлере с двойной оболочкой в цилиндрчик его части. При расширении отопительной воды таковая поступает из межоболочочного пространства *a* в воронку *b* расширительного сосуда *e*. При охлаждении воды таковая течет из *b* обратно в отопительную камеру *a*. Объем расширительного сосуда *d*, б. таков, чтобы он мог воспринять более чем двойное количество вытесненной (вследствие расширения) из камеры *a* воды. Воздушное пространство *c* над поверхностью воды в бойлере *WB* служит буфером, смягчающим гидравлич. удары. Указанное воздушное пространство *d*, б. в свою очередь настолько велико, чтобы оно могло вместить увеличившийся при нагреве объем воды в период отсутствия расхода ее. Если бойлер находится под напором воды из водопровода, то надлежит установить предохранительный вентиль *SV*, к-рый начинает выдувать при 5 *atm* избыточных. При низком давлении взамен указанного вентиля устанавливается воздухопровод, идущий к поплавковому питательному резервуару. На фиг. 21 кроме того означают: *K* — котел для нагрева воды и *RV* — обратный клапан. Для воды, употребляемой в пищу, подобные установки не рекомендуются. При непосредственном подогреве воды иногда устанавливают резервуар для теплой воды, который служит сборником воды и одновременно расширительным *P*. котельной воды. Сигнальный трубопровод расширительного сосуда при установках для снабжения теплой водой заменяют обычно манометрич. показателем уровня воды.

К регулированию объема расходной воды приходится прибегать в тех случаях, когда вода нагревается в напорном для теплой воды резервуаре — в бойлере. В этом случае устанавли-



Фиг. 21.



Фиг. 22.

вается предохранительный вентиль и принимаются одновременно меры к сбросу излишней воды. Если бойлер питается из резервуара *KB* для холодной воды, то взамен предохранительного вентиля можно присоединить к питательному трубопроводу *g* расширительную трубу *h*, загигаемую над резервуаром *KB*, как показано на фиг. 22, где *WB* — резервуар для теплой воды; *K* — котел; *a* и *b* — циркуляционные трубопроводы; *c* — трубопровод, подающий воду из резервуара *KB* в резервуар *WB*; *e* — переливная труба для резервуара *KB*; *f* и *g* — питательные (расходные) трубопроводы; *i* — опорный вентиль; *k* — указатель уровня воды в резервуаре *KB*; *l* — отверстие на высоте наивысшего уровня воды в резервуаре для выпуска воздуха из трубопровода *d* холодной воды; *V* — запорные вентили. При низком давлении имеет большое применение расширительная труба, отличающаяся простотой, дешевизной и надежностью в работе. Эта труба должна однако для исправной работы возвышаться над наивысшим уровнем воды в резервуаре для холодной

воды не менее чем на 50 мм на каждый м высоты напора. Это правило относится также к установкам в соответствующих случаях особого расширительного сосуда для расходной воды. При высоком давлении увеличение объема регулируется включением в систему достаточно больших воздушных котлов или выдувных предохранительных вентилях. Последние, работая под высоким давлением, могут оказаться неудобными. Воздушные котлы при правильном их расположении парализуют гидравлич. удары. Более практично предусматривать такие воздушные тиффи не в отдельных воздушных котлах, а в самом бойлере путем опускания расходного трубопровода на определенную длину в бойлер. Воздушное пространство в последнем над уровнем воды будет тогда служить воздушной буферной подушкой (фиг. 23). Объем *L* этого воздушного пространства определяется в *a*) из выражения

$$L = \frac{p+1}{p_{min}+1} \cdot \frac{(a-1) \cdot I_B}{1 - \frac{p+1}{p_{max}+1}}, \quad (22)$$

где *p* — нормальное давление в бойлере в *atm* избыточных; *p<sub>max</sub>* и *p<sub>min</sub>* — соответственно максимальное и минимальное предельные давления в бойлере в *atm* избыточных; *I<sub>B</sub>* — объем воды бойлера в *л*; *a* — расширенный объем 1 *л* воды при *t<sub>max</sub>*. В среднем можно принять  $p \approx 2 \text{ atm}$  избыточных;  $p_{max} \approx 5 \text{ atm}$  избыточных;  $p_{min} = 1,5-1,0 \text{ atm}$  избыточных; тогда

$$L = (2,4 \pm 3,0) \cdot (a-1) I_B. \quad (23)$$

Глубина погружения расходного трубопровода в бойлер найдется из равенства (в см)

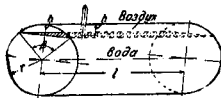
$$h = r \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right), \quad (24)$$

где *r* — радиус цилиндрич. части бойлера. При расчете величины *h* шарообразную форму дна бойлера не учитывают, имея в виду некое уменьшение объема цилиндрич. части бойлера креплениями, опущенной частью подающей воду трубы и т. п. Максимальная температура *t<sub>max</sub>* берется обычно на 20—25° выше нормальной *t°*, т. е.

$$t_{max} = t + (20 \pm 25)^\circ. \quad (25)$$

На случай превышения *t<sub>max</sub>* предусматривается предохранительный вентиль для отвода избыточного объема воды от сверхнормального расширения.

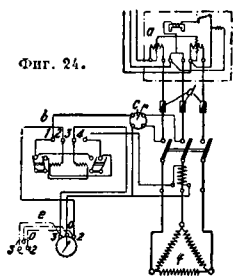
Р. газовых и электрических нагревателей воды служат для автоматического поддержания определенной *t°* тепловой воды, для своевременной подачи воды взамен израсходованной и для безопасности обращения с этими подогревателями. Р. газовых приборов должны в должной мере обеспечить подачу холодной воды в резервуар и газа к нагревательному прибору и исключить возможность истечения несжженного ядовитого газа. Эти Р. в общем конструируются по термостатному принципу. Теплообменник расположен в резервуаре тепловой воды или в его непосредственной близости и соединен с газопродушным вентилем, тарелка к-рого приводится в действие при помощи мембраны, спиральной пружины или пружинной трубы. Воздействие тепла в Р. и соответственно в теплообменнике достигается посредством весьма чувствительной по отношению к теплу жидкости



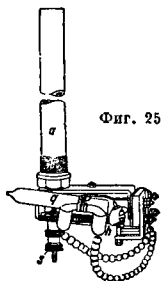
Фиг. 23.

(масло, эфир) или при помощи металлич. стержня или двухметаллич. диска и т. п. Затворами служат дроссельные (быстрозапирающиеся) вентили. При паровых котлах давление пара обычно используется для управления газовым вентилем. Паровые котлы и бойлеры, подверженные продолжительному влиянию тепла без достаточного в случае нужды отвода его, снабжаются помимо предохранительного вентиля еще плавким предохранительным приспособлением, выпускающим при чрезмерно высоких  $t^\circ$  пар наружу и воздействующим на приток газа с целью прекращения дальнейшего развития тепла.

При нагреве воды электричеством применяются те же предохранительные приборы, что и в технике сильных токов. К этим приборам присоединяются еще приборы, регулирующие  $t^\circ$  воды. На фиг. 24 приведена примерная схема



Фиг. 24.



Фиг. 25.

электрораспределительного устройства с двойным реле, переключателем, предохранителем,  $t^\circ$ -ным Р. или соответственно контактным термометром и прочими принадлежностями (а — счетчик, б — реле, с — рубильник, d — предохранители, e — температурный регулятор или контактный термометр, f — накаливая спираль). Применяя шапновый Р., приводимый в действие опрокидыванием ртутной трубки, можно иметь мгновенное переключение. На положение ртутного балластора (ртутной качалки) g оказывает влияние при повороте рычага h (фиг. 25) изменение длины расширительной трубы (теплоусителя), находящейся в погруженной гильзе a. Установочный винт s позволяет отрегулировать выключательную  $t^\circ$ .

Jhm.: Hottinger M., Heiz- u. Luftungsanlagen in den verschiedenen Gebäudearten, B., 1929; Recknagel H., Die Berechnung der Warmwasserheizungen, 3 Aufl., B., 1927; Heescke W., Warmwasser, Erzeugung und Verteilung, Mech., 1929; Recknagel H., Kalender f. Gesundheits- u. Wärmetechnik, Jg. 35, Mch., 1934; Arndt, Heizung, Warmwasser, Luft-, Gas-, Wasser- u. Stromversorgung der neuen Klein- u. Mittelwohnungen u. ihre Wirtschaftlichkeit, «Gesundheits-Ingenieur», Mch., 1928, B. 51, H. 22 u. 23; Elvers, Gas oder Elektrizität zur Wärmeerzeugung in Haushalt, Gewerbe u. Industrie, «Das Gas- u. Wasserfach», Mch., 1928, B. 71, H. 40; Baicke, Wirtschaftliche Verwertung elektrischer Überschussenergie für Heizung und Warmwasserbereitung, «Gesundheits-Ingenieur», Mch., 1928, B. 51, H. 40; Mark, Warmwasser-Versorgungsanlagen, «Haustechnische Rundschau», Halle a/S., 1929, B. 34, H. 14; Rybke, Eiswas über Standrohre, ibidem, 1927, B. 32, H. 11, 35; Schindt, Die Verwendung von Standrohren bei Niederdruckpfisch-Anlagen, ibidem, 1929, B. 34, H. 9; Schlegel, Die neuesten Temperaturregler für Gasfeuerstätten, «Das Gas- u. Wasserfach», Mch., 1928, Jg. 71, H. 9; Schumacher, Gasgeräte-Regelung u. Gasgeräte-Sicherung, ibid., Mch., 1928, Jg. 71, H. 29. С. Врлянг.

**РЕНТГЕНОМЕТРИЯ**, наука об измерениях в области рентгеновых лучей. Измерить излучение значит произвести качественную и количественную оценку его. Качество рентгеновых лучей определяется частотой колебаний  $\nu$  или, что то же,

величиной кванта энергии колебаний  $h\nu$ , где  $h$  — постоянная Планка. Обычно указывается длина волны излучения  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , представляющая собой то расстояние, на которое колебание распространяется в пустоте за время одного периода ( $c$  — скорость света в пустоте). В общем спектре излучений *рентгеновы лучи* (см.) занимают интервал частот в девять октав от  $\nu = 2 \cdot 10^{17}$  Hz до  $\nu = 10^{20}$  Hz или участков длин волн  $\lambda = (15 \div 0,03)$  Å. Технически важная область лежит от  $\lambda = 1,5$  Å до  $\lambda = 0,05$  Å. Генераторы рентгеновых лучей, *рентгеновые трубки* (см.), являются источниками колебаний различных частот и следовательно дают смешанное излучение. Однородные или монохроматические лучи длины волны  $\lambda$ , получаемые путем отражения рентгеновых лучей от кристалла, практически представляют собой также спектральную, но весьма узкую область в границах длин волн  $\lambda \div \lambda + d\lambda$ . При этом для нахождения длины волны имеем  $n\lambda = 2d \sin \theta$ , где  $d$  — расстояние между сетчатыми плоскостями кристалла,  $n$  — целое число, определяющее порядок интерференционного максимума, и  $\theta$  — угол наклона отраженных лучей к отражающей плоскости кристалла. Так как различным значениям  $\lambda$  отвечает разное значение угла  $\theta$ , то путем вращения кристалла возможно разложить пучок смешанных рентгеновых лучей в спектр.

Количественно излучения характеризуются интенсивностью. Под интенсивностью  $I$  рентгеновых лучей подразумевается энергия излучения  $W$ , отнесенная к единице времени и единице поверхности, через которую лучи проникают. Очевидно

$$W = \iint I ds dt.$$

Суждение об интенсивности однородных рентгеновых лучей м. б. сделано по одному из тех действий, которые они производят в освещаемой среде. Любое действие рентгеновых лучей происходит за счет той энергии их, которая поглощена средой, т. е. преобразована в другой вид. Поглощение рентгеновых лучей, как и возникновение их, является процессом внутриатомным, вследствие чего действие рентгеновых лучей отображает именно эти процессы. Первичным актом во всех проявлениях рентгеновых лучей является фотоэлектрическое действие, однако реакция среды на это действие весьма разнообразна. Можно указать пять видов такой реакции: 1) нагревание, 2) образование ионов, 3) возникновение лучей флюоресценции, 4) химич. реакции и 5) биол. эффект. Последний обусловлен не только действием рентгеновых лучей, но также функциями самой биологии, клетки, почему для измерительных целей мало пригоден. Если  $I_0$  — интенсивность тонкого параллельного пучка однородных рентгеновых лучей, падающих на поверхность нек-рого слоя среды толщиной  $d$ , то интенсивность  $I$  рентгеновых лучей, вышедших из этого слоя в том же направлении, будет

$$I = I_0 e^{-\mu d},$$

где  $e$  — основание натуральных логарифмов, а  $\mu$  — линейный коэф. ослабления, зависящий для данной среды исключительно от длины волны рентгеновых лучей. Линейный коэф. ослабления прямо пропорционален плотности  $\rho$  освещаемой среды, поэтому характерной величиной для данной среды является массовый коэф. ослабления  $\frac{\mu}{\rho}$ . Ослабление интенсивности рентгеновых лучей происходит по двум причинам: 1) вследствие

поглощения и 2) вследствие рассеяния, т. ч. массовый коэф. ослабления м. б. представлен в вид

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho},$$

где  $\frac{\tau}{\rho}$  — массовый коэф. поглощения и  $\frac{\sigma}{\rho}$  —

массовый коэф. рассеяния. Вообще говоря,  $\frac{\tau}{\rho} = C_1 Z^m \lambda^n$ , где  $Z$  — атомный номер элемента. Показатель  $n \approx 3$  в то время, как  $m = 4$  для  $\lambda < \lambda_K$  и  $m = 4,4$  для  $\lambda > \lambda_K$ .

В соответствии с наличием энергетич. уровней атома при вполне определенных для каждого элемента значениях квант энергии  $h\nu_K, h\nu_L, \dots$  происходит резкое изменение числа эммитируемых фотоэлектронов, а значит имеет место скачок в изменении коэф-та поглощения  $\tau(K, L, \dots)$  — границы полос поглощения). Величина скачка поглощения определяется отношением значений коэф-та  $\tau$  до (со стороны коротких длин волн) и после границы и может быть приближенно найдена из соотношения

$$\delta_K = \left( \frac{\tau_1}{\tau_2} \right)_K \approx \frac{\nu_K}{\nu_L} = \frac{\lambda_L}{\lambda_K}$$

для скачка на  $K$ -границе.

По Аллену для  $K$  — полосы поглощения

$$\frac{\tau}{\rho} = C_1 \lambda^n = 1,32 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{Z^4}{A} \cdot \lambda^{2,92},$$

где  $A$  — ат. в. элемента. Согласно классич. теории линейный коэф. рассеяния

$$\sigma = \frac{8\pi}{3} N \cdot \frac{e^4}{m^2 c^4},$$

где  $N$  — число электронов в  $\text{см}^3$  рассеивающей среды,  $e$  и  $m$  — заряд и масса электрона, а  $c$  — скорость света. Отсюда для массового коэф-та имеем

$$\frac{\sigma}{\rho} = 0,402 \frac{Z}{A} \approx 0,2.$$

Выражение для  $\sigma$  справедливо только для легких элементов, и приблизительно равенство  $\frac{\sigma}{\rho} \approx 0,2$  соблюдается с точностью  $\pm 10\%$  лишь для элементов с  $Z < 25$ . С увеличением атомного номера коэф.  $\frac{\sigma}{\rho}$  не только не убывает, как этого можно было ожидать из приведенного выражения, но, наоборот, монотонно возрастает до значения 0,7 для  $Z = 54$ , после чего остается неизменным. Зависимость коэф-та рассеяния от качества рентгеновых лучей приобретает значение лишь в области коротких длин волн, когда все ослабление интенсивности их в легких элементах обусловлено гл. обр. рассеянием. Согласно теории Комптона коэф. рассеяния  $\sigma$  следует рассматривать как сумму

$$\sigma = \sigma_r + \sigma_s,$$

где  $\sigma_r$  — коэф. отдачи Комптона-эффекта и  $\sigma_s$  — коэф. истинного рассеяния.

По Комптону для  $\lambda > 0,05 \text{ \AA}$

$$\sigma = \sigma_0 \frac{1}{1 + 2\alpha}, \quad \sigma_r = \sigma_0 \frac{\alpha}{(1 + 2\alpha)^2}$$

и

$$\sigma_s = \sigma_0 \frac{1 + \alpha}{(1 + 2\alpha)^2},$$

где  $\sigma_0$  — значение коэф-та рассеяния по классич. теории и

$$\alpha = \frac{h\nu}{mc\lambda} = \frac{0,0242}{\lambda}.$$

Т. о. поглощенная энергия рентгеновых лучей  $W_a$  при прохождении их через какую-либо среду будет обусловлена нек-рым коэф-том электронного преобразования

$$\gamma = k\tau + \sigma_r,$$

причем  $k < 1$  только вблизи границы полосы поглощения со стороны коротких волн, для всех же прочих участков спектра  $k = 1$ . Согласно закону поглощения для слоя толщиной  $d$  имеем

$$W_a = W_0 (1 - e^{-\gamma d}),$$

что при  $\gamma d \ll 1$  м. б. представлено в виде

$$W_a = W_0 \cdot \gamma \cdot d.$$

Если эту поглощающую энергию отнести к единице объема  $v$  поглощающей среды, то

$$\frac{W_a}{v} = D = E \cdot \gamma,$$

где  $E$  — поверхностная плотность падающей энергии, а  $D$  — объемная плотность поглощенной энергии или физич. доза рентгеновых лучей. Наконец, относя все величины к единице времени, получим

$$\frac{W_a}{t \cdot v} = P = I_0 \cdot \gamma,$$

где  $P$  — объемная плотность поглощенной мощностью мощности излучения или мощность физич. дозы рентгеновых лучей.

Фактически измеряемое действие рентгеновых лучей пропорционально поглощенной энергии  $W_a$ , так как работа, затрачиваемая на элементарный фотоэлектрич. акт, не зависит от качества рентгеновых лучей в рассматриваемом диапазоне длин волн. Этого нельзя сказать в отношении пропорциональности между измеренным эффектом и падающей энергией рентгеновых лучей  $W_0$ , поскольку коэф. электронного преобразования  $\gamma$  в сильной мере зависит от длины волны. Т. о. непосредственное суждение о падающей энергии по измеренному эффекту возможно только для лучей неизменного качества, т. е. только для однородных рентгеновых лучей. В случае смешанного излучения для качественной характеристики, строго говоря, необходимо знать распределение плотности интенсивности в спектре или функцию

$$Y_\lambda = \frac{dI}{d\lambda}.$$

Вид этой ф-ии для действующего спектра зависит от формы кривой напряжения генерирования рентгеновых лучей. По Куленкампу для постоянного напряжения и массивного анода рентгеновой трубки

$$Y_\lambda = AI[Z(\nu_0 - \nu) + aZ^2],$$

где  $I$  — сила эмиссионного тока,  $\nu_0$  — предельная наибольшая частота колебаний в спектре,  $A$  и  $a$  — постоянные, зависящие от выбора единиц. Так как

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad \text{и} \quad d\nu = -\frac{c}{\lambda^2} d\lambda,$$

а также

$$Y_\lambda d\nu = Y_\lambda d\lambda,$$

то

$$Y_\lambda = \frac{c}{\lambda^2} Y\nu;$$

отсюда, пренебрегая членом  $aZ^2$  в виду его малости, получим

$$Y_\lambda = A \cdot Z^2 I \frac{1}{\lambda^2} \left( \frac{1}{\lambda_0} - \frac{1}{\lambda} \right).$$

Для предельной наименьшей длины волны в непрерывном спектре рентгеновых лучей  $\lambda_0$  из закона сохранения энергии  $h\nu_0 = eU$  имеем

$$\lambda_0 = \frac{ch}{eU},$$

что для  $\lambda$  в  $\text{\AA}$  и  $U$  в кВ дает

$$\lambda_0 = \frac{12,35}{U}.$$

Таким образом получим окончательно

$$Y_{\lambda} = A_1 ZIU \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda^3} = f(\lambda, Z, U, I).$$

На фиг. 1 показано спектральное распределение плотности интенсивности  $Y$  при различных значениях постоянного напряжения (в кВ), причем  $Y_{\lambda_0}$  — распределение плотности интенсивности в действующем спектре при пульсирующем напряжении. Для нек-рых заданных форм кривых напряжения и тока, т. е. заданных аналитически или графически  $U(\lambda)$  и  $I(\lambda)$ , возможно, приняв закон Куленкамфа для мгновенных значений  $U$  и  $I$ , найти распределение плотности интенсивности  $Y_{\lambda}$  в действующем спектре рентгеновых лучей. Экспериментальное нахождение этой ф-ии встречает затруднения в практических условиях использования рентгеновых лучей, так как требует сложных и длительных измерений, а также пересчетов при переходе от измеренной поглощенной энергии к падающей. Обычно качество смешанного излучения в отношении данной среды задается т. н. эффективной, или эквивалентной, длиной волны, под которой подразумевается длина волны однородных рентгеновых лучей, интенсивность к-рых ослабляется нек-рым слоем освещаемой среды во столько же раз, как и интенсивность данного смешанного излучения



Фиг. 1.

Здесь  $\mu_{eff}$  — эффективный коэф. ослабления, отвечающий эффективной длине волны смешанных рентгеновых лучей  $\lambda_{eff}$ ,

$$e^{-\mu_{eff} \Delta} \int_{\lambda_0}^{\infty} Y_{\lambda} d\lambda = \int_{\lambda_0}^{\infty} Y_{\lambda} e^{-\mu \lambda} d\lambda.$$

Здесь  $\mu_{eff}$  — эффективный коэф. ослабления, отвечающий эффективной длине волны смешанных рентгеновых лучей  $\lambda_{eff}$ ,

$$\mu_{eff} \approx \alpha \lambda_{eff}^3 + \beta.$$

Вместо  $\lambda_{eff}$  часто указывается слой половинного ослабления излучения  $\Delta$  в какой-либо определенной среде. По смыслу наименования этого слоя

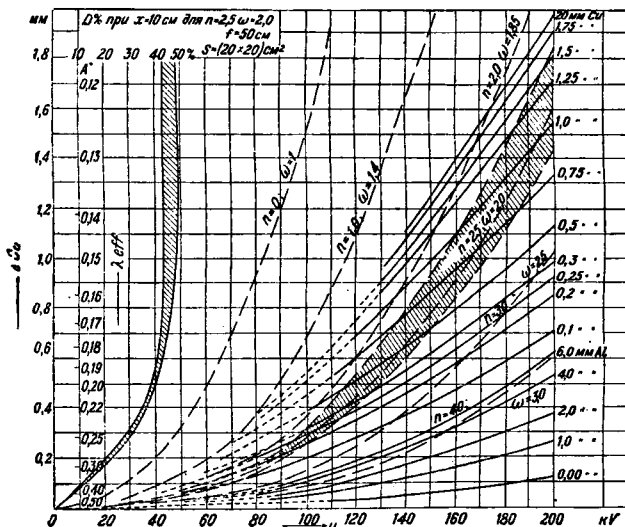
$$\ln \frac{I_0}{I} = \mu_{eff} \Delta = \ln 2$$

или

$$\mu_{eff} = \frac{0,69}{\Delta}.$$

В качестве веществ для измерений слоя половинного ослабления употребляют: медь  $\Delta_{Cu}$  для напряжений свыше 80 кВ, алюминий  $\Delta_{Al}$  при напряжениях от 10 кВ и выше и целлофан  $\Delta_Z$  для предельных рентгеновых лучей  $\lambda_{eff} \geq 1 \text{ \AA}$ . Задача только слоя половинного ослабления или  $\lambda_{eff}$  еще не определяет однозначно качества смешанного рентгенового излучения. Одному и тому же значению  $\Delta$  может отвечать различный спектральный состав излучения, т. к. распределение плотности интенсивности в действующем спектре зависит не только от формы кривой напряжения генерирования, но также и от при-

мененной фильтрации. Это означает, что сильно фильтрованному излучению при относительно небольшом напряжении и слабо фильтрованному, но при более высоком напряжении, может отвечать одно и то же значение  $\Delta$ , между тем как в первом случае спектральная область смешанного излучения будет всегда более узкой, чем во втором. Ширина спектра излучения определяет степень неоднородности излучения и задается числом октав, присутствующих в спектре. При неизменной форме кривой напряжения это равносильно заданию  $\frac{\lambda_{eff}}{\lambda_0}$ . Т. о. качество смешанного излучения определяется однозначно лишь при совместном указании материала и толщины фильтра и слоя половинного ослабления. Практически удобна так называемая качественная диаграмма смешанных излучений для различных фильтров при постоянном напряжении генерирования (фиг. 2). На диаграмме изображен ход изменения  $\Delta_{Cu}$  в зависимости от величины постоянного напряжения генерирования при различных значениях толщин фильтров. На фиг. 2:  $n$  — число присутствующих в спектре октав,  $\omega = \lambda_{eff} : \lambda_0$ ; слева процентная доза  $D$  в воде на глубине  $x = 10 \text{ см}$ , фокусном расстоянии  $f = 50 \text{ см}$  и поле освещения  $S = (20 \times 20) \text{ см}^2$  для смешанного пучка при  $n = 2,5$ . Серию нанесенных кривых пересекает заштрихованный шлейф, охватывающий область значений фильтров, необходимых для получения лучей достаточной биологич. однородности ( $n = 2,5$ ). Лучам степени неоднородности отвечают значения толщин фильтров, соответствую-



Фиг. 2.

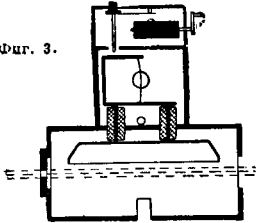
щих точкам, расположенным влево вверх от заштрихованной области, а большей — вправо вниз.

Количественные измерения излучений различного качества возможны либо путем полного поглощения их с измерением выделившейся теплоты, либо путем измерения поглощенной части энергии лучей по одному из подходов для измерений действию их. Практически используются только вторым способом, причем в качестве

действия для измерительных целей принят ионизационный эффект рентгеновых лучей в воздухе нормальной плотности. Следует всегда помнить, что ионизационный ток является мерой не интенсивности смешанных рентгеновых лучей, а мощности дозы этих лучей в воздухе, так что

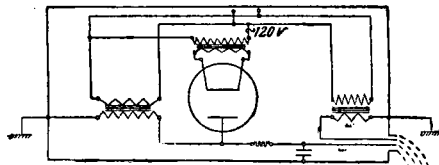
$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1 \lambda_1}{I_2 \lambda_2}$$

Фиг. 3.

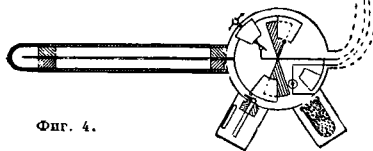


В соответствии со сказанным находится выбор специальной единицы рентгеновых излучений — рентген (обозначение — r), установленной 2-м Международным конгрессом радиологов в 1928 г.

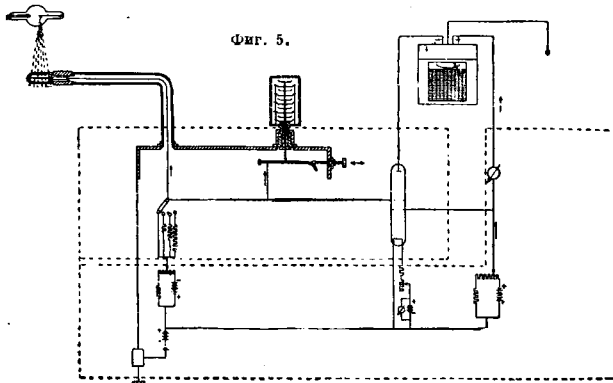
(Стокгольм). Согласно смыслу данного конгрессом определения рентген представляет собой объемную плотность поглощенной энергии рентгеновых лучей, при которой в результате по-



Фиг. 4.



ного ионизационного действия в атмосферном воздухе при 0° и 760 мм Hg разделяются заряды в одну электростатическую единицу, каждый на 1 см<sup>3</sup> освещаемого объема. Все прочие энергетич.



Фиг. 5.

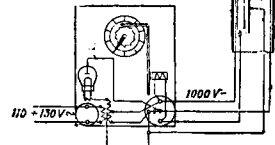
величины в области рентгеновых лучей м. б. выражены через эту основную единицу физич. дозы рентгеновых лучей (таблица).

Рентгеновские единицы.

Наименование	Обозначение	Размерность	В системе CGS	Через единицу г
Энергия излучения	$W$	$L^2MT^{-2}$	$e$	$г \cdot см^3$
Поверхностная плотность энергии излучения	$E$	$MT^{-2}$	$\frac{e}{см^2}$	$г \cdot см$
Объемная плотность энергии излучения и физич. доза	$D$	$L^{-1}MT^{-2}$	$\frac{e}{см^3}$	$г$
Мощность излучения	$P$	$L^2MT^{-3}$	$\frac{e}{сек.}$	$\frac{г \cdot см^3}{сек.}$
Интенсивность излучения	$I$	$MT^{-3}$	$\frac{e}{см^2 \cdot сек.}$	$\frac{г \cdot см}{сек.}$
Плотность интенсивности в спектре и мощность физич. дозы	$\gamma_\lambda$	$L^{-1}MT^{-3}$	$\frac{e}{см^3 \cdot сек.}$	$\frac{г}{см.}$
	$P_\lambda$			

В соответствии с наименованием основной единицы все измерительные приборы, градуируемые в г или г/см<sup>3</sup>, называются рентгенометрами. Эталонное измерительное устройство, с помощью которого воспроизводится единица рентген, хранится во Всесоюзном институте метрологии. Наиболее типичными рентгенометрами практич. назначения являются рентгенометры по Кюстнеру (фиг. 3), представляющие собой цилиндрич. ионизационную камеру, сочлененную с электрометром и зарядным приспособлением. Прибор снаб-

Фиг. 6.



жен контрольным радиевым ионизатором и камерами специального назначения. Он является одним из лучших приборов для лабораторных целей. Светосигнальный рентгенометр (фиг. 4) снабжен камерами для практич. измерений, электрометром, автоматич. зарядным устройством с питанием от сети переменного тока и контрольным урановым ионизатором. Световые сигналы происходят всякий раз, когда физич. доза в воздухе достигает определенного числа рентгенов. Рентгенометр Сименс (фиг. 5) допускает непосредственные измерения мощности физич. дозы в г/см<sup>3</sup>. В этом приборе ионизационный ток измеряется по схеме Бронсона, в которой электрометр заменен 4-электродной усилительной лам-

пой с высокой изоляцией сетки и гальванометром. Рентгенометр по Гаммеру (фиг. 6) состоит из набора камер для практич.

измерений, электростатич. реле, контрольного, радионого ионизатора, сигнальных и счетного устройств. Прибор питается от осветительной

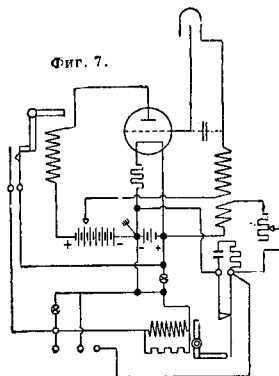
сети переменного тока и автоматизирован полностью. Рентгенметр «Меккапион» (Фиг. 7). Принцип действия этого прибора тот же, что и предыдущего, с той разницей, что вместо электростатич. реле применено электронное в виде 3-электродной лампы с высокой изоляцией сетки. Кроме этих ионизационных рентгенметров существует ряд других типов, имеющих по

б. ч. узкую область применения, как то: рентгенфотометры, рентгенфотоэлементы (полупроводящие) и счетные трубки Гейгер-Мюллер. Среди устаревших типов измерительных приборов можно

указать таблетки Сабуро-Нуаре и радиометр Гольцкнехта, действие которых основано на изменении окраски платиноцианистого соединения под действием рентгеновых лучей, а также интенсиометр Фюрстенау, в котором используется явление изменения сопротивления селена при освещении рентгеновыми лучами. Какое бы действие рентгеновых лучей ни было использовано для измерительных целей, оно с метрологической стороны должно удовлетворять двум принципиальным требованиям: 1) размер наблюдаемой реакции д. б. пропорционален поглощенной энергии лучей одного и того же качества и 2) границы полос поглощения элементов реактива не должны лежать в области длин волн измеряемого участка спектра излучений. Общим требованиям одновременно в широком интервале длин волн, охватывающем весь спектр рентгеновых лучей, удовлетворяет ионизационный процесс в легком газе, напр. в воздухе, почему и основная единица рентгеновых лучей и современные измерительные приборы основаны на этом действии лучей.

Лит.: Порошков И., Физические основы дозиметрии рентгеновских лучей, Л., 1934; Grossmann G., Physikalische und technische Grundlagen der Röntgentherapie, В., 1925; Kirchner F., Allgemeine Physik der Röntgenstrahlen, Hndb. der Experimentalphysik, hrsg. v. W. Wien u. F. Harms, В. 24, Т. 1, Lpz., 1930. И. Порошков.

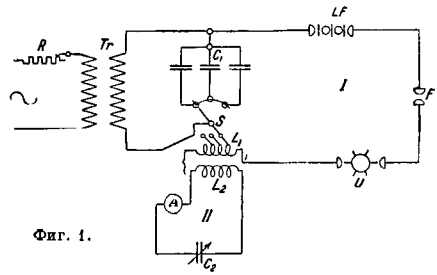
Фиг. 7.





**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ** (при помощи спектров испускания) имеет применение почти во всех отраслях х-ва. Широко применяется в металлпромышленности для быстрого анализа железа, стали, чугуна, а также различных специальных сталей и готовых металлургических изделий для установления чистоты легких, цветных и драгоценных металлов. Большое применение имеет С. а. в геохимии при изучении состава полезных ископаемых. В химической промышленности и близких к ней отраслях С. а. служит для установления чистоты выпускаемой и применяемой продукции, для анализа катализаторов, различных остатков, осадков, мутей и промывных вод; в медицине — для открытия металлов в различных органических тканях. Ряд специальных задач, трудно разрешаемых или вовсе не разрешимых иным путем, решается при помощи С. а. быстро и точно. Сюда относится напр. распределение металлов в сплавах, исследование в сплавах и минералах сульфидных и других включений; такого рода исследования иногда обозначаются термином локальный анализ. Выбор того или другого типа спектрального аппарата с точки зрения достаточности его дисперсии производится в зависимости от цели и задач С. а. Для исследования платиновых металлов (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt), а также Fe, Co, Ni, Cr, V, Mo, W, Ti, Mn, Zr, Re, Nb и Ta наиболее пригодны кварцевые спектрографы с большей дисперсией, дающие для длин волн 4 000—2 200 Å полосу спектра длиной по крайней мере 22 см. Для остальных элементов и б. применены аппараты, дающие спектры длиной 7—15 см. Спектрографы со стеклянной оптикой в общем имеют меньшее значение. Из них удобны комбинированные приборы (например фирмы Гильгера и Фюсса), к-рые по желанию можно применять в качестве спектроскопа (см.) и спектрографа (см.). Для получения спектров применяются следующие источники энергии. 1) Пламя горячей смеси — водорода и кислорода, смеси кислорода и светильного газа, смеси кислорода и ацетилена или наконец воздуха и ацетилена [1]. В последнем случае  $\rho$  источника света доходит до 2 500—3 000°. Пламя наиболее всего пригодно для получения спектров щелочных и щелочноземельных металлов, а также для таких элементов, как Cu, Hg и Tl. 2) Вольтова дуга а. а) Обычная, гл. обр. постоянного тока, силой 5—20 А. С большим успехом она применяется для качественного анализа трудно сплавляемых минералов, к-рые вводятся в дугу в виде кусочков или тонко растертых порошков. Для коли-

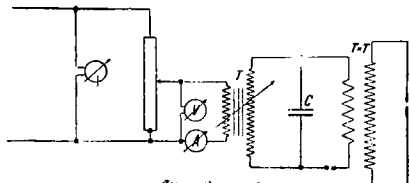
чественного анализа металлов применение обычной вольтовой дуги имеет очень существенный недостаток, заключающийся в том, что поверхность анализируемых металлов покрывается пленкой окиси и горение дуги становится в конце концов неравномерным. Тем-ра вольтовой дуги доходит до 5 000—6 000°. б) Прерывистая дуга (Abreissbogen) [2,4] постоянного тока силой 2—5 А при напряжении ок. 80 В. При помощи специального приспособления горение дуги прерывается 4—10 раз в сек. Этот способ возбуждения уменьшает окисление поверхности анализируемых металлов. При более высоком напряжении — до 220 В и силе тока 1—2 А — прерывистая дуга может применяться также и для ана-



Фиг. 1.

лиза растворов. 3) Искровые разряды, получаемые при помощи индукционной катушки или, чаще, трансформатора постоянного или (предпочтительнее) переменного тока мощностью до 1 kW, дающего во вторичной цепи 10 000—30 000 В. Применяются три типа разрядов. а) Искровые разряды без емкости и индуктивности во вторичной цепи, называемые иногда дугой высокого напряжения (Hochspannungsbogen). Анализ жидкостей и расплавленных солей при помощи таких разрядов отличается большей чувствительностью. б) Искровые разряды с емкостью и индуктивностью во вторичной цепи, часто называемые также конденсированными и искрами, представляют собой более универсальный источник энергии, пригодный для возбуждения спектров почти всех элементов (кроме щелочных металлов), а также газов. Схема включения дана на фиг. 1, где R — резистор в первичной цепи, Tr — трансформатор переменного тока, C<sub>1</sub> — емкость во вторичной цепи I, S — переключатель для изменения индуктивности L<sub>1</sub>, U — синхронный прерыватель, LF —

искрогаситель,  $F$  — рабочий искровой промежуток. В резонанс ко вторичной цепи  $I$  при помощи индуктивности  $L_2$  и переменной емкости  $C_2$  настраивается вторичная цепь  $II$ ; признаком наличия резонанса является наибольшая сила тока, показываемая миллиамперметром  $A$ . Назначение вторичной цепи  $II$  синхронного прерывателя  $U$  и искрогасителя  $LF$  — делать электрические разряды возможно однообразными как по характеру, так и по числу в течение определенного промежутка времени; при обычных работах такие добавочные приспособления не вводятся. При исследованиях металлов во вторичной цепи при-



Фиг. 2.

меняется емкость 6 000—15 000 см и индуктивность до 0,05—0,01 Н. Для анализа жидкостей во вторичную цепь иногда вводится водяной реостат с сопротивлением до 40 000  $\Omega$ . Жидкости исследуются без индуктивности с небольшой емкостью. в) Разряды токов Тесла, которые осуществляются при помощи схемы, изображенной на фиг. 2, где  $V$  — вольтметр,  $A$  — амперметр,



Фиг. 3.

$T$  — трансформатор,  $C$  — емкость,  $T$  — трансформатор Тесла,  $F$  — искровой промежуток, куда вводится анализируемое вещество. Токи Тесла применяются для исследований веществ, которые имеют невысокую точку плавления: различные растительных и органич. препаратов, осадков на фильтрах и т. п. При  $C$  а. металлов в случае большого их количества они обычно сами являются электродами, причем им придается какая-либо форма, например из указанных на фиг. 3, где  $a$  — электрод из анализируемой толстой проволоки,  $b$  — из жести,  $c$  — согнутая тонкая проволока,  $d$  — диск, отрезанный от толстого цилиндрич. стержня,  $e$  — форма, выпиливаемая из больших кусков литья. При количественном анализе необходимо иметь всегда одинаковую форму и размеры подвергающейся действию искр поверхности электродов. При небольшом количестве анализируемого металла можно воспользоваться оправой из какого-либо чистого металла, напр. из золота и платины, в к-рой укрепляется анализируемый металл, как показано на фиг. 4. Для введения в источник света растворов предложено довольно много способов.



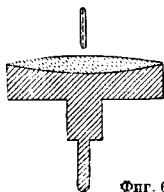
Фиг. 4.



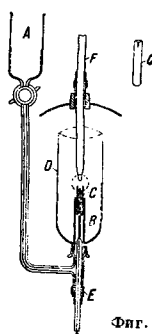
Фиг. 5.

При работе с пламенем применяется распылитель

Люндегорда [1, 2], схематически изображенный на фиг. 5 вместе со специальной горелкой. Продуваемый через распылитель  $BC$  воздух захватывает испытываемую жидкость, наливаемую в количестве 3—10 см<sup>3</sup> в углубление  $C$ , и в виде тонкой пыли относит ее в горелку  $A$ , где происходит смешение с газом. Для введения растворов в дугу, а также в искру применяются чистые угольные или графитовые электроды, на одном из к-рых делается углубление. Необходимо однако отметить, что очень трудно приготовить угли совершенно чистыми. Применяемые для очистки способы — попеременное кипячение в соляной и плавиковой кислотах, а также прокалывание в атмосфере водорода до 2 500—3 000° — не дают углей, свободных от примесей, остаются (хотя и следы)  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $V$ ,  $Ti$ ,  $Al$ ,  $Fe$ ,  $Si$ ,  $B$ . Удовлетворительной чистоты получаются также угли путем прокалывания их на воздухе при помощи электрич. тока: через угольный стержень диам. 5 мм пропускается ток силой ок. 400 А, и достигаемое таким путем сильное накаливание (до 3 000°) оказывается достаточным для того, чтобы в течение нескольких секунд большинство загрязняющих угли примесей уде-



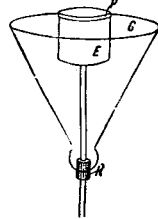
Фиг. 6.



Фиг. 7.

тучилась [4]. Существуют также такие способы введения растворов в искру, где сам раствор является нижним электродом и искра проскакивает на его поверхность; другим электродом может служить какой-либо чистый металл. Примером такого устройства может служить изображенный на фиг. 6 жидкостный электрод Герляха [2].

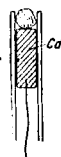
Углубление, куда наливается испытываемый раствор, облицовывается платиновой фольгой или покрывается толстым слоем позолоты. На фиг. 7 изображен аппарат Хитчена, служащий также для введения растворов в искру. Из сосуда  $A$  испытываемый раствор слабой струей поступает через трубку  $B$  и кварцевую насадку  $C$  в сферу действия искровых разрядов. Нижний электрод, впаянный в стеклянную трубку, прикрепляется к аппарату при помощи каучуковой трубки  $E$ . Насадка  $C$ , изображенная на фиг. 7 отдельно, имеет с одной стороны вырез для стекания раствора.  $D$  — стеклянный предохранительный сосуд, в котором делается круглое отверстие для выхода ультрафиолетовых лучей. Сосуд этот удобнее делать кварцевым без отверстий. К верхнему электроду  $F$ , графитовому, угольному или металлическому, также приспособляется предохраняющая от брызг пластинка. Для «дуги высокого напряжения», сильно накаливающей анализируемые вещества, Герлях [4] при работе с растворами применяет электроды с охлаждением, как это схематичес-



Фиг. 8.

к

ки показано на фиг. 8. На толстой проволоке (диам. 6 мм) укрепляется при помощи пробки *K* стеклянная воронка *G*, куда помещаются кусочки льда. На верхнем конце проволоки укрепляется круглый железный электрод *E* диам. 4 см и высотой 4 см, на к-рый накладывается платиновая чашечка *P*; последняя должна легко сниматься для очистки. Верхний электрод также д. б. толстым во избежание расплавления. При анализе небольших количеств веществ—осадков на фильтрах, различных порошков и т. д.—можно пользоваться приспособлением, изображенным на фиг. 9. Из испытуемого вещества и фильтровальной бумаги делается комочек, смачивается для лучшей проводимости раствором напр.  $\text{NaCl}$ , помещается на нижний электрод, состоящий иногда из чистого кадмия, заключенного в кварцевой (хуже стеклянной) трубочке; верхний электрод также является каким-либо чистым металлом. Для таких же анализов при работе с токами

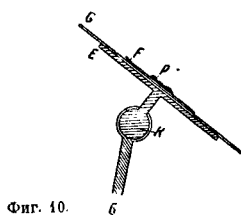
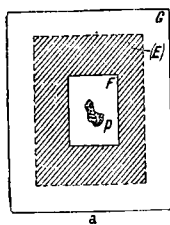


Фиг. 9.

Тесла применяется специальная конструкция искрового промежутка [4], изображенная на фиг. 10 а и б.

В круглом шарнире *K* укрепляется в нужном положении алюминиевая пластинка *E*, на к-рую накладывается стеклянная пластинка *G*, а на последнюю—препарат *P* на фильтровальной бумаге *F*. Препарат смачивается какой-либо к-той или раствором соли. Вся эта система представляет небольшой конденсатор. Для исследования газов применяются закрытые стеклянные или кварцевые сосуды (фиг. 11). Для количественного анализа газов удобно пользоваться золотыми или платиновыми электродами, линии которых можно применить для сравнения. Почти все из упомянутых выше приспособлений для введения веществ в искру и дугу при работе укрепляются в специальных штативах. Примером может являться штатив Грамона, изображенный на фиг. 12: при помощи винта *D* электроды одновременно раздвигаются и сдвигаются; винт *E* служит для передвижения верхнего электрода параллельно оптич. скамье, а винт *C*—для боковых поворотов нижнего электрода; для боковых поворотов всей верхней части штатива служит винт *B*; наконец при помощи винта *A* можно поднимать или опускать всю верхнюю часть штатива; *H*—подставка для горелок, стаканов и пр. Выбор источника энергии для той или иной цели исследования можно сделать, руководствуясь следующей примерной таблицей.

Качественный анализ. При качественном С. а. открытие какого-либо элемента зависит от многих факторов: от характера определяемого элемента, источника энергии, раз-



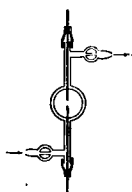
Фиг. 10.

рашающей способности спектрального аппарата, а также от чувствительности фотографических пластинок. Относительно чувствительности анализа можно сделать следующие указания. При работе с искровыми разрядами в растворах

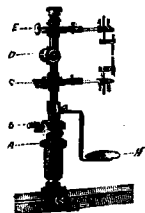
Характер пробы	Источник энергии	Цель исследования
Металлы, большие количества. Готовые металл. изделия	1. Искровые «конденсированные» разряды 2. Вольтова дуга: а) обычная б) прерывистая	Качественный и количественный анализы
Металлы, небольшие количества	1. Искровые «конденсированные» разряды 2. Тони Тесла	Качественный анализ Количественный анализ
Тонкая сеть или проволока	1. Искровые «конденсированные» разряды 2. Тони Тесла	Качественный и количественный анализы
Минералы в кусках или порошках, сплавленные	1. «Дуга высокого напряжения» 2. Тони Тесла 3. Вольтова дуга обычная	Качественный анализ
Минералы и другие вещества в порошках	1. «Дуга высокого напряжения» 2. Тони Тесла 3. Вольтова дуга обычная 4. Пламя по Люндегordu	
Жидкости, большие количества	1. «Дуга высокого напряжения» 2. Искровые «конденсированные» разряды с электродом Герляха, аппаратом Хитчена 3. Пламя по Люндегordu	Качественный анализ Качественный и количественный анализы
Жидкости, небольшие количества (0,5—1,0 см <sup>3</sup> )	1. Тони Тесла со смоченным и высушенным фильтром 2. Искровые «конденсированные» разряды с угольными или графитовыми электродами 3. Вольтова дуга обычная с теми же электродами	Качественный и количественный анализы
Осадки на фильтрах	Тони Тесла	Качественный анализ
Газы	Искровые «конденсированные» разряды	Качественный и количественный анализы

можно открывать  $10^{-2}$ — $10^{-3}\%$ , а в металлах  $10^{-2}$ — $10^{-4}\%$  исследуемого элемента; при работе с вольтовой дугой пределы открытия лежат около  $10^{-3}\%$ . Абсолютное количество, которое м. б. открыто при работе с пламенем, составляет  $10^{-6}$ — $10^{-7}$  г, а при искровых разрядах  $10^{-6}$ — $10^{-8}$  г исследуемого элемента. Наибольшая чув-

ствительность открытия относится к металлам и металлоидам—В, Р, С; меньше чувствительность для металлоидов As, Se и Te; галлоиды, а также S, O, N в их соединениях совсем не м. б. открыты и м. б. открыты лишь в некоторых случаях в газовых смесях. Для качественного анализа наибольшее значение имеют «последние линии», и при анализе задача заключается в наиболее точном определении длин волн спектральных линий. При визуальных исследованиях длины

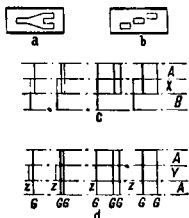


Фиг. 11.



Фиг. 12.

волн отсчитываются по барабану спектрометра; эти измерения можно считать лишь приближительными, так как точность составляет обычно  $\pm 2-3 \text{ \AA}$  и в таблицах Кайзера [46] этому интервалу ошибок могут отвечать ок. 10 спектральных линий, принадлежащих различным элементам, для  $\lambda 6000$  и  $5000 \text{ \AA}$  и ок. 20 спектральных линий для  $\lambda \approx 4000 \text{ \AA}$ . Гораздо точнее определяется длина волны при спектрографич. анализе. В этом случае на спектрограммах при помощи измерительного микроскопа измеряется расстояние между линиями с известной длиной волны и определяемой; по фле Гартмана находится длина волны последней. Точность таких измерений при работе с прибором, дающим полосу спектра длиной ок. 20 см, составляет  $\pm 0,5 \text{ \AA}$  для  $\lambda \approx 4000 \text{ \AA}$ ,  $\pm 0,2 \text{ \AA}$  для  $\lambda \approx 3000 \text{ \AA}$  и  $\pm 0,1 \text{ \AA}$  для  $\lambda \approx 2500 \text{ \AA}$ . По длине волны в таблицах находят соответствующий элемент. Расстояние между линиями при обычных работах измеряется с точностью до



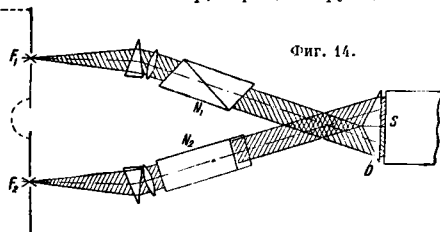
Фиг. 13.

$0,05 - 0,01 \text{ мм}$ . Этот прием иногда удобно комбинировать со съемками спектров с так наз. заслонками Гартмана, два типа которых изображены на фиг. 13, а и б; при помощи их щель спектрографа можно делать различной высоты. Фиг. 13, с схематически изображает случай качественного анализа вещества X—установление в нем элементов A и B. Спектры фиг. 13, d показывают, что в веществе Y кроме элемента A, линии которого обозначены буквой G, имеется примесь, линии которой обозначены Z. При помощи этого приема в простых случаях можно выполнить качественный анализ, не прибегая к промеру расстояний между линиями.

Количественный анализ. Для количественного С. а. наибольшее значение имеют линии, обладающие возможно большей концентрационной чувствительностью  $\frac{dI}{dK}$ , где I—интенсивность линии, а K—концентрация дающего ее элемента. Чем больше концентрационная чувствительность, тем точнее анализ. С течением

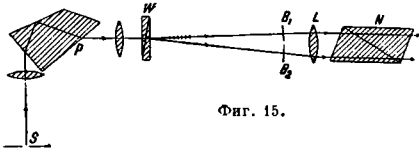
времени разработан целый ряд методов количественного С. а. Эти методы следующие.

1. Спектроскопические методы (без фотографич. съемки) почти все являются фотометрич. методами. Сюда относятся: 1) Метод Барратта [11]. Одновременно возбуждаются спектры двух веществ—испытуемого и стандартного—видные в поле зрения спектроскопа рядом, один над другим. Ход лучей изображен на фиг. 14, где  $F_1$  и  $F_2$ —два искровых промежутка, свет от к-рых проходит через призмы Николая  $N_1$  и  $N_2$ , поляризующие лучи во взаимно перпендикулярных плоскостях. При помощи призм D лучи попадают в щель S спектроскопа. В его зрительной трубе помещается третья призма Николая—анализатор,—вращая к-рую добива-



Фиг. 14.

ются одинаковой интенсивности двух сравниваемых линий. Предварительно при исследованиях стандартов, т. е. веществ с известным содержанием элементов, устанавливается зависимость между углом поворота анализатора и концентрацией, и по этим данным вычерчивается диаграмма. При анализе по углу поворота анализатора из этой диаграммы находится искомое процентное содержание. Точность метода  $\pm 10\%$ . 2) Метод Шейбе и Лиммера [13, 14]. Принцип метода заключается в том, что лучи света



Фиг. 15.

после призмы спектроскопа проходят через призму Волластона, где расходятся на два пучка и поляризуются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Схема хода лучей показана на фиг. 15, где S—щель, P—призма спектроскопа, W—призма Волластона. В поле зрения получаются два спектра  $B_1$  и  $B_2$ , лежащие рядом, друг над другом; L—лупа, N—анализатор. Если вращать призму Волластона, то спектры будут передвигаться относительно друг друга, что позволяет совместить какие-либо две их линии. Например если анализируется железо, содержащее ванадий, то совмещается линия ванадия с какой-либо близлежащей одноцветной линией железа; затем, поворачивая анализатор, добиваются одинаковой яркости этих линий. Угол поворота анализатора, как и в предыдущем методе, является мерой концентрации искомого элемента. Метод особенно пригоден для анализа железа, спектр которого имеет много линий, что позволяет всегда найти линии, пригодные для исследований. Точность метода  $\pm 3-7\%$ . 3) Метод Оккиалини [15, 16]. Если расположить электроды (напр. анализируемые металлы) горизонтально и проектировать изображение их ис-

точка света на вертикальную щель спектроскопа, то как при искровых, так и при дуговых разрядах линии примесей м. б. открыты в зависимости от концентрации на большем или меньшем расстоянии от электродов. Источник света проектируется на щель при помощи специальной линзы, снабженной микрометрическим винтом. При анализе эта линза передвигается и вместе с ней передвигается изображение источника света до тех пор, пока какая-либо линия примеси в спектре исчезнет. Мерой концентрации примеси является отсчет по шкале линзы. В настоящее время этот метод разработан также и для работ с ультрафиолетовой частью спектра. Надо отметить, что таким же способом освещения щели спектрального аппарата пользовался Локьер [17] и им был разработан метод количественного С. а., т. н. метод «длинных и коротких линий».

4) Прямое фотометрирование спектров. Описанные выше методы носят название визуальных. Люндгорд [1, 2, 18] вместо визуальных исследований пользовался для измерения интенсивности спектральных линий фотоэлементом. Точность определения щелочных металлов при работе с пламенем достигала  $\pm 5\%$ . При искровых разрядах этот способ неприменим, так как они менее постоянны, чем пламя. Существуют также способы, основанные на изменении индуктивности во вторичной цепи [19], а также использующие искусственное ослабление света, попадающего в спектроскоп, до исчезновения в поле зрения исследуемых спектральных линий [20].

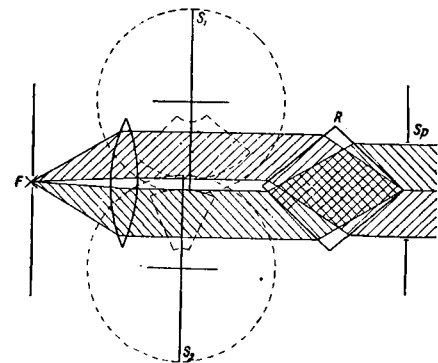
II. Спектрографические методы. При этих методах исследуются фотографич. снимки спектров, причем мерой интенсивности спектральных линий является почернение, даваемое ими на фотографич. пластинке. Интенсивность оценивается или глазом или фотометрически. А. Методы без применения фотометрии. 1) Метод последних линий [21-23]. При изменении концентрации какого-либо элемента в спектре изменяется число его линий, что дает возможность при неизменных условиях работы судить о концентрации определяемого элемента. Фотографируется ряд спектров веществ с известным содержанием интересующего компонента, на спектрограммах определяется число его линий и составляются таблицы, в которых указывается, какие линии видны при данных концентрациях. Эти таблицы служат дальше для аналитич. определений. При анализе на спектрограмме определяется число линий интересующего элемента и по таблицам находится процентное содержание, причем метод дает не однозначную его цифру, а границы концентраций, т. е. «от—до». Наиболее достоверно возможно различить концентрации, отличающиеся друг от друга в 10 раз, напр. от 0,001 до 0,01%, от 0,01 до 0,1% и т. д. Аналитич. таблицы имеют значение лишь для вполне определенных условий работы, к-рые в различных лабораториях могут очень сильно различаться; кроме того требуется тщательное соблюдение постоянства условий работы. 2) Метод сравнительных спектров [22-26]. Фотографируется несколько спектров анализируемого вещества  $A + x\% B$ , в к-ром определяется содержание  $x$  элемента  $B$ , и в промежутках между ними на той же фотографич. пластинке—спектры стандартных веществ  $A + a\% B$ ,  $A + b\% B$ ,  $A + c\% B$ , где  $a, b, c$ —известное процентное содержание  $B$ . На спектрограммах по интенсивности линий  $B$  определяется, между какими

концентрациями заключается значение  $x$ . Критерием постоянства условий работы является равенство интенсивности на всех спектрограммах какой-либо ближайшей линии  $A$ . При анализе растворов в них добавляется одинаковое количество какого-либо элемента, дающего линию близко к линиям  $B$ , и тогда о постоянстве условий работы судят по равенству интенсивности этих линий. Чем меньше разница между концентрациями  $a, b, c, \dots$  и чем точнее достигнуто равенство интенсивности линий  $A$ , тем точнее анализ. А. Райс [23] напр. применял концентрации  $a, b, c, \dots$ , относящиеся друг к другу, как 1:1,5. К методу сравнительных спектров применяется метод «подбора концентраций» (Testverfahren) по Гюттигу и Турнвальду [27], примененный только к анализу растворов. Он заключается в том, что если в двух растворах, содержащих  $a\% A$  и  $x\% A$  ( $x \approx a$ ), что сейчас же можно определить по их спектрам, то прибавляют в какой-либо из этих растворов такое количество  $n$  элемента  $A$ , чтобы интенсивность его линий на обоих спектрах стала одинаковой. Тем самым определяется концентрация  $x$ , к-рая будет равна  $(a \pm n)\%$ . Можно также прибавить в анализируемый раствор какой-либо другой элемент  $B$  до равенства интенсивности определенных линий  $A$  и  $B$  и по количеству  $B$  оценить содержание  $A$ . 3) Метод гомологических пар [28]. В спектре вещества  $A + a\% B$  линии элементов  $A$  и  $B$  не являются одинаково интенсивными и, если этих линий достаточно количество, можно найти две такие линии  $A$  и  $B$ , интенсивность к-рых будет одинакова. Для другого состава  $A + b\% B$  одинаковыми по интенсивности будут другие линии  $A$  и  $B$  и т. д. Эти две одинаковые линии называются гомологическими парами. Концентрация  $B$ , при которых осуществляется та или иная гомологич. пара, называются фиксирующими и иুক্তами и этой пары. Для работы по этому методу требуется предварительное составление таблиц гомологич. пар при помощи веществ известного состава. Чем полнее таблицы, т. е. чем больше они содержат гомологич. пар с фиксирующими пунктами, отличающимися как можно меньше друг от друга, тем точнее анализ. Этих таблиц составлено довольно большое количество, причем они могут иметь применение в любой лаборатории, т. к. точно известны условия разрядов при их составлении и эти условия м. б. совершенно точно воспроизведены. Достигается это при помощи следующего простого приема. В спектре вещества  $A + a\% B$  выбираются две линии элемента  $A$ , интенсивность к-рых очень сильно меняется в зависимости от величины самоиндукции во вторичной цепи, именно одна дуговая (принадлежащая нейтральному атому) и одна искровая линия (принадлежащая иону). Эти две линии называются фиксирующей парой. Путем подбора величины самоиндукции линии этой пары делают одинаковыми и составление ведется именно при этих условиях, всегда указываемых в таблицах. При таких же условиях проводится и анализ, и по осуществлению той или иной гомологич. пары находится процентное содержание. Имеется несколько модификаций метода гомологич. пар. Из них главнейшим является метод вспомогательного спектра, применяемый в том случае, когда элементы  $A$  и  $B$  не обладают достаточным количеством линий. В этом случае линии спектра элемента  $A$  определенным образом связываются с линиями другого, более пригодного элемента  $C$ , и роль  $A$  на-

чинает играть элемент *G*. Метод гомологич. пар разработан Герляхом и Швейтцером [8]. Он применен как в сплавах, так и в растворах. Его точность в среднем ок.  $\pm 10\%$ .

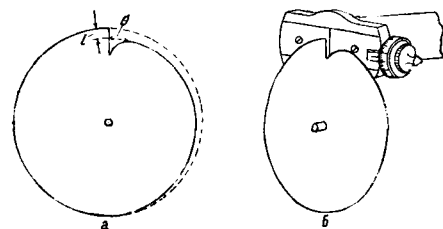
В. Методы с применением фотометрии. 1) Метод Барратта [11]. Фиг. 16 дает представление о методе.  $F_1$  и  $F_2$  — два искровых промежутка, при помощи которых одновременно возбуждаются спектры стандартного и анализируемого вещества. Свет проходит через 2 вращающихся сектора  $S_1$  и  $S_2$  и при помощи

призмы *D* образует спектры, которые расположены один над другим. Путем подбора вырезок секторов линии исследуемого элемента получают одинаковую интенсивность; концентрация определяемого элемента вычисляется из со-



Фиг. 16.

отношения величин вырезок. 2) Метод Шейбе и Шмидта [5] является аналогичным, но с одним искровым промежутком (фиг. 17). Свет от *F* разделяется на два пучка и проходит через секторы  $S_1$  и  $S_2$ ; при помощи ромба Гюйнера *R*



Фиг. 17.

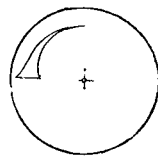
две полоски спектра получаются одна над другой; *Sp* — щель спектрографа. Вырезки секторов изменяются до получения равенства интенсивности линии примеси и какой-либо близлежащей линии основного вещества и по соотношению величин вырезок высчитывается %-ное содержание определяемого элемента. 3) При применении в качестве фотометра вращающегося логарифмического сектора [40, 41] линии получают на спектрограммах клинообразный вид. Один из таких секторов и его поло-

жение относительно спектрографа при работе изображены на фиг. 18, а и б. Вырезка сектора подчиняется ур-ю

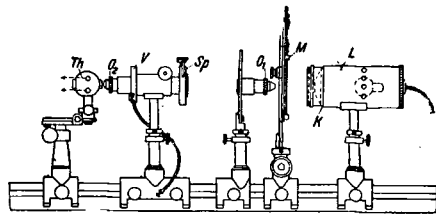
$$-\lg \theta = 0,3 + 0,2I,$$

где  $\theta$  — длина дуги в частях полной окружности, находящаяся на расстоянии *I*, измеренном в мм по радиусу от его конца. Мерой интенсивности линий является их длина, т. к. с изменением концентрации элемента длина его клинообразных линий также изменяется. Предварительно по образцам с известным содержанием строится диаграмма зависимости длины какой-либо линии от %-ного содержания; при анализе на спектрограмме измеряется длина той же линии и по диаграмме находится процентное содержание. Имеется несколько различных модификаций этого метода. Следует указать на модификацию Шейбе [5], применявшего т. н. двойной логарифмич. сектор.

Вид этого сектора изображен на фиг. 19. Линии исследуются ватем при помощи специального аппарата. Точность, достижимая при помощи логарифмич. секторов,  $\pm 10 - 15\%$ ; модификация Шейбе дает точность  $\pm 5 - 7\%$ . 4) Довольно часто применяется фотометрирование спектральных линий при помощи свето- и термоэлектрич. спектрофотометров самых различных конструкций [1, 5, 42, 43]. Удобными являются термоэлектрич. фотометры, выработанные специально для целей количественного анализа. Для примера на фиг. 20 приведена схема фотометра по Шейбе:



Фиг. 19.



Фиг. 20.

*L* — постоянный источник света с конденсором *K*, *M* — фотографич. пластинка с исследуемым спектром, *Sp* — щель,  $O_1$  и  $O_2$  — объективы, *V* — затвор, *Th* — термоэлемент, к-рый присоединяется к гальванометру. Мерой интенсивности линий является отклонение стрелки гальванометра. Реже используются саморегистрирующиеся гальванометры, дающими запись интенсивности линий в виде кривой. Точность анализа при применении этого типа фотометрии составляет  $\pm 5 - 10\%$ . При сочетании с другими методами количественного анализа точность м. б. повышена; так напр., метод трех линий Шейбе и Шнеттлера [8, 44], являющийся сочетанием метода гомологий, пар и фотометрич. измерений, в благоприятных случаях может дать точность  $\pm 1 - 2\%$ . См. *Спектральный анализ и Спектрофотометрия*.

Лит.: 1) Lundegårdh H., Die quantitative Spektralanalyse der Elemente, Jena, 1929; 2) Lundegårdh H., Die quantitative Spektralanalyse der Elemente, Teil 2, Jena, 1934; 3) Gerlach W. u. Schweitzer E., Die chemische Emissionsspektralanalyse, Lpz., 1930; 4) Gerlach W. u. Gerlach W., Die chemische Emissionsspektralanalyse, T. 2, Lpz., 1933 (со списком литературы); 5) Scheibe G., Chemische Spektralanalyse, в книге: Physikalische Methoden der Analytischen Chemie, hrsg. von W. Röttger, T. 1, Lpz., 1933 (со списком литературы); 6) Lewis J., Spectroscopy in

Science and Industry, L., 1933; 7) Löwe F., Optische Messungen des Chemikers und des Mediziners, Dresden, 1933; 8) Вороник С. и Филиппов А., Спектральный анализ, «Современные физико-химические методы химического анализа», Сб. ст. под ред. С. Чукарева, вып. 1, М.—Л., 1932; 9) The Practice of Spectrum Analysis with Hilger Instruments, L., 1935 (со списком литературы); 10) Русанов А., «Журн. прикл. хим.», 1935, т. 8, № 3; 11) V a r g a t t, Поляризационный фотометр при работе с двумя искрами, Ан. II. 320136/28; 12) Scheib e G., «Ztschr. f. angew. Ch.», 1931, V. 44; 13) Scheib e G. und L i m m e r G., «Metallwirtschaft», Berlin, 1932, V. 14; 14) Scheib e G. u. L i m m e r G., «Fortsch. u. schenberichte des Gutehoffnungshütte-Konzerns», 1932, 2; 15) Occhiali ni H., «Atti della Accademia dei Lincei», Roma, 1929, s. 6, v. 9, 1931, v. 13; 16) Corsi A., «Nuova Cimento», 1929, 6; 17) Lockyer J. A. Roberts W., «Proceedings of the Roy. Soc. of London», 1873, v. 21; 18) Lundegårdh H., «Ztschr. f. Physik», B., 1930, 6; 19) Ландсберг Л., Мандельштам С., Райский С., «Журн. технической физики» (1933), т. 3) вып. 5; 20) Russanow A., «Z. f. analyt. Chem.», Mch., 1935, V. 38; 21) Pollock K., «Proceedings of the Roy. Soc. of Dublin», 1907, II; 22) Leonard A., ibid., 1908, II; 23) Pollock J., ibid., 1909, II; 24) Leonard A. A. Whelan P., ibid., 1918, 15; 25) Hartley W., «Journ. of the Chem. Soc. of London», 1884, v. 4; 26) De Gramont A., «Bul. de la Société chimique de France», P., «Ztschr. f. anorg. Chem.», Lpz., 1931, V. 196; 27) W a s s e l X., «CR», 1923, t. 177; 28) F e s e l d t H., «Ztschr. f. physikal. Chemie», Lpz., 1929, V. 140; 29) K o h l r a u s c h F., Lehrbuch d. praktischen Physik, Mch.—B., 16 Aufl., 1930; 31) Negrosc o T., «CR», 1927, t. 185; 32) Laszlo E., «Ind. Eng. Chem.», 1927, v. 49; 33) Reiss A., «Naturwissenschaften», B., 1926, V. 14; 34) N i t s c h e C., «Ind. Eng. Chem.», 1929, 1; 35) F e s e l d t H., «Journal of the Soc. of Chem. Ind.», 1927, v. 46; 36) K e l l e r m a n n O., «Ztschr. f. physikal. Chem.», «Metallbörse», B., 1927, V. 17; 37) T h u r n w a l d H. u. H ü t t i g G., «Ztschr. f. anal. Chem.», Mch., 1929, V. 76 и 77; 38) Пустогалов Л., К методике спектральных исследований минеральных тел, «Труды института петрографии», М., 1926, вып. 4; 39) Метод и таблицы гомологических пар 3—5; 40) Лизунов Н., «Записки лаборатории», 1935, 8; 41) Т w y m a n F. A. H e s c h e G., «Proc. of the Roy. Soc. of London», 1931, s. A., t. 133; 42) R u t h a r d t W., «Ztschr. f. anorg. Chem.», Lpz., 1931, V. 195; 43) U r b a n P., «Bulletin de la Soc. chim. de France», P., 1930, s. 4, t. 47; 44) Scheib e G. u. S c h n e t t l e r O., «Naturwissenschaften», 1930, V. 18, 1931, V. 19 (Таблицы длины волны); 45) K a y s e r H., Tabelle der Hauptlinien der Linienspektren aller Elemente, B., 1926; 46) E x n e r F. u. H e s c h e K. E., Die Spektren der Elemente bei normaler Druck, W., 1911/12; 47) E d e r J. u. V a l e n t e A., Atlas Typischer Spektren, W., 1924; 48) S m i t h D., Visual Lines for Spectrum Analysis, L., 1928; 49) T w y m a n F. A. S m i t h D., Wavelength Tables for Spectra; 50) L o w e F., Atlas d. letzten Linien, Dresden—Lpz., 1928; 51) D e g r a m o n t A., «CR», 1920, t. 171. H. Лизунов.

**СТАТОР**, неподвижная часть электрик. машин переменного тока (см. *Генератор переменного тока и Индукционные машины*), состоящая из активного листового железа, рабочей обмотки (обмотки якоря) и корпуса. Железо набирается листами толщиной в 0,5 мм в пакеты шириной 8—10 см с воздушными промежутками между последними, к-рые используются в качестве каналов радиальной вентиляции. Обмотка располагается в проштампованных в активном железе пазах. Расположение обмотки в неподвижной части машины связано с целым рядом конструктивных удобств в смысле крепления и изоляции, допускающих применение обмоток большого суммарного сечения и высокого напряжения, т. е., иными словами, осуществление обмоток большой мощности. Части обмотки, находящиеся вне пазов, называются торцовыми частями. Они надежно укрепляются уже специальными конструктивными мероприятиями. Это особенно важно в том отношении, что все части мощных генераторов переменного тока должны выдерживать очень большие динамич. усилия, возникающие при внезапных коротких замыканиях (см.).

Корпус С. в настоящее время изготавливается в большинстве случаев сварной конструкции, что дает значительно экономию материалов и

труда. Корпуса делаются открытыми, закрытыми и полузакрытыми. Закрытые предназначаются для машин, требующих искусственной вентиляции (быстроходные машины большой мощности—турбогенераторы), и для машин, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях в смысле попадания в них влаги, грязи и производственной пыли. Тихоходные машины большой мощности имеют С. разъемными для возможности транспорта. Е. Нитусов.

**СТРАТОСТАТ**, аэростат (см.), предназначенный для полетов в стратосфере (см.). От обычного аэростата С. отличается объемом и нек-рыми деталями конструкции, в частности кабиной (гондолой). Полеты на С. производятся для научного исследования стратосферы, изучения вопросов пребывания человека в стратосфере и работы приборов в целях использования стратосферы для полетов в ней стратопланов и других видов аппаратов, тяжелее воздуха. В табл. 1

Табл. 1. — Высотные полеты на аэростатах в открытых кабинах, начиная с высоты 7 000 м.

Достигнутая высота в м	Год полета	Аэронавты (пилоты)	Объем аэростата в л <sup>3</sup>
7 016	1804	Био и Гей-Люссак	—
7 377	1839	Берсон и Зюринг	1 280
7 400	1803	Конгэ и Робертсон	—
7 400	1825	Федосеево	1 437
7 900	1839	Спенсер Рут	—
7 928	1894	Гросс и Берсон	2 600
7 955	1899	Берсон и Зюринг	1 280
8 330	1898	Спенсер и Берсон	1 603
8 417	1900	Годар и Вальза	—
8 600	1875	Тиссандье, Сивель и Кроше-Синиелли *1	3 003
8 839	1862	Глешер и Консельв	—
9 155	1894	Берсон	2 600
9 430	—	Витгалд и Люте	2 203
10 000	1934	Шренк, Мазох *2	8 600
10 500	1901	Берсон и Зюринг *3	8 400
11 000	1928	Малас *4	2 200
12 944	1927	Грей	2 265
12 953	1927	Грей (2-й полет) *5	2 265

\*1 Сивель и Синиелли погибли от удущья. Тиссандье пришел в себя при спуске с высоты 6 000 м и благополучно опустился. \*2 Пилоты погибли от удущья из-за неисправности кислородных аппаратов. \*3 На высоте 10 500 м оба пилота ввали в оборочное состояние, пришли в себя на высоте 6 030 м. Спуск благополучен. \*4 Погиб от удущья из-за неисправности кислородного аппарата. \*5 Нехватало запаса кислорода—Грей погиб от удущья.

приведены данные, относящиеся к высотным полетам на аэростатах в открытых корзинках. Аэростаты, предназначенные для полетов в верхних слоях тропосферы, называются теперь субстратостатами. Первый полет в стратосферу совершен Пинкром в 1931 г.; в табл. 2 помещены данные полетов в стратосферу С. до 1936 г. На фиг. 1 показаны сравнительные высоты, достигнутые С. Все поднявшиеся в стратосферу С. были снабжены герметич. гондолой, в к-рой помещались пилоты, необходимые приборы и кислородные аппараты, обеспечивающие жизнеспособность человека во все время полета. Почти все полеты в открытых кабинах до высот, близких к стратосфере, оканчивались катастрофой. Однако в дальнейшем возможно допустить полеты в стратосферу на С. с открытой гондолой при условии применения пилотами с к а ф а н д р о в — специальных костюмов, предохраняющих человека от действия на организм пониженного давления воздуха и низких  $t^{\circ}$ , снабженных кислородной аппаратурой для

Табл. 2.—Высотные полеты С. в закрытых набилах.

Дата полета	Страна	Название стратостата	Объем стратостата в м <sup>3</sup>	Кабина (гондола)	Аэронавты (пилоты)	Достигнутая высота в м	Продолжительность полета в час. и мин.	Пройденное расстояние в км
27/V 1931	Германия	FNRS	14 130	Герметич.	Пиккар и Копфер	15 781	16 ч.	—
18/VIII 1932	»	»	14 130	»	Пиккар и Коэинс	16 800	12 ч. 5 м.	—
5/VIII 1933	СССР	Век прогресса	16 300	»	Сеттль *1	200	15 м.	—
30/IX 1933	СССР	СССР-1	24 000	»	Прокофьев, Годунов, Бирнбаум *2	19 000	10 ч.	100
20/XI 1933	СССР	Век прогресса	16 300	»	Сеттль и Фордни	18 862	9 ч.	—
30/I 1934	СССР	Осоавиахим-1	23 000	»	Федосеево, Васенко и Усытин *3	22 000	19 ч. 19 м.	—
28/VII 1934	США	Эксплорер	84 000	»	Кепер, Стевенс и Андерсон *4	18 474	10 ч.	1 094
18/VIII 1934	Бельгия	Век прогресса	16 000	»	Коэинс и Вандер-Эльст	15 996	14 ч. 15 м.	1 000
22/X 1934	США	»	16 900	»	Жан Пиккар с женой	17 672	8 ч. 48 м.	322
25/VI 1935	СССР	СССР-1 бис	24 000	»	Зилле, Прилуцкий, Вериго	16 000	—	—
11/XI 1935	США	Эксплорер 2	104 000	»	Стивенс и Андерсон	22 700	—	—

\*1 Полет был прекращен на высоте 200 м. \*2 Мировой рекорд высоты, державшийся до 1935 г. \*3 Пилоты погибли при спуске. \*4 Гондола оторвалась от оболочки стратостата на высоте 2 500 м. Пилоты спаслись при помощи индивидуальных парашютов.

дыхания и обогревательным приспособлением. Идея применения герметической гондолы для полета в высокие слои атмосферы была впервые высказана во Франции Тридоном в 1871 г. и впервые осуществлена Пиккаром. Первому удачному полету Пиккара предшествовала неудачная попытка (30/IX 1930 г.), когда сильный ветер прижал оболочку к земле. Во время полета Пиккара 27/V 1931 г. С. достиг высоты 15 000 м через 25 мин. после начала подъема; такая скорость подъема не дала возможности Пиккару производить научные наблюдения. Через 2 ч. 35 мин. после начала полета обнаружилось, что вследствие обрыва клапанной веревки нельзя было открыть клапан для выпуска части газа с целью спуска; пришлось ждать, пока подъемная сила газа под влиянием охлаждения его (вследствие захода солнца) уменьшится. Гондола еще на старте получила трещину, которую заделывали уже в полете, ряд приборов испортился вследствие быстрого подъема, ртуть разбившегося барометра едва не развела стенки гондолы. Все это способствовало тому, что научные результаты полета оказались невелики. Вторичный подъем Пиккара 18/VIII 1932 г. на той же оболочке, но с другой гондолой был более удачным. Верхний люк гондолы был герметически закрыт на высоте 1 500 м. Подъем С. происходил сначала медленно, за первые 40 мин. только на 1 600 м, затем под влиянием нагревания солнечными лучами водород в оболочке стал быстро расширяться, и за 14 мин. С. достиг высоты 8 500 м, после чего подъем снова замедлился. Вследствие отсутствия у гондолы амортизирующего приспособления она при спуске на землю сильно подпрыгнула и перевернулась, часть приборов разбилась. Основная задача Пиккара во время обоих полетов — изучение космических лучей на большой высоте — не была выполнена с достаточной полнотой. Все же удалось выяснить увеличение интенсивности космич. лучей по мере подъема в стратосфере.

Первый полет Сеттля 5/VIII 1933 г. с территории Чикагской выставки окончился неудачно. Поднявшись на высоту 200 м, С. упал на одну из улиц Чикаго. Первый в мире удачный во всех отношениях полет в стратосферу, установивший мировой рекорд высоты, был полет С.

«СССР-1» 30/IX 1933 г. (Прокофьев, Годунов и Бирнбаум).

Старт дан в 8 ч. 40 мин., валет быстрый, через 5 мин. высота 2 000 м, задрываются лазы, еще через 15 мин. — 6 000 м. В 9 ч. 47 мин. С. уравновесился на высоте 17 500 м; дальнейший подъем — за счет сбрасывания балласта;  $t^{\circ}$  в гондоле +25—30°, снаружи —65°. В 12 ч. 55 мин. достигнута рекордная высота 19 000 м, после чего С. пошел вниз; на 6 000 м открываются лазы. Спуск очень плавный, гондола коснулась земли амортизатором и осталась на нем стоять. Все приборы в исправности. Во время полета произведено много ценных научных наблюдений и взяты пробы воздуха на разных высотах. 20/XI 1933 г. Сеттль и Фордни установили мировой рекорд высоты буржуазных стран в 18 862 м, что однако ниже действительного рекорда высоты, установленного С. «СССР-1» и державшегося до 1935 г.

30/I 1934 г. — полет С. «Осоавиахим-1», окончившийся гибелью. Как установлено по записям т. Васенко в бортовом журнале, начавшийся в 9 ч. 04 мин. подъем протекал нормально до высоты 19 500 м, каковая являлась зоной равновесия (зоной, на которой подъемная сила газа в оболочке равняется полному весу С., для «Осоавиахим-1» 2 480 кг) и была достигнута через 1 ч. 6 мин. Наличие балласта (580 кг дробы и аварийный балласт — приборы и личные вещи — 200 кг) обеспечивало нормальный спуск с этой высоты. Сбрасыванием затем 360 кг балласта и использованием увеличения подъемной силы газа за счет нагрева его солнечными лучами (что вызвало расширение газа в оболочке и выход части его через аппендикс) в 12 ч. 15 мин. была достигнута рекордная высота в 22 км; благополучный спуск с этой высоты требовал наличия на борту значительно большего количества балласта, чем оставалось. В 12 ч. 33 мин. начался спуск, однако скоро прекратившийся и возобновившийся в 13 ч. 20 мин. после продолжительного открытия клапана. Выполнившийся от разогрева С. с высоты 21 500 м в 13 ч. 51 мин. снова пошел вверх. В 14 ч. 20 мин. — высота 21 200 м, начался очень медленный спуск. В 15 ч. 15 мин. — высота 17 400 м, спуск ускоряется, в 16 ч. 13,5 мин. — высота 12 000 м. Дальнейших записей нет. Скорость спуска увеличива-



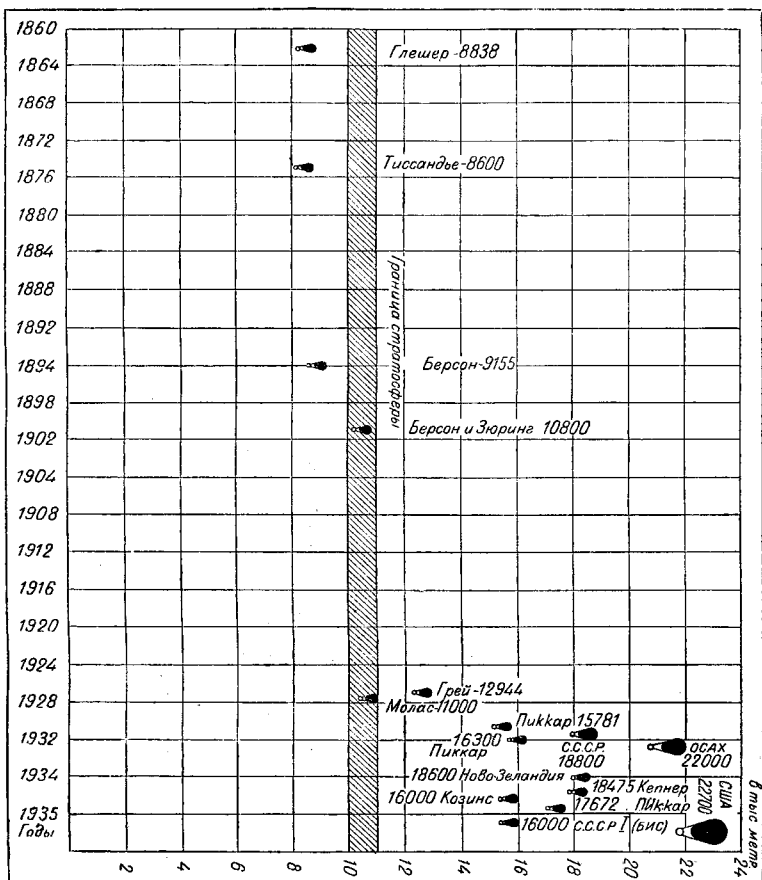
ется вследствие понижения  $t^\circ$  газа в оболочке из-за уменьшения интенсивности солнечной радиации и из-за отбегания оболочки холодным воздухом ( $t^\circ$  воздуха  $-50^\circ$ ,  $t^\circ$  газа внутри оболочки на высоте 22 000 м ок.  $+4^\circ$ ). В 16 ч. 23 мин. оторвавшаяся от оболочки гондола ударилась о землю; т. е. скорость падения, приведенная к плотности воздуха у земли,  $-12-15$  м/сек. По наиболее вероятному анализу причин катастрофы, данному

Прокофьевым, катастрофа произошла вследствие разрыва апендиксовой удержки, вызванного быстрым спуском, что способствовало мгновенному образованию из оболочки парашюта (нижняя часть оболочки с силой вдавилась внутрь оболочки) искаженной формы. Благодаря возникновению больших усилий в стропях вследствие быстрого торможения спуска произошел разрыв гусиных лапок. Неудачная скользящая подвеска при разрыве одной гусиной лапки (их было 64) выводила из строя основную стропу (их было 8) и тем самым вызвала увеличение нагрузки в остальных стропях. Все это вместе и вызвало резкий крен и качание гондолы, что не дало возможности пилотам принять меры к замедлению спуска путем выбрасывания балласта (а вероятен и удар пилотов о выступы и стенки гондолы) и вызвало дальнейший обрыв строп.

Несмотря на гибель С. полет «Осоавиахим-1» дал ценные научные материалы, частично восстановленные по записям наблюдений, производившихся пилотами.

28/VII 1934 г. — полет американского С. «Эксплорер» с целью побития советского рекорда и проведения ряда научных исследований. Объем С. был рассчитан для достижения 27 км. Люки гондолы были закрыты на высоте 4 500 м. Через 5 ч. 19 мин. после начала подъема была достигнута высота 12 000 м, подъем затем продолжался до высоты 18 474 м, когда был замечен разрыв в нижней части оболочки; С. начал быстро опускаться. На высоте 6 500 м нижняя часть оболочки оторвалась, верхняя преврати-

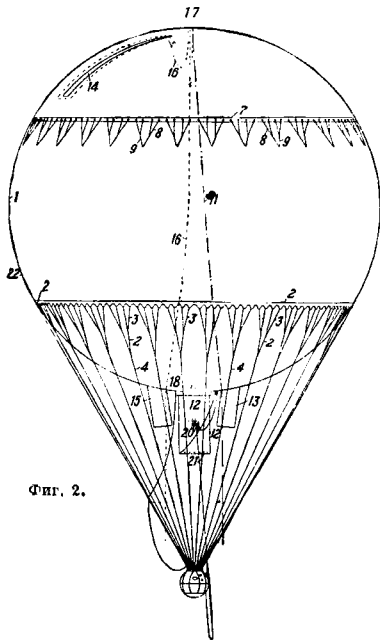
лась в подобие парашюта, С. опускался со скоростью 4 м/сек. На высоте 2 500 м гондола оторвалась от оболочки. Попытка пилотов раскрыть специальный большой парашют для всей гондолы не удалась. Пилоты выбросились на парашютах с высоты 900, 500 и 150 м. Причины катастрофы точно не установлены, наиболее вероятная причина разрыва оболочки — недостаточная конструкция ее и системы подвески и образова-



Фиг. 1.

ние в материи оболочки складок при влете, вызвавших рывки при расправлении их по мере расширения газа. Почти все приборы, бывшие в гондоле, при падении ее разбились; уцелел только один спектрограф, сброшенный заранее на парашюте. Поэтому несмотря на многочисленные научные наблюдения, произведенные во время полета, научный результат его был невелик. 18/VIII 1934 г. — полет проф. Козинса с целью изучения воздушных течений, температурных колебаний в стратосфере и космических лучей. Подъем происходил со скоростью сначала 4 м/сек, затем 3 м/сек. Спуск благополучный. 23/X 1934 г. — полет Жана Пиккара (брата проф. Пиккара) на оболочке и гондоле С. Сеттля «Веж

прогресса». Поднявшись на небольшую высоту, С. снова опустился; вторичный подъем удачный, но при посадке оболочка зацепилась за деревья и разорвалась. Научные результаты—гл. обр. по изучению космич. лучей. 25/VI 1935 г. полетом «СССР-1 бис» с тт. Зилле, Прилуцким и проф.

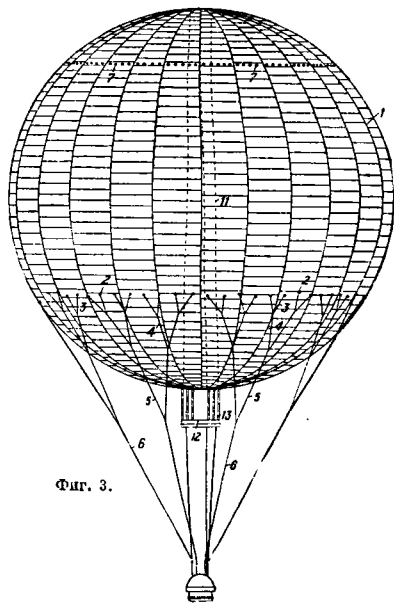


Фиг. 2.

Вериги достигнута высота 15 900 м. Во время полета произошел разрыв оболочки; вследствие выхода части газа из оболочки скорость снижения С. постепенно увеличивалась. Для уменьшения ее проф. Вериги с 4 000 м и т. Прилуцкий с 2 000 м выбросились на парашютах. В результате этого, а также и вследствие увеличения сопротивления оболочки, принявшей при этом форму, напоминающую парашют, стропа, соединяющая аппендиксовую узелку с подвесным обручем, разорвалась. Это обстоятельство и послужило спасением положения; скорость падения уменьшилась и С. с т. Зилле на борту благополучно опустился. Гондола осталась цела, помялся только амортизатор. Полет дал наиболее ценный из всех полетов на С. научный материал. Несмотря на короткий полет стратонавт произвел большое количество наблюдений; все приборы и запись показаний их сохранились в целости. В ноябре 1935 г. американцы Стивенс и Андерсон на С. «Эксплорер 2» достигли высоты 22 700 м. В 1936 г. намечается полет Херрера (Испания) в открытой гондоле со скафандром. С. объемом 24 000 м<sup>3</sup>. Задача полета—испытание скафандра в полете. Проф. Пиккар проектирует С. объемом 113 000 м<sup>3</sup> для подъема на 30 500 м.

**Конструкция С.** Построенные до сего времени С. мало конструктивно отличаются от обычных сферич. аэростатов. На фиг. 2 — схема С. Пиккара, на фиг. 3 — схема С. «Осоавиахим-1» и на фиг. 4 — схема С. «СССР-1». Оболочка 1 изготовляется обычно не из одинаковой, как у аэростатов, ткани, а из разных в зависимости от

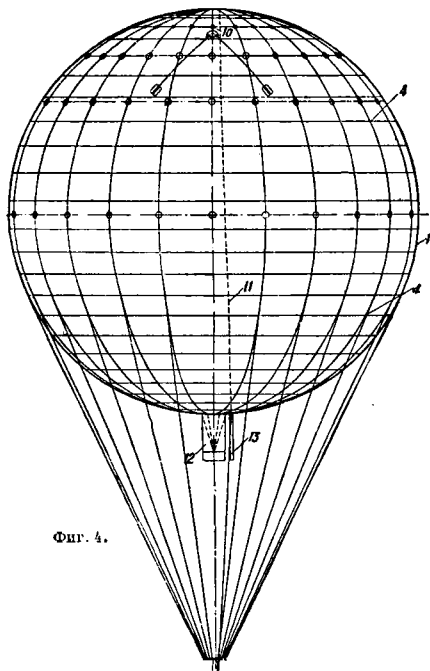
конструкции подвески — из трех или двух сортов ткани различной прочности и газопроницаемости. Употребляется одно-, двух- и трехслойный прорезиненный перкаль или шелк. Оболочки первого С. Пиккара, «СССР-1» и «Осоавиахим-1» были из прорезиненного перкаля, второго С. Пиккара и американского С. «Эксплорер» — из прорезиненного шелка. Верхняя часть оболочки делается из двухслойной или более плотной однослойной ткани, нижняя — из однослойной. Самый верх купола в случае крепления к нему строп делают, как напр. в С. «СССР-1», из трехслойной ткани. Газонепроницаемость верхней части оболочки д. б. больше, чем нижней, т. к. в начале подъема и при спуске газом наполнена только верхняя часть оболочки; оболочка целиком выполняется только в зоне выполнения, и при происходящем во время дальнейшего подъема расширении газа и выходе его через аппендикс допустима потеря газа вследствие газопроницаемости оболочки. Примерные данные двухслойного прорезиненного перкаля: вес 200—250 г/м<sup>2</sup>, временное сопротивление по основе 1 100—1 300 кг/м, по утку 800—950 кг/м, удлинение по основе 4—6%, по утку 10—12%, газопроницаемость 15—20 л/м<sup>2</sup> в сутки; однослойного перкаля: вес 150—220 г/м<sup>2</sup>, временное сопротивление по основе 550—950 кг/м, по утку 500—870 кг/м, удлинение по основе и утку, как и у двухслойного, газопроницаемость 20—35 л/м<sup>2</sup> в сутки. Вес материи (однослойной) оболочки С. Пиккара «FNRS» в верхней части (3/4 шара): перкаль 90 г/м<sup>2</sup>, слой прорезинки 110 г/м<sup>2</sup>, всего 200 г/м<sup>2</sup>; в нижней части (1/4 шара) вес перкаля 55 г/м<sup>2</sup>, прорезинки 110 г/м<sup>2</sup>, всего 165 г/м<sup>2</sup>;



Фиг. 3.

вес материи С. «СССР-1», начиная от верхнего усиления и до нижней части оболочки, 220 г/м<sup>2</sup>, вес нижней части 165 г/м<sup>2</sup>; вес материи «ОАХ-1»: верхняя часть до поясных лап (двухслойный перкаль) 250 г/м<sup>2</sup> и нижняя часть (однослойный перкаль) 180 г/м<sup>2</sup>. Вес оболочки

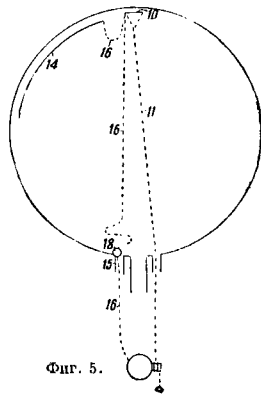
из прорезиненного шелка  $125 \text{ г/м}^2$  (на строящемся испанском С.); в новом проекте С. Пиккар рассчитывается иметь вес шелковой оболочки  $67 \text{ г/м}^2$ , из них вес шелка  $32 \text{ г/м}^2$  и слой прорезинки  $35 \text{ г/м}^2$  при прочности  $500-550 \text{ кг/м}$  и газопроницаемости  $30 \text{ л/м}^3$  в сутки. Обычно оболочка сшивается и склеивается из ряда полотнищ (оболочка С. «Эксplorер» только склеивалась); число полотнищ у С. Пиккара 100 (раскрой меридиональный), у наших С.—24 и 25 (раскрой трапециoidalный); шов (при сшивке) одно- или двухрядный, ширина строчек ок. 20—25 мм; на швы накладываются ленты (с обеих сторон или только с наружной) шириной 25—30 мм. Снаружи оболочка покрывается алюминиевым порошком или окрашивается в желтый цвет, что делается с целью уменьшения вредного влияния на нее ультрафиолетовых лучей, вес слоя окраски 10—25  $\text{г/м}^2$ . Значительную опасность в полете и особенно на старте представляет возможная электризация оболочки и проскакивание искры вследствие образования на ней разницы потенциалов. Помимо принятия соответствующих мер на старте (наполнение оболочки газом не снизу, а сверху, посыпание места старта порошком графита, пропускание газа через фильтр, плотное соединение шлангов и пр.) необходимо исследование состава окраски обо-



Фиг. 4.

лочки с точки зрения уничтожения возможности накопления на ней статических зарядов (и тем предотвращения образования опасных электрических разрядов). С этой целью в состав покрытия оболочки можно вводить раствор хлористого кальция, глицерина и других гигроскопич. веществ; окраска алюминиевым порошком очевидно хуже; по произведенным в Германии

опытам она способствует проскакиванию искры. Подвесной такелаж, связывающий гондолу с оболочкой, бывает 3 основных типов: 1) как в С. Пиккара (фиг. 2) — на оболочку в нижней ее части в местах касания строп нашит и приклеен кольцевой пояс 2 из прочной материи с параболич. фестонами (128 шт.), к к-рым прикрепляются первые спуски 3, переходящие затем во вторые спуски 3; два вторых спуска переходят в одну стропу 4; стропы (всего 32 шт.) прикрепляются к строповому кольцу над гондолой; 2) в С. «ОАХ-1» (фиг. 3) на оболочке были нашиты и приклеены 64 пятилучевые лапы 2 размером  $325 \times 328 \text{ мм}$ , от к-рых шли гусиные лапки 3, переходящие в 32 первых спуска 4, затем — в 16 вторых спусков 5 и наконец — в 8 строп 6. Недостаток этой подвески — подвижное (скользящее) соединение строп со спусками и т. д.,

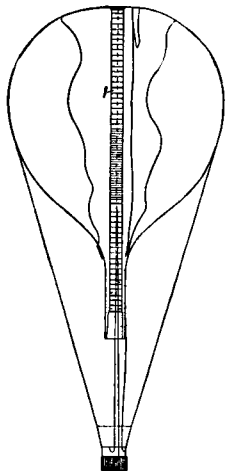


Фиг. 5.

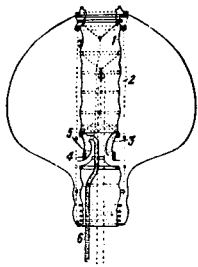
благодаря чему при разрыве одной гусиной лапки выбывает из строя одна из восьми строп. Во всех аналогичных системах диам. веревки уменьшается при переходе от строп к гусиным лапкам (см. далее расчет подвески); 3) в С. «СССР-1» стропы (24 шт.) прикреплялись не к поясу, а к веревочному кольцу (диам. 8 м) усиленной верхней части купола оболочки; на оболочке стропы укреплялись при помощи матерчатых шайб; такая система гораздо целесообразнее. Возможен и 4-й тип: крепление разветвляющихся от строп спусков и гусиных лапок к веревочной сети, которая охватывает всю (как в аэростах с сетью) оболочку или, что лучше, часть ее; тогда в верхней части сеть постепенно переходит в стропы, крепящиеся к усилению в верхней части купола или к нашитому в верхней половине оболочки параболич. поясу. Стropы, спуски и гусиные лапки — пеньковые или шелковые веревки; при системе подвески, как в «СССР-1», возможны ленты. Прочность стропы в С. Пиккара — 800 кг, в «СССР-1» — 1500 кг, в «ОАХ-1» — 1600 кг. Поясной такелаж, служащий для удержания С. на старте, состоит из находящегося в верхней части оболочки пояса 7 с гусиными лапками 8 и спусками 9, как у Пиккара (фиг. 2), или из матерчатых лап 7, нашитых и наклеенных на оболочку, как у «ОАХ-1» (100 лап размером  $378 \times 286 \text{ мм}$ ) (фиг. 3). От пояса или лап идут поясные веревки, за которые стартовая команда и удерживает С., при отправлении С. в полет они могут выдергиваться. Вверх оболочка на полюсе клапан 10 (фиг. 4), от которого идет клапанная веревка 11 в гондолу, выходя из оболочки через основной аппендикс 12 или, как обычно, через дополнительный 13 меньшего диам. рядом с основным; иногда клапан помещается не на полюсе, а на некотором расстоянии от него; на С. «Эксplorер» клапан пневматический, открывавшийся из гондолы сжатым воздухом, подводящим к клапану через автомобильный шланг. Клапаны стратостатов Пиккара, «СССР-1» и «ОАХ-1» (фиг. 2 и 5) — тарел-

лочные диаметром 0,65, 0,85 и 0,75 м, весом 7,14, 14 кг; усилие, необходимое для открытия клапана, 25—30 кг. Разрывное полотнище 14 наклеено изнутри на вырез в верхней части оболочки; от него через второй добавочный аппендикс 15 идет разрывная вожжа 16 к стропо-вому кольцу над гондолой; расстояние между гондолой и разрывным полотнищем по мере выполнения оболочки уменьшается, вожжа провисает, поэтому необходимо предусмотреть невозможность запутывания ее о стропы. В целях устранения возможности случайного вскрытия разрывного полотнища (отрыв рассчитан под грузом в 55 кг) разрывная вожжа идет через аппендикс не непосредственно от разрывного полотнища, а проходит через карабин 17, с которого

надо сорвать разрывную вожжу, прежде чем вскрыть разрывное. Кроме того некоторая слабина дается разрывной вожже, как это видно из схемы фиг. 5, и внутри оболочки путем закрепления вожжи 18 в оболочку добавочного аппен-



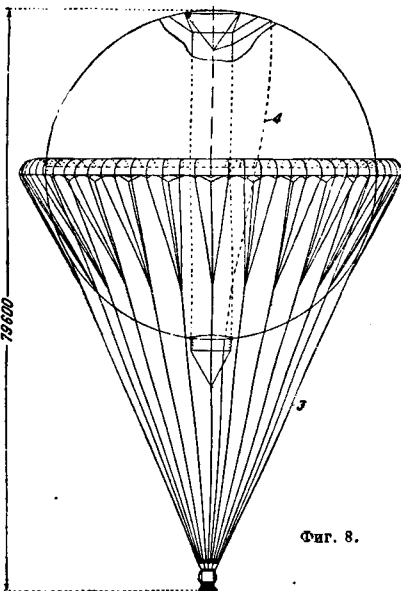
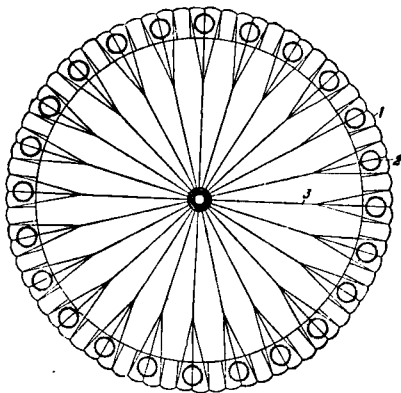
Фиг. 6.



Фиг. 7.

дикса. В С. Пиккара в месте присоединения к оболочке основного аппендикса 12 — кольцо 19, внутри аппендикса—рукав 20, завязанный на старте и развязывающийся при полете, и в нижней части—кольцо Пэшла 21, назначение которого впускать воздух в оболочку при спуске С. по мере сжатия газа, с тем, чтобы она имела вид, выполненный в том, что тем самым больший коэффициент сопротивления при спуске). Сбоку в оболочке имеется одно или два отверстия 22 с завязывающимся рукавом для наполнения ее газом. Наполнение газом через нижний аппендикс производить не следует, так как в матери верхней части оболочки могут при этом возникнуть значительные напряжения (благодаря вытягиванию оболочки вверх); при очень больших объемах С. целесообразно производить наполнение газом через рукав в верхней части оболочки. Диаметр основного аппендикса у построенных С.  $\approx 2,5$  м, диам. добавочных 0,5—1,5 м. Вес оболочки с клапаном, разрывным полотнищем и аппендиксом в первом С. Пиккара—ок. 700 кг, такелаж—50 кг, «ОАХ-1»—950 и 50 кг, «СССР-1»—990 и 130 кг, С. Козинса—735 кг. В С. Козинса внутри оболочки была устроена матерчатая шахта, позволяющая регулировать высоту подъема и останавливать С. на определенной высоте. Та же цель преследовалась и в субстратостате «Барч фон Зигсфельд» (фиг. 6) (схема на фиг. 6 и схематич. разрез шахты

на фиг. 7). От верхнего полюса внутри субстратостата проходит (выходя наружу снизу) шахта 1, через нее отводится (вверх) расширяющийся при подъеме газ (вместо обычного выхода его через аппендикс); шахта может складываться в виде гармошки, от сжатия ее предохраняет ряд колец 2. Благодаря наличию внутри шахты особого приспособления—подвижного аппендикса 3, конусообразной мембраны с клапаном



Фиг. 8.

кольцом 4, устанавливаемой (управлением из гондолы) на любой высоте шахты и регулирующей открытие и закрытие клапана камеры наружного воздуха 5, соединенной с атмосферой при помощи рукава 6, обеспечивается выпуск газа из оболочки при любой степени выполнения ее, тем самым дается возможность уравновеситься и совершать полет на выбранной высоте. Существующие С. (кроме субстратостата «Барч фон Зигсфельд») мало отличаются по своей конст-

рукции от обычных аэростатов. Недостаток их — необходимость наличия на борту большого количества балласта (до 30% от полной подъемной силы — см. расчет балласта), позволяющего затормозить скорость спуска С., которая в случае потери большого количества газа м. б. катастрофично велика. В целях устранения необходимости брать много балласта и во избежание перегрева газа при подъеме и охлаждения при спуске инж. Лебедевым предложена следующая конструкция С. Вокруг оболочки С. по экватору (фиг. 8) нашить и приклеено парашютное кольцо 1, имеющее ряд круглых вырезов 2; от кромок этого кольца идет ряд строп 3, по три к каждой стороне оболочки. При подъеме стратостата парашютное кольцо висит вокруг оболочки, при спуске парашют раскрывается. Назначение парашюта — уменьшить скорость спуска, что достигается благодаря а) увеличению парашютирующей поверхности и б) увеличению коэф-та лобового сопротивления формы. Оболочка обычного С. по мере спуска при происходящем при этом уменьшении объема газа принимает грушевидную, сравнительно хорошо обтекаемую вертикальным потоком воздуха форму, благодаря чему ее коэф. лобового сопротивления небольшой, сравнительно мала также и площадь сопротивления формы. Даже в случае спуска выполненной воздушной оболочки, при наличии напр. кольца Пэцли, коэф. лобового сопротивления ее не велик (как шара  $C_x = 0,25$ ); наличие парашюта и в этом случае помимо увеличения площади сопротивления даст и значительное увеличение  $C_x$  всей формы; при невыполненной же оболочке увеличение площади лобового сопротивления частично достигается и за счет горизонтальной слагающей силы лобового сопротивления парашютного кольца, способствующей растягиванию оболочки. Парашют вокруг оболочки предлагался и ранее (еще в одном из монгольфьеров), однако наличие одного парашютного кольца при спуске придает С. неустойчивость и он будет раскачиваться, что нежелательно; ряд вырезов в парашютном кольце совершенно меняет дело и, как показали опыты с большими моделями, дает С. плавный и устойчивый спуск. Превращение оболочки в парашют происходит постепенно при помощи стягивающей системы 4, состоящей из ряда веревочных тяг, идущих от нижней части оболочки (у аппендикса) к верхней (вокруг полюса), перекинутых затем через блочки и идущих далее (переходя в одну тягу) через аппендикс наружу к гондole. Притягивание нижней части оболочки к верхней по мере уменьшения объема газа в оболочке происходит автоматически под действием силы веса гондолы и может также регулироваться пилотом при помощи наматывания веревки на барабан внутри гондолы, куда эта веревка пропущена через приспособление в стенке ее, аналогично приспособлению, служащему для ввода клапанной веревки. Эти простые добавочные к обычному С. устройства позволяют иметь полную уверенность, что даже при разрыве оболочки в воздухе скорость спуска будет, напр. для С. объемом 40 000 м<sup>3</sup>, не больше 4,5 м/сек, тогда как в этом же случае при обычной системе С. катастрофа неминуема. По сравнению с нормальным С. на С. предлагаемой системы м. б. при том же объеме достигнута большая высота подъема; изменения атмосферных условий во время полета С. меньше влияют на выполнение полета и нормальный спуск С. Вес добавочного устройства сравнительно с весом всей оболочки ничтожен.

**Расчет оболочки на прочность** для выполненной оболочки на воне выполнения. Отсечем мысленно нижнюю часть оболочки *BED* (фиг. 9), заменив ее действие силами натяжения  $t$  кг/п. м, равномерно распределенными по окружности основания сферич. сегмента *BCD*. Ур-ие равновесия сил:

$$A_{c,c} + (p_0 + ah)\pi r^2 - 2\pi r \sin \alpha - Q = 0; \quad (1)$$

т. к. сверхдавление у нижней основания аппендикса равно 0, то

$$U_{c,c} + a + ah\pi r^2 - 2\pi r \sin \alpha - Mq = 0; \quad (1')$$

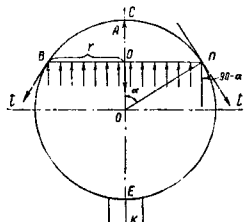
здесь  $A_{c,c}$ ,  $U_{c,c}$ ,  $r$  и  $M$  — подъемная сила газа, объем, радиус основания и поверхность сегмента *BCD*,  $a$  — удельная подъемная сила газа на воне выполнения,  $q$  — вес 1 п. м оболочки (верхнего сферич. сегмента) и  $h = KO' = R(1 + \cos \alpha)$ . Из ф-лы (1')

$$t = \frac{U_{c,c} + a + ah\pi r^2 - Mq}{2\pi r \sin \alpha}. \quad (2)$$

Наибольшая величина  $t$  — в верхней части оболочки. Обычно напряжение в оболочке сферич. аэростата считают по ф-ле Ренара:

$$t = \frac{p_h R}{2}.$$

где  $p_h$  — сверхдавление в оболочке на расстоянии  $h$  от основания аппендикса; однако  $t$  по этой ф-ле получается меньше, чем по более правильной ф-ле (2). Расчет невыполненной оболочки аналогичен; здесь  $a$  увеличивается и  $h$  уменьшается. Принимая коэф-т безопасности материала  $k$ , необходима материя с разрывающим усилием не менее  $kt$ . Берут  $k$  не менее 12, желательно до 26, т. к. возможны значительные местные напряжения в оболочке в нижней ее части при заполнении газом (невыполненной) поднимающейся вверх оболочки, когда происходит расправление складок (могутся сгруппироваться) оболочки. Стропы подвески рассчитываются на вес  $Q$  гондолы с приборами, оборудованием, балластом и экипажем. В каждой основной стропе усилие



Фиг. 9.

где  $n$  — число основных строп, а  $\varphi$  — угол между вертикалью и направлением стропы. Если каждая стропа от гондолы к оболочке разветвляется на 2 спуска, то усилие в спуске

$$T_{сн} = \frac{T_{стрп.}}{2 \cos \varphi_1},$$

где  $\varphi_1$  — угол между направлением стропы и спуска; в случае дальнейшего разветвления спусков, напр. на гусиные лапки, расчет ведется аналогично. Веревки для строп подбираются по разрывающему усилию при том же (не менее) коэффициенте безопасности, что и у оболочки. Диаметр  $D_{max}$  поперечного сечения аппендикса определяется из расчета скорости подъема  $v_n$  выполненной оболочки, т. е. после достижения С. з о н ы в ы п о л н е н и я. Задавая  $v_n = 10 - 12$  м/сек, определяем объем газа  $\Delta U$ , к-рый должен выходить через аппендикс за 1 сек (секундное приращение объема газа в оболочке вследствие его расширения), исходя из ф-лы

$$\frac{U_{n1}}{U_n} = \frac{a_n}{a_{n1}},$$

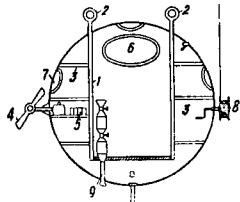
где  $U_n$  — объем газа на данной высоте (объем оболочки);  $U_{n+1}$  — объем газа через 1 ск., т. е. при подъеме  $S$ . на 12 м выше;  $a_{n+1}$  и  $a_n$  — на тех же высотах. Принимая  $n_1 = H + 12$ , определим

$$\Delta U = U_n (a_{n+1} - 1).$$

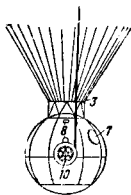
Приравняв  $\Delta U$  выпускной способности аппендикса  $Q_{\text{атт.}}$ , получим

$$\Delta U = Q_{\text{атт.}} = kF_{\text{атт.}} \sqrt{\frac{2pr}{\gamma_1}},$$

где  $k$  — коэф. сжатия струи (для аппендикса м. б. принято  $k=0,75$ ),  $F_{\text{атт.}}$  — площадь поперечного сечения аппендикса,  $p$  — сверхдавление га-

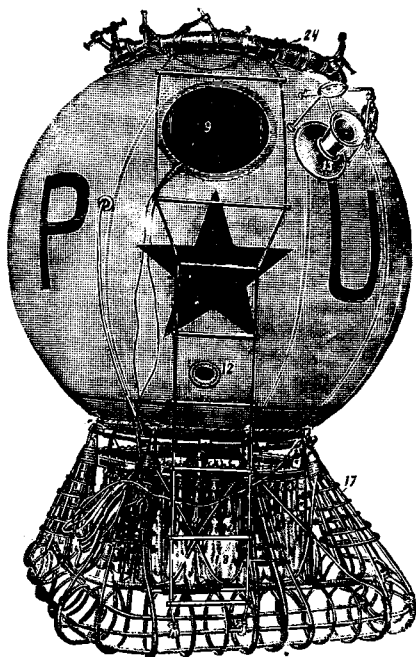


Фиг. 10а.



Фиг. 10б.

за на уровне верхнего кольца аппендикса в  $\text{кг/м}^2$  (на зоне выполнения),  $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$  и  $\gamma_1$  — вес 1  $\text{м}^3$  газа (на зоне выполнения). Определим  $F_{\text{атт.}}$  и  $D_{\text{атт.}}$ . Диаметр клапана определяется из расчета задаваемой секундной пропускной спо-



Фиг. 11.

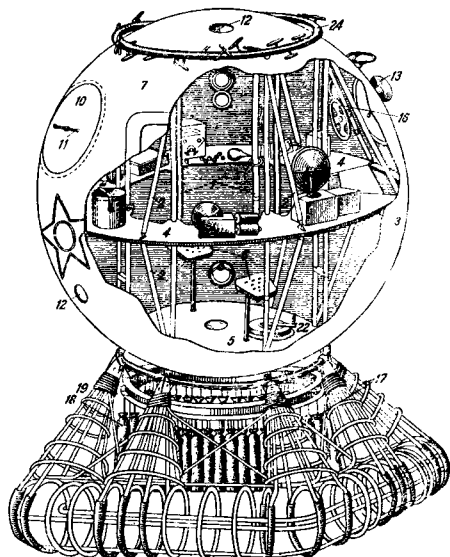
собности клапана  $Q_{\text{кл.}}$  (можно принять  $Q_{\text{кл.}} = 0,03 - 0,035\%$  от объема выполненной оболочки  $U$ ). Тогда площадь гнезда клапана или боковая поверхность цилиндра с диаметром гнезда клапана и высотой, соответствующей подъему та-

релки над гнездом (надо брать меньшую из этих площадей),  $F_{\text{кл.}}$  определится по той же ф-ле, что и для аппендикса:

$$F_{\text{кл.}} = \frac{Q_{\text{кл.}}}{k_1 \sqrt{\frac{2pr}{\gamma_1}}};$$

в этом случае берем  $k_1 = 0,5$ ;  $p$  берем в верхней точке оболочки на зоне равновесия.

**Гондола стратостата.** Требования, предъявляемые к гондоле: герметичность стенок, быстро открывающиеся и закрывающиеся герметические люки, надежное и герметичное устройство управления клапаном, достаточный для пребывания и работы людей объем, возможность удобного расположения оборудования и приборов, хороший обзор из гондолы, амортизатор, предохраняющий людей и инструменты от повреждения при посадке, наружная окраска, обеспечивающая поддержание внутри гондолы не слишком



Фиг. 12.

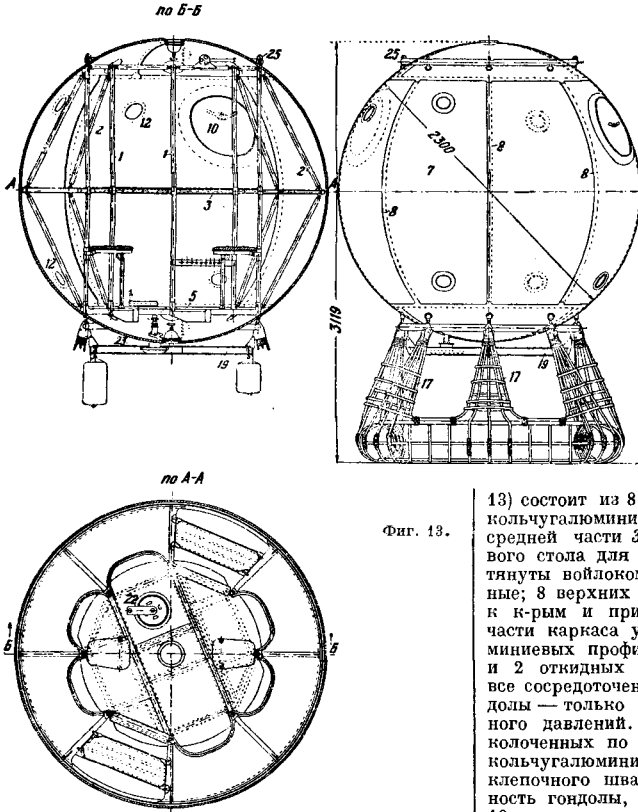
высоких и низких  $t^\circ$ , возможно меньший вес. Гондолы для С. — сварной или клепаной конструкции. Гондола состоит из каркаса, к которому обычно непосредственно крепится такелаж, идущий к строповому кольцу и далее от него к оболочке. Стенки гондолы из листового тонкостенного материала; наилучшая форма гондолы — шарообразная, так как при этом получается наименьшее напряжение в материале стенок вследствие разницы внутреннего и наружного давления воздуха. В сварных конструкциях материалом служит алюминий, сталь и силал с преобладанием магния, в клепаных — дюраль и кольчугаломиний. Размеры построенных гондол, веса и пр. даны в табл. 3. Особое внимание при сварке и клепке листов стенок гондолы обращается на герметичность гондолы. Наружная обшивка и окраска гондолы имеют целью предохранить людей от высоких (вследствие интенсивного нагревания солнечными лучами) и низких ( $t^\circ$  в стратосфере  $\sim -56^\circ$ ) темп-р; окраска построенных гондол — см. табл. 3. Первая гондола

Табл. 3.— Основные данные гондол С.

Стратостат	Диам. гондолы, м	Конструкция	Материал	Толщина стенок гондолы, мм	Врем. сопрот. на разрыв, кг/мм <sup>2</sup>	Вес гондолы, кг	Наружная окраска гондолы (цвет)
Пиккар, 1-й полет	2,2	Сварная	Алюминий	3,38	24	130	Половина алюминиевая, половина черная
Пиккар, 2-й полет	2,1	»	»	3,5	24	—	Вся алюминиевая
СССР-1	2,3	Клепаная	Кольчугалюминий	2	35	280	Вся алюминиевая
ОАХ-1	2,4	Сварная	Антимагнитная хромоникелевая сталь	0,8	60	250	Вся голубая Серая
Эксплорер	2,55	»	Сплав Ду (с 95% магнием)	3,5	—	205	Половина белая, половина черная

Пиккара (фиг. 10а и 10б) имела каркас из 8 алюминиевых трубчатых стоек 1, к к-рым снизу укрепляется пол; сверху стойки выходят наружу гондолы и оканчиваются кольцами 2, от к-рых идут тросы к строповому кольцу. От стоек внутри гондолы идет ряд поперечных распорок 3. Сна-

дой — для понижения. Это устройство оказалось неудачным, и во время полета 27/V 1931 г.  $1^{\circ}$  внутри гондолы, сначала резко упавшая, повысилась затем до  $41^{\circ}$ . В верхней части гондолы, сбоку, — герметически закрывающийся лаз 6 с диам. 500 мм (время, потребное на открытие лаза, ~25 сек.); в стенке гондолы — 8 иллюминаторов 7 из двойного стекла диам. 100 мм, толщиной 7,5 мм; снаружи гондолы укреплен барабан 8 для наматывания клапанной веревки, проходящей затем через герметич. приспособление в гондолу. Сбоку гондолы — клапан 9 для выпуска воздуха в гондолу. Над гондолой укреплен специальный гондольный парашют для замедления падения гондолы в случае разрыва оболочки. Благодаря окраске второй гондолы Пиккара целиком в светлый цвет тем-ра внутри нее во время полета была  $-20^{\circ}$ . На фиг. 11 изображен общий вид гондолы «СССР-1» (конструктор В. А. Чижевский), подготовленной к полету; на фиг. 12 видно внутреннее устройство ее (часть оболочки вырезана); на фиг. 13 — чертеж общего вида гондолы. Каркас гондолы (фиг. 12 и 13) состоит из 8 вертикальных 1, 16 наклонных кольчугалюминиевых труб 2 и 8 профилей в средней части 3, служащих основанием кольцевого стола для приборов 4, борта которого обтянуты войлоком. Узлы соединения труб стальные; 8 верхних и нижних узлов имеют косынки, к к-рым и прикреплена оболочка. В нижней части каркаса укреплен пол 5 из кольчугалюминиевых профилей и гофра, защищенного листом, и 2 откидных стула 6. Каркас воспринимает все сосредоточенные нагрузки, а оболочка 7 гондолы — только разницу внутреннего и наружного давлений. Оболочка склепана из 12 выколоченных по поверхности шара с  $d = 2,3$  м кольчугалюминиевых листов; тип двойного заклепочного шва 8, обеспечивающего герметичность гондолы, виден на фиг. 14; шаг заклепок 18 мм; швы покрыты авиалаком. Для входа и выхода пилотов из гондолы в верхней половине оболочки прорезаны два отверстия 9 с  $d = 500$  мм, закрываемые люками 10, отлитыми из силумина (время на открытие люка — 8 сек.). К стенке гондолы прикреплена обичайка, в паз которой заложена очень эластичная резина; края люка специальный механизм вдавливаются в резину обичайки, чем достигается полная герметичность. На открытие или закрытие люка

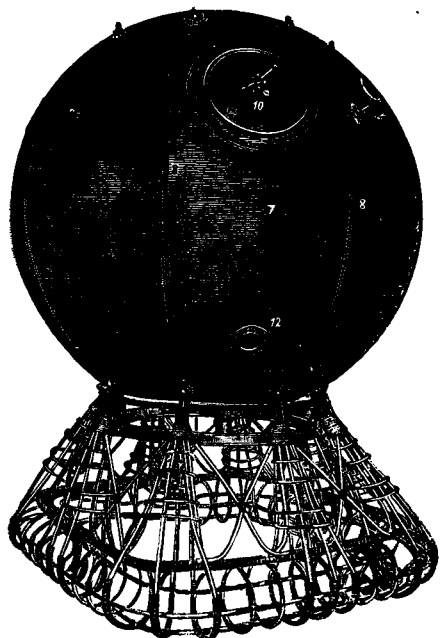


Фиг. 13.

ружи гондола стянута восемью тугами, переходящими к точкам крепления к строповому кольцу. Оболочка гондолы — из трех алюминиевых выштампованных частей. Снаружи гондолы укреплен пропеллер 4, вращаемый от электромотора 5 в гондоле, для регулирования температуры воздуха в ней путем поворачивания половины, окрашенной в черный цвет, к солнечным лучам для повышения  $1^{\circ}$  внутри нее и свет-

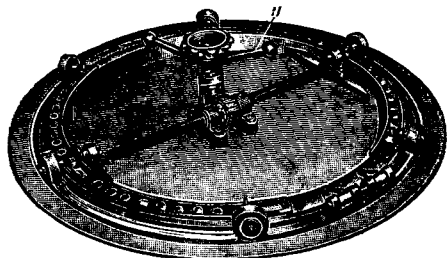
лой — для понижения. Это устройство оказалось неудачным, и во время полета 27/V 1931 г.  $1^{\circ}$  внутри гондолы, сначала резко упавшая, повысилась затем до  $41^{\circ}$ . В верхней части гондолы, сбоку, — герметически закрывающийся лаз 6 с диам. 500 мм (время, потребное на открытие лаза, ~25 сек.); в стенке гондолы — 8 иллюминаторов 7 из двойного стекла диам. 100 мм, толщиной 7,5 мм; снаружи гондолы укреплен барабан 8 для наматывания клапанной веревки, проходящей затем через герметич. приспособление в гондолу. Сбоку гондолы — клапан 9 для выпуска воздуха в гондолу. Над гондолой укреплен специальный гондольный парашют для замедления падения гондолы в случае разрыва оболочки. Благодаря окраске второй гондолы Пиккара целиком в светлый цвет тем-ра внутри нее во время полета была  $-20^{\circ}$ . На фиг. 11 изображен общий вид гондолы «СССР-1» (конструктор В. А. Чижевский), подготовленной к полету; на фиг. 12 видно внутреннее устройство ее (часть оболочки вырезана); на фиг. 13 — чертеж общего вида гондолы. Каркас гондолы (фиг. 12 и 13) состоит из 8 вертикальных 1, 16 наклонных кольчугалюминиевых труб 2 и 8 профилей в средней части 3, служащих основанием кольцевого стола для приборов 4, борта которого обтянуты войлоком. Узлы соединения труб стальные; 8 верхних и нижних узлов имеют косынки, к к-рым и прикреплена оболочка. В нижней части каркаса укреплен пол 5 из кольчугалюминиевых профилей и гофра, защищенного листом, и 2 откидных стула 6. Каркас воспринимает все сосредоточенные нагрузки, а оболочка 7 гондолы — только разницу внутреннего и наружного давлений. Оболочка склепана из 12 выколоченных по поверхности шара с  $d = 2,3$  м кольчугалюминиевых листов; тип двойного заклепочного шва 8, обеспечивающего герметичность гондолы, виден на фиг. 14; шаг заклепок 18 мм; швы покрыты авиалаком. Для входа и выхода пилотов из гондолы в верхней половине оболочки прорезаны два отверстия 9 с  $d = 500$  мм, закрываемые люками 10, отлитыми из силумина (время на открытие люка — 8 сек.). К стенке гондолы прикреплена обичайка, в паз которой заложена очень эластичная резина; края люка специальный механизм вдавливаются в резину обичайки, чем достигается полная герметичность. На открытие или закрытие люка

(при помощи ручек 11) требуется 5—8 ск. На фиг. 15 дан вид на запирающий механизм люка внутри gondолы. В gondоле прорезано 9 окон



Фиг. 14.

12 с  $d = 100$  мм; толщина стекол (оптических) — 8 мм; окна снабжены предохранительными кнопками с резиновой прокладкой и зажимным устройством на случай разбития стекол. Катушка 13 снаружи gondолы служит для наматывания на нее веревки от клапана (при выполнении аэростата газом, по мере подъема, расстояние между клапаном и gondолой уменьшается, веревка провисает); катушка надета (фиг. 16) на



Фиг. 15.

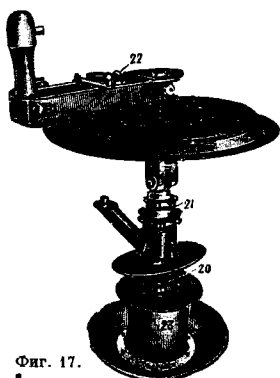
стержень 14, проходящий через сальник 15, вклепанный в оболочку gondолы; на конце стержня — штурвал 16, поворачиванием которого пилот наматывает веревку на катушку. Под gondолой — амортизирующая подставка 17 из ивовых прутьев (фиг. 12); она ломается в случае спуска со скоростью более 5 м/сек. Балласт (дробь) в мешках 18 подвешен к кольцу 19 под gondолой. В отверстия в кольце вставлены болтики, законченные сверху шпильками, соединенными после-

Т. Э. Доп. т.

довательно стальным тросом; к болтикам подвешивались в тросах мешки. В дне gondолы через герметич. сальник 20 (фиг. 17, где показано приспособление для сбрасывания балласта) проходит вал 21, на нем изнутри gondолы ручка 22, поворотом которой трос наматывается на находящуюся снаружи катушку 23; при этом трос дергивает очередную шпильку, и дробь из мешка, нижним концом привязанного к gondоле и опрокидывающегося при этом, высыпается.

Тепловая изоляция gondолы достигалась обшивкой gondолы войлоком, поверх которого полотняная обтяжка, выкрашенная в голубой цвет, что предохраняло от влияния солнечных лучей; темп-ра внутри gondолы во время полета колебалась от +14 до +30°. Gondola подвешивалась к строповому кольцу 24 (фиг. 11) (от к-рого идут стропы к оболочке) за ушки 25 (фиг. 13), которыми оканчивались вертикальные трубы 1 карнаса.

На фиг. 18 приведена gondola «ОАХ-1», в к-рой карнас из 10 стрингеров и 6 горизонтальных шпангоутов из трубочки  $d = 12 \times 14$  мм, сварка автогенная; материал — сталь с содержанием хрома ~1,6% и никеля ~22%, времен-



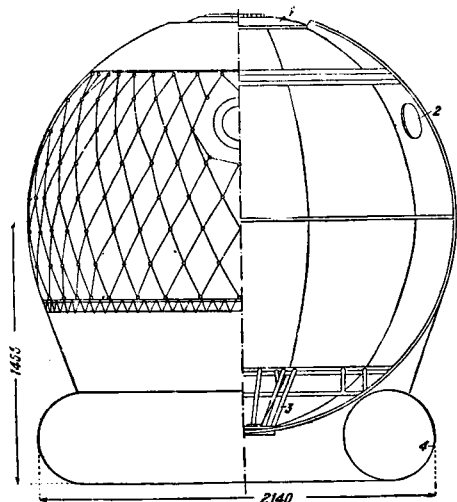
Фиг. 17.

ное сопротивление трубок ~75 кг/м<sup>2</sup>. Оболочка из стальных листов аналогичного состава с временным сопротивлением ~60 кг/мм<sup>2</sup>; сварка электроточечная. Оболочка приварена к карнасу при помощи металлич. клеммер. Лаз 1 с  $d = 800$  мм вверх gondолы закрывается при помощи барашков (что неудачно, т. к. требует для открытия лаза более 2 мин.). Иллюмина-

торов 2—6 с  $d = 150$  мм; зеркальные стекла толщиной в 12 мм. Состав окраски gondолы: олифа, цинковые белила, двуокиси титана, немного сажи и талька. Клапанная веревка проходит в gondолу через U-образную, наполненную ртутью стальную трубку в стенке gondолы. Внизу, внутри gondолы, балластосбрасыватель 3 — металлич. прибор, состоящий из воронки, конусообразного сосуда и 2 кранов. Балласт (дробь) насыпается в верхнюю воронку; при открытии верхнего крана дробь перемещается в сосуд, верхний кран закрывается, открытием нижнего дробь высыпается наружу (1 кг/сек). Амортизатор 4 внизу под gondолой — пневматический. Gondola «ОАХ-1», имея



неудачные конструктивные детали (лазы, балластосбрасыватель), показала высокую прочность; при ударе о землю оторвавшейся от С. гондолы она только несколько помялась.



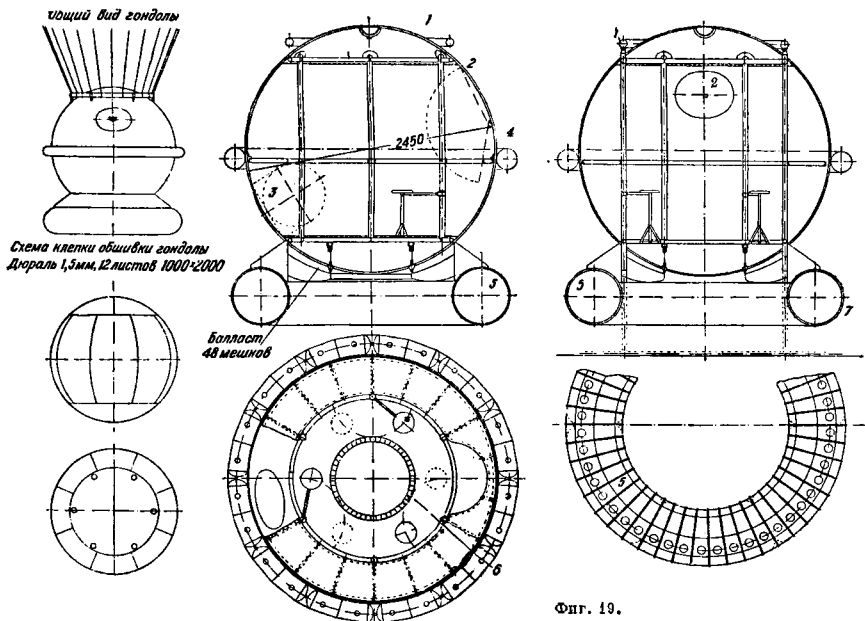
Фиг. 18.

На фиг. 19 представлен проект гондолы, разработанный инженером ЦАГИ Бычковым. Гондола—шар с  $D = 2,45$  м ( $I$  — подвесное коль-

ставка для валета). Каркас из двух — верхнего и нижнего — трубчатых поясов и из вертикальных стальных труб между ними. Как материал для оболочки гондолы рассмотрены дюраль и антимагнитная сталь; элекрон вследствие недостаточности опыта с применением его и его склонности к коррозии едва ли в настоящее время применим. При коэф-тах прочности на разрыв дюралюмина  $38 \text{ кг/мм}^2$  и антимагнитной стали  $60 \text{ кг/мм}^2$  дюралевая оболочка при одинаковой прочности получается легче. На диаграмме (фиг. 20) даны веса оболочек гондолы из разных материалов и при разной толщине листов оболочек в функции диам. гондолы. Из графика видно, что при  $D = 2,45$  м вес дюралевой оболочки толщиной  $1,5 \text{ мм}$  —  $79 \text{ кг}$ , толщина стальной оболочки при том же запасе прочности  $0,95 \text{ мм}$  и вес  $140 \text{ кг}$ . При расчетной разности давления внутри и снаружи в  $0,8 \text{ кг/см}^2$ , что соответствует давлению в гондоле при закрытии люков на высоте  $2000$  м, а наружного воздуха на высоте  $25000$  м (по стандартной атмосфере), подчитываемая напряжение в оболочке гондолы по ф-ле

$$k = \frac{pD}{4\delta \cdot m},$$

где  $p = 0,8 \text{ кг/см}^2$ ,  $D$  — диам. гондолы,  $\delta$  — толщина листов оболочки и  $m$  — коэф. ослабления обшивки швами, принимаемый  $m = 0,75$ , получим диаграмму фиг. 21 — напряжение на разрыв по шву в ф-ии  $D$  гондолы. Запас прочности в швах принят  $8,5$ . В случае применения супердюрала (коэф. крепости  $48 \text{ кг/мм}^2$ ) вес гондолы уменьшится или запас прочности увеличится. В проекте инж. Бычкова предусмотрено крепление полок для размещения приборов не-



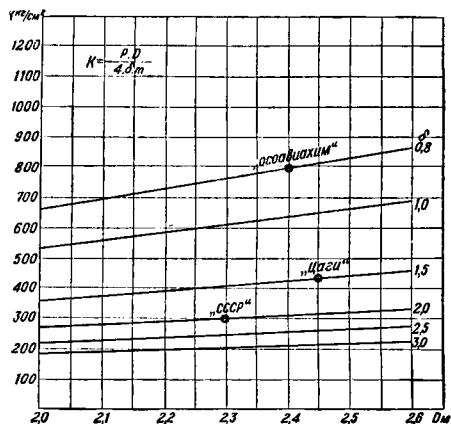
Фиг. 19.

цо, 2 — верхний люк, 3 — нижний люк, 4 — боковой амортизатор, 5 — главный амортизатор, 6 — кольцо для сбрасывания балласта, 7 — под-

жесткое, упругое, позволяющее обшивке деформироваться. Люки два — один в верхней половине гондолы 2, другой — в нижней 3 на уровне

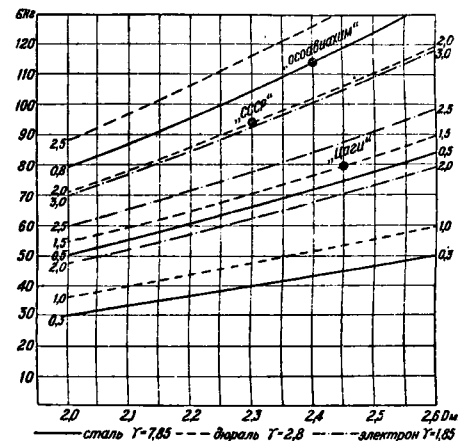
пола. К верхней части оболочки гондолы крепится подвесное кольцо 1, к нижней части — амортизатор 5, состоящий из 6 матерчатых мешков, расположенных по окружности. К мешкам пришиты легкие упругие кольца из рояльной проволоки, позволяющие мешкам сохранять свою

или троса имеется дополнительный вал с тросом, обеспечивающим сбрасывание балласта в случае отказа основного механизма. На фиг. 23а представлена схема с индивидуальным приводом к каждому мешку с балластом, где 1 — кольцо для сбрасывания мешка, 2 — тяга, 3 — сталь

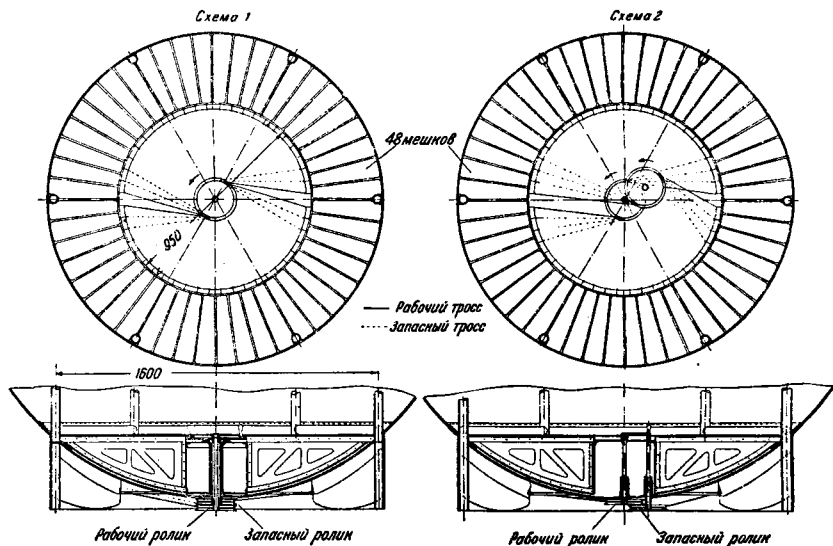


Фиг. 20 и 21.

форму. Кольца связаны друг с другом несколькими проволоками, дающими дополнительную устойчивость всей конструкции; в мешках — ряд



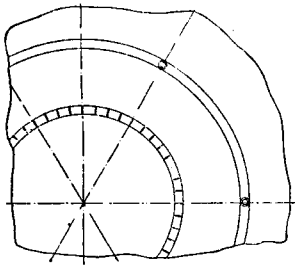
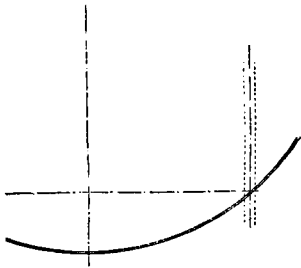
вик, 4 — проволока 0,5 мм, 5 — предохранительный колпачок, 6 — запорная шпилька, 7 — мешок с балластом. На фиг. 23б дан вариант уп-



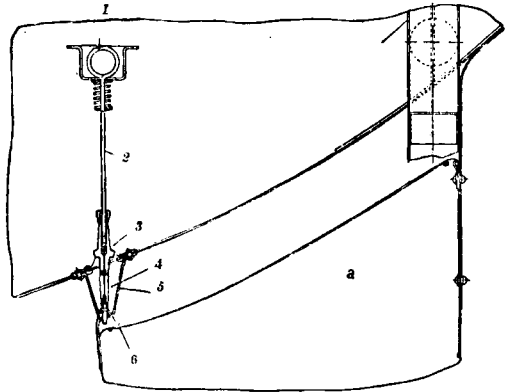
Фиг. 22.

отверстий для выхода воздуха. Работа при ударе о землю поглощается за счет сжатия воздуха в мешках и одновременного выпуска части его через отверстие. К механизму управления балластом предъявлено требование полной надежности его работы. С этой целью по одному варианту (фиг. 22) помимо механизма по типу, как в гондole «СССР-1», на случай заедания вала

лотней, где 1 — резина, 2 — пробка, 3 — спирт с маслом, 4 — пробка. Обеспечение герметичности выводов вполне возможно, а как показали опыты, даже и при отсутствии специальных уплотнений расход воздуха через отверстие с проволокой очень мал и не даст заметного уменьшения давления в гондole. На фиг 24 и 25 даны разрез и общий вид гондолы по проекту инже-

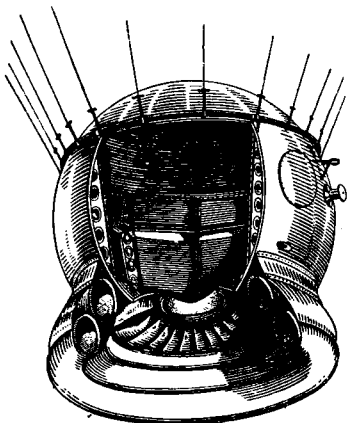


Фиг. 23а.

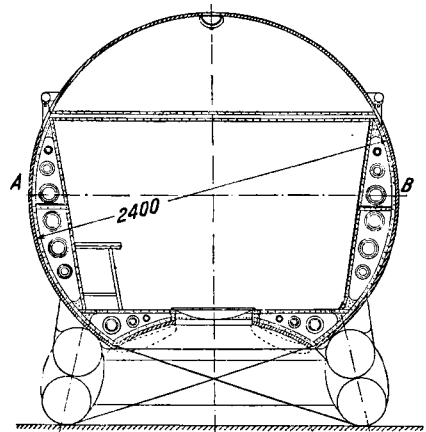


6

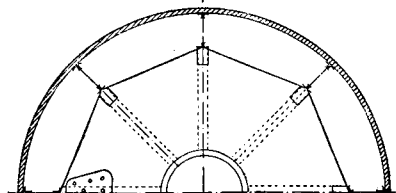
Фиг. 23б.



Фиг. 24.



по А-В



Фиг. 25.

неров ЦАГИ Кузнецова и Комова. Диаметр гондолы — 2,4 м; материал — кольчугаломиний. С целью удобства расположения пилотов в гондоле каркас состоит не из системы вертикальных сквозных труб, а из 4-рамных шпангоутов, верхние концы к-рых завязаны внутренним кольцом из корабчатого профиля. К верхним концам шпангоутов крепятся стальные узлы, проходящие сквозь оболочку гондолы. К ним крепится строповое кольцо; такое расположение его вблизи гондолы сделано с целью большей устойчивости гондолы против раскачивания. Между шпангоутами — полка для приборов. Люк — в верхней половине гондолы. Амортизатор — в виде двух колец из прорезиненного полотна с боковыми карманами в виде двух кольцевых сегментов; между камерами — обратные клапаны для регулирования; регулятор давления выводится в гондолу. Высота амортизатора 525 мм рассчитана на поглощение работы ударом при спуске со скоростью 5 м/сек.

**Расчет гондол С.** каркаса — обычными методами, оболочки — по приведенной выше формуле и на местные нагрузки от веса человека, а также на удар при жесткой посадке со скоростью 8—10 м/сек. Испытания на прочность и воздухопроницаемость оболочки гондолы — путем повышения давления внутри нее примерно до 2,5—3 атм или в специальной камере с разреженным воздухом. Гондола д. б. оборудована специальными аппаратами для обеспечения дыхания и работоспособности людей во время длительного пребывания в ней. Жизнедеятельность организма человека на высоте определяется величиной парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе. При полетах в открытой кабине без кислородных аппаратов уже с 2 500 м начинается нарушение деятельности головного мозга, хотя до 5 000—7 000 м человек может дышать без дополнительного питания организма кислородом. При условии выдыхания 100%-ного кислорода и обогрева одежды летчика человек может выдержать в открытой кабине высоту максимум 14 000—14 500 м, у большинства еще раньше лопаются кровеносные сосуды, что объясняется тем, что при давлениях, соответствующих этим высотам, кислород, содержащийся в крови человека, начинает выделяться из нее; большая высота обязательно требует герметичности гондолы (или наличия скафандра); на 19 000 м без этого происходит закипание крови в сосудах. Поэтому помимо обеспечения герметичности гондолы и поддержания необходимых для жизнедеятельности организма давления и температуры внутри гондолы д. б. обеспечены подача достаточного количества кислорода и удаление углекислоты, выделяемой человеком при дыхании. Обычно в воздушном флоте применяются две системы кислородных аппаратов — система высокого давления, где газообразный кислород содержится в сжатом состоянии под давлением до 150 атм, и система низкого давления — с применением жидкого кислорода. В обоих случаях кислород дросселированием доводится до соответствующего давления, под которым и поступает в маску или прямо в кабину, поддерживая в ней давление и компенсируя использованный для дыхания кислород. Стальные бутылки, в к-рых содержится газообразный кислород, удобнее брать небольшого емкости (до 1 л), т. к. они м. б. использованы как последовательно сбрасываемый посадочный балласт. В гондоле Бинкара кроме бутылки с газообразным кислородом был установлен аппарат Дрегерра (с жидким кислородом), дававший

в минуту 2,3 л чистого кислорода и производивший циркуляцию 90 л воздуха гондолы, прогоняя его через калевые патроны, поглощающие вредные продукты дыхания (двуокись углерода). В гондоле «СССР-1» для возмещения убыли кислорода служил металлический двоярковый сосуд с жидким кислородом и кроме того была регенеративная установка для поглощения углекислоты, выдыхаемой пилотами. В гондоле «ОАХ-1» вентилятор засасывал испорченный воздух в трубопровод под давлением полом гондолы и прогонял его через 12 патронов Аудос; поглощающая углекислота направлялась в верхнюю часть гондолы. Патроны устанавливались под полом приемными отверстиями на его уровне; отверстия для выхода восстановленного воздуха вставлены в трубопровод под полом. Вентилятор (3 600 об/м.), производительность к-рого 72 м<sup>3</sup>/ч при напоре 100 мм вод. ст., приводился в движение от умформера, питаемого аккумуляторами.

**Определение высоты подъема С.** Определение высоты подъема летательного аппарата производится по след. ф-лам. 1) Ф-ла Галлея

$$H = H_0 \ln \frac{p_0}{p_n}, \quad (1)$$

где  $p_0$  — давление воздуха в мм рт. ст. на уровне моря и  $p_n$  — на высоте  $H$ ;  $H_0$  — высота однородной атмосферы;

$$H_0 = RT_0 = \frac{P_0}{\gamma_0},$$

где  $R$  — характеристическая постоянная для воздуха,  $T_0$  — абсолютная темп-ра,  $P_0$  — давление воздуха в кг/м<sup>2</sup>,  $\gamma_0$  — плотность воздуха в кг/м<sup>3</sup>. Эта ф-ла верна только при условии изотермич. атмосферы, т. е. при  $t_0 = t_n = \text{Const}$ , что по существу имеет место только в стратосфере (на тех высотах, к-рые м. б. доступны С.) и если при этом не учитываются влажность воздуха, широта места подъема и изменение с высотой силы тяжести.

Для учета этих факторов в ф-лу (1) следовало бы ввести поправки: а) на изменение  $t^\circ$  воздуха с высотой — поправочный коэф.  $(1 + 0,00366 t_{cp.})$ ,

где  $t_{cp.} = \frac{t_1 + t_2}{2}$ ,  $t_1$  и  $t_2$  — темп-ры на верхней и нижней границе рассматриваемого слоя, 0,00366 — коэф. объемного расширения газов  $\alpha = \frac{1}{273}$ ; б) на влажность воздуха — поправочный коэф.  $1 + 0,378 \frac{l}{P_0}$ , где  $l$  — средняя абсолютная влажность в мм рт. ст. в рассматриваемом слое; в) на изменение силы тяжести за счет изменения высоты  $H$  и за счет данной широты места подъема. До высоты стратосферы (где  $t^\circ$  устанавливается Const и воздух считается совершенно сухим) первые две поправки необходимо учитывать; поправка на изменение силы тяжести сравнительно невелика и ею при не очень точных подсчетах обычно пренебрегают. Точная зависимость  $g$  от  $H$  выражается ф-лой  $g =$

$= \left( \frac{R}{R+H} \right)^2 g_1$ , где  $R$  — радиус земли = 6 380 км,  $g_1$  — ускорение силы тяжести на уровне  $H = 0$ , к-рое изменяется в зависимости от широты места подъема  $\varphi$ ;  $g_1 = (1 - 0,00264 \varphi) g_0$ , где  $g_0 = 9,81 \text{ м/сек}^2$  на широте  $\varphi = 45^\circ$ , так что  $g = \left( \frac{R}{R+H} \right)^2 (1 - 0,00264 \varphi) g_0$ . При внесении этой поправки в ф-лу для определения  $H$  принимаем  $g_0$  за единицу. Зависимость изменения  $g$  от  $H$  видна из табл. 4.

Табл. 4. — Зависимость ускорения силы тяжести от высоты.

Н в м	$\left(\frac{R}{R+H}\right)^2$	Поправка в % от $g_1$
0	1	0,31
10 000	0,9989	-0,31
20 000	0,9978	-0,62
30 000	0,9967	-0,93
40 000	0,9956	-1,24

Зависимость изменения  $g_1$  от  $\varphi$  для  $H=0$  м видна из табл. 5.

Табл. 5. — Зависимость изменения ускорения силы тяжести на высоте  $H=0$  от широты места  $\varphi$ .

$\varphi$ в °	$1-0,00264 \cdot \cos 2\varphi$	Поправка в % от $g_0$	$\varphi$ в °	$1-0,00264 \cdot \cos 2\varphi$	Поправка в % от $g_0$
0	0,99736	-0,264	50	1,000458	+0,0458
10	0,99753	-0,247	60	1,00132	+0,132
20	0,99789	-0,202	70	1,00202	+0,202
30	0,99858	-0,132	80	1,00247	+0,247
40	0,99954	-0,0458	90	1,00264	+0,264
45	1	0			

Т. о. для данной  $H$  подъема наименьшее  $g$  будет на экваторе и наибольшее — на полюсах. Изменение  $g$  для  $H = 30$  км на разных  $\varphi$  видно из табл. 6.

Табл. 6. — Изменение ускорения силы тяжести для  $H=30$  км при разных широтах  $\varphi$ .

$\varphi$ в °	$g$ в долях $g_1$	Поправка в % от $g_0$	$\varphi$ в °	$g$ в долях $g_1$	Поправка в % от $g_0$
0	0,98708	-1,192	50	0,99115	-0,885
10	0,98825	-1,175	60	0,99201	-0,799
20	0,98970	-1,130	70	0,99270	-0,730
30	0,99139	-1,061	80	0,99315	-0,685
40	0,99244	-0,976	90	0,99332	-0,668
45	0,9907	-0,93			

Считая высоту  $H = 30$  км близкой к предельной, достижимой С., видим, что и на этой  $H$  поправка на изменение напряжения силы тяжести, даже на  $\varphi = 0^\circ$ , ок. 1%, поэтому для не очень точных подсчетов этой поправки пренебрегают.

2) Поправки на  $t^\circ$  и влажность обычно объединяют и тогда  $\phi$ -ла Галлея с учетом этих поправок выражается в виде

$$H = H_0 [1 + 0,00378 (t_{cp} - 15)] \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (2)$$

Табл. 7. — Высотные числа Эмдена для определения высоты подъема  $H$ .

$n \dots$	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
1,0	—	79	158	236	313	390	466	541	615	689	762
1,1	762	834	906	977	1 047	1 117	1 186	1 255	1 323	1 390	1 457
1,2	1 457	1 524	1 590	1 654	1 718	1 782	1 846	1 910	1 973	2 035	2 097
1,3	2 097	2 158	2 219	2 279	2 338	2 397	2 456	2 515	2 573	2 631	2 688
1,4	2 688	2 745	2 802	2 858	2 913	2 969	3 025	3 080	3 134	3 187	3 240
1,5	3 240	3 293	3 346	3 398	3 450	3 502	3 553	3 604	3 655	3 705	3 755
1,6	3 755	3 805	3 854	3 903	3 952	4 001	4 049	4 098	4 146	4 193	4 239
1,7	4 239	4 286	4 333	4 379	4 425	4 471	4 517	4 563	4 608	4 653	4 698
1,8	4 698	4 743	4 788	4 829	4 872	4 916	4 959	5 002	5 045	5 088	5 130
1,9	5 130	5 172	5 213	5 255	5 296	5 337	5 378	5 419	5 459	5 499	5 539
2	5 539	5 929	6 301	6 656	6 996	7 321	7 636	7 936	8 227	8 508	8 779
3	8 779	9 041	9 294	9 540	9 778	10 010	10 237	10 455	10 669	10 876	11 078
4	11 078	11 270	11 463	11 656	11 840	12 019	12 195	12 367	12 535	12 700	12 860
5	12 860	13 020	13 175	13 327	13 475	13 622	13 766	13 908	14 047	14 185	14 318
6	14 318	14 452	14 580	14 708	14 833	14 957	15 079	15 200	15 319	15 435	15 547
7	15 547	15 663	15 776	15 886	15 992	16 101	16 208	16 312	16 415	16 517	16 617
8	16 617	16 715	16 814	16 915	17 007	17 099	17 195	17 287	17 379	17 470	17 560
9	17 560	17 646	17 734	17 820	17 906	17 990	18 074	18 157	18 239	18 319	18 399
10	18 399	18 478	18 577	18 635	18 712	18 789	18 865	18 940	19 014	19 088	19 161

где  $t_{cp} = \frac{t_1+t_2}{2}$  и 0,00378 — коэф. расширения с учетом изменения влажности от  $t^\circ$  (взяв вместо 0,00366). Для получения большей точности в подсчете  $H$  всю высоту разбивают на ряд промежуточных высот, для к-рых и подставляются в  $\phi$ -лу (2) соответствующие им  $t_1$  и  $p_1$  на нижней границе и  $t_2$  и  $p_2$  на верхней границе данной разности высот. Ошибка, связанная с предположением средней арифметической  $t_{cp}$ , изменяется почти пропорционально квадрату величин частей, на к-рые делится вся высота, т. е. если разбить  $H$  на промежуточные высоты, каждая в 1 000 м, то мы уменьшим ошибку в 4 раза по сравнению с разбивкой  $H$  на высоты по 2 000 м каждая. При 15° и 50% относительной влажности  $H_0 = 8 440$  м. Тогда  $\phi$ -ла (2) примет вид

$$H = 8 440 [1 + 0,00378 (t_{cp} - 15)] \ln \frac{p_1}{p_2} = 19 460 [1 + 0,00378 (t_{cp} - 15)] \lg \frac{p_1}{p_2} \quad (2')$$

Пересчет с  $H_0$ , подсчитанного при  $t_0$ , на  $H_0'$  при  $t_0'$  по  $\phi$ -ле

$$H_0' = H_0 \left(1 \pm \frac{t_0'}{t_0}\right)$$

Если требуется определить высоту  $S$  на основании показаний барографа и известной  $t^\circ$  на земле или если известна  $t^\circ$  на какой-либо высоте, то, вводя темп-рный градиент  $\tau$  (на основании имеющихся данных об изменении  $t^\circ$  с высотой) по формуле  $t_1 = t_2 + \tau H$  или  $t_2 = t_1 - \tau H$ , определяем  $H$  по  $\phi$ -ле

$$H = H_0 \left[1 + 0,00378 \left(t_1 - 15 - \frac{\tau H}{2}\right)\right] \ln \frac{p_0}{p_1} \quad (3)$$

Если известна темп-ра  $t_1$ , то по  $\phi$ -ле

$$H = H_0 \left[1 + 0,00378 \left(t_2 - 15 + \frac{\tau H}{2}\right)\right] \ln \frac{p_0}{p_1} \quad (3')$$

3) В воздухоплавании  $H$  часто пользуются для приближенного подсчета  $H$  таблицей «высотных чисел», подсчитанной Эмденом (табл. 7).

В этой таблице  $n = \frac{p_0}{p}$ ; высоты  $H$ , приведенные в таблице, определены по  $\phi$ -ле (1), причем  $H_0 = 8 000$  м, что приблизительно соответствует  $t^\circ = 0^\circ$  и 760 мм рт. ст. Зная  $\frac{p_0}{p} = n$ , находим в табл. 7  $H$  (напр.  $\frac{p_0}{p} = 1,93$   $H = 5 255$ ).

Для учета изменения  $t^\circ$  по высоте необходимо вводить поправку: увеличивать  $H$  на 4% на каждый градус средней темп-ры ( $t_{cp}$ ) воздуха между двумя уровнями, разность высот к-рых определяется, если  $t_{cp}$  выше  $0^\circ$ , и уменьшать  $H$

на  $4^{\circ}/_0$  на каждый градус, если  $t_{cp}$  ниже  $0^{\circ}$ . Это практич. правило выражается ф-лой

$$H = 8000 (1 \pm 0,004 t_{cp}) \ln \frac{p_0}{p_n} = 18400 (1 \pm 0,004 t_{cp}) \lg \frac{p_0}{p_n}. \quad (4)$$

Можно рекомендовать до высоты стратосферы определять  $H$  по ф-лам (2), (3) или (4), начиная же с  $H$ , где  $t^{\circ}$  устанавливается Const, подсчитывать дальнейшую высоту по ф-ле (1) без учета изменений  $t^{\circ}$ , т. е. если напр.  $t^{\circ} = \text{Const}$  (нижняя граница стратосферы) установится с 11 000 м, полная высота

$$H = 11000 + H_0 \ln \frac{p_{11}}{p_n}, \quad (5)$$

где  $H_0$  и  $p_{11}$  — соответствующие величины для 11 000 м.

4) В качестве стандартной, принятой Ф. А. I. (La Fédération Aéronautique Internationale) при установлении международных рекордов высоты, служит ф-ла Соро:

$$H = 5 (3064 + 1,73 p - 0,0011 p^2) \lg \frac{760}{p_n}. \quad (6)$$

Эта ф-ла выведена на основании многочисленных атмосферных исследований аэрологических станций Бельгии, Италии, Германии и Австрии; она считается пригодной для высот от 2 000 м до 17 000 м, ее применяют и до  $H = 20000$  м. Определяя  $H$  по ф-ле (6), получим следующие данные (табл. 8).

Табл. 8.— Определение высоты подъема С. по формуле Соро.

$p$ в.мм рт.ст.	$H$ в м	$p$ в.мм рт.ст.	$H$ в м	$p$ в.мм рт.ст.	$H$ в м
40	20 022	80	15 261	200	9 758
50	18 601	90	14 875	229,7	8 943
60	17 443	100	14 208	300	7 032
65	16 936	120	13 050	380	5 863
70	16 466	140	12 066	400	4 990
72	16 288	160	11 208	410	4 810
73	16 201	180	10 446	500	3 322
76	15 946	190	10 093	600	1 502
78	15 781	192,7	10 000	780	0

Другая ф-ла Соро, пригодная с 2 до 29 км:

$$\lg p = 2,7955 - 0,0622H + \frac{0,3112H + 15,783}{H^2 - 12,69H + 180,3}. \quad (7)$$

Подсчитанные по этой ф-ле величины  $p$  для данных  $H$  приведены в табл. 12.

Для высот от 15 до 25 км Соро дает очень простую ф-лу

$$H = 44,3 - 15 \lg p. \quad (8)$$

5) В международных метеорологич. таблицах (изд. Villars et Co.) приводится ф-ла Лапласа (Laplace), к-рой часто пользуют для более точного определения высоты подъема шаров-зондов:

$$H = 18400 (1,00157 + 0,00367 t_{cp}) \cdot \frac{B}{\left(1 - 0,37 \frac{l}{p}\right)} \cdot \frac{C}{\left(1 + 0,00259 \cos 2\varphi\right)} \cdot \frac{D}{\left(1 + \frac{H + 2h}{6 \cdot 371 \cdot 10^4}\right)} \lg \frac{p_1}{p_2}. \quad (9)$$

Здесь  $t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}$  — средняя  $t^{\circ}$  слоя,  $l =$

$= \frac{t_1 + t_2}{2}$  — среднее давление водяных паров в слое,  $p = \frac{p_1 + p_2}{2}$  — среднее барометрич. давление

слоя,  $\varphi$  — средняя широта места зондажа,  $h$  —

высота основания слоя. Ф-ла (9) м. б. представлена в виде

$$\lg H = \lg A + \lg B + \lg C + \lg D + \lg (\lg p_1 - \lg p_2). \quad (9')$$

Ральманом (Rahlmann) и Вильдом (Wild) составлены таблицы, дающие логарифмы  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ . Т. к. в  $D$  входит  $H$ , то получим первое приближение, отбросив  $D$  при определении  $\lg H$ . Полученную при этом величину  $H$  вводим в формулу (9') для окончательного определения  $H$ . Подсчет  $H$  по этой ф-ле для большей точности надо производить методом сечений; получится тем большая точность, чем меньше промежутки высот будут браться.

6) По ф-лам и таблицам международной стандартной атмосферы.

Плотность воздуха, а также и газов, применяемых в воздухоплавании, с учетом влияния изменения  $t^{\circ}$ , наличия в газе водяных паров и изменения напряжения силы тяжести с высотой и широтой места м. б. определена по ф-ле

$$\gamma = \frac{\left[p - p_{e.n} \left(1 - \frac{\delta}{s}\right)\right] T_{00}}{p_0 T \cdot g_0} = \frac{\left[p - p_{e.n} \left(1 - \frac{\delta}{s}\right)\right] g}{p_0 \alpha \cdot g_0}, \quad (10)$$

где  $p_{e.n}$  — давление в газе водяных паров,  $\delta$  — уд. вес водяных паров (по отношению к воздуху),  $s$  — уд. вес сухого газа ( $s = \frac{\gamma_0}{\gamma_{e0}}$ );  $T_0 = 273$  и  $p_0 = 10333$  кг/м<sup>2</sup>,  $\alpha$  — коэф. объемного расширения газа. Зависимость  $\gamma$  от изменения отношения  $\frac{g}{g_0}$  м. б. определена по приведенной выше ф-ле; как было видно из табл. 4, 5, 6, изменение величины  $g$  по сравнению с  $g_0$  невелико, поэтому мы этой поправкой пренебрегаем. Изменение плотности в зависимости от  $t^{\circ}$  может быть довольно значительно. Изменение температурных условий вследствие напр. облачности (в тропосфере) может в течение нескольких минут уменьшить  $\gamma$  на 2—3%. Однако с увеличением  $H$  значение  $t^{\circ}$  уменьшается и затем уступает место давлению. В табл. 9 приведены отношения  $\frac{\gamma_n}{\gamma_0}$  для соответствующих  $H$  при условии различных  $t^{\circ}$  на уровне моря и при постоянном температурном градиенте  $1^{\circ}$  на каждые 160 м высоты.

Табл. 9.— Значения  $\frac{\gamma_n}{\gamma_0}$  при различных  $t^{\circ}$  на уровне моря.

$H$ в м	Темп-ра воздуха на уровне моря			
	$-5^{\circ}$	$+5^{\circ}$	$+15^{\circ}$	$+25^{\circ}$
0	1,075	1,036	1,000	0,966
1 000	0,973	0,939	0,907	0,879
2 000	0,870	0,844	0,822	0,798
3 000	0,779	0,768	0,742	0,725
4 000	0,697	0,683	0,669	0,655
5 000	0,621	0,610	0,601	0,591
6 000	0,551	0,545	0,539	0,531
7 000	0,487	0,484	0,481	0,476
8 000	0,430	0,430	0,429	0,428

Эта таблица подсчитана по сложной ф-ле действительной зависимости  $\frac{\gamma_n}{\gamma_0}$  от изменения  $t^{\circ}$ , каковую ф-лу мы здесь не приводим.

Влажность воздуха при небольшой  $t^{\circ}$  сравнительно мало влияет на  $\gamma$ ; при  $0^{\circ}$  и при насыщенном водяными парами воздухе с относительной

влажностью 100%  $\gamma$  уменьшается всего на 0,2%, но при 40° влияние влажности на плотность выражается в 2,75%, при 15° поправка в 0,67%. Относительная влажность в тропосфере обычно всегда больше 0° и меньше 100%, в среднем принимается в 50%; в стратосфере воздух считается совершенно сухим. Обобщенная ф-ла  $\gamma_{\text{воздуха}}$  с учетом влияния  $t^\circ$ ,  $p$  и влажности при стандартной  $t^\circ = 15^\circ$  имеет вид

$$\gamma = \gamma_0 \frac{p}{p_0} \frac{1 - 0,378 \frac{p_0 - p}{p}}{1 + 0,00347 (t - 15^\circ)} \quad (11)$$

и с точностью до 1/10

$$\gamma = \gamma_0 \frac{p}{p_0} [1 - 0,00378 (t - 15^\circ)]. \quad (12)$$

Здесь  $\gamma_0$  — стандартная плотность сухого воздуха,  $\gamma_0 = 1,292 \text{ кг/м}^3$  — плотность воздуха при относительной влажности в 50%,  $p = p_0 + p_{\text{в.п.}}$  равно полному барометрич. давлению,  $p_0$  — давление воздуха,  $p_{\text{в.п.}}$  — давление водяных паров. При  $t^\circ = 0^\circ$  ф-лы (11) и (12) будут иметь вид

$$\gamma = \gamma_0 \frac{p}{p_0} \frac{1 - 0,378 \frac{p_0 - p}{p}}{1 + 0,003674 t} \quad (11')$$

и

$$\gamma = \gamma_0 \frac{p}{p_0} (1 - 0,004 t). \quad (12')$$

Зависимость между  $\gamma$  и высотой  $H$  выражается приближенными (точная ф-ла очень сложна и неудобна для подсчетов) ф-лами, из к-рых приводим: 1) ф-ла Мизеса (von Mises)

$$\frac{\gamma_H}{\gamma_0} = \left(1 - 0,0174 \frac{H}{1000}\right)^{5,82}; \quad (13)$$

2) ф-ла Гримо (Grimault)

$$\frac{\gamma_H}{\gamma_0} = \left(1 - 0,02253 \frac{H}{1000}\right)^{4,255}. \quad (14)$$

В этих ф-лах принята на уровне моря стандартная  $t^\circ = 15^\circ$ . Если  $t^\circ$  на уровне моря не  $15^\circ$ , а  $t_1$ , то в ф-лы вводится поправка

$$\Delta \left(\frac{\gamma_H}{\gamma_0}\right) = \left(\frac{15 - t_1}{268 + t_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{H}{7620}\right).$$

Наибольшую точность по сравнению со стандартной атмосферой, как это видно из табл. 10, дает ф-ла (14) (до  $H = 12 \text{ км}$ ).

Табл. 10. — Определение плотности воздуха по различным формулам.

H в м	по стандартной атмосф.	$\frac{\gamma_H}{\gamma_0}$			% ошибок при подсчете по формулам		
		(13)	(14)	(15)	(13)	(14)	(15)
1 000	0,9074	0,9029	0,9075	0,9001	0,495	-0,18	0,809
2 000	0,8216	0,8137	0,8227	0,8102	0,95	-0,12	1,380
3 000	0,7420	0,7315	0,7424	0,7292	1,42	-0,064	1,730
4 000	0,6686	0,6575	0,6691	0,6564	1,68	-0,076	1,830
5 000	0,6008	0,5898	0,6013	0,5905	1,995	-0,083	1,80
6 000	0,5384	0,5263	0,5390	0,5317	2,25	-0,111	1,27
7 000	0,481	0,4692	0,4818	0,4766	2,44	-0,166	0,966
8 000	0,4285	0,4181	0,4293	0,4308	2,43	-0,118	0,537
9 000	0,3806	0,3711	0,3813		2,08	0,606	
10 000	0,3367	0,3267	0,3377		2,37	0,297	
11 000	0,2987	0,2904	0,2977		2,12	0,337	
12 000	0,2533	0,2559	0,2615		-0,65	3,242	

3) Линке предложил очень простую ф-лу

$$\frac{\gamma_H}{\gamma_0} = \left(\frac{0,528}{\gamma_0}\right) H/8000. \quad (15)$$

4) Соро до  $H = 14 \text{ км}$  рекомендует ф-лу

$$\frac{\gamma}{\gamma_0} = \left(1 + \frac{2H}{H^2 + 18H + 156}\right) \frac{p}{p_0}. \quad (16)$$

По этой ф-ле подсчитаны  $\gamma$  в табл. 10. От 15 до 25 км Соро предлагает очень простую ф-лу

$$\gamma = (2,296 - 0,01 H) p. \quad (17)$$

Для сравнения между собой измерений, произведенных в разное время и в различных местах, замеренные в полете данные принято приводить к международной стандартной атмосфере, определяющейся следующими положениями: а) за нулевую высоту принимается уровень моря  $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$ ;  $t_0 = +15^\circ$ ; при этих условиях весовая плотность воздуха  $\gamma_0 = 1,225 \text{ кг/м}^3$  и массовая плотность  $\rho = \frac{\gamma_0}{g} = 0,125 \text{ кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4$ ; б) считается до  $H = 11000 \text{ м}$ : темп-ра изменяется по закону прямой:

$$t_H^\circ = 15^\circ - 0,00065 H, \quad (18)$$

давление изменяется по ф-ле

$$p_H = p_0 \left(1 - \frac{H}{44300}\right)^{5,256} \quad (19)$$

и плотность по ф-ле

$$\gamma_H = \gamma_0 \left(1 - \frac{H}{44300}\right)^{4,256}, \quad (20)$$

в) начиная с  $H = 11000 \text{ м}$  и выше  $t^\circ$  воздуха считается  $t_{11} = -56,5^\circ = \text{Const}$ , давление изменяется по ф-ле

$$p_{H+11} = p_{11} \cdot e^{-\frac{H-11000}{6340}} \quad (21)$$

и плотность

$$\gamma_{H+11} = \gamma_{11} \cdot e^{-\frac{H-11000}{6340}} \quad (22)$$

г) Влажностью воздуха на всех высотах пренебрегают. Считают везде применимым ур-не Клапейрона для совершенных газов (характеристики, постоянная для воздуха принимается  $R = 29,3$ ). Переход от действительных, замеренных в полете, условий к стандартным по ф-ле

$$\gamma_0 = 0,4645 \frac{p_\theta}{T_\theta}, \quad (23)$$

где индекс  $\theta$  означает действительные величины, замеренные в полете. Зная  $\gamma_\theta$ , определяем по таблицам стандартной атмосферы (табл. 11) или по графику  $\gamma = f(H)$  соответствующую высоту  $H$  по стандартной атмосфере. При приведении замеренных в полете  $p_\theta$  и  $T_\theta$  к стандартным может (для небольших высот при полете в зимних условиях) оказаться, что полет совершался под «стандартной  $H = 0 \text{ м}$ ». Если при одном и том же давлении  $t^\circ$  воздуха изменилась с  $T$  до  $T_1$ , то новая  $\gamma_{T_1}$  определится из

$$\gamma_{T_1} = \gamma_T \frac{T}{T_1}. \quad (24)$$

Таблицы международной стандартной атмосферы составлены до  $H = 15000 \text{ м}$ . Мы приводим здесь продолжение этой таблицы до  $H = 30000 \text{ м}$ . Для удобства пользования таблицей переносим в нее данные стандартной атмосферы для  $H = 11000 - 15000 \text{ м}$  из имеющихся таблиц через 1000 м.

В действительности считают, что  $t^\circ$  воздуха остается в стратосфере постоянной лишь до  $H = 20000 - 22000 \text{ м}$ , выше  $t^\circ$  начинает увеличиваться, так что рекомендовать пользоваться стандартной атмосферой и выше 22 км для точных подсчетов нельзя; лучше брать необходимые значения из табл. 12, составленной на основании средних данных из целого ряда наблюдений, произведенных различными метеорологическими станциями средней Европы при помощи шаров-зондов. В табл. 12 приведены эти средние данные по Гемфри для лета и зимы отдельно. В той же таблице под рубрикой «По Соро» при-

Табл. 11. — Международная стандартная атмосфера.

$H, \text{ в}$ $\text{м}$	$\rho_n$	$T_n$	$\frac{T_n}{T_0}$	$\frac{P_n}{P_0}$	$P_n \text{ в}$ $\text{мм рт. ст.}$	$\frac{\rho_n}{\rho_0}$	$\rho_n = \frac{\gamma}{g}$	$\gamma \text{ в}$ $\text{кг/м}^3$
11 000	-56,5	216,5	0,7517	0,2229	169,4	0,2967	0,0371	0,3636
12 000	-56,5	216,5	0,7517	0,2229	169,4	0,2927	0,0371	—
13 000	-56,5	216,5	0,7517	—	—	—	—	—
14 000	-56,5	216,5	0,7517	—	—	—	—	—
15 000	-56,5	216,5	0,7517	0,1186	0,1579	90,14	0,0187	0,1935
15 500	-56,5	216,5	0,7517	0,1098	0,1453	83,5	0,0183	0,1795
16 000	-56,5	216,5	0,7517	0,10106	0,1338	76,88	0,01685	0,1658
16 500	-56,5	216,5	0,7517	0,0935	0,1235	70,95	0,01555	0,1525
17 000	-56,5	216,5	0,7517	0,08907	0,1148	67,70	0,0144	0,1418
17 500	-56,5	216,5	0,7517	0,07984	0,1056	60,68	0,0133	0,1305
18 000	-56,5	216,5	0,7517	0,07384	0,09769	56,12	0,0123	0,1207
18 500	-56,5	216,5	0,7517	0,06834	0,090389	51,92	0,01139	0,1116
19 000	-56,5	216,5	0,7517	0,06302	0,08181	47,90	0,0103	0,1030
19 500	-56,5	216,5	0,7517	0,05823	0,07545	44,26	0,0095	0,09516
20 000	-56,5	216,5	0,7517	0,05402	0,07013	41,06	0,009	0,08926
20 500	-56,5	216,5	0,7517	0,04994	0,06608	37,96	0,00832	0,08162
21 000	-56,5	216,5	0,7517	0,04598	0,06384	34,95	0,00766	0,07590
21 500	-56,5	216,5	0,7517	0,04395	0,05607	32,22	0,00706	0,06926
22 000	-56,5	216,5	0,7517	0,03938	0,0521	29,93	0,00656	0,06445
22 500	-56,5	216,5	0,7517	0,03614	0,04751	27,47	0,00609	0,05906
23 000	-56,5	216,5	0,7517	0,03365	0,04448	25,55	0,0056	0,05494
23 500	-56,5	216,5	0,7517	0,03139	0,04154	23,88	0,00523	0,05131
24 000	-56,5	216,5	0,7517	0,02839	0,03757	21,59	0,00473	0,04640
24 500	-56,5	216,5	0,7517	0,02653	0,0351	20,17	0,00442	0,04395
25 000	-56,5	216,5	0,7517	0,02481	0,03256	18,71	0,0041	0,04020
25 500	-56,5	216,5	0,7517	0,0231	0,02979	17,11	0,00375	0,03679
26 000	-56,5	216,5	0,7517	0,02097	0,02772	15,92	0,00349	0,03442
26 500	-56,5	216,5	0,7517	0,01958	0,02592	14,87	0,003264	0,03202
27 000	-56,5	216,5	0,7517	0,01777	0,02351	13,81	0,00296	0,02900
27 500	-56,5	216,5	0,7517	0,01675	0,02216	12,73	0,00279	0,02737
28 000	-56,5	216,5	0,7517	0,01525	0,02017	11,59	0,00254	0,02492
28 500	-56,5	216,5	0,7517	0,01417	0,01875	10,77	0,00236	0,02314
29 000	-56,5	216,5	0,7517	0,01302	0,01723	9,90	0,00217	0,02127
29 500	-56,5	216,5	0,7517	0,01200	0,01588	9,125	0,002	0,01982
30 000	-56,5	216,5	0,7517	0,01110	0,01477	8,45	0,00186	0,01824

Табл. 12. — Экспериментальные данные давлений и температур.

Высота $H \text{ в м}$	По Гемфри						По Соро		
	Лето			Зима			$P_n$	$\gamma_n$	$\rho_n$
	$P_n^{*1}$	$\gamma_n^{*2}$	$\rho_n$	$P_n$	$\gamma_n$	$\rho_n$			
0	762,55	1,22442	+14,7	763,3	1,28758	+ 1,7	763,9	—	+15
500	718,75	1,15917	—	717,4	1,21231	—	—	—	—
1 000	677,24	1,09961	+11,8	674,1	1,14783	+ 0,6	674,1	—	+ 8,5
1 500	637,81	1,04630	—	635,1	1,08423	—	—	—	—
2 000	600,31	0,99519	+ 6,2	594,4	1,02503	- 4,1	594,8	1,018	+ 2
2 500	564,67	0,94556	—	557,7	0,97008	—	—	—	—
3 000	530,52	0,89773	+ 1	522,99	0,91987	- 9,1	524,1	0,9081	- 4,8
4 000	468,23	0,80807	- 4,2	458,91	0,82662	-15,3	461	0,8137	-10
5 000	411,93	0,72857	- 9,9	401,32	0,74393	-22,2	404,3	0,7314	-16,6
6 000	361,32	0,65335	-16,2	349,62	0,66841	-21,3	353,4	0,6577	-24
7 000	315,84	0,58739	-24,2	303,34	0,59605	-36,6	307,6	0,590	-31,6
8 000	274,98	0,52726	-30,7	261,94	0,53011	-43,6	266,6	0,5265	-39,8
9 000	238,39	0,47170	-38,2	225,37	0,46861	-49,6	230,2	0,4665	-45
10 000	205,77	0,41894	-44,8	193,19	0,41034	-54,3	198	0,410	-50
11 000	176,95	0,36866	-50	165,19	0,35520	-56,8	169,9	0,3574	-53,8
12 000	151,50	0,31903	-52,8	141,11	0,30343	-57,2	145,4	0,3093	-56,3
13 000	130,14	0,27351	-52,7	120,55	0,25922	-56,3	124,3	0,2661	-57,9
14 000	111,58	0,23430	-51,9	102,99	0,22146	-56,5	106,2	0,2279	-58,6
15 000	96,67	0,20106	-51,5	87,99	0,18920	-57,1	90,70	0,1946	-58,7
16 000	82,03	0,17240	-51,0	75,18	0,16166	-57,3	77,50	0,1658	-59,4
17 000	70,34	0,14783	-50,1	64,24	0,13813	-57,5	66,25	0,1445	-57,7
18 000	60,32	0,12677	-49,5	54,89	0,11803	-57,6	56,68	0,1202	-56,8
19 000	51,73	0,10872	-49,8	46,81	0,10087	-57,6	48,53	0,1023	-55,8
20 000	44,34	0,09825	-49,8	40,09	0,08820	-57,9	41,58	0,0872	-54,8
21 000	38,05	0,07997	-49,8	34,26	0,07367	-57,9	35,66	0,0744	-53,9
22 000	32,64	0,06860	—	29,28	0,06296	—	30,61	0,0655	-52,9
23 000	27,99	0,05829	—	25,02	0,05380	—	26,30	0,0543	-52
24 000	24,01	0,04946	—	21,39	0,04559	—	22,60	0,0454	-51,2
25 000	20,80	0,04329	—	18,38	0,03821	—	19,44	0,0398	-50,5
26 000	17,67	0,03714	—	15,63	0,03361	—	16,74	0,0341	-49,9
27 000	15,16	0,03186	—	13,36	0,02873	—	14,42	0,0293	-49,4
28 000	13,01	0,02734	—	11,42	0,02456	—	12,42	0,0231	-48,9
29 000	11,16	0,02345	—	9,77	0,02101	—	10,71	0,0216	-48,5
30 000	9,58	0,02013	—	8,35	0,01795	—	9,23	0,0156	-48,2
32 000	7,05	0,01482	—	6,10	0,01312	—	—	—	—
34 000	5,19	0,01091	—	4,46	0,00935	—	—	—	—
36 000	3,93	0,00805	—	3,27	0,00703	—	—	—	—
38 000	2,82	0,00593	—	2,39	0,00514	—	—	—	—
40 000	2,08	0,00437	—	1,75	0,00376	—	—	—	—

\*1 В мм ртутного столба. \*2 В кг/м<sup>3</sup>.



водены значения  $p_n$ , подсчитанные по ф-ле (9),  $\gamma_n$  — по формуле (16) и  $t_n$ , выведенные Соро на основе его предположений о распределении  $t^0$  в стратосфере.

**Аэростатический расчет.** Подъемная сила  $1 \text{ м}^3$  газа (удельная подъемная сила)

$$a = \gamma_0 - \gamma_n = (1-s) \gamma_0. \quad (25)$$

Здесь и в дальнейшем индексом  $\sigma$  обозначены все величины, относящиеся к воздуху, индексом  $\sigma$  — к поднимаемому газу. По ф-ле (10) уд. подъемная сила газа с учетом наличия водяных паров в воздухе и газе и изменения  $g$  с высотой  $H$  и широтой места определится (считая  $T_{i0} = T_{\sigma 0} = T_0$ ) из ф-лы

$$a = \frac{g}{g_0} \frac{T_0}{p_0} \left\{ \frac{[p_n - p_{\sigma, n} (1-\delta)]}{T_n} \gamma_{\sigma 0} - \frac{[p_n - p_{\sigma, n} (1-\frac{\delta}{s})]}{T_i} \gamma_{i0} \right\}. \quad (26)$$

Не учитывая изменения  $g$ , на что при определении  $a$  имеем тем большее право, что одновременно с изменением  $a$  в том же отношении изменяются и веса поднимаемых масс  $S$ , и считая, что водяные пары, являющиеся составной частью воздуха и газа, учитываются соответствующим изменением  $\gamma_{\sigma 0}$  и  $\gamma_{i0}$ , перепишем ф-лу

$$a = \frac{T_0}{p_0} \left[ \left( \frac{p_n}{T_n} \right) \gamma_{\sigma 0} - \left( \frac{p_i}{T_i} \right) \gamma_{i0} \right]. \quad (27)$$

Полная подъемная сила газа в оболочке  $S$  объемом  $U$  будет

$$A = Ua = U \frac{T_0}{p_0} \left[ \left( \frac{p_n}{T_n} \right) \gamma_{\sigma 0} - \left( \frac{p_i}{T_i} \right) \gamma_{i0} \right]. \quad (28)$$

Если принять  $p_n = p_i = p$  (величина  $p$  несколько различается на уровнях аппендикса и полюса оболочки, однако очень незначительно, за  $p$  всюду принимаем среднее давление на уровне центра объема оболочки), то ф-ла (28) примет вид

$$A = Ua = U \frac{T_0 p}{p_0} \left[ \left( \frac{1}{T_n} \right) \gamma_{\sigma 0} - \left( \frac{1}{T_i} \right) \gamma_{i0} \right]. \quad (29)$$

Если при этом  $t^0$  газа и воздуха, равные вначале, изменяются одинаково, т. е. остается  $T_{\sigma} = T_i = T_0$ , то

$$A = Ua = U \frac{T_0 p}{p_0} (\gamma_{\sigma 0} - \gamma_{i0}) = U \frac{T_0}{T} \frac{p}{p_0} a_0. \quad (30)$$

Оболочка  $S$  наполняется у земли газом только на небольшую часть своего объема с таким расчетом, чтобы подъемная сила газа у земли  $A_0$  была равна сумме весов: конструкции  $S$ . —  $g_k$ , всего находящегося в gondole оборудования и снаряжения —  $g_{см.}$ , веса пилотов —  $g_n$ , балласта маневренного —  $g_{б.м}$  и балласта, необходимого для спуска и резервного —  $g_{б.е}$  плюс некоторая сплавная подъемная сила  $A_{смл.0}$ . Т. е.:

$$A_0 = g_k + g_{см.} + g_n + g_{б.м} + g_{б.е} + A_{смл.0} = \sum g + g_{б.м} + g_{б.е} + A_{смл.0} = \sum G + A_{смл.0}, \quad (31)$$

где

$$\sum g = g_k + g_{см.} + g_n$$

и

$$\sum G = \sum g + g_{б.м} + g_{б.е};$$

отсюда

$$A_{смл.0} = A_0 - \sum G = U_0 (\gamma_{\sigma 0} - \gamma_{i0}) - \sum G. \quad (32)$$

Чем меньший процент составляет начальный объем газа  $U$  от полного объема оболочки  $U_{3,\sigma}$ , тем на большую высоту  $S$  может подняться (индекс  $\sigma$ , здесь и в дальнейшем означает «зона выполнения»). До зоны выполнения, т. е.

до той высоты, на которой расширившийся вследствие изменения атмосферных условий газ займет (выполнит) весь объем оболочки, подъем  $S$  будет происходить по законам для невыполненного аэростата. Начinal с высоты зоны выполнения, дальнейший подъем — по законам аэростатики для выполненного аэростата. Спуск  $S$  происходит по законам для невыполненного аэростата. В течение подъема или спуска возможны конечные переходы от одного состояния к другому. На любой высоте  $H$  до зоны выполнения

$$A_{смл.н} = A_n - \sum G = U_n (\gamma_{\sigma_n} - \gamma_{i_n}) - \sum G = U_n \sigma_n - \sum G \quad (33)$$

или т. к.

$$\gamma_{\sigma_n} = \gamma_{\sigma 0} \frac{p_{\sigma_n}}{p_0} \frac{T_0}{T_{\sigma_n}}, \quad (34)$$

$$\gamma_{i_n} = \gamma_{i0} \frac{p_{i_n}}{p_0} \frac{T_0}{T_{i_n}} \quad (35)$$

и

$$U_n = U_0 \frac{p_0}{p_{i_n}} \frac{T_{i_n}}{T_0}, \quad (36)$$

то

$$A_{смл.н} = A_n - \sum G = U_0 \left[ \gamma_{\sigma 0} \left( \frac{p_{\sigma_n}}{p_{i_n}} \right) \left( \frac{T_{i_n}}{T_{\sigma_n}} \right) - \gamma_{i0} \right] - \sum G. \quad (37)$$

При невыполненной оболочке  $S$  стенки ее могут свободно расширяться, поэтому  $p_{i_n} = p_{\sigma_n} = p_n$  и ф-ла (37) будет

$$A_{смл.н} = A_n - \sum G = U_0 \left[ \gamma_{\sigma 0} \left( \frac{T_{i_n}}{T_{\sigma_n}} \right) - \gamma_{i0} \right] - \sum G. \quad (38)$$

Из этого ур-ия видно, что  $A_{смл.} = \text{Const}$  для всех  $H$  до зоны выполнения, если отношение абсолютных темп-р газа и воздуха остается неизменным, хотя  $T_{i_n} \neq T_{\sigma_n}$ . Т. к.  $\frac{T_{i_n}}{T_{\sigma_n}} = 1 + \frac{T_{i_n} - T_{\sigma_n}}{T_{\sigma_n}}$ , то следовательно  $A_{смл.н} = \text{Const}$ , если отношение разности абсолютных темп-р газа и воздуха к  $t^0$  воздуха равно  $\text{Const}$ . Если  $T_{i_n} = T_{\sigma_n}$ , то ур-ие (38) напишется:

$$A_{смл.н} = A_n - \sum G = U_0 (\gamma_{\sigma 0} - \gamma_{i0}) - \sum G = U_0 a_0 - \sum G = A_0 - \sum G, \quad (39)$$

т. е.

$$A_{смл.н} = A_{смл.0} = A_{смл.з.0} = \text{Const}.$$

Следовательно  $S$  будет подниматься до высоты зоны выполнения с постоянной сплавной подъемной силой; на этой высоте ур-ие (39) еще остается в силе. Высота зоны выполнения определится из ф-лы

$$A_{з.0} = U_{з.0} a_{з.0} = U \gamma_{\sigma, з.0} (1-s) = A_{смл.} + \sum G \quad (40)$$

как соответствующая

$$\gamma_{\sigma, з.0} = \frac{A_{смл.} + \sum G}{U(1-s)}, \quad (41)$$

где  $U$  — объем выполненной оболочки  $S$ , остающийся неизменным и при дальнейшем подъеме  $S$ . выше зоны выполнения. Дойдя до зоны выполнения  $S$  будет продолжать подъем, причем  $A_{смл.}$  будет постепенно уменьшаться за счет свободного выхода части расширяющегося при этом газа через аппендикс (если бы он был закрыт, то вследствие увеличения  $p$ , по сравнению с  $p_0$  напряжение материи оболочки сильно увеличилось

бы и она могла бы лопнуть). Подъем будет происходить до зоны равновесия, т. е. до высоты, на  $k$ -рой подъемная сила уменьшится до  $A_{сн.к.}$ , и следовательно, если балласт при подъеме до зоны равновесия не расходовался, то

$$A_{з.р} = A_{з.с} - A_{сн.к} = \sum G = \sum g + g_{об.н} + g_{об.с} = U \gamma_{з.р} (1-s). \quad (42)$$

Отсюда высота зоны равновесия определится как соответствующая

$$\gamma_{з.р} = \frac{\sum g + g_{об.н} + g_{об.с}}{U(1-s)}. \quad (43)$$

На высоте  $H$ , соответствующей этой плотности воздуха,  $C$ . остановится (фактически благодаря инерции  $C$ . несколько превысит эту высоту), дальнейший подъем возможен либо за счет сбрасывания части балласта (уменьшения величины  $g_{об.н}$ ) либо за счет увеличения  $t^2$ , по сравнению с  $t^2_{з.р}$ . До начала спуска  $g_{об.с}$  должен оставаться неизменно, следовательно максимальная высота  $H_{max}$   $k$ -рой  $C$ . может достигнуть, определится из

$$\gamma_{з.р} = \gamma_{сн.к} = \frac{\sum g + g_{об.с}}{U(1-s)}. \quad (44)$$

Из этой ф-лы видно, что  $H_{max}$  зависит от уд. в. наполняющего  $C$ . газа и от отношения  $\sum g + g_{об.с}$  к объему, т. е. от веса конструкции  $C$ . и поднимаемых на потолок грузов, приходящихся на единицу объема. При конструировании нового  $C$ ., задаваясь определенной целью полета, определив количество экипажа (обычно 2—3 чел.), подсчитавшие веса оборудования и снаряжения gondoly. Т. о.  $g_n$  и  $g_{сн.к}$  (естественно, что  $g_{сн.к}$  отчасти зависит и от заданной продолжительности полета) известны. Вес конструкции  $C$ .  $g_k$  в ф-ле (31) состоит из веса оболочки  $g_{об.н}$ , веса клапана, аппендикса, разрывного приспособления и прочего снаряжения оболочки, таскалажа, кановой вес обозначим  $g_m$ , и из веса gondoly  $g_i$ ; последним весом, после того как определены габаритные размеры gondoly, легко задаться хотя бы на основании статистич. данных. Т. о.  $\sum g$  в ф-ле (44) м. б. представлено, как

$$\sum g = (g_i + g_{сн.к} + g_n) + (g_{об.н} + g_m) = g_{const} + (g_{об.н} + g_m).$$

Вес  $g_{const} = g_i + g_{сн.к} + g_n$  можно считать не зависящим от объема оболочки и от высоты подъема  $C$ ., вес  $g_{об.н} + g_m$  зависит от  $U$ ,  $k$ -рое в свою очередь зависит от заданной  $H$  подъема;  $g_{об.н} + g_m$  может очень значительно изменяться от  $U$  и в пределах данного  $U$  зависит гл. об. от веса материи, идущей на изготовление оболочки  $C$ .

Поверхность оболочки  $F = 4,85 U^{\frac{2}{3}}$ ; если вес 1  $m^2$  материи  $q$ , то  $g_{об.н} = 4,85 U^{\frac{2}{3}} q$ ;  $g_m$  можно задаться как определенным процентом от  $g_{об.н}$ ; примем  $g_m = kg_{об.н}$  (при предварительных подсчетах вес таскалажа, аппендикса, клапана и прочего снаряжения оболочки можно принять равным 15% от  $g_{об.н}$ , т. е.  $g_m = 0,15 g_{об.н}$ , хотя следует иметь в виду, что чем материал легче, тем больший процент от  $g_{об.н}$  составляет  $g_m$ ); тогда

$g_{об.н} + g_m = 4,85 U^{\frac{2}{3}} (1+k)$ . В ф-ле (44) неизвестно и  $g_{об.с}$ ; возьмем этот вес в ф-ле от полной подъемной силы газа на потолок:

$$g_{об.с} = n A_{н.к} = n \cdot U \gamma_{сн.к} (1-s).$$

Тогда ф-ла (44) переписывается:

$$\gamma_{сн.к} = \frac{g_{const} + 4,85 U^{\frac{2}{3}} q (1+k) + n U (1-s) \gamma_{сн.к}}{U(1-s)} = \frac{g_{const} + 4,85 U^{\frac{2}{3}} q (1+k)}{U(1-s)(1-n)}. \quad (45)$$

Задаваясь  $g_{об.с}$  в долях от  $A_{н.к}$  (о количестве необходимого  $g_{об.с}$  см. ниже), будем иметь в правой части ур-ния (45) неизвестной только величину  $U$ . Задаваясь различными  $U$ , определим соответствующие им  $\gamma_{сн.к}$ , а по этим последним найдем (из таблиц) значения  $H_{max}$ , т. е. можем построить кривую  $H$  по  $U$ . Предлагаемый способ очень удобен для предварительного выбора объема оболочки, необходимого для достижения заданной  $H_{max}$ , когда вес 1  $m^2$  материи, из  $k$ -рой будет изготовляться  $C$ ., известен. Величина  $s$ , входящая в ф-лу (45), при условии равенства  $T_0 = T_1$ , зависит для данного газа от наличия в нем примесей, в частности водяных паров, и от  $T_0$  и  $p_0$  на земле. В табл. 13 даны  $\gamma_0$  для воздуха и  $\gamma_0$ ,  $a_0$  и  $s$  для водорода и гелия. Т. е. н и ч е с к и м г а з о м называемся газ с нек-рой средней установленной практикой и обычно у нас применяемой при подсчетах величины  $\gamma_0$  (точное определение  $\gamma_0$  возможно только на старте, при наполнении  $C$ . данным газом). Во всех построенных  $C$ . газом для наполнения служил водород; гелий, безопасный в пожарном отношении, дает, как видно из табл. 13; меньшую  $a_0$  и следовательно

Табл. 13.—Значения  $\gamma_0$ ,  $a_0$ ,  $s$  для воздуха, водорода и гелия при различных их состояниях.

Наименование	$\gamma_0$ , кг/м <sup>3</sup>	$a_0 = \gamma_0 - \gamma_1$	$s = \frac{\gamma_1}{\gamma_0}$
Воздух при нормальных условиях (0° и 760 мм рт. ст.)	1,295	—	—
Водород чистый, сухой при тех же условиях . . . . .	0,09	1,203	0,0696
Водород технический при тех же условиях . . . . .	0,132	1,161	0,1021
Гелий чистый, сухой при тех же условиях . . . . .	0,18	1,113	0,1392
Гелий технический при тех же условиях . . . . .	0,237	1,056	0,1833
Воздух при стандартных условиях (15° и 760 мм рт. ст.) . . . . .	1,225	—	—
Водород чистый, сухой при тех же условиях . . . . .	0,08531	1,13969	0,0696
Водород технический при тех же условиях . . . . .	0,125	1,100	0,1021
Гелий чистый, сухой при тех же условиях . . . . .	0,1706	1,0544	0,1392
Гелий технический при тех же условиях . . . . .	0,225	1,000	0,1836

но требует для достижения той же  $H$ , что и при водороде, значительно большего объема  $C$ . Если известно  $\gamma_0$  при данном  $T_1$ , то пересчет на другое  $T$  производится по формуле  $\gamma_{0T} = \gamma_{0T_1} \frac{T_1}{T}$ . При определении  $H_{max}$  по ф-ле (42) мы считаем, что  $T_{1n} = T_{сн.к}$ , т. е. не учитываем происходящего вследствие влияния солнечной радиации перегрева газа по сравнению с  $t^2_{з.р}$ . Эта разница может достигнуть 60—80° и даже больше. За счет перегрева газа получится некоторая дополнительная подъемная сила:

$$\Delta A_n = A'_n - A_n = U (a'_n - a_n) = U [(\gamma'_{сн.к} - \gamma_{сн.к}) - (\gamma'_{об.н} - \gamma_{об.н})]. \quad (46)$$

Пользуясь приведенными выше соотношениями, принимая новую  $t^2$  газа за  $T'_{з.р}$  и считая, что

$t_0^{\circ}$  не меняется, т. е.  $T_{0n}^{\circ} = T_{0n} = T_{1n} = T_n$ , получим

$$\Delta A_n = U \left[ \frac{p_n'}{p_n} \left( \gamma_{0n} - \gamma_n \frac{T_n}{T_{1n}} \right) - a_n \right] \quad (47)$$

или, принимая  $p_n' = p_n$ , т. е. считая приращение  $\Delta A_n$  на данной высоте  $H$

$$\begin{aligned} \Delta A_n &= U \gamma_n \left( 1 - \frac{T_n}{T_{1n}} \right) = U \gamma_n \left( \frac{T_{1n}' - T_n}{T_{1n}} \right) = \\ &= U \gamma_n \frac{\Delta T}{T_{1n}} = U \Delta a_n, \end{aligned} \quad (48)$$

где  $\Delta a_n = a_n' - a_n$ .

Это приращение подъемной силы газа равносильно сбрасыванию со С. балласта весом  $\Delta A_n$ , под влиянием чего С. поднимется на новую высоту  $H'_{max}$ , превышающую  $H_{max}$  на  $\Delta H$ ; высота  $H'_{max}$  найдется из построенной заранее кривой  $a_n'$  по  $H$  с учетом данного перегрева  $t_0^{\circ}$ , по сравнению с  $t_0^{\circ}$  или путем простых пересчетов. Если происходит изменение  $t_0^{\circ}$  и  $t_0^{\circ}$ , то при условии неизменения  $p_n$  изменение величины  $a_n$  можно производить и по ф-ле, к-рой обычно пользуются при полетах на сфериках:

$$a_n' - a_n = \alpha [\gamma_{0n} (T_{0n}' - T_{0n}) - \gamma_{0n} (T_{1n}' - T_{1n})]. \quad (49)$$

Если  $T_1 \neq T_n$  и  $p_1 = p_n \neq \text{Const}$ , то

$$a_n' - a_n = \frac{p_n' - p_n}{p_0} a_n - \alpha \frac{p_n'}{p_n} \{ a_0 (t_{0n}' - t_{0n}) - \gamma_{0n} [(t_{1n}' - t_{1n}') - (t_{1n} - t_{0n})] \}. \quad (50)$$

На величину  $g_{6,c}$ , входящую в ф-лу (45), очень сильно влияет возможное изменение атмосферных условий во время полета. Основное количество балласта требуется для компенсации потери подъемной силы за счет выхода части газа через аппендикс при расширении его вследствие перегрева по сравнению с  $t_0^{\circ}$ ; разница в  $t_0^{\circ}$  на месте и в момент старта и  $t_0^{\circ}$  при спуске, особенно если спуск происходит после захода солнца (а подъем утром, как обычно), также влияет на величину  $g_{6,c}$ ;  $t_0^{\circ}$  может стать во время спуска (напр. ночью) даже ниже  $t_0^{\circ}$ ; на уменьшение  $t_0^{\circ}$  влияет и скорость спуска. Продолжительность пребывания на высоте может отразиться на потере газа вследствие газопроницаемости оболочки. Наконец при обратном прохождении С. через тропосферу возможно увеличение влажности воздуха (и газа) по сравнению с той, которая была при подъеме; возможны и осадки, сильно утяжеляющие оболочку. Все эти обстоятельства учесть точно заранее при проектировании нового С. невозможно, поэтому величину  $g_{6,c}$  приходится учитывать приближенно и на обычных С. не продолжать полет, если нет полной гарантии, что наличие  $g_{6,c}$  при данных атмосферных и прочих условиях обеспечивает безопасный спуск.

Существующие ф-лы для подсчета балласта, применяемые для сферич. аэростатов, мало пригодны для С., т. к. дают явно преувеличенное или преуменьшенное количество балласта. Можно рекомендовать  $g_{6,c}$  определять по простым ф-лам

$$g_{6,c} = \frac{T_{1n} - T_{0n}}{T_0} A_n \quad (51)$$

или по ф-ле

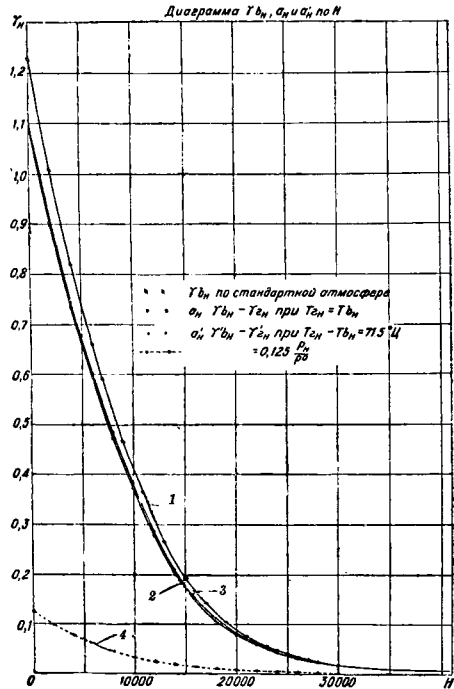
$$g_{6,c} = \left( 1 - \frac{T_{0n}}{T_{1n}} \right) A_n \quad (52)$$

или по ф-ле

$$g_{6,c} = U \frac{T_{0n}}{p_0} \gamma_{0n} \left( \frac{1}{T_{0n}} - \frac{1}{T_{1n}} \right), \quad (53)$$

выведенной из соображения, что при окончании спуска  $t_0^{\circ} = t_0^{\circ}$ .

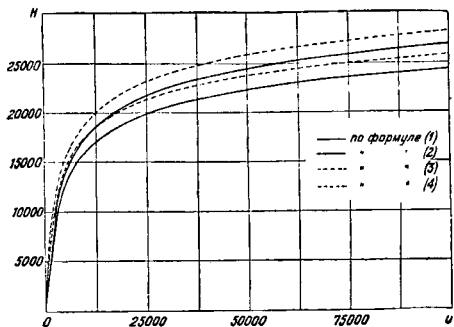
При проектировании С. следует полученные по этим ф-лам величины [ф-лы (51) и (52) дают большие значения  $g_{6,c}$ , чем ф-ла (53)] несколько увеличивать. Можно рекомендовать учесть балласт в количестве: для спуска 20–25% и для маневрирования на потолке ок. 5% от  $A_n$ . Кроме того д. б. резервный балласт, к-рый можно не учитывать, т. к. им будет служить использованные во время полета кислородные баллоны, дробные в



Фиг. 26.

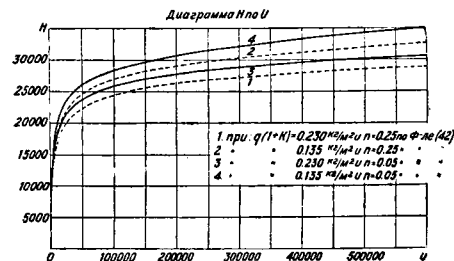
приборах и прочее не необходимое и не ценное снаряжение и оборудование. Если такого снаряжения много, то естественно допустимо уменьшить и общее количество балласта, на что особенно возможно рассчитывать при проектировании рекордного С. Уменьшение балласта (взятая в том или ином виде) возможно только в случае проектирования С., обеспечивающего безопасность спуска во всех случаях, т. е. имеющего специальное приспособление для парашютирования оболочки со скоростью не выше 5 м/сек (даже в случае полной потери газа), как это позволяет напр. система С., разработанного автором. На фиг. 26 кривая  $\gamma_{0n}$  по  $H$  (1), построенная по стандартной атмосфере, и кривые подъемных сил без учета разницы  $t_1$  и  $t_2$  (2) и с учетом этой разницы (3); при построении последней кривой считалось, что  $T_{1n} = T_0 = 288^{\circ}$ ;  $T_{0n}$  бралось по условиям стандартной атмосферы; на этой же диаграмме нанесена кривая  $s$  по  $H$  (4). На фиг. 27, 28 кривые  $H$  по  $U$ , построенные по предлагаемой ф-ле (45), причем при построении их учитывалось: для кривой (1) — вес 1 м<sup>2</sup>

оболочки и приходящегося на нее веса швов, аппендикса, клапана, талелажка и пр.  $\cong q(1+k) = 0,23 \text{ кг/м}^2$  и вес балласта  $g_{б.с} = 0,25 A_n \text{ кг}$ ,



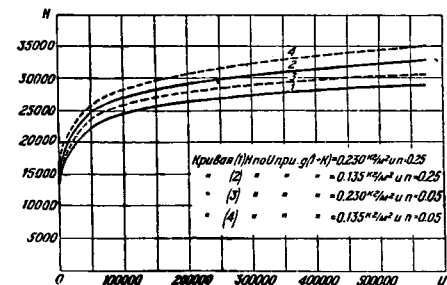
Фиг. 27.

т. е. коэф.  $n$  в ф-ле (45) равен 0,25; для кривой (2)  $q(1+k) = 0,135 \text{ кг/м}^2$ ,  $n = 0,25$ ; для кривой (3)  $q(1+k) = 0,23 \text{ кг/м}^2$  и  $n = 0,05$ ; для



Фиг. 28.

кривой (4)  $q(1+k) = 0,135 \text{ кг/м}^2$  и  $n = 0,05$ . Рассчитывать на облегчение материи до 100—110  $\text{г/м}^2$  возможно (мы упоминали, что Пинкар проектирует С. из материи 67  $\text{г/м}^2$ ), уменьшение



Фиг. 29.

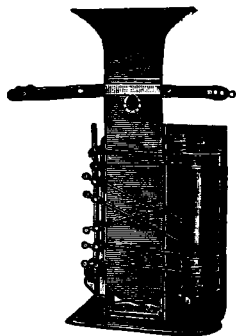
балласта до 5% от  $A_n$  на обычного типа С. невозможно. Из кривых видно, что при увеличении объема до 50 000  $\text{м}^3$  приращение  $H$  идет быстро, при дальнейшем увеличении  $U$  возрастание  $H$  сильно замедляется.

На фиг. 29 ( $H$  по  $U$  при  $T_{гн} - T_{гн} = 71,5^\circ$ ) — кривые, аналогичные фиг. 28, но с учетом разогрева газа по сравнению с  $t^\circ$  воздуха. При коэф-те балласта  $n = 0,05$  спуск возможен только пу-

тем парашютирования С. Кривые фиг. 29 строим из след. соображений: вес всей системы, поднимаемой на данный потолок  $H$ , равен  $U a_n = U' a'_n$ ,  $u' = U \frac{a_n}{a'_n}$ , т. е. для достижения одного

и того же потолка, если учесть перегрев газа, требуется меньший объем оболочки, чем  $U$ . Подставляя различные значения  $U$  и находя соответствующие им значения  $H$  из фиг. 29, получим новые кривые  $H$  по  $U'$ , идущие выше соответствующих кривых  $H$  по  $U$ , построенных без учета перегрева газа. Кривые  $H$  по  $U'$  показывают (по сравнению с кривыми  $H$  по  $U$ ), насколько уменьшится объем, потребный для достижения заданной  $H$ , если учитывать разницу  $t^\circ$  газа и воздуха, или насколько увеличится по той же причине достигаемая  $H$  при заданном объеме. Кривые  $H$  по  $U'$  построены при условии  $T_{гн} = T_0$ ,  $T_{гн}$  изменяется по стандартной атмосфере: можно построить ряд кривых для различных  $T_{гн}$ ,  $T_{гн}$  и в зависимости от предполагаемых температурных условий полета определять  $H$  соответствующим данным объемом или объемом, необходимым для достижения данных  $H$ . Упомянем, что из кривых  $a'_n$  по  $H$  по сравнению с кривой  $a_n$  по  $H$  легко определяется приращенное  $H$  при  $T_{гн} > T_{гн}$ .

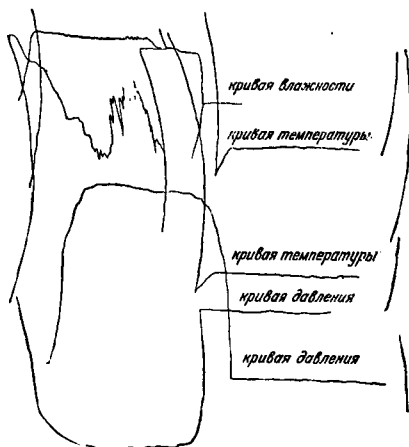
**Научные исследования и приборы для исследований в стратосфере.** Основные задачи научных исследований в стратосфере, которые м. б. проведены на С., следующие: а) Изучение давления,  $t^\circ$  и влажности воздуха, облачности и осадков, видимости атмосферных слоев по горизонталю и вертикали и оптических явлений; проверка барометрич. ф-лы. б) Исследование космич. лучей (космич. излучения по терминологии Мелликена); измерение их интенсивности последовательно на ряде высот (для получения кривой зависимости интенсивности от массы вышележащего слоя атмосферного воздуха), что дает материал для решения вопроса о природе космич. лучей, наблюдения над проникающей способностью (жесткостью) их, что дает возможность определить спектральный состав космических лучей. Изучение космич. лучей очень важно, т. к. ими решается ряд физич. законов нашей планеты; это изучение может дать ключ к познанию мира за пределами солнечной системы и к строению вселенной. Химич. и физиологич. действие космических лучей очень велико и почти совсем не изучено. в) Наблюдения над про-



Фиг. 30.

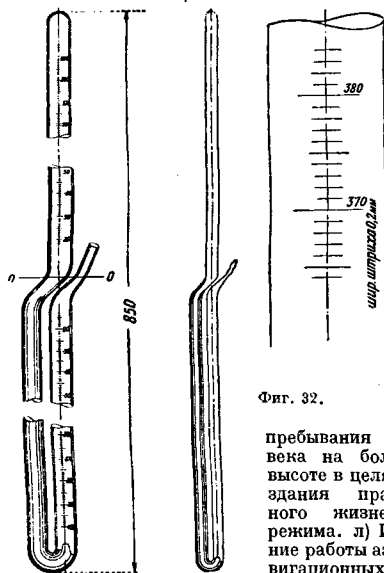
водимостью атмосферы и над напряжением электрического поля. г) Наблюдения над изменением напряжения солнечной и рассеянной радиации с высотой. д) Исследование химического состава воздуха на различных высотах. е) Изучение направления и силы воздушных течений на различных высотах. ж) Определение яркости неба. Кроме того полеты на С. решает ряд практич. задач, связанных гл. обр. с подготовкой полетов в стратосфере на стратопланах. а) Применение агро-

фотосъемки с больших высот. и) Изучение действия комбинированного влияния на материалы предных лучейспусканий, озона, низких и высоких  $t^{\circ}$ . к) Действие тех же комбинированных



Фиг. 31.

влияний на человеческий организм. Физиологич. условия пребывания человека в специальных герметич. гондолах. Проверка на опыте действия аппаратуры для обеспечения длительного



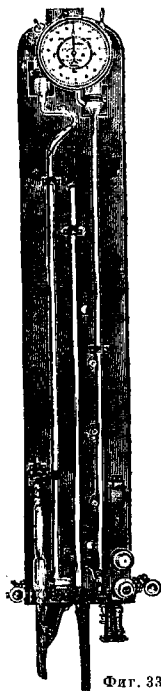
Фиг. 32.

пребывания человека на большой высоте в целях создания правильного жизненного режима. л) Изучение работы аэронавигационных приборов для управ-

ления стратосферным полетом в условиях отсутствия земных ориентиров. Влияние магнитных свойств стратосферной среды на показания приборов. м) Изучение вопросов применения аэрофотосъемки с больших высот. н) Проверка регулярности и радиопередачи с больших высот. о) Ряд вопросов о военном использовании

стратосферных полетов. Таким образом С. является научной лабораторией для решения чрезвычайно важных научных и практич. задач и наиболее простым и реальным на данный момент средством для обеспечения дальнейшего завоевания стратосферы с целью передвижения в ней на стратопланах.

Приборами для наблюдения над давлением воздуха служат ртутные и легкожидкостные специальной конструкции барометры и барометрич. часть специальных метеорографов; для наблюдения над температурой — специальные электрические платиновые термометры и темп-рные приемники специального метеорографа. На фиг. 30 показан примененный на С. «СССР-1» метеорограф, разработанный проф. Молчановым в Ин-те аэрологии главной геофизической обсерватории. Раструб в верхней части вентиляционной шахты прибора устроен для увеличения вентиляции, к-рая создавалась при помощи вентилятора типа

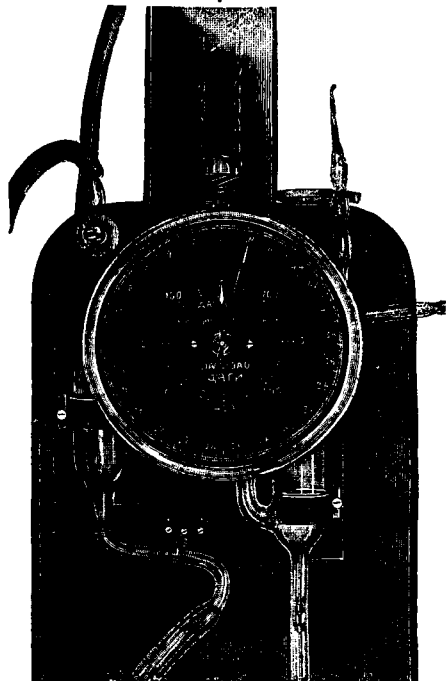


Фиг. 33.

Сиронко. На фиг. 30 кожух снят и справа виден барабан, на котором производится запись. На фиг. 31 автоматич. запись метеорографа при полете «СССР-1». На фиг. 32 схема также использованного на С. «СССР-1» ртутного барометра сифонного типа с точностью измерений до  $\pm 1$  мм рт. ст. Барометр заключен в металлическую оправу и освещался (при отсчетах) электрич. лампочками. Для избежания неточности в отсчетах, происходящей вследствие непрерывного движения жидкости в трубках во время подъема или спуска С., на резиновых трубках, соединяющих открытые колена сифонов с наружным воздухом, установлены краники, поворотом которых барометр м. б. разъединен от наружного воздуха; при этом жидкость в коленах останавливалась. На фиг. 33 показан ртутный баровакуумметр с передачей перемещения ртутного столба на стрелку, что повышает удобство, а также точность отсчетов по сравнению с нормальным ртутным баровакуумметром в 6 раз. На фиг. 34 дана отдельная верхняя часть прибора со шкалой. Кроме того в ЦАГИ секцией ЛАС под руководством инж. Ноздровского построен светочувствительный высотометр, к-рый имеет 2 шкалы — крупную и мелкую — от 0 до 40 000 м. Масштаб показаний по крупной шкале 2 м высоты в 1 мм перемещения стрелки и на мелкой шкале (дибутил-фталатный баровакуумметр), позволяющей измерять абсолютное давление от 0 до 280 мм рт. ст. с точностью до  $\pm 0,03$  мм рт. ст.

Для точных измерений темп-р употребляются электрич. платиновые термометры. В одном из таких термометров, разработанных ГГО, приемником служит платиновая проволока, натянутая в виде ряда спиралей внутри круглого ободка, заключенного в проволочную защиту. Помещаемый вне кабины приемник соединяется со стрелочным омметром, находящимся в кабине; от-

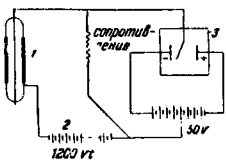
счет производится по шкале омметра, разделенной на градусы температуры; прибор пригоден до  $t^{\circ} = -70^{\circ}$ . Для измерения прозрачности атмосферы и для оптич. наблюдений служит фотометр. Проверка барометрич. ф-лы производится путем одновременных отсчетов (с приме-



Фиг. 34.

нием радиосигналов) по барометрам и по базисным наблюдениям при помощи точных геодезич. теодолитов.

Приборы для измерения интенсивности космич. лучей — а л е к т р о м е т р в Кольгестера; на нем во время полета С. «СССР-1» был сделан ряд измерений на высоте 9 600—15 000 м. Для исследова-

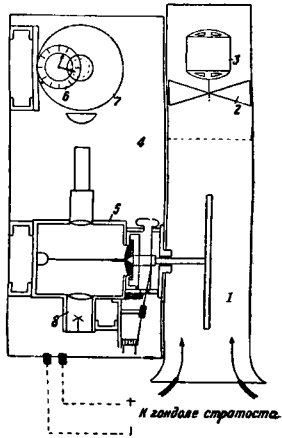


Фиг. 35.

следования проникающей способности космич. лучей на С. «СССР-1» служил электрометр тила Гессе, применяющийся для измерения гамма-лучей радия стратостата. Прибор помещается внутри свинцового фильтра (двухстенный медный сосуд со свинцовой дробью между стенками); в боковой стенке фильтра (толщина 3—10 см) два отверстия — одно для микроскопа, другое для освещения прибора электрической лампочкой. Для фотографирования путей космических лучей служит камера Вильсона. Пиккар для определения космической радиации употреблял прибор, состоящий из закрытого сосуда, в к-ром находится под давлением в 6 atm 30 л углекислого газа, ионизирующего только под действием космич. лучей. Электризация массы молекул этого

газа определялась электрометром Кальвина. Для улавливания ионов космич. происхождения Пиккар употреблял прибор, схема к-рого изображена на фиг. 35. Попадая в наполненную разреженным газом трубку Гейгера 1, космич. лучи встречают поле слабого действия. Молекулы, рассеянные в этой среде, ионизируются через известные интервалы (что позволяет их легко сосчитать); при этом нарушается установившееся при помощи батареи 2 электрич. равновесие между центральной нитью и посеребренной поверхностью трубки, что резко отражается на показаниях электрометра 3 типа электроскопа, к-рый снимается на кинолентку. Фильм позволяет сосчитать число ионов; частота их появления служит мерой напряжения космич. радиации, их производящей. Для определения направления космич. лучей Пиккар во втором полете пользовался прибором, состоящим из удлиненной трубки Гейгера для ионизирования, счетной трубки и усилителя, благодаря к-рому слышны взрывы, происходящие, когда космич.

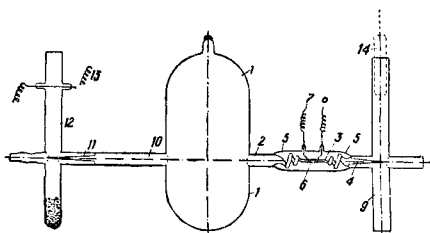
лучи в трубке производят ионизацию. Жан Пиккар во время полета 23/X 1934 г. для измерения действия космич. лучей пользовался аппаратом Милликена, имеющим свинцовую оболочку толщиной 4 дм, и аппаратом, сконструированным ин-том Франклина в Суартморе. Приборы для измерения проводимости атмосферы — а п п а р а т о р Гердиена с фоторегистрирующим приспособлением и электрометром Вульфа. Схема установки этих приборов на С.



Фиг. 36.

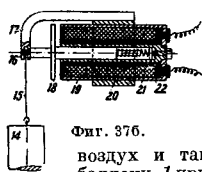
«СССР-1» — на фиг. 36. Через цилиндрик конденсатор 1 пропеллером 2 от моторчика 3 просасывается воздух в направлении стрелок. Внутри светонепроницаемой алюминиевой камеры 4, жестко соединенной с цилиндром и отделенной от него суконной прокладкой для поглощения вибраций мотора, помещаются электрометр Вульфа 5 и контактные часы 6, приводящие в движение барабан 7 с фотографической лентой. Электромангит электрометра производит его вярдуку, а источник света 8 проектирует движение нитей электрометра на барабан. Весь аппарат приводится в действие током, подводимым из гондолы С. от батареи аккумуляторов; измерение напряжения электрич. поля — применением лампового вольтметра или однонитевым электрометром. Для изучения напряжения электрич. поля Пиккар подвешивал снизу гондолы резиновую трубку длиной 100 м, в нее наливался спирт; трубка проходила в гондолу через изолятор из горного хрусталя. Столб спирта (незамерзающей жидкости) воспринимал электрич. потенциал у нижнего отверстия трубки; идущий от него в гондолу металл. проводник позволял измерить разность потенциалов между двумя точками. Другая, примененная Пиккаром схе-

ма измерения электризации атмосферы следующая: на длинном стержне, опущенном из gondoly, укрываются 2 одноосных (один внутри другого) металлических цилиндра, заряженных электричеством разного знака. Во время спуска С., когда между цилиндрами образуется ток воздуха снизу вверх, атмосферные ионы обоих знаков поглощаются одной или другой поверхностью цилиндров; величина этого поглощения определяется электрометром в gondole. Приборы для наблюдения солнечной и рассеянной радиации — пиранометры специального типа. Проф. Калитиным в ГГО для С. «СССР-1» была разработана комбинированная установка, соединяющая в себе пиранометр и альбедометр. Прибор подвешивается на 75 мм от gondoly; трос—провод из трех изолированных жил—



Фиг. 37а.

через переключатель соединяется с гальванометром. Переключатель позволяет измерять прибором суммарную радиацию неба и солнца, радиацию земли и облаков и комбинацию этих отсчетов. Прибор для взятия проб воздуха, разработанный в ГГО Гольцманом (фиг. 37а), представляет баллон емкостью в 1 л, отключаемый и отпаянный под высоким вакуумом. Включением тока внутри gondoly баллон открывается, набирает



Фиг. 37б.

воздух и также вновь запечатывается. К баллону 1 припаяна трубка 2, переходящая в капилляр 3, расширяющийся и заканчивающийся оттянутым и запаянным острием 4. К трубке с капилляром 3 припаяна окружающая его стеклянная трубка 5, наполненная воздухом под атмосферным давлением. Внутри капилляра 3 на тонкой асбестовой прокладке обмотана платиновая проволока 6, являющаяся обмоткой, к концам к-рой приварены платиновые вводы, впаянные в стеклянную трубку 5. При разряджении в баллоне и внутри капилляра 3 стенка последнего, размякшая от нагрева раскаленной платиновой проволоки, под давлением воздуха в пространстве между 3 и 5 сжимается и сваривается. Для открывания сосуда к трубке 5 через платиновые вводы 7 и 8 припаян тройник 9, внутри которого входит оттянутый конец 4 капилляра 3. В верхнюю вертикальную часть тройника входит грузик 14 (фиг. 37б), подвешенный на стальной проволоке 15 к штифту 16 якоря 18 электромагнита 19. Штифт 16 входит в направляющие отверстия вилки 17 обмотки 20 корпуса электромагнита, якорь 18 прижимается к отверстию 17 возбуждающей обмотки 21 спиральной стальной пружинки 22. При возбуждении электромагнита, 18 оттягивается; грузик 14, падая вниз, разбивает конец 4 капилляра, соединенного с 1. и открывает доступ в 1

воздуха. Для извлечения воздуха из запаянного баллона он имеет трубку 10, оканчивающуюся оттянутым концом 11, входящим в тройник 12, в верхней части вертикальной трубки которого впаяна поперечная платиновая проволока 13 с вводами. В нижнем запаянном конце вертикальной трубки тройника — стеклянная вата для амортизации удара грузика. Прибор заключен в решетчатый дюралевый футляр, к-рый подвешивается на амортизаторах вне gondoly к стропам оболочки.

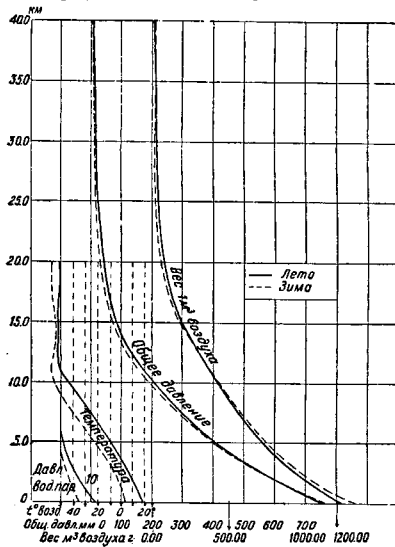
Лит.: «Труды Всесоюзной конференции по изучению стратосферы», Л.—М., 1935; Рукоп Г. и др. Электроника высоких слоев атмосферы, пер. с нем., М.—Л., 1934; Поголов Н., Баллоныные материалы и веревочный талеман, Л.—Л., 1934; Рыбин Н., Завоевание стратосферы, Л., 1933; Главная геофизическая обсерватория и полет в стратосферу 30 сентября 1933, Л., 1934; За овладение стратосферой, «Новости техники», 29—30, 1934; Кирпичников К., Советский стратостат ОАХ-1, «Вюлл. ЦАГИ», 21, 1933; Фельдман, Стратосферные полеты, «Техника воздушного флота», 9, 1933; Soga u R., L'air mouen et la stratosphère, Berenger, P., 1933; Piccard A. A. 16 000 metri, Milano, 1933. Н. Лебедев.

**СТРАТОСФЕРА.** Земная атмосфера делится на ряд слоев, отличающихся между собой по своему физич. состоянию. Важнейшими слоями являются: нижний слой — тропосфера, характеризующийся процессом перемешивания воздушных масс и как следствие понижением температуры с высотой. Высота, до к-рой развивается слой тропосферы, зависит от интенсивности тек

Распределение температур и плотности воздуха до 40 км по данным европейских аэрологических станций.

Высота, км	Лето				Зима			
	Общее давление, мм	Т°	Вес 1 м³ воздуха, г	Давление паров, мм	Общее давление, мм	Т°	Вес 1 м³ воздуха, г	Давление паров, мм
0,0	762,55	14,7	1224,42	10,46	763,35	1,7	1287,58	4,69
0,5	718,75	13,6	1159,17	9,17	717,42	1,2	1212,31	4,35
1,0	677,24	11,81	1056,61	7,51	676,11	0,6	1147,23	3,56
1,5	637,81	9,0	1046,50	6,21	633,12	— 2,2	1084,28	2,93
2,0	600,31	6,2	995,19	4,97	594,37	— 4,1	1025,03	2,27
2,5	56,467	3,6	945,56	3,97	557,71	— 6,4	970,08	1,71
3,0	530,82	1,0	897,73	3,12	522,99	— 9,1	919,87	1,30
4,0	468,23	— 4,2	808,07	1,87	455,91	— 15,3	826,62	0,72
5,0	411,93	— 9,9	726,57	1,06	401,32	— 22,2	745,53	
6,0	351,32	— 16,2	653,35	0,57	348,62	— 29,3	668,41	
7,0	315,84	— 2,2	587,39		303,34	— 36,6	598,05	
8,0	274,98	— 30,7	524,26		261,94	— 43,6	530,41	
9,0	238,39	— 38,2	471,70		225,37	— 49,6	468,61	
10,0	205,77	— 44,8	418,94		193,19	— 54,3	410,34	
11,0	176,05	— 50,0	368,66		165,19	— 56,8	355,20	
12,0	151,80	— 52,8	318,03		141,11	— 57,2	309,43	
13,0	130,14	— 52,7	273,51		120,55	— 56,3	259,22	
14,0	111,58	— 53,3	234,50		101,99	— 56,5	212,46	
15,0	92,67	— 51,9	201,06		87,99	— 57,1	189,20	
16,0	82,03	— 51,5	172,40		75,18	— 57,3	161,66	
17,0	70,84	— 51,0	147,58		64,24	— 57,6	138,13	
18,0	60,32	— 50,1	126,77		54,89	— 57,1	118,03	
19,0	51,73	— 49,5	108,72		46,91	— 57,6	100,87	
20,0	44,37	— 48,0	93,25		40,09	— 57,9	86,20	
21,0	38,05		79,97		34,28		73,67	
22,0	32,64		68,60		29,28		63,56	
23,0	27,99		58,82		25,02		55,80	
24,0	24,01		50,46		21,89		45,99	
25,0	20,60		43,29		18,28		39,31	
26,0	17,67		37,14		15,63		33,61	
27,0	15,16		31,96		13,36		28,73	
28,0	13,01		27,34		11,42		21,01	
29,0	11,16		23,45		9,77		24,56	
30,0	9,58		20,13		8,35		17,95	
31,0	8,22		17,88		7,16		15,85	
32,0	7,05		14,82		6,10		13,12	
33,0	6,05		12,72		5,22		11,24	
34,0	5,19		10,91		4,46		9,59	
35,0	4,46		9,37		3,82		8,27	
36,0	3,83		8,05		3,27		7,03	
37,0	3,28		6,89		2,74		6,00	
38,0	2,82		5,83		2,39		5,14	
39,0	2,42		5,09		2,04		4,39	
40,0	2,08		4,37		1,75		3,76	

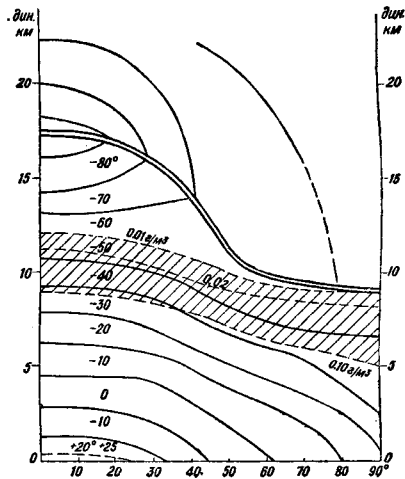
факторов, к-рые вызывают процессы перемешивания: солнечного нагревания, механич. влияния земной поверхности и пр. Выше слоя тропосферы находится слой, в к-ром процессы перемешивания отсутствуют или играют ничтожную роль. Принято обычно называть атмосферу, находящуюся выше слоя тропосферы, стратосферой, что означает зону, характеризующуюся слоистым строением. Пограничная область между тропосферой и С. называется тр о п о п а з о й. С. отличается от тропосферы прежде всего отсутствием всех эффектов процессов перемешивания, которые свойственны тропосфере: понижения  $t^{\circ}$ , облачных образований и пр. Вместе с этим в С. частично вследствие низких ее темп-р, частично вследствие отсутствия притока от земной поверхности водяные пары находятся в со-



Фиг. 1.

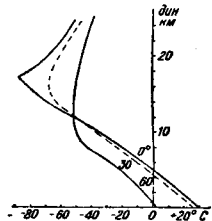
вершенно ничтожном количестве. В таблице приведены значения  $t^{\circ}$ , давления и уд. в. воздуха на различных высотах до 40 км по данным наблюдений европейских станций. Те же данные приведены графически на фиг. 1. Из хода  $t^{\circ}$  видно, что в летнее время С. (слой, где  $t^{\circ}$  перестает понижаться) начинается на высоте 12 км, а зимой — на высоте 11 км. Однако приведенные числа характеризуют только среднее распределение над Европой. Многочисленные зондировки в различных частях земного шара дали в настоящее время полную картину темп-рного строения С. На фиг. 2 приведена схема этого распределения по широтам по Раманатану [1]. Ход темп-р с высотой приведен по Раманатану на фиг. 3, и там можно видеть, что на экваторе, где высота С. наибольшая и где достигаются наиболее низкие температуры (до  $-90^{\circ}$ ), ход  $t^{\circ}$  в слое С. характеризуется резким повышением  $t^{\circ}$  с высотой. В районах, более удаленных от экватора, возрастание темп-р с высотой оказывается менее заметным. Однако данные радиозондовых подъемов в полярных районах заставляют признать, что и здесь в С. происходит довольно резко выраженное повышение  $t^{\circ}$  с высотой, как это видно на фиг. 3, дающей распределение  $t^{\circ}$  по радиозондам,

выпущенным автором с цеппелина в 1931 г. На фиг. 4 приведена схема распределения темп-р в зимнее и летнее время, предложенная в пос-



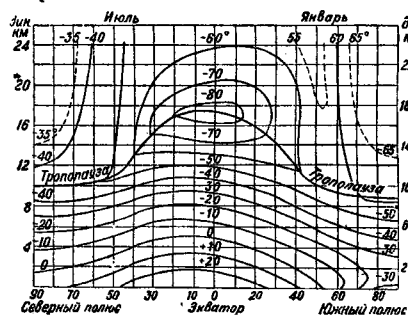
Фиг. 2.

летнее время (январь 1934 г.) Пальменом. Особенности этой схемы, полученной Пальменом на основании данных зондировок в Абиско (Сев. Швеция  $68^{\circ}21'$ ) и по данным подъемов радиозондов автора с цеппелина, следующие. В летнее время темп-ры С. резко повышаются по мере перехода на север. В то время как над экватором на высоте 17 км мы имеем темп-ры, близкие к  $-80^{\circ}$ , над полярными районами на той же высоте темп-ры приближаются к  $-35^{\circ}$ . Самый ход  $t^{\circ}$  (падение температуры на 11 км в направлении наибольшего понижения темпе-



Фиг. 3.

ратуры) в полярных районах хорошо характеризуется данными подъемов радиозондов с цеппелина, очень близко совпавшими с данны-



Фиг. 4.

ми в полярных районах хорошо характеризуется данными подъемов радиозондов с цеппелина, очень близко совпавшими с данны-



ми подъемов простых зондов в Абиско (фиг. 5). В зимнее время картина распределения  $t^{\circ}$  в С. над различными широтами отличается от летней в том отношении, что горизонтальный градиент  $t^{\circ}$  (падение  $t^{\circ}$  на 111 км в направлении наибольшего ее понижения), имеющий очень большое значение и направленный к экватору в летнее время, в зимнее оказывается значительно меньше, т. к.  $t^{\circ}$  в С. и над полюсами очень низки. По Пальмену в самых сев. широтах (севернее  $55^{\circ}$  в С. так же, как и в тропосфере, градиент  $t^{\circ}$  по горизонтали направлен на С.

Ниже приведены данные о повторяемости высот с минимальной температурой воздуха (конец тропосферы и начало тропопаузы) по наблюдениям Института аэрологии в Слуцке (близ Ленинграда) за 1934—1935 гг.

Из данных видно, что в то время как на высотах от 9 до 11 км мы имеем больше 50% всех

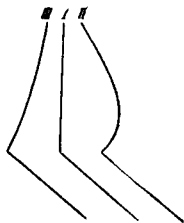
Высота в км . . .	5—6	6—7	7—8	6—9	9—10
Число случаев . .	1	1	24	69	114
Повторяемость в % . . . . .	0	0	5	14	24
Высота в км . . .	10—11	11—12	12—13	> 13	
Число случаев . .	147	71	32	20	
Повторяемость в % . . . . .	31	15	7	4	

случаев начала тропопаузы, на высотах ниже 7 км повторяемость начала тропопаузы сводится к нулю. Ниже приведены повторяемости в % различных значений минимальных температур для того же пункта:

Температура . . . .	-25 ÷ -35	-35 ÷ -40	-40 ÷ -45
Повторяемость в %	0,2	2	13
Температура . . . .	-45 ÷ -50	-50 ÷ -55	-55 ÷ -60
Повторяемость в %	27	30	18
Температура . . . .	-60 ÷ -65	-65 ÷ -70	-70 ÷ -75
Повторяемость в %	7	2	1

Из данных видно, что в С. чаще всего встречаются температуры от  $-45^{\circ}$  до  $-55^{\circ}$  (более 50% всех случаев), в то время как температуры ниже  $-70^{\circ}$  и выше  $-35^{\circ}$  встречаются как исключение. Сравнительное постоянство  $t^{\circ}$  с высотой в С. наводит естественно на мысль, что здесь мы имеем дело с т. н. лучистым равновесием, при котором каждая воздушная частичка излучает за данный промежуток времени такое же количество энергии, как и получает. Теории лучистого равновесия развивались Гемфри, Эмденом, Гольдом и Хергезеллем. В последнее время этим вопросом занимались Мюгге, Симпсон и Альбрехт. Альбрехт развил теорию лучистого равновесия,

рассматривая отдельные части спектра водяного пара. Он пришел к заключению, что тепловое излучение нижних слоев атмосферы, так же как и земной поверхности, имеет очень малое значение для состояния С. и что в верхних слоях атмосферы должен находиться слой с повышенной степенью излучения, под влиянием которого создается резкая граница между слоем тропосферы и С. и в-к-ром содержание водяного пара составляет величину, промежуточную между 0,015 и 0,15 мм. На фиг. 2 высота этого слоя показана в виде заштрихованной полосы. Понижение  $t^{\circ}$  этого слоя по мнению Альбрехта и ведет к общему понижению  $t^{\circ}$  в тропосфере по мере поднятия. Приведенное объяснение не может быть однако полностью принято. Действительно, уже сам Альбрехт отмечает несоответствие своих рассуждений с тем явлением, что рассматриваемый им слой находится в непосредственной близости к С. только под широтами, большими  $50^{\circ}$ . С другой стороны, эта теория не может объяснить значительных понижений  $t^{\circ}$  над экватором. Повидимому теория Альбрехта может служить только для объяснения того увеличенного понижения  $t^{\circ}$ , сказывающегося на увеличении вертикальных градиентов  $t^{\circ}$ , которые наблюдаются в верхних слоях тропосферы и не м. б. объяснены другими образами. Во всяком случае пониженная температура С. определяется незначительным поглощением тепловой энергии солнечных лучей воздухом С. Внешняя картина распределения  $t^{\circ}$  в слое С. бывает различной. Шмаусс [2] различает 4 типа такого распределения. Нормальный тип характеризуется сменой падения  $t^{\circ}$  в тропосфере, б. или м. изотермич. слоем в С.,  $t^{\circ}$  которого до значительных высот остается постоянной. Второй тип отличается от первого тем, что тропосфера отделяется от изотермич. слоя стратосферы б. или м. резко выраженной инверсией. Возможно, что возникновение слоя инверсии связано с усиленной конвекцией в тропосфере или, как можно думать, следуя рассуждениям Альбрехта, в результате интенсивного излучения эффективного слоя с содержанием водяных паров 0,015 ÷ 0,15 мм. В третьем типе ход  $t^{\circ}$  в С. имеет вид слабо выраженной инверсии, т. е. постепенного повышения  $t^{\circ}$  с высотой. Наконец четвертый, сравнительно редко встречающийся тип распределения  $t^{\circ}$  в С. характеризуется отсутствием резко выраженного слоя перехода от тропосферы к С., как это имеет место в других типах. Вместо этого переход проявляется в виде замедленного понижения  $t^{\circ}$  с высотой, переходящего постепенно в изотермию. Пальмен, подробно рассматривавший различные случаи распределения  $t^{\circ}$  в С., пришел к мысли о выделении следующих трех основных типов (фиг. 6). В первом случае (кривая I) понижение  $t^{\circ}$  тропосферы переходит в изотермию, остающуюся на всех высотах С. Этот тип он считает «нормальным» типом. Во втором типе (кривая II Пальмена)  $t^{\circ}$  при вступлении в С. резко повышается, достигает максимального значения на расстояниях нескольких км и выше начинает снова понижаться. Этот тип Пальмен считает характерным для циклонального режима. Наконец третий тип (кривая III) — антициклональный — характеризуется тем что  $t^{\circ}$  в



Фиг. 6.

С. повышается на всех высотах, хотя и с различной скоростью. При этом по мнению Пальмена циклональный тип имеет в С.  $t^{\circ}$  выше нормальных, антициклональный — ниже нормальных. Т. о.  $t^{\circ}$  в обоих этих типах с высотой как бы стремится к приближению к нормальным значениям.

При изучении атмосферных процессов тропосферы естественно возникает мысль о той роли, которую может играть в этих процессах С. Является ли этот слой совершенно мертвым слоем, не имеющим значения для жизни тропосферы, или, наоборот, происходящие в нем процессы диктуют направление и характер развития процессов в тропосфере. В настоящее время можно указать на две основные школы аэрологии, придерживающиеся совершенно противоположных взглядов. Первая школа (проф. фон Фиккер) приписывает стратосферным процессам если не доминирующее, то во всяком случае руководящее значение в развитии атмосферных процессов тропосферы. Роль С. по воззрениям этой школы хорошо выражается словами Н. Шоу, что динамика атмосферы определяется верхними слоями, в то время как чисто физические процессы, связанные с конденсацией, образованием облаков и пр., развертываются в тропосфере. Происхождение первичных волн в С. может быть связано как с термич., так и чисто динамич. причинами. Термич. причины связаны с приходом теплых или холодных воздушных масс, перемещающихся по горизонтали. Т. о. по мнению этой школы в С. мы можем иметь теплые или холодные волны по образцу тех, которые развиваются в тропосфере в области полярного фронта. Совершенно иных взглядов придерживается норвежская школа. Взгляды последней развивались Бергероном, Бьеркнесом, Пальменом и др. Эти авторы дали детальный разбор явлений в С. на основании фактического материала по данным зондовых и радиозондовых подъемов. Норвежская школа также принимает, что в С. развиваются темп-рные волны, но происхождение их она целиком связывает с процессами в тропосфере. Пальмен и Бьеркнес различают два основных фактора, могущих вызвать соответствующие колебания  $t^{\circ}$  в С. Первый фактор определяется термически-адвективными процессами, при которых в тропосфере развивается приток теплых или холодных масс. Особенно детально исследовал Пальмен явления, происходящие в полярном фронте. На основе факт. материала температурного зондирования Пальмен дал картину распределения  $t^{\circ}$  в полярном и тропич. воздухе. Полярные массы характеризуются пониженными температурами в тропосфере и повышенными температурами в С. Тропопауза в полярных массах оказывается значительно ниже, чем в тропич. массах. В отдельных случаях Пальмен констатировал опускание тропопаузы до 5 км. Наоборот, в тропич. массах тропопауза находится на повышенном уровне, темп-ры в нижних слоях повышены, в С. — понижены. Из сравнения данных для тропич. и полярных масс выясняется, что наибольшая разность темп-р наблюдается на высоте 4—7 км и на высоте 11—13 км, причем эти разности темп-р имеют противоположный знак. Отсюда Пальмен приходит к выводу, что достаточно сильные вхождения теплых и холодных масс, происходящие в тропосфере, получают свое отражение и в С. При этом вторичная стратосферная волна смещена фазами, и в начальный момент развития волны в тропосфере связанная с ней волна получает противоположный знак. При этом Пальмен приходит

к важному для норвежской теории заключению, что поверхность раздела между полярными и тропич. массами, как это и принималось в первоначальной теории Бьеркнеса, доходит до тропосферы, а не ограничивается слоем в 4—5 км. Наиболее ясно выражена поверхность раздела на средних высотах. Однако, как отмечают и сам Пальмен и представители немецкой школы, в настоящее время трудно утверждать, чья точка зрения может считаться окончательно победившей. Совершенно несомненно, что только детальные исследования атмосферы, имеющие целевое назначение, могут дать материал для окончательного суждения в этом вопросе.

Здесь следует остановиться на некоторых обстоятельствах, могущих дать указания на особенности развития атмосферных процессов. Прежде всего необходимо поставить вопрос о том, в каком из этих слоев мы имеем непосредственный приток энергии, могущий вызвать те или иные динамические процессы. Под этим притоком энергии необходимо подразумевать неоднородный поток, создающий неравномерное нагревание или охлаждение. Очевидно, что наличие неравномерно нагревающейся земной поверхности, неравномерное распределение доходящей до земли солнечной энергии и пр. делают тропосферу несомненным очагом неравномерно поступающей энергии. В С. наблюдается, с одной стороны, совершенно равномерная солнечная инсоляция, т. к. наклон солнечных лучей практич. значения для интенсивности доходящей к данному участку солнечной энергии не имеет; с другой стороны, здесь совершенно отсутствуют облака, пылевые частички и пр. Первоисточник т. о. всякого рода динамич. возмущений — неравномерно поступающая энергия — здесь отсутствует. Кроме того несомненно, что в С. мы встречаемся с наличием резких колебаний  $t^{\circ}$ , констатируемых как по зондам за границей, так и зондажом при помощи ежедневных исследований радиозондами у нас. Приходится поэтому признать, что происхождение этих колебаний м. б. связано, как думает Пальмен, только с процессами, развивающимися в глубинах тропосферы. С. представляет собой слой, отрывающийся на соответствующих процессах в тропосфере. Противоположность фаз тропосферных волн, отмеченная Пальменом, позволяет думать, что роль С. в этих случаях заключается в противодействии развитию резких колебаний в тропосфере, связанному с поглощением некого количества энергии тропосферных процессов. Но с другой стороны, стратосферные волны, будучи созданы, не могут не отразиться на развитии тропосферных процессов. Можно также предполагать, что, раз возникнув, стратосферные возмущения могут оторваться от соответствующего им первичного процесса в тропосфере и получить самостоятельную активную роль. Совершенно очевидно, что интерференция стратосферных и тропосферных возмущений играет громадную роль в развитии явлений погоды. Т. о. роль С. в развитии и в некоторых случаях даже возникновения тропосферных возмущений того же порядка несомненна. При этом можно предполагать, что эта роль имеет стабилизирующий эффект, поглощая часть энергии, развиваемой тропосферными возмущениями. Вследствие изотермич. распределения  $t^{\circ}$ -ный слой С. должен оказывать чрезвычайно сильное сопротивление колебаниям воздушных масс по вертикали, возникающим при прохождении теплых или холодных волн. Т. о. слой С. представляет собой как бы эластичный

слой, демпфирующий колебания нижнего слоя. Автор неоднократно указывал на проявление в атмосферных процессах своеобразного принципа стабилизации, заключающегося в том, что развитие атмосферных процессов под действием каково-либо нарушающего нормальное состояние атмосферы фактора происходит в таком направлении, при котором действие указанного фактора или ослабляется или совершенно исчезает. Сказанное выше относительно роли С. позволяет думать, что и здесь мы имеем своеобразное проявление закона стабилизации атмосферных процессов. Естественно, что для правильного понимания происходящих в тропосфере явлений совершенно необходимо иметь подробные данные, характеризующие состояние С. В особенности важны для составления анализа распределение  $t^{\circ}$  и влажности до слоя тропопаузы и в самом слое тропопаузы, т. е. высота тропопаузы и ее строение оказываются чрезвычайно характерными для происходящих в тропосфере процессов.

С. представляет интерес не только с точки зрения ее роли в процессах, создающих погоду в тропосфере. В связи с тем, что в тропосфере наличие облаков, осадков и пр. нередко создает непреодолимые препятствия для совершения полета, в особенности на дальние расстояния, существует стремление освоить С. как зону дальних перелетов. В этом отношении С. имеет ряд преимуществ перед тропосферой. Помимо отсутствия облаков и совершенного исключения возможности оледенения в С. следует ожидать, что воздушные течения отличаются исключительной правильностью в отличие от сильно завихренных течений тропосферы. Что касается скорости движения воздушных масс, то наблюдения показывают, что в большинстве случаев здесь отмечается некоторое замедление скорости. Однако не следует думать, что С. свойственны штилли. Наиболее обычной скоростью для С. является скорость  $10 \pm 20$  м/сек. В отдельных случаях, в особенности в зимнее время, здесь отмечаются скорости до  $30-35$  м/сек (более  $100$  км/ч). Наконец С. привлекает внимание современной физики, так как именно здесь развертывается наиболее эффективное действие таинственных космич. лучей, природа которых продолжает оставаться невыясненной до сих пор.

Резюмируя сказанное выше, мы можем отметить, что тщательное изучение явлений в С., в частности в ее нижних слоях  $40-20$  км, представляет несомненно одну из важнейших задач современной аэрологии как для целей завоевания этой зоны для воздушного транспорта, так и для выяснения ряда вопросов теоретич. аэрологии и теоретич. физики. Приведенные выше данные относятся к тем слоям С., которые были исследованы методами непосредственного зондирования при помощи самопишущих или радиопередаточных приборов. Другими методами (акустическими, посредством определения загорания и потухания метеоров, определения переходных моментов затухания и пр.) в настоящее время доказано, что с высоты примерно  $40$  км находится слой, в котором  $t^{\circ}$  с высотой резко повышается, доходя на высоте  $50-60$  км до значений  $+60^{\circ}$  и более. Вопрос о составе воздуха в С. для нижних слоев последней в настоящее время можно считать решенным в результате измерений, произведенных при поднятии стратостата «СССР-1» в 1933 г. Именно исследование проб воздуха, забранных при этом полете, показало, что на высоте  $18\,500$  м содержание кислорода составляло  $20,95\%$ , т. е. величину, чрезвычайно

(в пределах точности измерений) близкую к содержанию кислорода у земной поверхности. Об изменении состава воздуха в слоях выше  $19\,000$  м пока не имеется достоверных сведений. Повидимому надо предполагать, что вследствие большого уд. в. кислорода, а также вследствие несомненного отсутствия в верхних слоях конвективного перемешивания содержание кислорода с высотой должно постепенно убывать. Дальнейшие измерения могут внести ясность в этот вопрос. Весьма важным теоретически и практически оказывается содержание озона в воздухе. Последние исследования Регенера (Штутгарт) показали, что весь атмосферный озон находится в слое до  $28$  км, причем главная масса озона сосредоточивается в слое  $12-28$  км. Известно, что озон оказывает вредное влияние на резину. Соответственно этому Регенер рекомендует давать шарам-зондам возможно большую скорость поднятия с тем, чтобы действие озона на оболочку было по возможности кратковременным.

Методы исследования С. Практически для исследования С. применимы различные способы. Исследование С. шаром и зондом и заключается в том, что к небольшому шару подвешивают особый прибор, автоматически записывающий при поднятии в атмосфере состояние  $t^{\circ}$ , давления и влажности. После достижения максимальной высоты и разрыва оболочки шара прибор опускается вниз или на специальном парашюте или на дополнительном шаре, раздутом в меньшей степени, чем главный шар. Очевидно, что данный способ совершенно неприемлем для мало обитаемых пространств. Поэтому автор предложил в 1923 г. и в 1930 г. разработал и применил новый метод — радиозонд, заключающийся в том, что прибор особой конструкции снабжается специальным передатчиком и во время полета передает вниз данные о состоянии метеорологич. элементов. Наибольшая достигнутая таким методом высота составила  $29\,600$  м (Институт аэрологии). Для шаровозонд наибольшая высота поднятия составляет  $36\,000$  м (Германия). Для получения данных о распределении  $t^{\circ}$  в высоких слоях атмосферы и в том числе в С. подъемы шаров-зондов и радиозондов совершаются в настоящее время по особой программе в т. наз. «международные дни» по всему миру. В СССР исследования С. производятся ежедневно в ряде пунктов: Слуцке, Москве, Киеве, Севастополе, Тифлисе и пр. В Ин-те аэрологии в Слуцке (близ Ленинграда) методом радиозонда исследования производятся ежедневно два раза (днем и ночью). Непосредственные исследования С. оказались возможными благодаря применению стратостата, представляющего воздушный шар большого объема с герметич. gondolой. Идея таких аэростатов принадлежит Д. И. Менделееву, предложившему ее еще в 1875 г. [8]. Первое поднятие на стратостате было совершено проф. Пинкармом (Бельгия). В СССР были совершены три полета: «СССР-1» — в 1933 г., «Освоахим-1» — 30 января 1934 г. и «СССР-1 bis» 24/VI 1935 г. В том же году амер. стратостат «Эксплорер-2» поднялся на высоту  $22\,040$  м. Основным затруднением для достижения больших высот в С. является низкое давление этих слоев. Убывание уд. в. воздуха, соответствующее этому давлению, чрезвычайно уменьшает подъемную силу шара. Необходимо поэтому иметь шары громадных размеров, чтобы они могли сохранять достаточную подъемную силу на больших высотах. Напр. для поднятия на высоту  $20-22$  км необходимо иметь оболочку не менее  $20-25$

тыс. м<sup>3</sup>. Для поднятия на высоту 30 км объем оболочки должен превышать (для самой легкой материи оболочки) 100—150 тыс. м<sup>3</sup> и т. д. Значительно проще достигаются большие высоты применением эластичных резиновых оболочек, могущих увеличивать свой объем до чрезвычайного больших размеров. Напр. шар, имевший у земли объем в 4,2 м<sup>3</sup>, упав на высоту 30 км свой объем до 366 м<sup>3</sup>, растянув свою оболочку от толщины в 0,3 мм до 0,0088 мм. Можно думать, что достижение больших высот (больше 30 км) возможно вообще только для резиновых оболочек. Исследование слоев выше 35—40 км производится звукометрич. методом, основанным на исследовании распределения слышимости взрывов у земной поверхности на различных расстояниях по всем направлениям от места взрыва. Принцип этих исследований основан на том, что звуковая волна, распространяясь вверх, отражается от слоя на высоте 35—40 км и возвращается на землю, образуя зоны аномальной слышимости звука на больших расстояниях. Для исследования еще больших высот — 80—100 км — применяются исследования распространения электромагнитных волн, отражающихся от слоя на высоте 100 км, носящего название слоя Х и висяйда и обладающего большими значениями электрич. проводимости. Наконец для исследования С. в слоях выше 40 км применяется оптич. исследования хода сумерек, высоты загорания и потухания метеоров и спектра св. сияния. Последние исследования дают нам данные о структуре и составе самых высоких слоев атмосферы.

Лит.: 1) В а л а т а н К., «Nature», v. 125, 1102, p. 834; 2) С c h l a u s A., Aerologische Studien, I, «Bayer. Meteor. Jahrb.», Mch., 1912; 3) «Журнал Хим.-об-ва», 1875, т. 7.

**СУГЛИНКИ И СУПЕСКИ.** рыхлые горные породы, различающиеся наличием у одних свойств, близких к глинам, и у других — к пескам. В строительном и дорожном деле они называются грунтами и классифицируются как состоящие из двух или из трех родов частиц: а) частиц глины и частиц песка и б) частиц глинистых, пылеватых и песчаных. Каждый род частиц характеризуется своей величиной и присущими ему свойствами. Глинистые частицы имеют размеры менее 0,005 мм, обладают во влажном состоянии липкостью, пластичностью, сильным набуханием в воде, твердостью в сухом состоянии и в результате дают грунты, отличающиеся большим водопоглощением, водонепроницаемостью, а при высыхании значительной усадкой. Песчаные частицы обладают размерами 0,05—2,0 мм и дают грунты во влажном состоянии не липущие, не пластичные, не набухающие, не имеющие связности и обладающие большой водопроницаемостью. Пылеватые частицы размерами 0,05—0,005 мм дают грунты, по свойствам занимающие промежуточное место между глинистыми и песчаными грунтами.

Табл. 1.—Состав различных грунтов.

Виды грунтов	Отношение частиц глины и песка	%—ное содержание	
		глины	песка
Суглинок тяжелый . . .	1 : 3	25	75
• средний . . .	1 : 4	20	80
• легкий . . .	1 : 5	16	84
Суглино-супесчаный . . .	1 : 6	14	86
Супесок средний . . .	1 : 7	12	88
• легкий . . .	1 : 8—10	11—9	89—91

С. и с., являющиеся смесью перечисленных частиц в широких соотношениях, дают целый ряд грунтов с различающимися свойствами. Состав С. и с. по первой классификации показан в табл. 1 и по второй классификации — в табл. 2.

Табл. 2.—Состав различных грунтов.

Виды грунтов	%—ное содержание частиц		
	глинистых	пылеватых	песчаных
Суглинок тяжелый . . .	33—25	—	больше, чем пылеватых
• средний . . .	25—18	—	то же
• легкий . . .	18—10	—	то же
• пылеватый . . .	7—33	больше, чем песчаных	—
Супесок тяжелый . . .	12—7	—	больше, чем пылеватых
• легкий . . .	7—3	—	то же

С. и с. находят применение в строительном деле при устройстве грунтобитых стен, возводимых путем постепенной набивки грунта слоями в 8—10 см. С. и с. не должны содержать крупных каменистых включений и глинистых органических остатков, должны обладать средней жирностью, при которой усадка не превышает бы 0,5—1,0%, не давала бы трещин, иметь вязность, обеспечивающую прочность на сжатие 15—20 кг/см<sup>2</sup>. В случае несоответствия этим требованиям С. и с. исправляются добавлением глины в соответствующем количестве. Для повышения водостойкости добавляют к ним золу или шлаки до 40% по объему или извести до 15%. Вязность грунта при набивке д. б. не менее 10 и не более 15% по весу. При постройке грунтово-дорог С. и с. находят такое же применение, как и остальные разновидности грунтов, причем для устойчивости полотна дорог наилучшим грунтом будет тот, к-рый состоит из 55—75% песчаных частиц, 20—35% пылеватых частиц и 7—15% глинистых частиц.

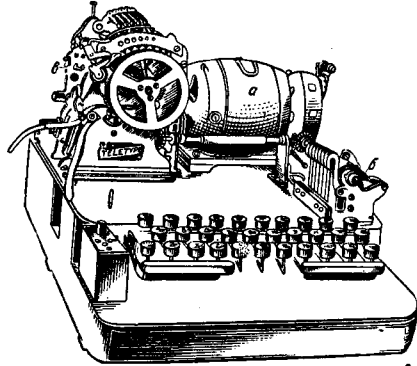
Лит.: Ф и л а т о в М., Почвы и грунты в дорожном деле, М.—Л., 1932; А н о х и н А. и др., Дорожное дело, М.—Л., 1933; Шу Ф. и Ка п у с т я н с к а я А., Постройки из грунтов, М.—Л., 1933; С в е н т о р ж е ц к и й В., Земля как строительный материал, Л., 1933; И в а н о в Н., Строительные свойства грунтов, Л.—М., 1932; Строительная индустрия под ред. Дорнобаума, т. 6, Части зданий, ч. 1, М.—Л., 1933.

**ТЕЛЕГРАФНЫЕ СТАРТОВЫЕ АППАРАТЫ.** Конструкции современных т. н. синхронных телеграфных аппаратов Юза, Бодо, Сименса и др. (см. *Буквопечатающие телеграфные аппараты*) допускают ограниченные пределы расхождения синхронизма и синфазности. Так напр., в аппаратах Юза это расхождение не должно превышать 2%, в аппаратах Бодо — 1,5% и в аппаратах Сименса — до 7%. Расхождение скоростей выше указанного уже не м. б. выравнено корректирующими фазами механизмами этих аппаратов, синфазность нарушается, сигналы искажаются. Необходима регулировка для выравнивания фазы, что замедляет работу и удорожает эксплуатацию. Для увеличения пределов возможного расхождения скоростей двух аппаратов, работающих на данном проводе, впервые в США был выдвинут новый принцип работы скоростедействующих буквопечатающих аппаратов. Принцип этот заключается в том, что расхождение скоростей двух аппаратов не может достичь большой величины, если после каждого рабо-

чего оборота, напр. оси со щетками, ось эта будет останавливаться соответствующим механизмом на определенном месте распределительного диска, называемом п у н к т о м д е й с т в и я. За один оборот сколько-нибудь заметное расхождение скоростей обоих аппаратов не может иметь места, тем более что специальный корректирующий механизм будет за каждый оборот выравнивать фазу (положение на пункте действия). Аппараты указанного типа получили название стартстопных, или а с и н х р о н н ы х. В Америке они известны под общим названием «телетайпов». Расхождение скоростей в этих аппаратах допускается до 12—15% и без труда выравнивается корректирующим механизмом.

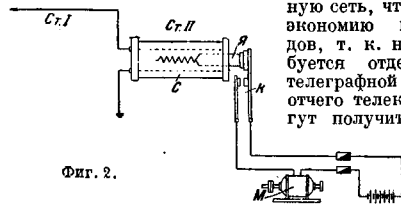
Основной принцип работы всех аппаратов стартстопного типа заключается в том, что рабочие оси аппарата не вращаются («stop»), пока не будет получена пусковая посылка тока, сцепляющая («start») при помощи электромагнита рабочие оси с осью ведущего мотора. Вслед за сцеплением происходит посылка рабочих импульсов по пятизначному коду, набор и печать знака и затем посылка, распепляющая при помощи соответствующих механизмов рабочие оси от оси мотора. Происходит остановка рабочих частей до получения новой посылки токов. Т. с. а. вырабатываются: а) с печатью знаков на телеграфную ленту, б) с типовыми рычагами и печатью знаков также на ленту, в) с печатью знаков на рулон бумаги (электрифицированная пишущая машинка). Производительность Т. с. а. зависит от квалификации работника, т. к. у всех стартстопов передатчиком является клавиатура типа пишущей машинки. Считается, что машинистка может дать до 240 ударов в минуту по клавишам. Это дает производительность, считая по 8 знаков в слове, до 30 слов в минуту. Практическая производительность обычно не превышает 16—20 слов в минуту, т. е. до 1 000—1 200 слов в час при работе симплексом. Основным назначением Т. с. а. является внутригородская связь, а также внутрирайонная связь. Телетайпы в Америке получили широкое применение также в качестве абонентских аппаратов для внутригородской связи. В этом случае они устанавливаются вместе с телефонным аппаратом, и если вызываемый абонент отсутствует, то вызывающий абонент переводит переключателем связь на телетайп, дает пусковой сигнал, приводящий во вращение мотор аппарата вызываемого абонента, передает желаемый текст и затем останавливает мотор аппарата вызванного абонента. Таким же образом телеграмма из центрального телеграфа м. б. передана абоненту, имеющему телетайп, в любое время суток. Обрато — абонент может в любое время суток передать телеграмму на центральный телеграф, где дежурный (обычно один на несколько телетайпов этого типа) передает телеграмму по назначению дальше. В генеральном плане развития связи во второй пятилетке в СССР намечается массовое внедрение Т. с. а. как абонентских, так и для внутригородской и районной связи. Метод наложения частот на биметаллические и медные цепи позволяет связать Т. с. а. крупные з-ды и предприятия между собой непосредственно, хотя бы они находились в различных городах. Т. с. а. должны найти также широкое применение в т. н. диспетчерской связи как внутризаводской, так и на ж. д. и предприятиях связи. Не подлежит сомнению, что и в военной связи Т. с. а. будут иметь широкое применение. На фиг. 1 дан общий вид амер. телетайпа,

печатающего знаки на телеграфную ленту, где а — мотор, приводящий в движение передающий и принимающий механизмы, б — трансмиттер, в — приемник (на переднем плане типовое колесо). На фиг. 2 дана одна из схем, позволяющих одному абоненту пустить в ход мотор (а следовательно и аппарат) другого абонента. Якорь Я соленоида С, втягиваясь внутрь под действием тока, посылаемого вызывающим абонентом, за-



Фиг. 1.

мыкает контакты К, чем и включается цепь мотора М. По окончании работы ток в цепи соленоида прерывается и мотор останавливается (СmI и СmII — передающая и приемная станции). К Т. с. а. принадлежат англ. телетайпы «телекс». Аппараты этого типа включаются у абонентов в телефонную сеть, что дает экономии проводов, т. к. не требуется отдельной телеграфной сети, отчего телексы могут получить ши-

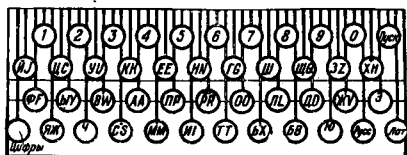


Фиг. 2.

рокое применение на любой телефонной сети. Во избежание помех при обычной телеграфной работе постоянным током соседним телефонным цепям телексы работают на тональной частоте. Каждая установка имеет аппарат «телетайп 7-А» (английский), умформер тональной частоты, вспомогательные приборы и переключатель, который позволяет включить в цепь или телефон или телетайп 7-А. При вызове другого теленка абонент ставит переключатель на «телефон» и при автоматической телефонной станции посылает вызов с диска («вертушки»), а при ручной получает соединение обычным образом. По получении соединения оба абонента ставят переключатели на телетайп. Затем вызывающий абонент нажимает клавишу с надписью «кто вы», чем посылает в аппарат другого абонента комбинацию посылок. Эта комбинация посылок приводит в действие ряд кулачков, которые автоматически передают на аппарат вызванного абонента номер вызываемого абонента и первые три буквы названия его станции. Обрато, вызванный абонент таким же образом узнает, кто вызывает его. По окончании обмена переключатели ставятся

на «телефон». Телексы получили широкое применение на телефонных сетях Англии.

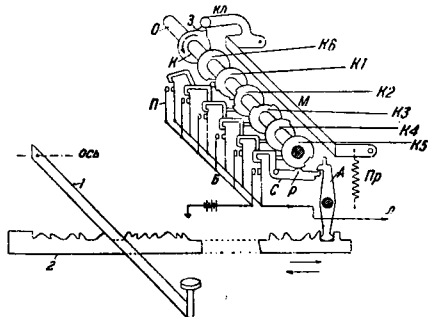
Схема устройства и работы амер. телетайпа T-28 с типовыми рычагами. Для набора сигнала по пятизначному коду в Т. с. а. служит, как указано выше, клавиатура. Вид сверху такой клавиатуры с русским и латинским шрифтами дан на фиг. 3.



П Р О В О Д

Фиг. 3.

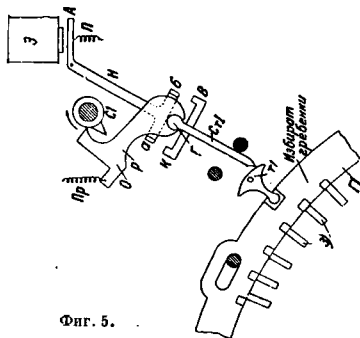
Набор знака происходит след. образом. Перпендикулярно к рычагам 1 клавиатуры (фиг. 4), под ними, расположены пять наборных (селекторных) линеек 2, имеющих каждая вырезы треугольной формы. Вырезы эти расположены в определенном порядке соответственно комбинациям элементарных посылок пятизначного кода. Нажимая какую-либо клавишу, мы заставляем селекторные линейки передвинуться в той или иной комбинации. Часть линеек в зависимости от положения данного клавишного рычага передвинется вправо, часть — влево, часть останется на месте. Последнее имеет место в том случае, когда под данным клавишным рычагом у соответствующей линейки нет выреза треугольной формы. С каждой наборной линейкой связана задерживающая щеколда А, регулирующая помощью контактного рычага С действие контактных пружин П. Эти контактные пружины соединены с одной стороны с линией Л, а с другой — с линейной батареей В. Каждая правая контактная пружина П стремится замкнуть имеющийся на ней контакт с контактом своей парной (левой)



Фиг. 4.

пружины. Т. о. каждая правая пружина нажимает на конец своего контактного рычага и заставляя выступ Р этого рычага скользить по ободу соответствующего контактного диска (K1—K5). Одновременно с нажатием клавиши происходит сцепление оси мотора с осью, на к-рой насажены контактные диски K1—K5 и K6—K. Контактные диски начинают вращаться вместе с осью О и последовательно своими вырезами (расположенными под разными углами к оси вращения) проходят над выступами Р контактных рычагов.

Передвинувшиеся при нажатии клавиши влево селекторные линейки освобождают контактный рычаг С, и его выступ Р может застыть во время движения соответствующего кулачка в его вырез. Это позволит сомкнуться данной паре пружинных контактов П, и в линию будет послана элементарная посылка. Если следующая селекторная линейка была передвинута при нажатии клавиши вправо, то выступ Р контактного рычага С не сможет в этом случае застыть в вырез соответствующего контактного диска. Отвечающая этой селекторной линейке пара контактных пружин не сможет сомкнуться, и ток в линию не будет послан (пауза). Т. о. в провод будет послана комбинация из пяти элементарных посылок. Так как Т. с. а. для городских и районных связей работают по симплексной схеме постоянного тока, то в процессе работы участвует шестая пара контактных пружин П и контактный диск К6. Этот диск в начале вращения оси с дисками разрывает свою пару контактных пружин, чем и прекращает постоянный ток в проводе. Это будет

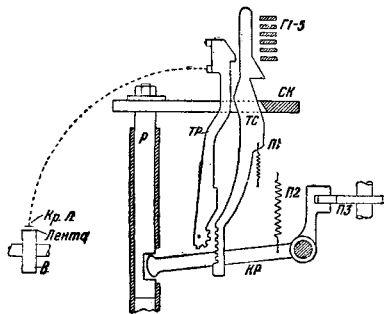


Фиг. 5.

импульс пуска («start»). В конце оборота диск К6 сомкнет пружины, постоянный ток пойдет в провод. Это будет импульс остановки («stop»). Очевидно, что диск К6, определяющий остановку аппарата, является коррекционным приспособлением. В начале каждого оборота оси с дисками кулачок К7 вводит свой зуб 3 от выступа запорной скобы М (фиг. 4). Тогда пружина Пр оттягивает скобу М вниз и запирает набранную контактными рычагами С комбинацию. Делается это во избежание передвигания селекторных линеек при нажатии новой клавиши, пока все элементарные сигналы, отвечающие знаку нажатой перед этим клавиши, не будут последовательно посланы в провод и на соседнюю станцию. В конце оборота оси с дисками диск К своим зубом 3 приподнимает скобу М, чем и освобождает контактные рычаги С для набора новой комбинации.

Схема работы приемной части американского аппарата заключается в следующем. При работе по симплексной схеме постоянного тока, пока не нажата клавиша, ток циркулирует по проводу и обмоткам неполяризованных электромагнитов Э обоих аппаратов (фиг. 5). По обмоткам электромагнита своего аппарата ток циркулирует для последующего контроля своей работы (принцип работы на постоянном токе в чистом виде). Следовательно в это время парные контакты диска К6 замкнуты. При нажатии клавиши парные контакты диска К6 размыкаются, ток в цепи и обмотках электромагнитов обоих аппаратов прерыва-

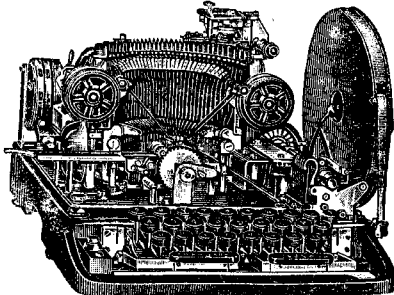
ется. При перерыве тона якорь *A* пружиной *П* (фиг. 5) оттягивается вниз, чем при помощи особой фрикционной муфты достигается сцепление оси мотора и шпинделя, несущего на себе шесть зубьев, из к-рых на фиг. 5 показан один *С1*. Пять зубьев шпинделя служат для установки в определенное для каждой комбинации элементарных посылок положение особых избирательных гребней, а шестой приводит в действие печатающий механизм. Шпиндель с зубьями *С* останавливается после одного оборота по получении электромагнитом *Э* стопового импульса. Якорь *A* электромагнита *Э* имеет надставку *H*, снабженную выступами *a* и *b*. Как только шпиндель с зубьями *С* начнет вращаться, выступ на первом зубе *С1* заставляя отвечающий этому зубу рычаг *P* избирательного стержня «меча» *СТ1* двигаться против часовой стрелки, увлекает и стержень *СТ1*. Если последующий за пусковым импульсом был рабочим (посылка тона), то якорь *A* опять будет притянут и выступ *a* на его надставке *H* станет на пути выступа *B* стержня «меча». Этот стержень начнет двигаться по часовой стрелке, имея как бы своей осью головку *Г*. Нижний конец стержня-меча в этих условиях передвинется к левой стороне рычажка *T1*. После расцепления зуба *С1* с рычагом *P* последний под действием пружины *Пр* начнет вращаться около оси *O* по часовой стрелке, в результате чего стержень *СТ1* своим нижним концом нажмет на левую сторону рычажка *T1*. Последний, поворачиваясь, отодвинет вправо первый избирательный гребень *Г1*. Если первая рабочая посылка была паузой, то избирательный гребень будет передвинут влево. Если же гребень *Г1* уже был в этом положении (от предыдущей посылки), то он в этом положении и останется. Аналогично работают и остальные четыре избирательных гребня. Передвижение гребней образует сочетание выемок, отвечающих



Фиг. 6.

комбинации элементарных посылок данного знака. Как только набор комбинации выемок будет закончен, шестой зуб *С6* зацепляется рычаг, позволяющий оси мотора сцепиться с осью, несущей на себе печатающий зуб *ПЗ* (фиг. 6). Оборот печатающего зуба позволяет пружине *П2* (фиг. 6) привести в действие колесчатый рычаг *КР*. Этот рычаг сначала поднимает стержень *P* и скобу *СК*, а потом возвращает их в нормальное положение. Движение скобы *СК* вверх позволяет пружине *П1* продвинуть тяговый стержень *ТС*, что в свою очередь позволяет типовому рычагу *ТР* данной буквы, набор к-рой был получен передвижением избирательных гребенек, при посредстве зубчатой рейки ударить по кра-

шней ленте *Кр. Л* и отпечатать соответствующий знак на бумаге, накрученной на валик *В*. В последующем весь наборный механизм и типовой рычаг, как и в пишущей машинке, возвращаются в исходное положение, и происходит расцепление соответствующих рабочих осей с осью мотора. Пока происходит печать набранной буквы, приемно-наборный механизм выполняет набор новой буквы. Нетрудно видеть, что электромагнит *Э*, называемый «стоповым», является вместе с диском *К6* коррекционным механизмом этого аппарата. На фиг. 7 дан общий вид теле-тайпа с типовыми рычагами.



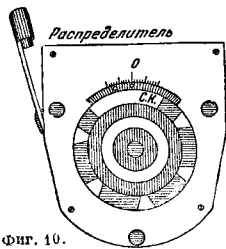
Фиг. 7.

Советский Т. с. а. «Телестандарт» А. Ф. Шорина. Этот аппарат является первым советским теле-тайпом. Он состоит из клавиатурного передатчика для стандартного пятизначного кода, буквопечатающего приемника и движущего механизма. Передатчик в свою очередь состоит из клавиатуры (фиг. 3) и автоматич. передатчика. С принципиальной стороны работа этого аппарата схожа с работой вышеописанного теле-тайпа Т-28, но приемным аппаратом является здесь приемник типа Водо. Полная принципиальная схема аппарата Шорина дана на фиг. 8. При нажатии какой-либо клавиши *A* происходит передвижение пяти селекторных линеек *B* влево и вправо, аналогично амер. теле-тайпу. Передвигаясь, линейки толкают контактные рычаги *B* также влево и вправо в зависимости от комбинации элементарных сигналов, к-рую в последующий момент пошлет в провод автоматич. передатчик аппарата. При движении контактных рычагов *B* сближаются или удаляются друг от друга парные контактные пружины автоматич. передатчика 5—4—3—2—1 (фиг. 9). В каждой паре контактов один является неподвижным, а другой м. б. приближен (но не до смыкания) или удален от первого. К неподвижным контактам присоединена линия, а к подвижным—батарея. В последующий момент нажатый рычаг клавиши толкает вниз пусковую линейку-скобу *E* (фиг. 8). Эта последняя действует на пусковой рычаг (через собачку *e*, фиг. 9), в результате чего происходит сцепление оси мотора *M* с осью *ОП* автоматич. передатчика, на которой расположены диски-кулачки. Эти диски начинают вращаться и один за другим последовательно пытаются, нажимая своими выступами на подвижные пружины, образовать контакт между соответствующими парными пружинами. Там, где пружины были сближены при передвижении селекторных линеек *B*, пружины сомкнутся, и в линию будет послан импульс тока. Если подвижная пружина была удалена от своей парной, то хотя кулачок при вращении и попытается, нагнув подвижную пружину

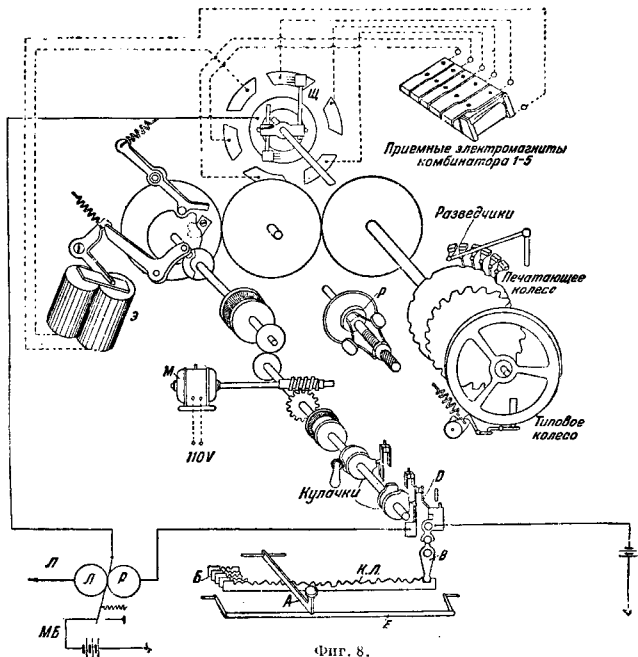
жину, создать контакт, но контакт не образуется, т. к. наклон подвижной пружины выступом кулачка будет недостаточен для смыкания. В этом случае в проводе будет отсутствие тока — пауза. Т. о., работая один за другим, кулачки пошлют в провод комбинацию из посылок тока и пауз. Напр. для буквы «Т» будет послана такая комбинация: плюс, пауза, плюс, пауза, плюс. В момент нажатия данной клавиши происходит размыкание стопового контакта, помеченного цифрой 6 на фиг. 9. Этим разрывается ток в линии и в обмотках электромагнитов своего аппарата и аппарата соседней станции. Достигается это тем, что ток прерывается сначала в обмотках линейных реле ЛР обеих станций, чем якорь реле отбрасывается от контакта, соединенного с местной батареей МБ. Ток местной батареи (фиг. 8), до этого проходивший по обмоткам стопового электромагнита Э, прерывается, якорь

такта распределителя СК (фиг. 10) и начинают проходить по коротким контактам распределителя.

То же самое произойдет и в аппарате приемной станции. При передаче буквы «Т» первый импульс будет послан тона в провод. Якоря перебросятся к рабочим контактам, и ток от местных батарей МБ пройдет по первой печатающему (комбинаторному) электромагниту печатающего аппарата. Второй посылкой будет пауза. В это время щетки перешли на вторые короткие контакты распределителей, но ток по вторые печатающие электромагниты уже не попадет, т. к. якоря ЛР будут пружинами переброшены к холодным контактам. Аналогично сработают третий и пятый комбинаторные электромагниты печатающих аппаратов, а четвертые не сработают (пауза). В результате совершенно так, как в аппарате Бодо, на обоих аппаратах будет отпечатана буква «Т»: на передателе — как контроль своей работы, на приемном — как прием буквы от аппарата другой станции. Пройдя последовательно все пять коротких контактов, щетки распределителя переходят на длинный стоповый контакт. В этот момент замыкаются кулачком контакты б автоматич. передатчика, чем восстанавливается ток в линии. Якоря реле ЛР будут переброшены к рабочим контактам, ток местной батареи пройдет по обмоткам стоповых электромагнитов, якоря последних притянутся и произведут расцепление оси щеток от оси мотора. Щетки останавливаются на стоповом «пункте действия» стопового контакта до нового оборота. Т. о. в аппарате Шорина коррекционными механизмами являются стоповый электромаг-

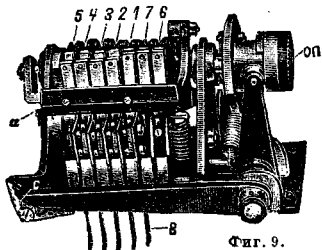


Фиг. 10.



Фиг. 8.

его отрывается пружиной от полюсных надставок. Отрыв якоря вызывает сцепление (через



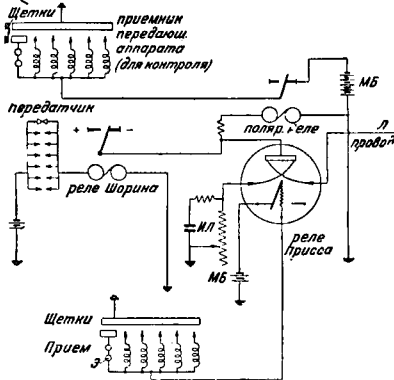
Фиг. 9.

передаточные оси) оси мотора с осью щеток Ш распределителя. Щетки сходят со стопового кон-

нит и парный контакт б на автоматическом передатчике. В то же время происходит чисто механическим путем расцепление оси автоматического передатчика от оси мотора. Аппарат вновь готов к работе. Основным недостатком аппарата Шорина является необходимость остановить на полном ходу довольно большие массы типового колеса и остальных вращающихся частей. Это вызывает усиленную работу соответствующих механизмов, а следовательно быстрый износ деталей, что может вызвать неисправности при работе аппарата. Показанный на фиг. 8 регулятор Р центрального типа позволяет изменять скорость аппарата от 190 до 240 знаков в мин. Нормальной скоростью считается 200 знаков в мин. Показанная на фиг. 9 скоба а является запорной скобой (см. выше). Парные контакты 7 (фиг. 9) в схеме для работы на постоянном токе не участвуют. На фиг. 11 показана схема для



работы аппарата Шорина дуплексом по дифференциальному способу (ИЛ — искусственная линия). На фиг. 12 дан общий вид Т. с. а. системы Шорина.



Фиг. 11.

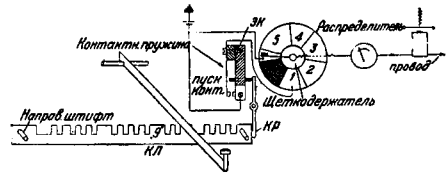
Второй советский стартстопный аппарат сист. Л. И. Тремля со стороны принципов работы схож с другими типами Т. с. а., но имеет своеобразное конструктивное оформление, преимуще-



Фиг. 12.

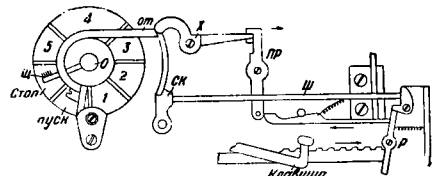
ством которого в первую очередь являются легкость конструкции и наглядность взаимодействия всех частей. Замена одной части не влечет за собой регулировки других частей, что также является немалым преимуществом этого аппарата. Основным отличием аппарата Тремля от других аппаратов этого типа является непрерывность вращения типового колеса. В аппарате Тремля типовая ось вращается быстрее наборной в  $1\frac{1}{8}$  раза, т. е.  $\frac{1}{8}$  оборота является перекрывающим запасом при расшифровании селекторами передаваемых комбинаций. Код аппарата пятизначный, построенный по тому же принципу, что и для аппарата Шорина (импульсы, паузы). Передатчиком является клавиатура, причем комбинаторные линейки *КЛ* имеют не треугольные, а прямоугольные вырезы (фиг. 13). Линейки удерживаются на направля-

ющих неподвижных штифтах, помещенных в косячных вырезах. Прямоугольные вырезы комбинаторных линеек расположены так, что рычаг нажатой клавиши передвигает вниз и вправо определенное число линеек соответственно комбинации элементарных сигналов, отвечающих знаку на клавише по пятизначному коду. Правые концы комбинаторных линеек передают свое движение (вправо) вертикальным контактным рычагам *КР*, находящимся на общей оси. Когда комбинаторная линейка толкнет вправо нижний конец контактного рычага, то его верхний конец двинется влево и толкает штифт *Ш* из изоляционного материала, проходящий, как и штифты других контактных рычагов, сквозь эбонитовую колодочку *ЭК* контактного угольника. Движение штифта влево разрывает парные плоские пружинные контакты, до этого сомкнутые. Т. о.



Фиг. 13.

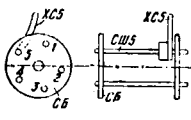
из пяти пар контактов, сомкнутых, пока не была нажата какая-либо клавиша, часть разомкнется. А т. к. каждый подвижный контакт данной пары соединен с соответствующим сектором распределителя, то линейная батарея *ЛБ* будет изолирована разорванными контактами от соединенных с ними подвижных пружинок. Нажатие каждой клавиши вызывает также движение пусковой шестой линейки, которая своим правым концом толкает через передаточный рычаг *Р* (фиг. 14)



Фиг. 14.

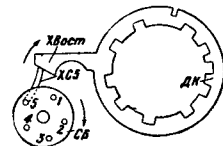
пусковую штангу *Ш*. Движение пусковой штанги толкает штифт пускового рычага *ПР*, верхним концом задерживавшего для этого хвост стоповой собачки *Х*, к-рая левым концом задерживает щеткодержатель со щеткой *Щ*. Щеткодержатель освобождается и увлекается вращающейся осью *О*, на к-рой он насажен с трением. В конце оборота отрезок *от* щеткодержателя толкает скобу рычага *СК*. Скоба толкает штангу *Ш* вправо, чем контактные рычаги возвращаются в нормальное положение до нового нажатия клавиши. Как видно из схемы фиг. 13 и 14, от линейной батареи дано ответвление на стоповой контакт *СК* распределителя, на котором щетка останавливается в конце оборота. Т. о. в конце оборота, когда щетка придет на стоповой контакт, через нее и через электромагнит *Э* в провод пойдет ток (схема на постоянном тоне). Якорь электромагнита *Э* будет следовательно притянут, чем и вызовет остановку селекторного барабана, который вращался до этого, набирая соответственно импульсам и паузам комбинацию в дешифраторе. Процесс набора элементарных посылок про-

исходит след. образом. В начале вращения щетка сходит со стопового сектора распределителя (фиг. 14) и переходит на сектор «пуск». Этот сектор не соединен с батареей, и следовательно в этот момент ток в проводе и электромагнитах обеих станций будет прерван. Якоря электромагнитов будут оторваны от полюсной надставки пружинкой. Это движение якоря вызывает вращение особого селекторного барабана СБ (фиг. 15), иначе комбинатора. На этом барабане имеется пять имеющих долевое движение штифтов, из которых показан один — СШ5. Каждый штифт имеет отросток — хвост ХС5. Барабан сидит на оси сеткодержателя, на трении. Пока якорь электромагнита притянут (стоп), барабан не вращается. Как только щетка распределителя перейдет на сектор «пуск», якорь отрывается от полюсной надставки, и барабан начинает делать один оборот. Если первая посылка была рабочей, то якорь вновь притянется и своим отростком — наклонной плоскостью — передвинет влево первый штифт селекторного барабана, а вместе с ним и «хвост» этого штифта. Так же будут за время одного оборота передвинуты и другие штифты, если моменту их прохождения около наклонной плоскости якоря будет отвечать посылка тока в обмотку электромагнита. Если же в этому моменту будет отвечать пауза (отсутствие тона в обмотках электромагнита), то соответствующий штифт не передвинется. В конце оборота селекторный барабан останавливается и штифты возвращаются в исходное положение. При вращении селекторного барабана его выдвинутые штифты своими хвостами заставят передвинуться на  $\frac{1}{60}$  окружности особые д е ш и ф р а т о р н ы е кольца ДК (фиг. 16). Этих колец пять и каждое из них имеет вырезы. Все кольца расположены в селекторном барабане — комбинаторе К (фиг. 17). Передвижение колец в той или иной комбинации вызывает образование из выемок сплошного канала на всех пяти кольцах. Особый нож-разведчик вращается все время внутри дешифраторных колец и под действием пружины западает в образовавшийся канал. Перед этим особый нож запирает набранную комбинацию колец ДК и не по-

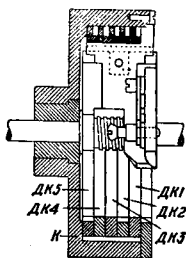


Фиг. 15.

воляет кольцам сдвинуться с места при западении в канал быстро вращающегося ножа-разведчика. Запавший нож-разведчик на мгновение задерживается в канале, а подвижная часть разведчика вместе с осью продолжает вращение на некоторую часть оборота. В последующий момент разведчик извлекается вращающейся осью из канала. Указанная работа разведчика вызывает смещение вдоль оси особой муфты, движение к-рой передается рычагу, связанному с печатающим молоточком и лентопротяжным ры-



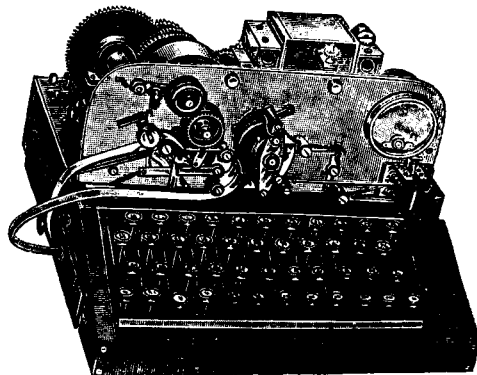
Фиг. 16.



Фиг. 17.

чагом. Молоточек подбросит ленту к типовому колесу и на ленте будет отпечатана буква, отвечающая данной комбинации элементарных посылок. В момент остановки щетки на стоповом контакте распределителя все работавшие части возвращаются в нормальное состояние и готовы к работе по принятию и печати новой комбинации элементарных посылок. В схеме на постоянном токе мы имеем контроль своей работы на передающей станции и печать принятого знака на приемной, аналогично как в аппарате Шорина. Оригинальными особенностями аппарата Тремля являются автостоп для автоматич. пуска и остановки аппарата и электроконтактный регулятор. Автостоп останавливает аппарат через 10—20 ск., если за этот промежуток времени не была нажата очередная клавиша. Электроконтактный регулятор автоматически вводит сопротивление в якорь мотора, если почему-либо скорость

аппарата превысила некоторую норму. По восстановлении нормальной скорости мотора сопротивление автоматически выключается. Практич. производительность аппарата Тремля равна производительности аппарата Шорина, т. е. не превышает 1 200—1 300 слов в час. Аппарат Тремля, как и аппарат Шорина, может работать по дуплексной схеме или по схеме рабочего тока. На фиг. 18 дан общий вид аппарата Тремля со снятым футляром.



Фиг. 18.

Стартстопный советский аппарат НОТА с типовыми рычагами и. В настоящее время заканчиваются испытания советского Т. с. а. с типовыми рычагами. Предварительные данные испытаний показывают, что этот нормальный однократный телеграфный аппарат (НОТА) по качеству работы не уступает лучшим заграничным моделям.

Указанные выше нормы выработки на Т. с. а. не являются предельными. Применение стахановских методов работы на аппаратах этого типа позволит повысить их работоспособность до 1 500—1 600 слов в час.

Лит.: Описание аппарата Шорина, Л., 1930; Дуплекс и и. Аппарат Тремля, М., 1934; Стартстопный аппарат Крива, Л., 1935; Цыгикало А., Элементарная телеграфия, Л., 1934; Львов А., Курс общей телеграфии, М., 1935; Яблоновский Н., Телеграфные аппараты типа Телегайн, М., 1931; Стоя А., Усехин по телеграфии, пер. с англ., М., 1934; Аппарат Шорина, Обучение работе и эксплуатационное обслуживание, М., 1934; Аппарат Тремля, Обучение работе и эксплуатационное обслуживание, М., 1934; Велигетин и Зелигер, Стартстопные телеграфные аппараты, М.—Л., 1935; «Техника связи», 1935, 7, 8 и 11 (описание ашп. НОТА).

А. Львов.

**ТЕЛЕМЕТРИЯ**, телеизмерения, иногда — дальние измерения, специальная область техники, включающая в себе устройства и аппаратуру для передачи на расстояния показаний контрольно-измерительных приборов. Являясь одной из существеннейших частей *телемеханики* (см.), как самостоятельная дисциплина Т. оформилась совсем недавно (первые работы появились в 20-х гг. 20 в.), поэтому до настоящего времени мы еще не имеем ни единой классификации систем Т. ни общепринятой установившейся терминологии. Довольно трудно провести ясную границу между обычными измерительными устройствами и устройствами Т. Предлагающийся критерий — расстояние, на к-рое производится передача показаний и соответственно с этим тройное деление всех устройств на собственно измерительные (без передачи показаний), дистанционные (передача на малые расстояния порядка 100—200 м) и телеизмерительные (передача на большие расстояния). — страдает значительной неопределенностью. Поэтому целесообразнее определять установки Т., исходя из характера самой передачи. Напр. во временных технич. условиях на телеметрии устройства, проект к-рых составлен Комитетом автоматизации (Москва), дается достаточно конкретное определение: «Измерительные устройства называются телеизмерительными (т. е. дальнотелемерными), когда они путем преобразования измеряемых величин в другой род величин дают возможность передачи их на значительные расстояния по проводам, меньшим по числу и меньшего сечения, чем при обычных методах измерений».

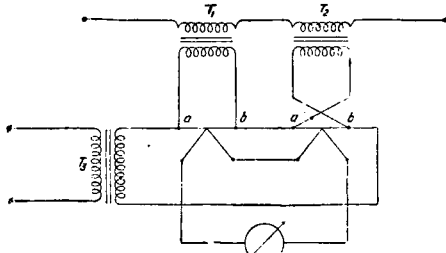
Основные требования, предъявляемые к устройствам Т., следующие: 1) Абсолютная надежность действия устройства. Под надежностью действия следует понимать не только безотказную передачу показаний как при нормальном режиме, так и при нек-рых отклонениях от него, но также и отсутствие искажений передаваемой величины. Допустимая погрешность передачи зависит от характера передаваемой величины и определяется технич. условиями. Обычно погрешность лежит в пределах от 1 до 3—4%. 2) Максимальная простота и дешевизна. Это требование распространяется как на само устройство, так и на эксплуатацию его (например число источников питания, потребность в обслуживании персонала высокой квалификации, легкая замена деталей, вышедших из строя, и пр.). 3) Возможность суммирования показаний на передающем и приемном концах. Это требование является специфическим, предъявляемым гл. обр. энергохозяйством (электрич. станции) чаще всего к телеваттметрам и иногда к телеамперметрам. Следует заметить, что иметь возможность получать сумму показаний, например ваттметров отдельных агрегатов электростанции, необходимо не только в случае телеуправляемой станции, но также и при ее непосредственном обслуживании. Поэтому не всегда целесообразно предъявлять к устройствам Т. требование возможности суммирования показаний на передающем конце, что бывает часто достаточно затруднительно для осуществления. Рациональнее выделить (как это в последнее время и намечается) вопросы суммирования на передающем конце в качестве самостоятельной проблемы, непосредственно к Т. не связанной. Суммирование на приемном конце более свойственно Т.: технически оно обычно осуществляется значительно проще. 4) Возможность силового отсчета. Под этим понимается получение на приемном конце мощно-

сти, достаточной для приведения в действие какого-либо исполнительного механизма (например реле). Это требование непосредственно к Т. не относится и вытекает из условий полной телемеханизации производственного процесса; по существу оно сводится к вспомогательной проблеме — усилению приходящих сигналов. 5) Возможность многократного использования каналов связи. Это требование является для советских условий весьма актуальным. При тех громадных расстояниях, на которые в связи с проблемой единой высоковольтной сети (ЕВС) необходимо передавать показания в СССР (до 1000 км), совершенно очевидна полная невозможность прокладки в каждом отдельном случае специальных проводов (каналов связи). Устройства Т. будут достаточно рентабельны только при широком применении совершенных методов многократной передачи, в частности при использовании в качестве канала связи самой высоковольтной линии (методы высокочастотной телефонии). Возможность многократной передачи является совершенно необходимым условием, обязательным для всех устройств Т., рассчитанных на работу при средних и больших расстояниях (выше 100—150 км).

Несмотря на непродолжительность существования телеметрии как самостоятельной отрасли техники число существующих систем весьма значительно. Не пытаясь дать исчерпывающую классификацию всех систем Т., можно однако разделить их на две большие группы: системы некомпенсированные и системы компенсированные (компенсированные). Некомпенсированные системы в свою очередь можно разделить на системы с непосредственным преобразованием, системы с посторонними источниками тока, системы с мотор-генераторами и наиболее совершенные — импульсные системы. Компенсированные системы делятся на системы постоянного тока и системы переменного тока (индукционные).

**А. Некомпенсированные системы.** 1. Системы с непосредственным преобразованием. Эти системы, пригодные почти исключительно для телеэлектрич. измерений, основаны на преобразовании величины, подлежащей передаче, при помощи какого-либо приспособления в постоянный электрич. ток, значение к-рого является функцией передаваемой величины. Подобные системы помимо ограниченности характера передаваемых величин обладают рядом недостатков. Основные из них — значительная погрешность передачи, при этом обычно переменная в связи с изменением внешних факторов (напр.  $t^\circ$ , сопротивление соединительных проводов и пр.), и сравнительно малый радиус действия — порядка 10 км. Технически наиболее разработанной является система Фаусетта, предназначенная для передачи на расстояния силы тока, напряжения и активной мощности. Умформером, преобразующим передаваемую величину в постоянный ток, в этой системе служат термоэлементы, термовозд которых измеряется на расстоянии при помощи чувствительного стрелочного гальванометра постоянного тока. Т. к. эта ось очень невелика (максимум 50 мВ), то радиус действия подобной установки ограничивается 10—15 км. Телеизмерение мощности по сист. Фаусетта достигается путем комбинированного включения двух термоэлементов по схеме фиг. 1. Вторичные обмотки двух трансформаторов тока  $T_1$  и  $T_2$  замкнуты на нагревательные нити  $ab$  двух термо-

элементов, т. е. токи в них направлены в разные стороны. Обе нити кроме того соединены последовательно и приключены к вторичной обмотке трансформатора напряжения  $T_3$ . Т. о. в нити одного термоэлемента ток пропорционален сумме мгновенных значений тока и напряжения, а другого — разности. Благодаря квадратичной характеристике мгновенное значение результирующей термоэдс (равной разности эдс термоэлементов) будет пропорционально произведению мгновенных значений тока и напряжения, т. е.

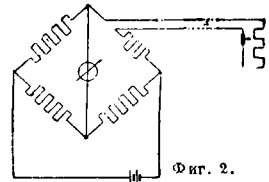


Фиг. 1.

активной мощности. К специфич. недостаткам системы надо отнести очень малую перегрузочную способность и хрупкость термоэлементов. Система позволяет осуществить суммирование путем последовательного включения отдельных термоумформеров и измерения суммарной эдс. Делались попытки заменить термоэлементы более выносливыми преобразователями, например меднозакисными (нупроксными) выпрямителями в сист. инж. Михайлова (ВЭИ). Эта система рассчитана на передачу значений тока и напряжения. Для измерения мощности также м. б. применены выпрямители, включаемые по схеме, аналогичной фиг. 1. Многократная передача показаний при этих системах невозможна.

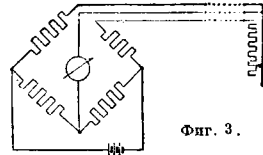
2. Системы с посторонним источником тока. Эти системы основаны на том, что в цепь вспомогательного источника тока (чаще всего постоянного) включается переменное сопротивление, значение которого является функцией передаваемой величины (показания прибора). Тогда при неизменности напряжения вспомогательного источника ток в этой цепи, измеряемой на расстоянии, будет также функцией передаваемой величины. Для устранения влияния изменения напряжения вспомогательного источника иногда измеряют непосредственно сопротивление, например при помощи омметра со скрещенными катушками, показания которого не зависят от напряжения. Применяя вспомогательный источник с достаточно высоким напряжением (24–48 В), можно перекрывать значительные расстояния, до 100 км. Однако и в этих системах остается сильное влияние внешних факторов. Все системы, основанные на этом принципе, отличаются одна от другой гл. обр. конструкцией переменного сопротивления. Наибольшее распространение получила система фирмы Сименс и Гальске, в которой переменное сопротивление выполнено след. образом: в герметически закрытой стеклянной колбеовой трубке запаяно проволоочное сопротивление, концы которого выведены наружу. Трубка эта наполовину наполнена ртутью. Если теперь ее расположить в вертикальной плоскости, то ртуть покроет и следовательно замкнет боль-

шую или меньшую часть сопротивления. Если трубку поворачивать вокруг горизонтальной оси, то ртуть, переливаясь, будет менять сопротивление. Подобное переменное сопротивление можно непосредственно укрепить на оси прибора, показания которого желательно передать на расстоянии. Однако это возможно только, если этот прибор обладает достаточной мощностью (например манометр). Обычно же трубка с ртутью соединяется с осью прибора при помощи специального механич. приспособления, имеющего целью сгладить толчки и уменьшить необходимый момент. Для приема показаний служит неуравновешенный мостик Витстона на постоянном токе, отклонение гальванометра в к-ром пропорционально изменению одного из плечей и начинается от нуля, чего нет при непосредственном измерении тока. В этом случае необходимо



Фиг. 2.

следить за постоянством напряжения вспомогательной батареи. Схема показана на фиг. 2. Очевидно, что сопротивление соединительных проводов войдет в значение плечей моста; всякое изменение его повлечет за собой ошибку. Для устранения этого иногда применяют отнесение вершины моста к месту наблюдения по схеме фиг. 3. В этом случае понадобится вместо двух трех соединительных проводов, но сопротивление их войдет одновременно в два плеча моста и на результате не отзовется. Для устранения необходимости поддер-



Фиг. 3.

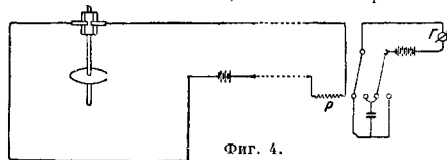
живать напряжение питающей батареи постоянным применяется иногда неуравновешенного моста омметр, не зависящий от напряжения. В системе Т. фирмы Гартманн и Браун переменное сопротивление выполнено в виде цилиндрич. барабана, по которому скользит щетка, скрепленная с подвижной частью прибора, показания к-рого передаются. Эта щетка делит сопротивление на две части, отношение сопротивлений которых измеряется на расстоянии при помощи омметра. Система требует для передачи трех проводов и первичного прибора с большим вращающим моментом, но более свободна от влияния изменения напряжения батареи и сопротивления линии. Обычно системы с посторонними источниками работают на постоянном токе; это имеет для передачи на расстоянии нек-рые преимущества, ибо в этом случае отсутствует индуктивное сопротивление линии. Однако фирма Сименс и Гальске разработала систему, работающую на переменном токе и основанную на том, что коэф. связи между двумя обмотками трансформатора, а следовательно и напряжение на его вторичной обмотке меняются как функция показаний первичного прибора. Метод распространения не получил из-за значительных электродинамич. усилий в трансформаторе, искажающих показания первичного прибора. Для передачи показаний приборов с малым механич. моментом фирмой Сименс и Гальске разработана система, в которой переменное сопротивление расположено непосредственно под стрелкой прибора, показания

которого необходимо передать. При помощи периодически (в среднем через 40 сек.) падающей дужки стрелки в зависимости от своего положения притягивается к разным местам сопротивления и тем самым замыкает цепь. Т. к. в моменты, когда стрелка не притягивается к сопротивлению, цепь размыкается, предусмотрена вторая стрелка (повторительная), при помощи специального приспособления следящая за основной стрелкой, притягиваемая к сопротивлению второй дужкой и замыкающая цепь на то время, когда основная цепь разомкнута. Устройство работает на постоянном токе с большим радиусом действия, однако в достаточной степени сложно, мало надежно и неточно. Все системы с посторонними источниками постоянного тока легко допускают суммирование путем последовательного или параллельного включения сопротивлений. Передача по одному каналу связи больше одной величины одновременно невозможна.

3. Системы с мотор-генераторами. Эти системы, являясь связующим звеном между двумя первыми, не требуют вспомогательного источника тока; однако непосредственно преобразования измеряемой величины также нет. В системах с мотор-генераторами получение энергии, служащей для передачи, происходит внутри самой системы при помощи миниатюрного мотор-генераторного устройства. Наибольшей известностью из устройств подобного рода пользуется система «Telewatt». В основе этого метода лежит использование подвижного элемента нормального счетчика. Этот подвижный элемент служит мотором, на ось которого насаживается небольшой магнитно-электрический генератор постоянного тока (типа счетчика амперчасов). Т. о. получается миниатюрный преобразователь, напряжение на зажимах которого является функцией только скорости вращения подвижного элемента счетчика; он же конструируется т. о., что скорость его пропорциональна измеряемой величине: току, напряжению, мощности и пр. Наиболее удобны такие приборы все же для измерения мощности. Приемным прибором служит чувствительный прибор магнитно-электрич. типа. Напряжение генератора при полном числе оборотов ок. 1 В, ток в линии 1 мА. Эти данные определяют сравнительно небольшую радиус действия системы порядка 40 км. Для случаев, когда необходимо преодолевать большие расстояния, изготавливаются специальные передатчики, в которых имеются два генераторных элемента, соединенных последовательно; в этом случае рабочее напряжение удваивается. Точность системы не очень велика, особенно при малых нагрузках. Суммирование осуществляется легко, путем последовательного включения отдельных генераторов; многократная передача невозможна. К этой же группе м. б. отнесена сист. Смита и Пирса. В этой системе первичный прибор при помощи специального электромагнитного приспособления регулирует возбуждение, а следовательно и число оборотов маленького мотора постоянного тока 40 W, 1 000 ÷ 2 000 В, частота к-рого меняется в зависимости от скорости вращения в пределах 20 ÷ 60 Гц. Приемником служит частотомер (см.), проградуированный непосредственно в единицах величины, подлежащей передаче. На эту систему отсутствует влияние линий связи; многократная передача возможна. Однако установка слишком сложна.

4. Импульсные системы. Перечисленные выше системы все в б. или м. степени

зависят от состояния линии, по которой ведется передача. От этого существенного недостатка свободны импульсные системы, основанные на передаче не непрерывного тока (постоянного или переменного), а отдельных импульсов тока, причем характерным значением, подлежащим измерению в месте приема, является только соотношение импульсов, а не их величина, которая может меняться в достаточно широких пределах. Импульсные методы делятся на две группы: частотноимпульсных (Impulsfrequenzverfahren) и времяимпульсных (Impulszeitverfahren). В частотноимпульсных системах функцией передаваемой величины является частота импульсов, форма же их безразлична; во времяимпульсных системах с измеряемой величиной связана продолжительность каждого отдельного импульса, частота же их определяет только способность системы реагировать на б. или м. быстропеременные процессы. В частотноимпульсной сист. Шлейхера, наиболее конструктивно проработанной и выпускаемой фирмой Сименс и Гальске, так же, как и в сист. «Telewatt», в качестве первичного



Фиг. 4.

прибора применен счетчик. На оси счетчика помещен прерыватель, замыкающий и размыкающий цепь вспомогательной батареи и линии. Число прерываний пропорционально скорости вращения счетчика, т. е. величине, подлежащей передаче. В качестве приемника применен конденсаторный частотомер Максвелла, показания гальванометра которого пропорциональны частоте импульсов, приходящих в приемное реле Р (фиг. 4), и не зависят от интенсивности самих импульсов. Система работает по двум проводам с радиусом действия порядка 100 ÷ 200 км. Показания не зависят от состояния линии; возможна многократная передача методами радиотелефонии. Погрешность не очень велика, порядка 2—3%. Для устранения влияния изменения напряжения батареи на приемном конце можно вместо гальванометра применить измеритель отношения токов (логометр), одну из обмоток которого включить непосредственно на батарею. Т. к. максимальная частота, получаемая при полной скорости вращения счетчика, не превосходит 12—15 Гц, то во избежание вибрации стрелки приемного прибора, особенно при малых нагрузках, приходится выбирать прибор с утяжеленной системой, что влечет за собой увеличение времени отсчета. Недостатком системы является наличие тормозящего момента от прерывателя; поэтому прерывание тока в линии производится при помощи промежуточного реле высокой чувствительности, что позволяет максимально облегчить конструкцию прерывателя, не уменьшая мощности импульсов, т. е. дальности передачи. Из других недостатков существенно наличие непрерывно работающих механич. контактов, требующих тщательного наблюдения и периодической чистки. Суммирование на передающем конце сильно затруднено, на приемном возможно путем приключения приемников к общей батарее и измерения суммарного тока.

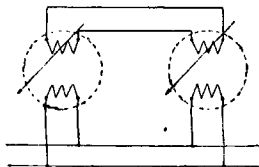
Подобная система, отличная только в приемной части, разработана инж. Паредиком (Мосэнерго). Объектом непосредственного измерения служит напряжение магнитно-электрич. мотор-генератора, число оборотов которого регулируется электромагнитным стопором в зависимости от частоты приходящих импульсов. Существенное усовершенствование в системе Шлейхера ввел инж. Цуккерман («Электроробор»), заменив механич. прерыватель фотоэлектрическим. На окружности диска счетчика нарезаются зубцы, которые при вращении закрывают и открывают путь пучку света, падающему на фотолемента; в результате этого после усиления получаются электрич. импульсы, частота которых пропорциональна передаваемой величине. Это простое приспособление позволило избавиться от дополнительного механич. момента, создаваемого переключателем, и при желании повысить частоту импульсов до 180—200 Гц. Приемником служит видоизмененный частотомер, в к-ром механич. реле также заменено двумя электронными или ионными лампами. В остальном по своим свойствам сист. М. Цуккермана подобна сист. Шлейхера. К этим системам близок радиотехнич. метод Фитцджеральда, основанный на использовании биений (см.) двух генераторов радиочастоты; частота одного из них меняется в связи с передаваемой величиной. Для приема употребляется тот же электронный частотомер. Время импульсные системы, давая значительную точность и устойчивость показаний, конструктивно очень сложны. В системах Вильде фирмы DTW и Брюкнеля и Штебляйна фирмы AEG для получения импульсов, продолжительность к-рых пропорциональна углу отклонения стрелки, применяются весьма сложные электромагнитные контактные приспособления с непрерывно движущимися частями. Особенно же сложно в этих методах осуществлены приемные устройства, преобразующие приходящие импульсы в соответствующее угловое отклонение стрелки. Благодаря своей сложности эти системы особого распространения не получили, хотя обладают рядом достоинств. Специфич. недостатком их является значительная инерция (от импульса до импульса 4÷6 ск.), благодаря чему быстропеременные процессы могут остаться неотмеченными. Суммирование на передающем конце почти невозможно. Значительно проще времяимпульсная система инж. К. Карандеева (ЭФИ), в которой преобразование отклонения стрелки в продолжительность импульса производится при помощи фотолемента и вращающегося обтюратора. Прием производится путем измерения среднего значения импульсного тока миллиамперметром. Для исключения влияния линии ставится промежуточное реле. Эта система имеет значительно меньшую инерцию: число импульсов без труда м. б. доведено до 20—30 в ск. Суммирование на передающем конце затруднено, но возможно. Погрешность 2%. Все импульсные методы, имея повышенную дальность действия и точность, достаточно сложны, особенно с точки зрения суммирования, многократная передача в большинстве случаев не сложна. Поэтому рентабельны эти системы только при значительных расстояниях передачи, порядка от 100 км и выше.

**Б. Компенсационные системы.**  
1. Системы постоянного тока. Принцип действия этих систем заключается в автоматич. регулировке всего устройства по какой-либо величине, являющейся функцией пере-

даваемого значения. В основе этого процесса лежит компенсация одного воздействия другим; как только эта компенсация нарушится из-за изменения передаваемой величины или из-за какой-либо случайной причины, устройство немедленно придет в действие, и если эта причина случайная, то будет восстановлено прежнее положение. По характеру компенсации системы эти делятся на три категории: потенциометрические, компенсации положения и компенсации момента. Потенциометрич. система фирмы Вестингауз на передающем конце имеет источник напряжения, величина которого задается передаваемым значением. На приемном конце напряжение второго источника, включенного в линию навстречу первому, автоматическим образом регулируется, так чтобы ток в линии всегда был равен нулю, что будет только при равенстве напряжений. Конструктивно метод очень громоздкий. В методе компенсации положения Мидворта стрелка первичного прибора при помощи специального «следящего устройства» регулирует ток в линии в зависимости от своего положения; каждому положению стрелки соответствует совершенно определенное значение тока вне зависимости от внешних факторов. Система также очень сложна. Более технически совершенны и просты системы третьей категории, основанные на компенсации вращающего момента, созданного первичным прибором, аналогичным моментом, созданным током в линии, автоматическим образом регулируемым до достижения равновесия. Эта регулировка осуществляется при помощи специального компенсационного реле (система AEG) жидкостного сопротивления, механически скрепленного с подвижной системой первичного прибора (системы инж. А. Михайлова) при помощи проволочного сопротивления с сервомотором (системы Гартманн и Браун), или наконец при помощи фотолемента, освещенность к-рого меняется при изменении положения стрелки первичного прибора (сист. Михайлова, Карандеева). Все компенсационные системы постоянного тока не зависят от сопротивления линии и очень точны: возможно свести погрешности передачи до десятых долей процента. Однако они требуют непрерывного наличия сплошного металлического соединения пунктов передачи и приема; многократная передача невозможна. Это обстоятельство сильно ограничивает радиус их действия, принципиально довольно значительный — порядка 50 км. Суммирование с этими системами возможно.

2. Системы переменного тока и индукционные. Эти системы являются применением в Т. очень распространенного в силовой синхронной связи метода встречного включения индукционных моторов. Из подобных систем более распространена система фирмы Трюб Тейбер (Trüb Tauber & Co.). Совершенно одинаковые передатчик и приемник представляют собой электродинамич. приборы с железным магнитопроводом; неподвижные катушки их включены в цепь переменного тока, а подвижные соединены между собой по схеме фиг. 5. Если теперь одну из подвижных катушек вывести из нейтрального положения на некоторый угол (напр. связав ее с подвижной частью первичного прибора), то по системе пойдет уравнительный ток, который заставит вторую катушку повернуться точно на тот же угол. Аналогично действует америк. система «Сельфин», т. е. «самосинхронизирующая». Эти системы обладают большим моментом на приемном конце,

но зато требуют также большого устанавливающего момента на передающей стороне. Суммирование осуществляется очень просто последовательным включением нескольких приборов. Радиус действия не превышает нескольких км. Для связи требуется два (иногда три) цельнометаллических провода.



Фиг. 5.

Таковы системы Михайлова, Брюккеля и Штебеляна. Однако установки получились весьма сложные: в эксплуатации системы не проверены.

Из других систем можно отметить стробоскопич. системы (Я. Рыфтина, Телефункей), использующие основные принципы телевидения и дающие весьма изящные решения, но только для визуального отсчета. Телевидение же в целом вряд ли м. б. применено в Т. из-за сложности аппаратуры, хотя попытки подобного рода делались.

*Лит.: Карандеев К.* Пути развития телеметрии в СССР (в книге Пути развития телемеханики под ред. М. Рубинштейна, В. Володарского и А. Солодовникова), М.—Л., 1934; Доманский В., Централизованное управление электрическими установками и системами, М.—Л., 1933; Солодовников А. и Арутюнов В., Телеметрические устройства, Л., 1934; Зотен Б., Дистанционные измерения на металлургических заводах, пер. с нем., Л., 1932; Цуккерман М. и Худек Е. в Л. в. И. В. С. Спосіб сумірювання при помозі приборів телевізії, там же, 1933; Худек Е., Измерение очень малых частот и их применение в телеизмерении, там же, 1933; Михайлов А., Автоматические веса Кельвина, «Электричество», М.—Л., 1933, 2; Цуккерман М. и Сапелькин М., Фотоимпульсная телеметрическая установка на индукционном пункте Ленэнерго, там же, Л.—Л., 1933, 2; Михайлов А., Телеметрические системы, 1934, «Бюллетень ВЭИ», М., 1934, 1; Schleicher M., Die elektrische Fernmessung, «Siemens-Ztg.», В., 1927, Heft 6; Imhof A., Elektrische Fernmessungen mit besonderer Berücksichtigung des Induktionssystem von Trüb-Tauber u. Co., «EMA», 1929, Heft 10; Keinath G., Die Entwicklung der elektrischen Fernmessung, «ETZ», 1929, Heft 42; W. H. D. Ein neues Fernmesssystem für Elektrizitätswerk-Betriebe, «El-Wirtsch.», 1929, Heft 3, 452; Brückel W., Stäblein W., Neuere Fortschritte in der Fernmesstechnik, «AEG-Mitt.», В., 1930, Heft 3; Schäfer W., Kompensations-Fernmesssystem der AEG und seine Anwendungsmöglichkeiten, ibid., В., 1930, Heft 6; Schleicher M., Die Fernübertragung von Messwerten auf Leitungen beliebiger Art und beliebiger Länge, «Siemens-Ztg.», В., 1929, H. 3 u. 4; Brückel W., Die Systemwahl in der Fernmessung, «VDE Fachbericht», В., 1931; Linder C., Stewart C., Rex H., Fitzgerald A., Telemetering, «Transactions of the American Institute of Electrical Engineers», N. Y., 1929, v. 48; Fitzgerald A., An Electron Tube Telemetering System, ibid., 1930, v. 49, 3. К. Карандеев.

**ТЕЛЕФОНИРОВАНИЕ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ.** Поскольку основы Т. т. в. ч. изложены в ст. *Многократное телеграфирование и телефоноирование* (см.), ниже излагаются усовершенствования в системах многократного телефоноирования за период 1929—1934 гг.

Классификация систем с точки зрения амплитуды несущего тока. В связи с все большим и большим уплотнением линий связи вопрос о взаимных

помехах высокочастотных установок (ТЭ, т. XIII, ст. 378), работающих на параллельных цепях одной и той же магистрали, приобретает все более важное значение. Так как километр. затухание телефонной линии на высоких частотах (ТЭ, т. XIII, ст. 372, фиг. 18) значительно выше затухания для низких частот, то общее затухание межтрансляционного участка, если хотя бы высокочастотную аппаратуру располагать в тех же пунктах, что и низкочастотную, приходится доводить для рассматриваемых частот до 4—5 неперов. В связи с этим в случае расположения в одном и том же пункте передающего (на одной из параллельных цепей) и приемного (на другой параллельной цепи) устройств, работающих в одном и том же рабочем канале (на одних и тех же частотах), затухание для переходных разговоров между упомянутыми параллельными цепями д. б. порядка 10—11 неперов. На воздушных цепях для высоких частот при обычных методах скрещивания такую величину переходного затухания получить весьма затруднительно, если не невозможно. Поэтому существует правило, по которому для передачи в определенных направлениях применяют определенные рабочие каналы (частоты). Так, общепринято в направлении с севера на юг и с запада на восток вести передачи нижней группой частот (ТЭ, т. XIII, ст. 371, фиг. 16 и 17), а с юга на север и с востока на запад—верхней группой. В этом случае взаимное мешающее воздействие двух установок, работающих на параллельных цепях, будет определяться очевидно встречным переходным затуханием, достаточную величину которого получить гораздо проще. Исходя из норм Международного консультативного комитета (МКК), что действующее встречное переходное затухание, измеренное между двумя рабочими местами телефонисток, д. б. во всяком случае больше 6,2 непера для двух высокочастотных цепей, осуществленных по двум параллельным линиям, и больше 7,5 непера для двух высокочастотных цепей, наложенных на одну линию, можно получить следующие ф-лы для ориентировочного подсчета, необходимого во всем диапазоне применяемых частот переходного затухания между двумя линиями—для встречного переходного затухания:

$$b_g \geq b + 6 \text{ неперов,}$$

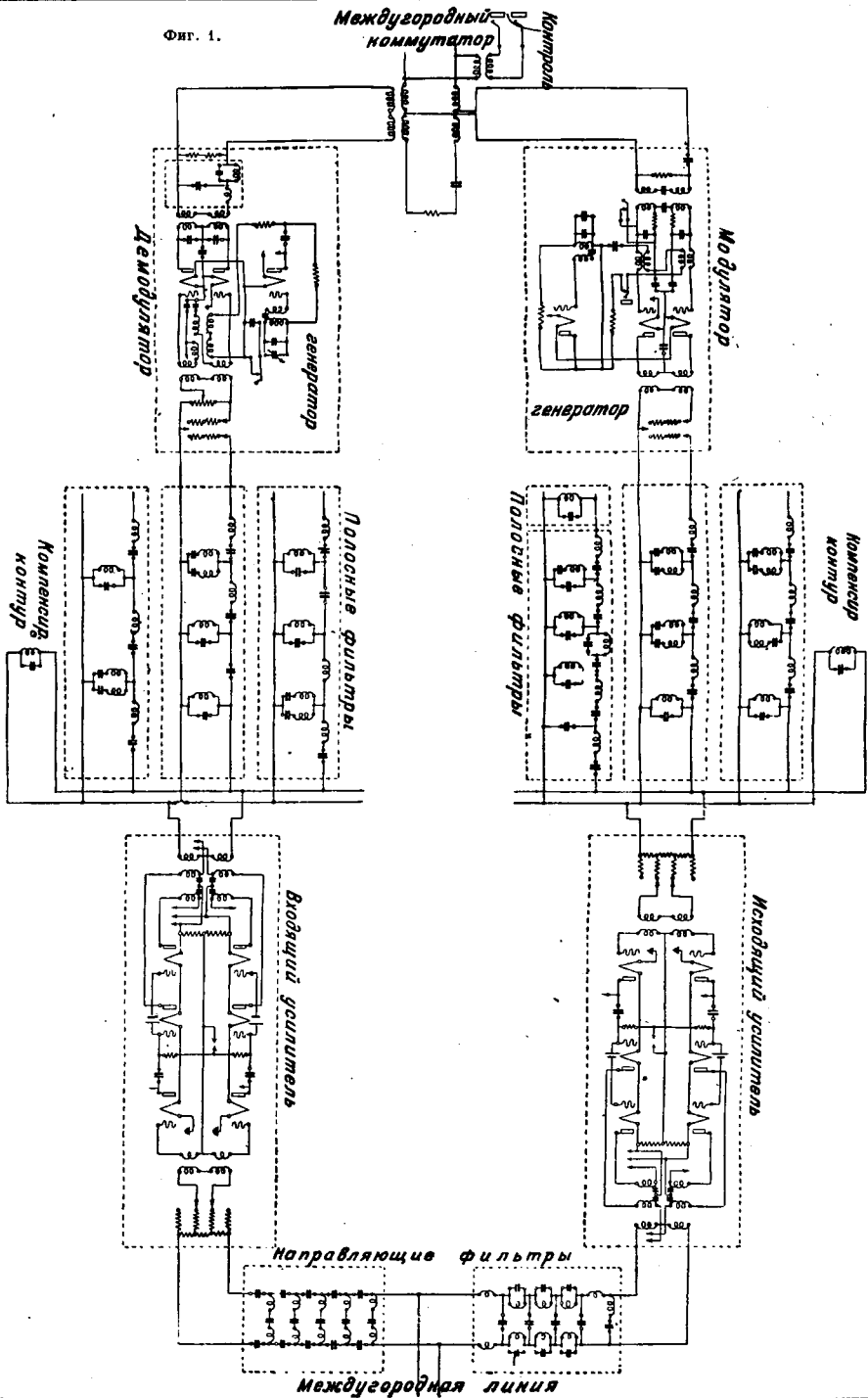
где  $b$ —затухание линии на соответствующей частоте, и для переходного затухания:

$$b_n \geq b - b_i,$$

где  $b_i$ —затухание эхо, зависящее от однородности линий и подбора входных сопротивлений аппаратуры или, короче, от согласованности отдельных частей телефонной цепи. Как видно из приведенных формул, даже при соответствующем расположении аппаратуры величины  $b_g$  и  $b_n$  получаются все же достаточно большими. Чтобы иметь возможность снизить их, применяют либо сдвиг рабочих каналов по частоте, либо инверсию частот (фирма Сименс и Гальске), либо то и другое вместе (американский концерн Белл и К<sup>о</sup>). Сдвиг рабочих каналов заключается в том, что для установок, работающих на параллельных цепях, применяются разные, не совпадающие полностью по частоте рабочие каналы (ТЭ, т. XIII, ст. 371, фиг. 17), а инверсия—в том, что если установки одной цепи работают нижней боковой полосой, то установки другой цепи—верхней боковой. По данным фирмы Сименс и Гальске уже одна инверсия частот может необ-

ТЕЛЕФОНИРОВАНИЕ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Фиг. 1.

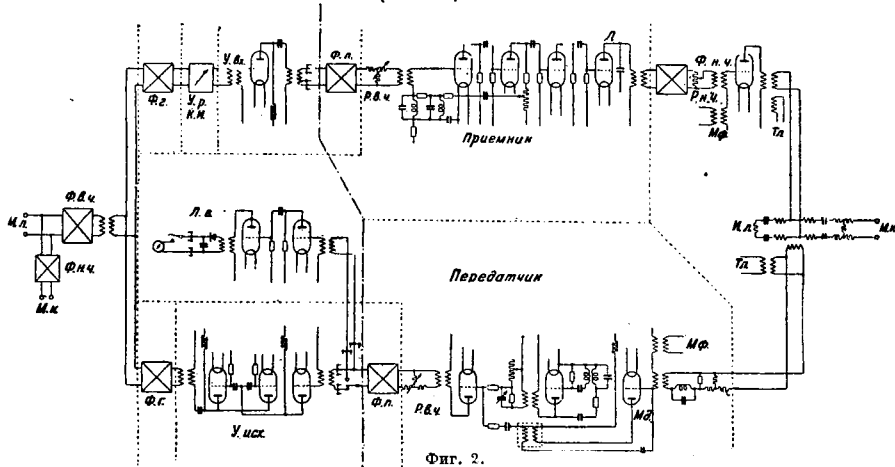




ходимые величины  $b_g$  и  $b_n$  снизить на 1,5 непера, т. е. в этом случае д. б.  $b_g = b + 4,5$  непер и  $b_n = 6 - b$ , непер.

Как показывает последняя ф-ла, дальнейшего снижения допустимого переходного затухания  $b_n$  можно добиться лишь за счет увеличения затухания эхо  $b_e$  и с этой точки зрения все преимущества на стороне системы без несущей частоты. Дело в том, что в этих системах благодаря отсутствию несущих частот промежуточные усилители трансляции можно делать общими для всех трех разговоров одного направления. Можно делать общими и усилители высокой частоты на оконечных комплектах (ТЭ, т. XIII, ст. 375, фиг. 23). Такая возможность в свою очередь позволяет включать данную аппаратуру в линию через линейные и направляющие фильтры, входное сопротивление которых сравнительно легко выполнить достаточно согласованно с волновым сопротивлением линии, в результате чего уменьшается коэф. отражения, а стало быть увеличивается затухание эхо  $b_e$ , которое в дан-

разобранного преимущества применение систем без несущей частоты исключает возможность интерференции несущих частот установок, работающих на параллельных цепях, к-рая является весьма большим недостатком систем с несущей частотой. Первым аппаратом без несущей частоты (описание ее см. ТЭ, т. XIII, ст. 374) стал выпускать америк. концерн Белл и К<sup>о</sup> (системы CN, CS и CT). В связи с несомненными преимуществами такой аппаратуры фирма Сименс и Гальске в 1932 г. разработала систему с т. н. «приглушенной» несущей частотой (М-2, М-3). В этой системе путем фазовой компенсации величина амплитуды несущей частоты уменьшается до незначительной величины (уровень ее на выходе установки на 1,5 непера ниже уровня боковых частот), что также позволяет применить общие усилители и избавляет от интерференции несущих частот. Восстановление амплитуды несущей частоты до нормальной ее величины в приемном устройстве этой системы достигается путем применения селективной обратной

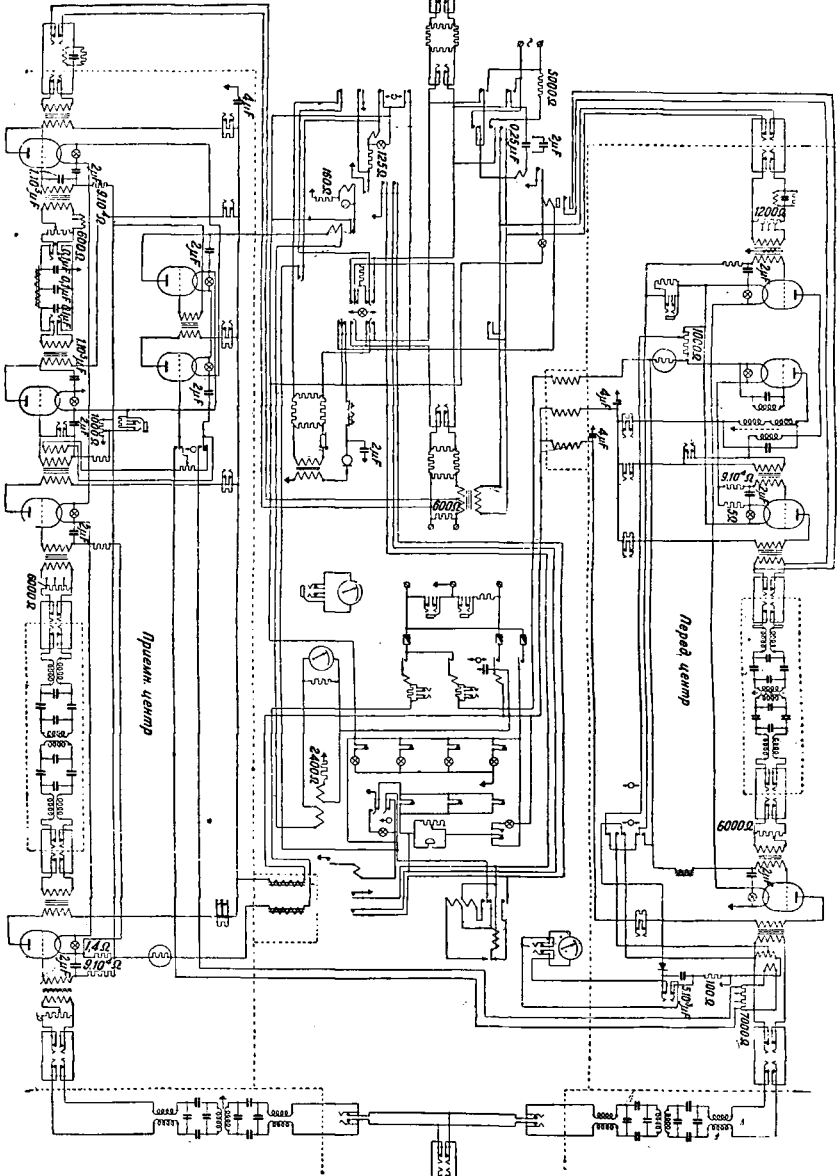


Фиг. 2.

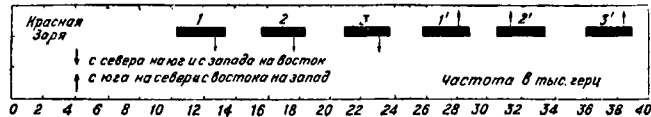
ном случае можно довести до 1,8 и даже 2,3 непера. В это же время в аппаратуре с несущей частотой возможность использования общих усилителей для передач одного и того же направления почти исключена (экономически невыгодно и нигде не делается), так как требует применения очень мощных ламп. Объясняется это тем, что амплитуды несущих токов имеют гораздо большие значения, чем амплитуды боковых частот (в  $2/k$  раз, где  $k$ —коэф. модуляции), а режим усилителей в то же время д. б. таков, чтобы они работали строго на прямойлинейной части, т. к. в противном случае произойдет модуляция одного разговора другим, что совершенно недопустимо. Применение отдельных промежуточных усилителей для каждого разговора, а также отдельных усилителей высокой частоты в оконечной аппаратуре приводит неизбежно к включению ее в линию (ТЭ, т. XIII, ст. 374, фиг. 22) через шесть полосных фильтров; общее входное сопротивление последних во всем диапазоне применяемых частот сделать достаточно близким к волновому сопротивлению линии весьма затруднительно, благодаря чему величина  $b_e$  на отдельных частотах получается ничтожной  $\sim 0,9$  непера и даже меньше. Помимо

связи. Наличие несущей частоты, хотя бы и приглушенной, позволяет в данном случае обойтись без специального контрольного канала. В самое последнее время фирма Сименс и Гальске разработала по типу американской аппаратуры (системы CS и CT) свою аппаратуру без несущей частоты. Как системы CN, CS и CT америк. концерна Белл и К<sup>о</sup> (фиг. 1) отличаются друг от друга только примененными в них рабочими каналами (частотами), так и системы М-2 и М-3 фирмы Сименс и Гальске (фиг. 2) отличаются лишь расположением в рабочих каналах несущих частот (инверсия), а стало быть и самими несущими частотами. (На фиг. 2: М. л.—Междугородная линия, Ф. в. ч. и Ф. н. ч.—фильтры выс. и низк. частоты, М. к.—Междугородный коммутатор, Ф. г.—групповой фильтр, У. р. и К. и.—регулятор усиления и компенсатор искажений, У. в. ч. и У. исл.—входящий и исходящий усилители, Ф. п.—фильтр полосной, Р. в. ч. и Р. н. ч.—регулятор выс. и низк. част., Д.—демодулятор, Мф.—модулятор, Мф.—микрофон, Тл.—телефон, И. л.—искусственная линия, Л. в.—ламповый вольтметр.) Наша пром-сть в настоящее время выпускает лишь аппаратуру с несущей частотой (фиг. 3); что же

Межд. коммут.

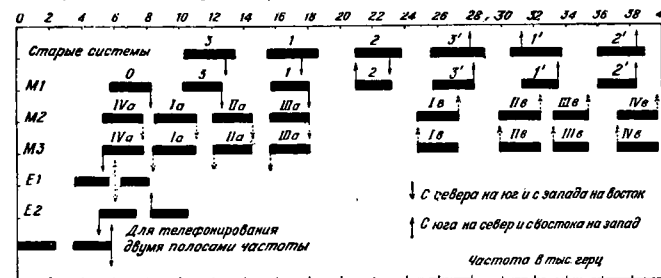


касаются аппаратуры без несущей частоты, то разработка ее уже ведется (по типу американской). Расположение рабочих каналов на шкале частот для советской аппаратуры дано на фиг. 4, для не-



Фиг. 4.

мецкой на фиг. 5 и для америк. на фиг. 6. На упомянутых фигурах сплошными стрелками, примыкающими к рабочим каналам, указаны несущие частоты с нормальной амплитудой, пунктирными — несущие частоты с уменьшенной амплитудой и сплошными, но «оторванными» от рабочих каналов — отсутствующие несущие частоты (балансная модуляция).



Фиг. 5.

Системы многократные и однократные. Большинство существующих систем относится к многократным системам, т. е. к системам, позволяющим накладывать на одну цепь несколько высокочастотных связей. Но при наличии ряда параллельных цепей м. б.

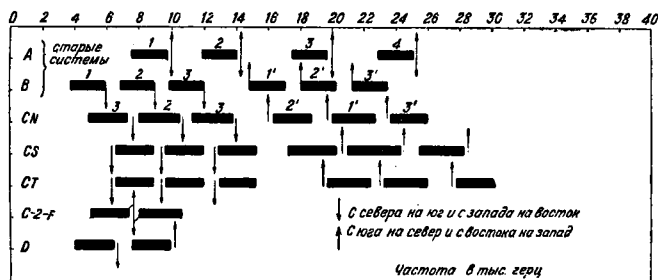
выгодным не уплотнять одну или две из них максимально, а наложить лишь на некоторые из них по одному высокочастотному разговору, используя для этого наиболее низкие частоты. Так как дальность высокочастотного телефонирования определяется в конце-концов затуханием линии для наиболее высокой частоты, примененной для передачи, то при однократных системах при тех же начальных уровнях, что и в многократных, можно перекрывать без промежуточных усилителей большие расстояния или же допускать для воздушных линий большие кабельные вставки. Кроме того постольку, поскольку здесь приходится иметь дело лишь с двумя полосами частот, оладает нужда в полосных фильтрах, и можно ограничиться при включении такой установки в линию лишь двумя направляющими и одним линейным фильтрами. Наконец использование частот ниже 10 000—11 000 Нз позволяет ослабить требования в смысле переходного затухания, предъявляемые к двум

соседним линиям, так как в этом случае уже при нормальных схемах скрещивания обеспечивается нормальная работа высокочастотных установок. К однократным системам относятся системы

E-1 и E-2 фирмы Сименс и Гальске (фиг. 5) и C-2-F и D (фиг. 6) америк. концерна Белл и Ко. Системы E-1 и C-2-F являются системами без несущей частот, причем в прямом и обратном направлениях в них используются одна и та же несущая частота, но разные рабочие каналы: в одном направлении передача ведется нижней боковой полосой, а в другом — верхней.

Системы двухпроводные и четырехпроводные. С точки зрения числа проводов, используемых для дуплексной связи, все системы можно подразделить на системы двухпроводные, т. е. в которых прямой и обратный разговоры ведутся по одной паре проводов (по одной цепи), и четырехпроводные, в которых для этой цели используют четыре провода, т. е. две физические цепи. Что же касается числа рабочих каналов, применяемых в той и другой системах, то в настоящее время в первом случае (в двухпроводных системах) для дуплексной связи из-за трудностей, возникающих при уравнивании линии на высоких частотах, обычно пользуются двумя рабочими каналами. В четы-

рехпроводных же системах, наоборот, для прямого и обратного разговора пользуются одним каналом. Т. о. в отличие от тонального телефонирования высокочастотное телефонирование всегда происходит с точки зрения электрической по четырехпроводной схеме даже в том случае, когда



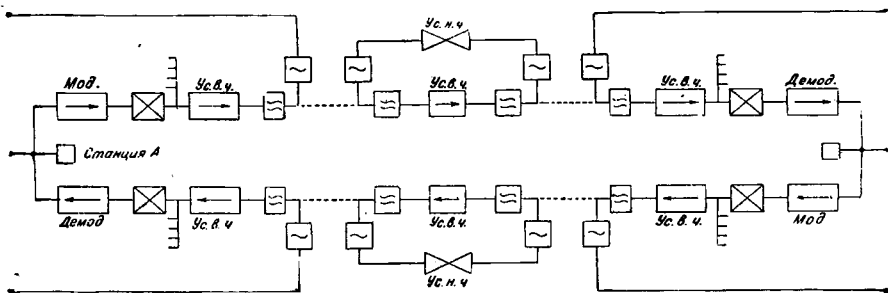
Фиг. 6.

для дуплексной передачи используется одна пара проводов (передача ведется в разных каналах). Благодаря этому связь такого рода имеет большую устойчивость при включении в линию последовательно значительного количества усилителей, т. к. последние в этом случае не должны иметь на входе и выходе дифференциальных систем (здесь ставятся фильтры) в отличие от дуплексных усилителей тонального телефонирования. Что касается областей применения этих систем, то до последнего времени высокочастотное телефо-

нирование осуществлялось только на воздушных бронзовых и медных линиях (в СССР также на биметаллических), т. е. на таких, которые обладают сравнительно еще небольшим сопротивлением для токов высокой частоты, и в этом случае как правило всегда пользовались одной цепью (двумя проводами). И лишь тогда, когда встал вопрос об уплотнении линий с гораздо большим затуханием, чем воздушные линии из цветного металла (за границей—об уплотнении междугородных кабелей, а у нас—об уплотнении воздушных железных цепей), то пришла идея использовать для этих целей четыре провода. Объясняется это тем, что при наложении одинакового числа разговоров на две цепи порознь и на две цепи совместно, второй вариант оказывается более выгодным, т. к. требует в два раза меньше промежуточных усилителей, что при большом числе их (а их приходится включать много из-за большого затухания линии) играет существенную роль. Конечно при этом предполагается, что для передачи, идущих в одном направлении, в том и другом случае используют общие усилители. В настоящее время такая система разработана у нас для наложения одного

спектра частот, лежащий несколько выше тонального (фиг. 5). Т. о. данная система позволяет осуществить четырехпроводную схему, распространенную при обычном тональном телефонировании по кабелю, при помощи одной физич. цепи вместо двух.

Дальность передачи. По нормам МКК уровень боковой полосы в начале линии не должен превосходить +2 неперов, а в конце линии не д. б. ниже —4 неперов. Практически же по целому ряду обстоятельств большая часть аппаратуры проектируется на перекрытие участка с затуханием в 5 и даже в 4,5 непера. На различных цепях это соответствует расстоянию в 30 км (кабель), в 100 км (железо), в 300—400 км (медь в зависимости от диаметра) и т. д. Увеличение указанных расстояний, как уже говорилось, достигается путем включения промежуточных усилителей (см. Трансляция телефонная). Вторым способом увеличения расстояния является так называемый переирием, т. е. применение вместо усилителя двух оконечных установок. В этом случае токи, получаемые на приемном устройстве одной из установок, поступают на передающее устройство другой. Т. о. при пе-



Фиг. 7.

разговора на воздушные железные телефонные цепи (фиг. 7, работает на линиях НКПС), фирмой Сименс и Гальске—для наложения одного разговора на кабельные линии (система L) и для наложения трех разговоров (система S). Первая применяется на кабелях, слабо пупинизированных, вторая—на кабелях, очень слабо пупинизированных. Концерном Белл и К<sup>о</sup> также для работы на кабеле (непупинизированном) разработана четырехпроводная система на 9 разговоров. В системах, предназначенных для кабельных линий, через промежуточные усилители высокой частоты проходят также и разговоры тональной частоты. (Здесь отмечаются лишь аппаратуры фирмы Сименс и Гальске и концерна Белл и К<sup>о</sup> и не упоминается об аппаратуре других зарубежных фирм, как например шведского общества Эрикссон и немецкого Лоренц и К<sup>о</sup> и т. п., так как именно вышеупомянутые две фирмы являются ведущими в данной отрасли связи.)

Система для телефонирования двумя полосами частот. Хотя вся высокочастотная аппаратура, работающая по одной паре проводов, использует для дуплексной передачи два рабочих канала (две полосы частот), тем не менее фирмой Сименс и Гальске упомянутое название присвоено только специальной аппаратуре, разработанной ею для телефонирования по кабелю. В данной системе для передачи в одну сторону используется обычный тональный спектр частот, а в обратную —

реприеме происходит переход с высокой частоты на низкую и затем обратный переход с низкой частоты на высокую. Такой способ увеличения расстояния дальности передачи совершенно необходим в том случае, когда связь приходится давать не только между оконечными пунктами, а также и с промежуточными. Благодаря тому, что высококачественная связь с точки зрения электрической всегда осуществляется по четырехпроводной схеме, она оказывается более устойчивой, чем связь на низкой частоте. Поэтому последовательно в одну и ту же цепь при этом виде связи можно включать почти неограниченное количество усилителей (25, 30 и даже больше), а также устраивать ряд переириемов (5—60). Известны случаи, когда без специальной регулировки связь на высокой частоте по воздушным цепям давалась на расстоянии 13 000 км (Америка). В настоящее время у нас проектируется связь на 9 000 км (Москва—Хабаровск). Что касается кабельных линий, то упомянутая выше аппаратура концерна Белл и К<sup>о</sup> на 9 разговоров позволяла включать до 40 усилителей и получать связь на 1 200 км.

Новейшие тенденции в развитии высокочастотной связи. Все увеличивающаяся потребность в развитии связи заставляет искать новых путей уплотнения телефонных линий. Фирмой Сименс и Гальске разработана в настоящее время аппаратура, позволяющая помимо обычных трех высокочастот-

ных разговоров наложить еще 5 в диапазоне от 50 до 150 Нз (на короткие расстояния). Но самое радикальное решение вопроса о сверхуплотнении отмеренных линий в настоящее время принадлежит кондерну Белл и К<sup>о</sup>. По имеющимся литературным данным им разработана и опробована в лабораторной обстановке на опытной линии система, использующая спектр частот до 1 МНз. В этом диапазоне фирме удалось уложить 200 duplexных телефонных разговоров. Часть из этих рабочих каналов можно конечно использовать под высокочастотный телеграф или даже под передачу изображений. Система разработана, как четырехпроводная, причем в качестве проводов вьют не обычный провод, а специально разработанный фирмой кабель (коаксиальный провод). Конструкция его весьма оригинальна. Одним проводом в нем служит медная жила, расположенная по оси металлического цилиндра, который и является вторым проводом. Крепление медной жилы внутри цилиндра производится при помощи специальных изоляторов. Распространение электромагнитной энергии по такому кабелю благодаря *скин-эффекту* (см.) происходит по внешней поверхности медной жилы и по внутренней поверхности металлического цилиндра. Другими словами, это распространение происходит в замкнутом пространстве между двумя упомянутыми поверхностями в кольцеобразной трубке. Благодаря этому данная система оказывается почти совершенно изолированной от окружающего пространства и не подвержена почти никаким электромагнитным влияниям извне, а также сама не оказывает влияния на соседние провода. Это обстоятельство позволяет нарушить общепринятые нормы для уровней передачи и т. о. значительно увеличить допустимое затухание межатрагационного участка (до 8 неперов), что весьма важно, так как километрическое затухание данной линии для высоких частот весьма большое (зависит как от диаметра медной жилы, так и от диаметра внешнего цилиндра). Длина межатрагационного участка равна примерно 15 км. При разработке аппаратуры фирме пришлось пересмотреть вопрос о фильтрах (применены кварцевые фильтры), о модуляторах (применена двойная модуляция), об усилителях (применены усилители с обратной регенеративной связью), о питании промежуточных усилителей (производится с оконечных дунктов переменным током по тем же проводам, по к-рым идет связь) и ряд других.

Лит.: Д и с т о в В., Курс многократной проводной связи, М.—Л. 1932; Установки многократной телефонирования, М., 1932; С л у к и н В. и Х а л е з о в Б., Телефонирование тонами высокой частоты по железным проводам, М.—Л., 1932; Д о б р о в о л ь с к и й Г., Многократные телеграфно-телефонные связи, М., 1934; Х а л е з о в В., Оконечная аппаратура для телефонирования тонами высокой частоты по железным проводам завода «Трансваз», «Сигнализация и связь на железнодорожном транспорте», 1935; Р е г о ж е, Трансляция высокой частоты для железных проводов, там же, 1935, 5; A f f e l l H., D e m a r e s t C. a. G r e e n C., Carrier System on Long Distance Telephone Lines, «The Bell System Technical Journal», 1928, 2; S c h e i n s o f f S., The Electromagnetic Theory of Coaxial Transmission Lines and Cylindrical Shields, ibid., 1934; B e r e d s e i e d L., S t e b e y M., Systems for Wide Band Transmission over Coaxial Lines, ibid., 1934, 4; B u n d z i n s k i H., Die neuere Entwicklung d. Trägerstromtelephonie, «Hochfrequenztechnik u. Elektroakustik», 1935, H. 2.

**ТИПОГРАФСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.** За 3 последних года (1933—35 г.) в общий характер технологических процессов, применяемых в полиграфическом производстве, не внесено сколько-нибудь заметных изменений, если не считать различных рационализаторских мероприятий, значи-

тельно повысивших производительность труда. Зато в строительстве Т. о. произошли значительные сдвиги, к-рые не могут пройти не отмеченными. Проследим эти моменты в порядке их изложения в статье *Типографское оборудование* (т. XXIII). Строкоотливные наборные машины вполне освоены и строятся в серийном порядке; намечен уже ряд конструктивных усовершенствований, вытекающих из их применения в производстве. Также освоено и производство медных матриц для них. Все это позволяет выполнить задачи, намеченные в этой части 2-й пятилетки, и довести механизацию набора в условиях СССР до 40—50%.

Также успешно освоено и строительство печатного Т. о. как плоского, так и ротационного. В отношении первого Рыбинский машиностроительный з-д им. тов. Ягоды переходит на производство более совершенных двухоборотных печатных машин, которые должны будут заменить уже работающие в производстве несколько сот печатных машин «Пионер» стопцилиндрического типа (см. *Печатные машины*, т. XVI). При этом ставшее на правильный путь строительство плоских печатных машин преследует уже и цели создания необходимого комплекса этого оборудования для полного обеспечения потребностей производства. Так, предположен к выпуску ряд плоских печатных машин основных форматов, соответствующих измененному стандарту печатных бумаг. К настоящему времени (1936 г.) новые стандарты находятся еще в разработке. Кроме того будут выпущены уже сконструированные и строящиеся вспомогательные плоские печатные машины малого (поглощающего) формата для печатания обложек и прочих небольших печатных работ. Примерно этого же формата машины строятся для эксплуатации в большом числе мелких типографий районного и более мелкого масштаба в замену построенных в огромном количестве (для временного использования) тигельных печатных машин различных систем.

Газетные ротационные машины остаются в пределах прежних форматов газетного листа (развернутый лист  $A_2 = 840 \times 595$  мм). Но огромное развитие газетной печати поставило перед строителями газетных ротационных машин новые задачи — конструирование многогородных газетных агрегатов с нижней зарядкой бумагой. Такой четырехрольный агрегат построен Рыбинским з-дом и уже работает в ленинградской типографии — филиале газеты «Правда». Конструкция другого, во много раз более мощного агрегата разрабатывается в настоящее время тем же заводом. При постройке этих машин предусмотрены многие новейшие технич. детали (беспиндельная зарядка бумаги, кнопочное управление и пр.).

В отношении ротационной машины конструкции инженеров Готмана и Михина намечается переработка ее в направлении увеличения формата машины до возможности печатания четырехстраничной газеты в стандартном формате  $A_2$ , что даст возможность более широкого использования этой портативной и легкой (в переработке вероятно от 4 до 5 т) газетной ротационной машины (см. *Типографское оборудование*, т. XXIII, стр. 409 и 411).

Множество машин для разных стадий переплетно-брошюровочного процесса (бумагорезальные автоматы трех форматов, фальцевальная машина, листоподборочная машина, швейные равных систем и ряд более мелких вспомогательных машин) строятся различными заводами РСФСР

и Украины и уже используется в производстве. Особо д. б. отмечено несколько повидно начатое строительство различных видов фотооборудования (репродукционных аппаратов и разного вспомогательного оборудования для подготовки печатных форм методами фотомеханики), к-рое до настоящего времени до ничтожных деталей ввозилось из-за границы. Освоение этого производства приобретает тем большее значение, что при насыщении наших полиграфич. предприятий относительно недорогой фотоаппаратурой создается возможность скорейшего освоения нашей полиграфией и новейших технологических процессов. В некоторой увязке с последним м. б. отмечено и другое достижение нашего машиностроения — только что построенная и находящаяся на заводском испытании первая советская машина для офсетного печатания.

Советское полиграфическое машиностроение за короткий срок получило большой разворот. Но советская полиграфия не может ограничиться лишь указанными количественными результатами. Как во всяком новом деле, выпускаемая продукция несомненно имеет какое-то количество дефектов, из которых может быть нек-рые еще не открыты. Выявлению, изучению и устранению их должна помочь работа организуемой в настоящее время машиноиспытательной станции при Научно-исследовательском институте полиграфич. промышленности НКМП РСФСР.

С. Михайлов.

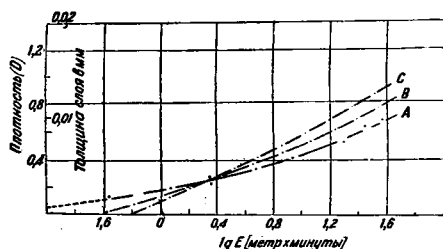
**ТИФДРУК**, один из способов наиболее распространенной механизированной глубокой печати, которому иногда придают и другие названия, как то: меццо-тинто, растровая глубокая печать, рагельная глубокая печать, фотогравюра и т. п. Тифдрук в отличие от других способов печати имеет то преимущество, что он обладает способностью значительно полнее передавать тоновое изображение с мягкими и плавными переходами в полтонах и светах и густыми тенями, сильно насыщенными печатной краской. Отмеченные эффекты достигаются благодаря специфич. особенностям Т. передатки тонового изображения слоем печатной краски различной толщины при хорошей маскировке растровых линий на оттисках. Качество передачи штриха, в том числе и шрифта при тифдручной печати несколько страдает вследствие разрушения штрихов растровыми элементами. Однако Т. в настоящее время применяется не только для чисто иллюстрационной печати, но и для совместной печати с текстом, т. к. и текстовая печать в Т. при надлежащей организации дела получается вполне удовлетворительной.

Задача при изготовлении печатной формы для Т. состоит в том, чтобы получить на медной поверхности формы репродуцируемое изображение, составленное из огромного количества небольших по своей площади углубленных печатных элементов. Глубина элементов м. б. различна и зависит в основном от силы тона в том или ином месте репродуцируемого изображения, т. к. самые глубокие элементы должны отвечать наиболее темным частям изображения, и по мере уменьшения силы тона должна уменьшаться и их глубина. При этом все элементы по площади д. б. одинаковы и изолированы друг от друга медными перегородками так, чтобы каждый печатный элемент представлял вполне изолированную углубленную ячейку. Изолирование каждой ячейки обеспечивает задерживание жидкой печатной краски в углублениях формы в моменты удаления излишков краски в процессе печатания, иначе была бы невозможна

нормальная красочная передача изображения. Технич. процессы начинаются с фотосъемки оригиналов, получая сперва негативное, а затем диапозитивное изображение на фотопластинках или пленках. Диапозитивы текста преимущественно изготовляются на целлофане путем оттискивания типографского набора (реже по коллодионному способу). Сейчас больше внедряется однопроцентный метод изготовления диапозитивов рисунков и текста. Качество оригиналов, негативов и диапозитивов является первым и основным фактором,

оказывающим влияние на репродукцию Т. На фиг. 1 изображены примерные градации диапозитива и оттиска по сравнению с оригиналом (тоновой шкалы) как образцы средней продукции Т., выполненной в нормальных условиях производства. Сравнительная репродукция с оригиналом, можно сделать вывод, что Т. дает почти точное совпадение в средних тонах, а в светах и тенях наблюдаются некоторые отклонения, притом больше всего в тенях. Причина отклонения в светах объясняется в большинстве случаев сильным дублением желатинного слоя копии в светах, а в теневых частях — отсутствием пропорциональности между толщиной слоев желатинной копии и временем проникновения травящих растворов. На практике отмеченные отклонения частично сглаживаются путем ослабления светов на негативах и ретушью на диапозитивах, особенно в теневых частях. Поэтому для Т. необходимы:

1) соответствующий подбор оригиналов, 2) стандартизация негативов и диапозитивов и 3) правильная ретушь. Отретушированные диапозитивы копируются на очувствленную пигментную бумагу. Очувствление производится в растворах двухромовокислого калия. Выбор концентрации раствора зависит в основном 1) от характера диапозитивов и 2) от  $t^\circ$  окружающего воздуха.



Фиг. 2.

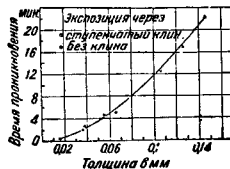
Напр. при слишком контрастных диапозитивах для получения более мягкой копии концентрация очувствляющего раствора повышается, так как при копировании под дуговыми лампами активные фиолетовые лучи не проникают на большую глубину слоя при продолжительном копировании вследствие поглощения их сильной окраской очувствленного слоя бумаги (фиг. 2, кривая A — 5% конц.  $K_2Cr_2O_7$ ) и, наоборот, при вялых диапозитивах, чтобы получить более контрастную копию, концентрация раствора уменьшается (фиг. 2, кривые B и C — 2,5 и 1,25%

конц.  $K_2Cr_2O_7$ ). При повышенной  $t^\circ$  воздуха чувствительность печатной бумаги увеличивается, поэтому при повышении  $t^\circ$  воздуха концентрация уменьшается. Зимой применяется 4%-ный конц. раствор  $K_2Cr_2O_7$ , летом—3%-ный в средней полосе, а в тропической—от  $1\frac{1}{2}$  до 3%.

Принцип получения копии основан на свойстве желатинизации, обусловленной двухромовокислыми солями и подвергнутой действию света, терять свойство растворимости в воде. Поэтому после копирования диапозитивов на желатиновом слое пигментной бумаги задуваются гуще те части, которые прилежали к более прозрачным частям изображения на диапозитиве, и соответственно меньше, где свет задерживается менее прозрачными частями изображения. После копирования диапозитивов пигментная бумага вторично копируется под растром для разложения изображения на отдельные элементы. Растры Т. представляют сетку, у которой черные непрозрачные элементы (квадраты, ромбы или прямоугольники) разграничены пересекающимися прозрачными линиями. Ширина прозрачных линий меньше ширины непрозрачных элементов примерно с отношениями 1:3, 1:4, 1:5. Количество прозрачных линий на 1 см площади сетки бывает 70÷100. Чем больше линий, тем доскопальнее происходит передача изображения. Чем тоньше прозрачные линии, тем полнее передается изображение, но уменьшается устойчивость растровых линий на форме. Во время копирования под растром задубленный на пигментной бумаге желатиновый слой покрывается еще системой задубленных линий в виде сетки. Копирование растра производится дольше, чем диапозитивов, от 10 до 25% по времени с целью получения толщины слоя в растровых линиях на копии несколько больше, чем самые толстые слои рисунка. Благодаря этому во время травления формы растровые линии предохраняются от затравки. С целью получения б. или м. однородных копий при определении продолжительности копирования необходимо считаться с след. факторами: 1) характером диапозитивов, 2) концентрацией чувствительного раствора, 3) качеством и состоянием пигментной бумаги, 4) характером и силой источника света и 5) атмосферными условиями. Чувствительность желатинового слоя пигментной бумаги к колебаниям  $t^\circ$  и влажности воздуха заставляет при всех процессах изготовления печатной формы поддерживать в рабочих помещениях б. или м. постоянную как  $t^\circ$ , так и влажность воздуха. Установлено, что наиболее благоприятная  $t^\circ$  воздуха д. б. 18°, а влажность 65÷70%. Точно так же однородное качество пигментной бумаги и однородные условия при всех процессах являются необходимыми условиями для получения б. или м. однородных результатов. Последовательность копирования диапозитивов и растра существенного значения не имеет. Откопированная пигментная бумага переносится на полированную и обезжиренную медную поверхность формы, после чего проявляется в горячей воде (от 40 до 45°).

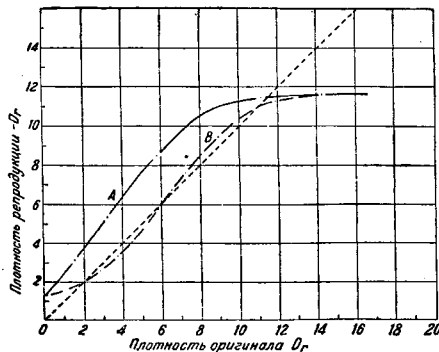
Существуют два способа переноса пигментной бумаги: мокрый и сухой. Сухой способ дает лучшие результаты, т. к. не происходит большой вытяжки по бумаге и отпадают нек-рые дефекты при проявлении, к-рые наблюдаются иногда при мокром способе. После проявления на медной поверхности остается только задубленный рельефный желатиновый слой (копия). Копия перед травлением высушивается до воздушно-сухого

состояния. Толщина слоев в самых темных частях изображения достигает примерно 0,002 мм, в наиболее светлых 0,015 мм и в растровых линиях 0,02 мм. Назначение копии—дать возможность регулировать проникновение травящих растворов через копию для получения различного углубленных чечек после травления. Травящий раствор определенной концентрации проникнет скорее через наиболее тонкие слои копии, и в этом месте травление начнется раньше и будет глубже, чем в местах, к-рые расположены под более толстыми слоями. Примерно наибольшая глу-



Фиг. 3.

бина травящих чечек в темных частях изображения достигает 0,08 мм и едва заметная затравка в светлых. Для травления применяют водные растворы хлорного железа, которые, достигая меди, вступают с ней в реакцию, в результате к-рой образуются углубления в медном слое. Продукты реакции, как хлорная медь и хлористое железо, остаются в травящем растворе и окрашивают его в темнозеленый цвет, по которому имеется возможность наблюдать за процессом травления через копию. Процессу травления предшествуют два физич. явления: 1) набухание желатиновой копии в растворе и 2) диффузия раствора — проникновение через копию. При этом продолжительность проникновения раствора не пропорциональна толщине желатинового слоя, к-рая возрастает значительно быстрее, чем толщина слоя (фиг. 3). Поэтому если применить для травления тонового изображения раствор одной концентрации, то невозможно получить репродукцию, тождественную оригиналу (фиг. 4, кривая А при травлении одной концентрации). В таких случаях пользуются несколькими растворами с постепенно понижающейся концентрацией примерно в следующей порядке: I — для самых сильных теней 43° Вё, II — для менее сильных 41° Вё, III — для полутонов 38 и 36° Вё и IV — для светов 34° Вё. Примерный результат травления несколькими растворами изобра-

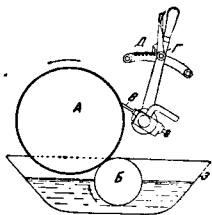


Фиг. 4.

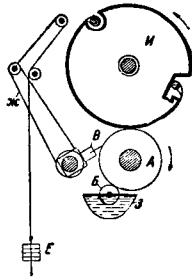
жен на фиг. 4 кривой В. При определении продолжительности действия травящих растворов помимо личного суждения опытного травильщика необходимо также считаться и с влиянием некоторых факторов, как то: 1) характером копии, 2) состоянием копии, 3) концентрацией растворов,

4)  $t^{\circ}$  растворов, 5) химич. составом растворов, 6) качеством меди, 7) атмосферными условиями и 8) качеством печатной краски и бумаги. Кроме того как обязательное условие при каждом травлении нужно не допускать проникновения растворов через растровые линии, иначе они будут разрушаться. Возможности исправления вытравленной тифдручной формы весьма ограничены, поэтому все исправления должны производиться до травления.

Печатный процесс. Задача печатного процесса состоит в том, чтобы сперва заполнить все углубленные ячейки на форме печатной краской, а затем по возможности полнее передать всю краску из ячеек на бумагу. Практически достигается это тем, что форма закатывается в печатной машине жидкой печатной краской, которая заполняет не только углубленные ячейки, но и всю поверхность формы. Для удаления излишков краски с поверхности формы применен раке́ль — тонкая стальная линейка толщиной 0,1–0,5 мм. Раке́ль, плотно прижимаясь тщательно заточенным краем к поверхности формы, удаляет излишнюю краску только с ее поверхности, т. е. растровые линии не дают ему спускаться в углубления ячейки. Устройство раке́льных аппаратов изображено на фиг. 5 и 6. Печатная форма *A* закатывается накатным



Фиг. 5.



Фиг. 6.

валиком *B* печатной краской, при дальнейшем движении форма очищается с поверхности раке́лем *B*, плотно прижатым к форме *A*. Нажим раке́ля у одних машин регулируется при помощи передвижения рычага *Г* (фиг. 5) по сегменту с насечками *Д*, а у других машин регулируется при помощи навешивания грузов *Е* (фиг. 6) на металлич. трос, к-рый по роликам тянет рычаг *Ж*, соединенный с раке́лем *B*. Излишки краски с поверхности формы стекают обратно в красочное корыто *З*. В ротационных машинах накат краски производится в большинстве случаев без накатных валиков, где сама форма погружается частично в красочное корыто с краской. После очистки от краски форма поступает под давление печатного барабана *И* (фиг. 6), на котором расположена бумага. Для того чтобы извлечь полнее печатную краску из углублений ячеек, необходимо довольно сильное давление, которое на тифдручных машинах бывает значительно больше, чем на других машинах. Кроме того большое значение имеет эластичность прокладки между бумагой и печатным барабаном. Поэтому на печатный барабан наклеивается картон и сверху обтягивается резиновым полотном. На ротационных машинах печатный барабан представляет металлич. цилиндр, покрытый вулканизированной резиновой массой. В момент оттискивания формы на бумагу передается почти полностью печатная краска из ячеек формы в виде красочных стол-

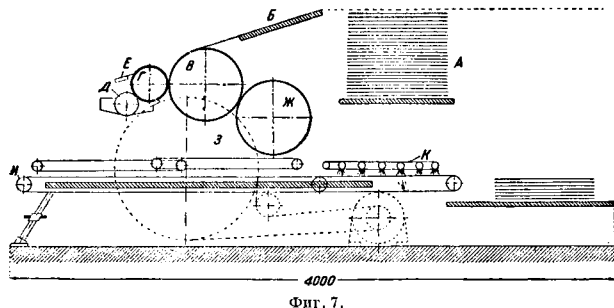
биков различной толщины. При этом жидкая печатная краска, впитываясь в бумагу, частично расплывается на ее поверхности и заполняет собой непечатающие растровые линии, соединяя все столбики в одно общее красочное изображение, выраженное слоем краски различной толщины. Закрепление красочного изображения на бумаге происходит за счет частичного впитывания краски в бумагу и осмоления связующего вещества после испарения растворителей. Поэтому для *T.* применяют бумаги, хорошо впитывающие краску, а печатные краски изготовляют на легко испаряющихся растворителях, как то: бензол, ксилол, толуол и т. п. (см. *Печатные краски*). Одно время для *T.* применялись водяные печатные краски, к-рые вскоре были оставлены вследствие некоторых существенных их недостатков: плохого и ненадежного закрепления краски на бумаге и значительно худшей передачи изображения, чем смоляными красками. С целью ускорения процесса высыхания краски на оттисках последние подвергаются искусственной сушке в сушильных аппаратах, устанавливаемых в печатных машинах. Тиражная способность печатной формы и качество печати зависят не только от качества печатной формы, но и в значительной степени от правильной установки раке́льного аппарата, а также и от качества печатной краски и бумаги. К недостаткам печатной формы *T.* относится то, что медная поверхность формы сравнительно быстро поддается изнашиванию от трения раке́ля и даже порче во время печатания. Максимальная тиражная способность тифдручной формы при высококачественной печати до сих пор определялась до 30 000 оттисков, а при рядовой журнальной печати до 100 000 оттисков. На основании опыта в союзных предприятиях неоднократно было установлено, что с хороших форм и при правильной работе можно получить до 300 000 оттисков хорошей портретной репродукции на ротационных машинах. С целью сохранения печатной формы от быстрого изнашивания последние иногда хромируются, благодаря чему имеется возможность получить больший тираж качественных оттисков. Расходование краски и растворителей может иметь колебания в зависимости: 1) от площади формы и глубины травления, 2) от  $t^{\circ}$  воздуха и нагрева формы, 3) от поверхности красочного корыта и 4) от скорости хода печатной машины. В среднем на 1 000 оттисков в 1 м<sup>2</sup> расход краски колеблется от 2 до 2½ кг, а растворителей от 0,5 до 0,8 кг.

Большие преимущества *T.* могут быть выгодно использованы лишь при условии большой тиражности изданий, т. е. производить большие затраты на сложные подготовительные процессы при небольших тиражах экономически невыгодно. Стоимость издания с тиражом до 20 000 в большинстве случаев м. б. дороже, чем при печатании какими-либо другими способами, и конкурировать с ними *T.* в таких случаях не может. Поэтому *T.*, имея установку на печатание преимущественно многотражных изданий, соответственно этому требует и более мощных печатных машин, к числу к-рых относятся машины с цилиндрич. формами. В свою очередь эти машины подразделяются на машины с листовым накатом и ротационные, печатающие с ролевой бумаги. Печатные машины с листовым накатом предназначаются для более художественных изданий, как то: репродукций, картин, портретов, каталогов, открытых писем, журналов с небольшими тиражами и т. п. Производительность



таких машин достигает до 2 500 оттисков в час, а у наиболее мощных — даже до 5 000 оттисков в час. Подача бумаги при такой производительности производится самонакладчиками. На фиг. 7 схематически изображена одна из таких машин, где бумага со ступени *A* подается по накладке *B* к печатному барабану *B*, к к-рому под давлением прижимается печатная форма *Г*. Форма накатывается краской валиком *Д*, а затем очищается ракелем *Е*. Отпечатанный лист передается на выводной барабан *Ж*, с к-рого оттиск

в специальных камерах. Помимо горячей сушилки отпечатанная бумага подвергается обдуванию свежим воздухом из воздухоподводящих сопел, устанавливаемых на пути движения бумажного полотна. Подсушенное бумажное полотно в дальнейшей проходит через охлаждающие валики с целью восстановления нормальных печатных свойств бумаги. После первого печатного аппарата бумажное полотно поступает на второй печатный аппарат в таком же порядке, а затем уже проходит через воронку в вальцевальный аппарат.

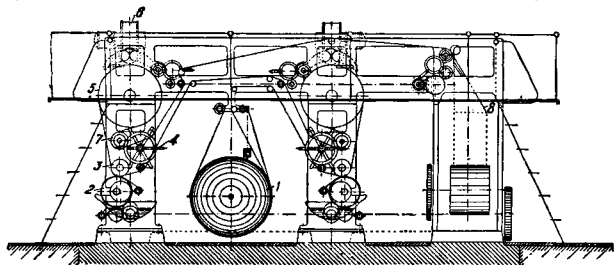


переходит на тележку *З* для передачи в дальнейшем на движущийся тесемки *И*. Удлиненный путь движения оттиска сделан умышленно, чтобы краска на оттисках успевала бы подсохнуть. Перед окончательным выходом из машины оттиск подвергается обдуванию воздухом из воздухоподводящих трубок *К* для окончательной просушки краски. В некоторых печатных машинах с листовым накладом предусмотрена одновременная печать лица и оборота. Для трехцветной печати печатные машины имеют три самостоятельных печатных аппарата, соединенных в одной машине. Ротационные печатные машины *Т* предназначаются для многотиражных изданий с объемом в 16, 24, 32 и 64 страницы. Производительность таких машин достигает до 15 000 оттисков в час. В зависимости от назначения ротационные печатные машины имеют 2-7 печатных аппаратов, а агрегат машины — до 16 печатных аппаратов.

Ротационные машины м. б. устанавливаемы для работы на постоянный или переменный форматы бумаги. При этом в каждой ротационной машине устанавливают один или несколько фальцевальных аппаратов, а также и приспособления для выкладки листами на случай надобности. Одна из таких машин, предназначенная для печатания лица и оборота 16-страничного журнала для переменных форматов в пределах 900-1 200 мм окружности печатной формы и максимальной ширине бумаги 800 мм, изображена на фиг. 8. Бумажное полотно с рола по роликам поступает в первый печатный аппарат, проходя между печатной формой и резиновым печатным цилиндром. После печати бумажное полотно поступает на сушильный цилиндр, нагреваемый паром или электричеством. На некоторых печатных машинах вместо сушильных цилиндров устанавливают нагревательные металлические пластины или же сильное обдувание отпечатанной бумаги потоком холодного воздуха

в специальных камерах. Помимо горячей сушилки отпечатанная бумага подвергается обдуванию свежим воздухом из воздухоподводящих сопел, устанавливаемых на пути движения бумажного полотна. Подсушенное бумажное полотно в дальнейшей проходит через охлаждающие валики с целью восстановления нормальных печатных свойств бумаги. После первого печатного аппарата бумажное полотно поступает на второй печатный аппарат в таком же порядке, а затем уже проходит через воронку в вальцевальный аппарат. Для многокрасочной печати ротационные машины имеют до 6 печатных аппаратов, из которых 2 соединены вместе для перемены хода бумажного полотна, т. е. бумага может проходить с одной или другой стороны печатных аппаратов. Для этого машины имеют приспособление для разъединенного хода печатных аппаратов. Печатание на такой машине может производиться как с одного, так и с двух рола бумаги. При соединенном ходе печатание производится с одного рола через пять печатных аппаратов, т. е. однокрасочная лицевая печать и четырехкрасочная оборотная. При разъединенном ходе (при двух ролах) можно производить на одной половине машины однокрасочную лицевую и двухкрасочную оборотную печать, а на второй половине однокрасочную лицевую и оборотную печать. Кроме того тифдручные ротационные машины иногда соединяются с типографскими или офсетными ротационными машинами для комбинированного способа печатания.

В печатных цехах *Т*, где производится печать бензольными красками, обычно происходит большое скопление в воздухе паров рас-



Фиг. 8.

творителей бензола, ксилола, толуола и т. п., к-рые не только весьма опасны в пожарном отношении, но и вредны для здоровья работающих. Потому в печатных цехах *Т* необходима хорошая и правильная вытяжка паров растворителей из помещения, к-рую целесообразнее устанавливать в нижней части помещения, так как пары бензола больше располагаются в нижних слоях воздуха.

Многоцветная печать *Т*. Художественные эффекты *Т* могут быть использованы и в трехцветной печати по общему принципу фотомеханики. воспроизведения цветного оригинала в три краски. Но медленное развитие трехцветной печати *Т* объясняется еще недостаточной проработкой вопросов цветораздельной съемки, отсутствием простого и верного способа кон-

троля над цветораздельными негативами и диапозитивами, а также еще далеко не нормализованными процессами А. Т.

Лит.: Григорьев Г., Формы растровой глубокой печати, М., 1933; Ефремов С., Глубокая печать, мешо-тинто, М.—Л., 1928; Т3, Т. XIX, Репродукционные процессы, т. XXIII, Тифлидур; Русс Р., Основы современной репродукционной техники, М., 1930; 1а у б е р т В., Фотографические процессы, 2 изд., М., 1933; Слегс Н., The Ford Manual of Process Work, L., 1924; Cartwright M., «The Photographical Journal», L., 1921, V. 61, 12; Cartwright M., «Le Procédé», P., 1929, I, 2, 3, 4. Г. Григорьев.

**ТОРМОЗА** для аэропланов, приспособление, уменьшающее скорость и расстояние пробега аэроплана по аэродрому. Торможение аэроплана возникает в самом начале авиации при применении в хвостовой части аэроплана костыли, бороздящие поверхность аэродрома. В дальнейшем пытались использовать аэродинамику. Т. в виде поворотных открывков, которые увеличивали сопротивление воздуха. Но все эти средства оказались недостаточными эффективными и не удовлетворяли требованиям к Т. для аэропланов. Специфическими свойствами тормозных устройств для аэропланов, отличающих их от автотормозов являются: 1) раздельное торможение правого и левого колес для лучшего маневрирования самолета на рулении и посадке, 2) возможность регулирования степени торможения как средства против капотажа, 3) малый вес и 4) отсутствие необходимости торможения при заднем ходе.

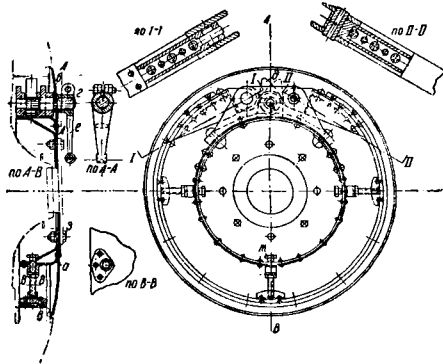
Проблема аэропланов Т. впервые была разрешена в достаточной степени авиацией США применением колесных Т., использующих трение пневматиков о поверхность аэродрома. По способу действия Т. для аэропланов можно разделить на следующие типы: 1) механические Т. с прямой передачей от усилия руки или ноги пилота, применяемые для аэропланов небольших размеров; 2) гидравлические Т. с передачей усилий на Т. путем нагнетания незамерзающей жидкости в тормозную систему до определенного давления и применяемые для самолетов средних размеров; 3) пневматические Т. с косвенной передачей усилий, необходимых для торможения посредством управления реле (система клапанов), перепускающим в Т. сжатый воздух; 4) комбинированные тормозные устройства гидропневматические, или пневмогидравлические, главными источниками энергии (производящей работу торможения) к-рых является также сжатый воздух. Эти последние типы Т. применяются для аэропланов любых размеров вплоть до аэропланов-гигантов; 5) электротормоза, конструктивное оформление которых еще достаточно не проработано. Каждый из перечисленных типов тормозных устройств имеет свои преимущества и недостатки для эксплуатации на аэропланах и применяется в зависимости от различных условий и свойств аэроплана.

По конструкции колесные Т. аэропланов разделяются на три основных типа: ленточные, колодочные и дисковые. Наиболее распространенным типом конструкции авиатормозов являются колодочные Т., применяемые на автомобилях. Колодочные Т. имеют преимущества в отношении компактности и удобства размещения их внутри колеса, выгодного распределения усилий, создающих тормозной момент, и возможности сконструирования Т. достаточно малого веса несмотря на значительные силы, воспринимаемые Т. и колесом. Производство колодочных Т. просто и удобно для серийного изготовления. При колесных Т. шасси

аэроплана должно иметь достаточный вынос относительно ц. т. его, что предотвращает капотажи при резком торможении, т. е. опрокидывающий момент аэроплана при резком торможении д. б. меньше восстанавливающего. Невыполнение этого условия ведет к необходимости ограничивать степень торможения, благодаря чему тормозной эффект, к-рый могут дать Т., не будет использован. Это условие приближенно м. б. выражено неравенством

$$G \cdot H \cdot \mu < G_s,$$

где  $G$  — вес аэроплана,  $H$  — высота ц. т. над землей,  $\mu$  — коэф. трения пневматика о землю и  $s$  — горизонтальное расстояние от оси колеса до ц. т. Из этого неравенства определяется вынос шасси, характеризуемый обычно углом  $\alpha$ ,



Фиг. 1.

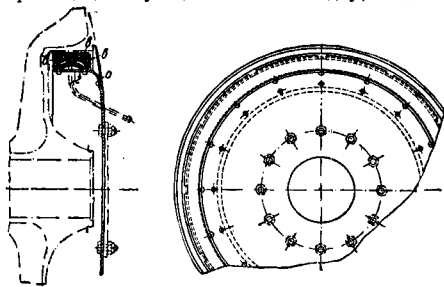
для которого  $\operatorname{tg} \alpha > \frac{s}{H}$  или  $\operatorname{tg} \alpha > \mu$ . Потребный тормозной момент на колесе аэроплана определяется по ур-ию

$$M_m = n G_k \cdot R_k \mu,$$

где  $G_k$  — вес, приходящийся на одно колесо,  $n$  — перегрузка при приземлении, принимаемая обычно = 1,4;  $R_k$  — радиус колеса с учетом обжатия пневматика под рабочей нагрузкой. Предварительно для усадки пневматика можно принять величину  $0,2 \div 0,3$  диам. поперечного его сечения. Коэф. трения резины в зависимости от поверхности аэродрома значительно меняется. По данным иностранной литературы коэф. трения резины  $\mu$  имеет следующие значения для сухой поверхности: о землю — 0,32, о бетон — 0,50, о дерево — 0,59, об асфальт — 0,60. Тормозной момент, определенный вышеуказанной ф-лой, является максимально предельным, т. к. граничит с возможностью блокирования колес, что является крайне нежелательным в виду быстрого износа пневматиков или прорыва их при плохом состоянии поверхности аэродрома. На фиг. 1 изображен ленточный механич. Т., состоящий из диска  $a$ , к к-рому прикреплен кронштейн  $b$ . На кронштейне  $b$  укреплен лента с тормозной прокладкой (феродо)  $e$  и валик  $e$  с кулачком  $d$ , на шлицах валика посажен рычаг  $e$  с ушком, к к-рому подводится трос управления Т. Для регулировки зазоров между тормозной прокладкой и барабаном на диске  $a$  укреплены болты  $ж$ . Тормозной диск неподвижно связан с фланцем на шасси аэроплана болтами  $з$ . При натяжении троса рычаг и кулачок поворачиваются и отводят свободный конец

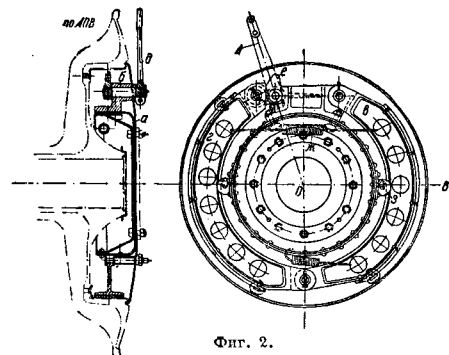
ленты, прижимая ее к поверхности барабана колеса. Трение, возникающее между ними, задерживает вращение колеса и производит торможение. Возвращение ленты в первоначальное положение при растормаживании происходит под действием упругости самой ленты, а в случае недостаточности этого — возвратными пружинами, стягивающими ленту. На фиг. 2 изображен 2-колодочный механизм. Т., состоящий из неподвижно закрепленного болтами на фланце шасси диска *a*, кронштейна *b*, колодок, облицованных ферродом, *в* и *г*, рычажка с валиком *д*, кулачка *е*, возвратных пружин *ж* и эксцентриковых болтов *з*, регулирующих зазоры между ферродом и барабаном. Распор колодок и прижатие их к поверхности барабана создается так же, как и в лен-

на другую, что имеет место при последовательном включении в работу в цепи тормозных колодок. При положительном серводействии силы трения, действующей на 2-ю колодку, соединя-



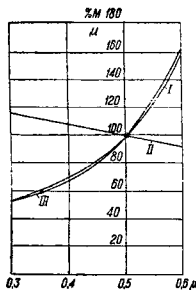
Фиг. 4.

ную с 1-й подвижным шарниром, будут прижимать его к барабану, т. е. увеличивать нормальные силы и тем увеличивать тормозной момент. При отрицательном же происходит явление обратное, т. е. силы трения стремятся отводить колодку от барабана и уменьшают нормальные силы и тормозной момент. В Т. аэропланов с прямой передачей необходимо использовать серводействие, так как потребные моменты торможения и усилия пилота достаточно велики. При косвенной передаче к Т., напр. сжатым воздухом, серводействие м. б. ослаблено до степени, необходимой лишь для того, чтобы уменьшить расход воздуха за счет понижения давления. Уменьше-

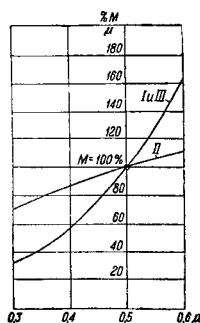


Фиг. 2.

точном Т., поворотом рычага и кулачка, действующего на свободный конец колодки *г*. На фиг. 3 изображен 3-колодочный гидравлич. Т., состоящий из неподвижного диска *a*, колодок *б*, *в* и *г*, тормозного цилиндра с поршнем *д*, возвратных пружин *е* и эксцентриковых болтов *ж*. Распор колодок создается штоком поршня цилиндра *д*, в который нагнетается под давлением жидкость, способная не замерзать при  $-50^{\circ}$ . На фиг. 4 представлен пневматич. много-колодочный камерный Т., состоящий из неподвижного диска *a*, к которому приклепан кольцевой швеллер *б* с пазами; в пазы заходят выступы колодок *в*. Между швеллером и колодками проложена резиновая камера *г*, колодки стягиваются кольцевыми возвратными пружинами *д*. Действие этого Т. производится нагнетанием сжатого воздуха в камеру, которая, расширя-

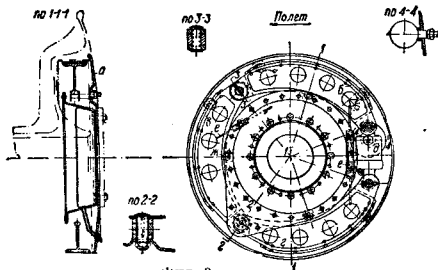


Фиг. 5.



Фиг. 6.

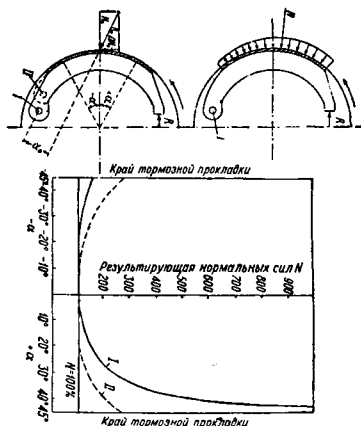
ние серводействия дает более ровную и мягкую работу Т., а главное уменьшается зависимость работы от колебаний коэффициентов трения ферродо. Влияние серводействия изображено на фиг. 5 и 6, где даны изменения тормозного момента, рассчитанного для коэф-та трения  $\mu = 0,5$  и принятого за 100% в зависимости от изменения  $\mu$  от 0,3 до 0,6. На фиг. 6 нулевая ордината принята для расчетного момента при отсутствии серводействия за 100% и  $\frac{M}{\mu} = \text{Const}$ . При положительном серводействии  $\frac{d(M)\mu}{d\mu}$  положительно, кривая — восходящая с увеличением  $\mu$ . При отрицательном, наоборот,  $\frac{d(M)\mu}{d\mu}$  отрицательно, кривая — нисходящая, несмотря на увеличение коэф-та  $\mu$ . Кривые обозначены римскими цифрами: I — относится к 2-колодочному Т. с положительным сер-



Фиг. 3.

ясь, раздвигает колодки и прижимает их к тормозному барабану колеса. Весьма существенное значение в колодочных Т. приобретает серводействие, т. е. влияние сил трения одной колодки

в действии, II — к 2-колесному Т. с отрицательным серводействием, когда каждая колесная раба работает самостоятельно от своего распора, III — к ленточному Т. с углом охвата в 300°. Т. с положительным серводействием дают, как видно из графиков, наибольшие колебания тормозного момента. Вторым важным фактором, влияющим на работу колодочного Т., является распределение нагрузки вдоль тормозной прокладки, что особенно чувствительно для Т. с положительным серводействием. На фиг. 7 изображена колодка с распределением нагрузки для идеально рабо-



Фиг. 7.

тающего Т. В этом случае равнодействующая нормальных сил проходит почти в середине прокладки Т., и нагрузки по прокладке распределены почти равномерно. Вследствие неравного износа или неправильных зазоров по длине прокладки равномерное распределение нагрузки нарушается, и равнодействующая нормальных сил будет перемещаться либо вверх либо вниз, как показано на фиг. 7, причем величина тормозного момента значительно изменится. Горизонтальная линия диаграммы выражает величину нормальных сил, когда равнодействующая проходит в середине прокладки, т. е. при равномерном распределении нагрузки. Для получения более ровной работы Т. центр вращения колодки следует перенести из положения I в положение II. Пунктирная кривая изменения равнодействующей нормальных сил указывает, насколько такая сила снижает свой максимум. Поэтому для Т., особенно с большим серводействием, д. б. соблюдены concentricity, точная пригонка тормозных прокладок к барабану и определенные величины зазоров. Люфты колеса на оси также не допускаются, иначе правильная и спокойная работа Т. будет нарушена. Величина нормальных сил или давление на барабан определяется из условий равенства моментов сил трения между колесом и землей и тормозным моментом. Сила трения на барабане  $T = \frac{D_k}{D_m} \cdot \mu \cdot n \cdot \frac{G}{2}$  и давление на барабан  $N = \frac{D_k}{D_m} \cdot \mu \cdot n \cdot \frac{G}{2}$ , где  $D_k$  — диам. колеса,  $D_m$  — диам. Т.,  $\mu$  — коэф. трения резины о землю,  $\mu_1$  — коэф. трения тормозной прокладки,  $n$  — перегрузка и  $G$  — вес самолета. Задаваясь уд. нагрузкой на тормозную прокладку из условий износа и срока служ-

бы (обычно принимается 5—6 кг/см<sup>2</sup>), подсчитывают размер прокладки, ширина к-рой обычно составляет 0,1—0,15 диам. Т. Колесные Т. аэропланов снижают величину пробега после посадки до 60%, дают лучшую маневренность при рулении, предотвращают аварии при вынужденной посадке на площадках малых размеров, сокращают работу обслуживающего персонала при сопровождении на старт и обратно. С увеличивающимся насыщением самолетами аэродромов Т. приобретают чрезвычайно значение, и наличие Т. на аэроплане так же необходимо, как и на автомобиле.

Лит.: Дубровин А., Применение колесных тормозов на самолете (реферат), «Техника воздушного флота», М., 1927, 10, стр. 656; Michalek F., «Ztschr. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt», Мюнх., 1931, 10 и 11; Wornling W., «Aircraft-Engineering», L., 1931, June-July; Meitzel, «Automobile Engineering», 1931, May; Нотманн Е., «Autotecht. Ztschr.», 1932, 21, p. 514—517; Scott Holl., «The Journal of the Royal Aeronautical Society», L., 1932, May. А. Машкевич.

**ТУНГОВОЕ ДЕРЕВО** принадлежит к роду *Aleurites* из сем. *Euphorbiaceae*, в котором насыщают пять видов: *A. trisperma* — с Филиппинских о-вов и *A. molucana* — с о-вов Тихого океана, и произрастает в тропич. Азии, — это два тропич. представителя рода *Aleurites*; в субтропиках произрастают *A. cordata* Р. Бр. — Китай и Япония, *A. Fordii* — Китай и *A. montana* — тоже из Китая.

Т. д. доставляют весьма ценные плоды, из которых холодным и горячим отжиманием добывается весьма ценное и необходимое масло для лако-красочной, резиновой, текстильной и электр. пром-сти. В 1928 г. вывоз тунгового масла из Китая достигал 65,1 тыс. т, причем большая часть его потреблялась США. Все возрастающая потребность в тунговом масле привела к желанию интродуцировать это растение и освободиться от его импорта из Китая и Японии. С этой целью в США уже заложены плантации Т. д. на 5 000 га, а также ведутся обширные опыты по культуре Т. д. Англией и другими странами. В результате многочисленных опытов выяснилось, что наилучшими для культуры видами будут: *A. Fordii*, *A. montana* и *A. cordata*, т. е. представители субтропич. районов. Впервые ввезено было Т. д. (*A. cordata*) на Черноморское побережье Кавказа 30 лет тому назад и посажено в Батуме и в Чакве, где хорошо растет и по настоящее время. В связи с возрастающим спросом на тунговое масло с 1929 г. приступлено к созданию у нас на Черноморском побережье и на Кавказе тунговых плантаций, которых предположено к концу второго пятилетия развести на территории до 40 тыс. га. Потребность пром-сти нашего Союза к 1937 г. определится примерно цифрой в 65,1 тыс. т.

Субтропич. Т. д. отличается чрезвычайно быстрым ростом в молодости и достигают высоты 10 м, обладая диаметром кроны в 5—10 м, но они не особенно долговечны, примерно около 45—60 лет и при среднем сроке эксплуатации плантации 35 лет. Побеги — плотные со звездчатым или простым опушением. Листья очередные, длинночерешковые, с двумя желевками на вершине черешка, по виду которых легко различить между собой вышеуказанные три вида Т. д. Листовая пластинка цельная или 3—5-лопастная, с 5—7 радиально расходящимися нервами. Цветет рано весной, некоторые виды до распускания листьев (*A. Fordii*), другие одновременно с распусканьем листьев. Т. д. — однодомные, с тенденцией к двудомности и раздельнополости. Цветы пятерного типа, тычинок 8—

12, завязав с двухраздельным рыльцем, 2—3—5-звездная с одной семязпочкой в каждом гнезде. Плод большой с сочным околлоплодником и твердоскорлупным семенем ореховидного типа. Количество плодовых почек оказывается большим при уменьшении влаги в почве и при ослаблении роста, но, с другой стороны, у сильно растущих процент образования женских цветков выше, чем у слабо растущих. Плодоносить Т. д. начинает с 3—5-летнего возраста. Плоды созревают осенью, и процент масла в них постепенно возрастает к моменту спелости вплоть до опадения с дерева. Наибольшая урожайности в смысле выхода масла достигается хорошо освещенным деревом. В семенах Т. д. содержится ядра 61,4% и оболочку 38,6%. Вес 1 000 семян 966 г. Семена быстро теряют всхожесть и годны для посева только в течение одного года; их сохраняют до посева в наружной оболочке. У важнейших представителей Т. д. масличность (в % веса) их семян такова:

Вид Т. д.	Ядра с кожурой	Семена с оболочкой
A. cordata	48,15—30,8	18,8
A. Fordii	65,0—28,6	15,1

Масличность семян резко падает (до 20%) уже после одного года их хранения. Урожайность в советских субтропиках с пятилетнего возраста до 30 лет постепенно повышается, причем с 1 га в 5-летнем возрасте получается 50 кг масла, а в 30-летнем до 1 000 кг масла. Средний урожай плодов с 1 га 9,0—10,8 т, что соответствует примерно 1 т масла с 1 га.

Т. д. — представители влажных субтропиков и требуют для своего произрастания местоположений с осадками 750—1 000 мм в год, много воздуха и таких же условий, при которых зимние температуры были бы ниже  $-9^{\circ}$  для молодых растений и  $-12^{\circ}$  для взрослых растений. Дерево это светолюбиво и затенением сильно задерживается в росте; норвежская система у Т. д. — поверхностного типа. К почвенным условиям Т. д. мало требовательно и растет на самых разнообразных почвах, однако предпочитает хорошо дренированные почвы с кислой реакцией, плохо переносит щелочность и избыточное увлажнение почвы. Для тунговой культуры лучшими экспозициями будут южные, хорошо освещенные склоны, где для таковой будут меньше опасности в смысле заморозков.

Районами культуры Т. д. в СССР будут Аджария и Абхазия до 300—350 м над уровнем моря и Зап. Грузия на высотах 250—300 м над уровнем моря. Размножается Т. д. семенами, которые первоначально высеваются в колониальных парниках, затем всходы высаживаются в горшки, а после в грунт. Уже в 1—2-летнем возрасте сеянцы Т. д. высаживаются на плантации с грубо-предварительно обработанной почвой в ямки глубиной 50 см и диаметром 1 м на расстоянии 8 м между рядами и 3,75 м между растениями в рядах. Посадку оставляют в ямках до 100—150 см, много воздуха и т. д. Ямы, чтобы дерево сидело в земле до корневой шейки, так как при глубокой посадке дерева погибает. В засухливые дни производят поливку. Уход за тунговой плантацией производится в виде полки от сорной растительности и промежуточной культуры, преимущественно азотособирателей, например арахиса, причем эту культуру ведут в отступ от обеих рядов на 2 м, т. е. на покое в 4 м. Т. д. урожай плодов Т. д. начинает с 3-летнего возраста, а смыкание культур в 7 лет, по моменту этого смыкания убирается из рядов половина деревьев, и расстояние будет  $8 \times 7,5$  м. Это дает возможность усилить производительность тунговых плантаций в молодом возрасте и повысить их производительность. В дальнейшем в виду возможного истощения почвы плодородия сильных урожаев плодов Т. д. следует вносить удобрения по преимуществу фосфорное и азотное примерно состава 5 ч. N, 7 ч. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 2 ч. K<sub>2</sub>O, увеличив самую дозу удобрения на дерево с 0,25—0,5 кг в однолетнем возрасте плантации до 4,5—5,5 кг в 8-летнем возрасте. Удобрение возможно вносить дважды: весной и в начале лета.

Образующиеся после отжатия масла жмыхи Т. д., будучи ядовиты и в то же время богаты азотом, фосфором и калием, м. б. с большой пользой использованы в качестве удобрения для тунговых плантаций. Для получения более вы-

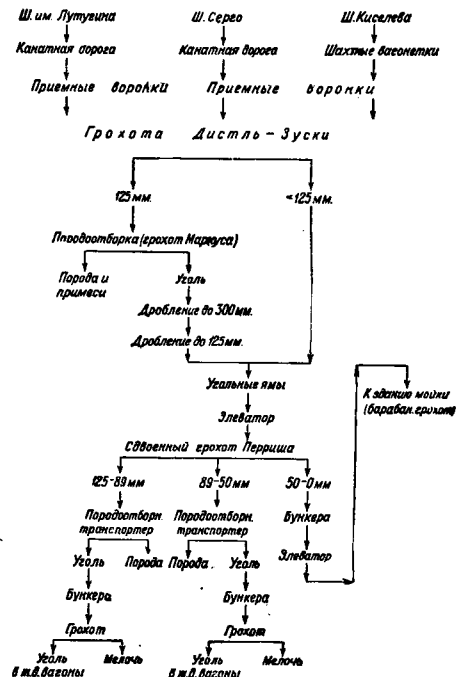
сокой производительности Т. д. ведется селекция таких, и уже достигнуты результаты по получению более сильно плодоносящих и быстрее растущих деревьев, особенно путем скрещивания А. Fordii и А. montana. В советских субтропиках лучшими видами для культуры будут А. Fordii и А. cordata.

Лит.: Петлев С., Алевриты—тунговые деревья и их культура из Черноморского побережья Кавказа. «Труды по Прикл. бот., ген. и селекции», 1931, № 2, 26, вып. 1 (с библиографией вопроса до 1929 г.); Гейн и Г., Тунговое дерево и получаемое из него тунговое масло, там же, 1931, «Труды I Всесоюзной конференции по тунговому дереву», М., 1933; Петлев С., Тунг—важнейшая индустриальная культура влажных субтропиков Советского субтропика, 1934, 1—2 (14—15), Станица; В о р о н о в В., Физиологические условия созревания семян тунга, там же, 1934. Н. Кобряков.

**УГЛЕБОГАТИТЕЛЬНЫЕ ФАБРИКИ**, сооружения, предназначенные для обогащения ископаемых углей (см. *Обогащение полезных ископаемых*). В зависимости от характера основного процесса обработки различают четыре вида У. ф.: 1) сортировки, служащие для разделения угля по крупности путем *врачевания* (см.); попутно на сортировках производится обычно ручная отборка крупных сортов; 2) углемойки, на которых производится механич. обогащение углей мокрым способом; 3) воздушно-обогачительные ф-ки, где для этой цели применяется пневматич. обогащение; 4) У. ф. с комбинированным процессом обогащения — мокрым для крупных классов и пневматическим для мелких. В США и Германии все большее распространение получает сухое обогащение, которое значительно дешевле мокрого, особенно при угольной мелочи. В Англии мокрое обогащение еще достаточно гелико. Так, из 771 установок по углеобогащению в 1934 г. 611 приходились на мокрые (мощность 74 млн. т), 151 — на сухие (мощность 13,5 млн. т) и 5 — на флюотацию (136 тыс. т). Общая мощность 87,6 млн. т пропущенного угля с % охвата углеобогащением 39,6% добычи Англии. Сортировке подвергаются обыкновенно все виды угля: коксовые, энергетические, газовые, антрациты и др. Кроме получаемой экономии на транспорте при хранении отсортированных углей удаление влаги, серы и золы сильно по вышает калорийность топлива. Примесь серы вредно отзывывается на металлургич. процессе, вошьность кокса сильно повышает расход его. Обогащение углей устраняет эти потери. Так, обогащенный уголь дает снижение зольности на 3—7%, а иногда и на 10—15%. Зольность концентрата в 1934 г. достигла у нас 8—9%. Технич. условия и классификация углей Донецкого, Подмосковного и Кузнецкого бассейнов см. *Каменный уголь* и ОСТ 5377. Угли других бассейнов СССР не имеют пока установленных сортов по крупности.

Углеобогательное дело — сравнительно новая отрасль советского топливного х-ва. До революции капиталистами выстроено было при помощи иностранных проектировщиков и на иностранном оборудовании 11 обогачительных ф-к мощностью 825 м/ч. После Октябрьской революции с 1922 до 1932 г. было выстроено 7 установок мощностью 1 065 м/ч также с помощью иностранных технич. фирм. Для освобождения от этой зависимости необходимо было освоить конструкции специальной углеобогачительной аппаратуры. За годы 1932—1935 у нас освоено собственными силами производство пневматич. сепараторов, гидросепараторов, воздушноосесчаных сепараторов, циклонов, моек, грохотов, ступицелей, отсадочных машин, смесительных шнеков, дробилок, питателей, сушильных барабанов и дру-

гих видов специального оборудования. Выстроенные с 1932 до 1935 г. еще 5 ф-к общей мощностью 1 108 т/ч базировались уже на собственном машиностроении. Кроме того для развертывания работ по углебогатению за последние годы предприняты полупромышленные испытания обогатимости углей разных районов и шахт. Такие испытания проведены были по кизеловским углям, тварчевским, тквибульским, челябинским, карагандинским и весьма подробно по донецким углям. Проектирование углебогатительных ф-к и их строительство проводилось специальной организацией—Всесоюзной конторой по проектирова-



Фиг. 1.

нию и строительству углебогатительных фабрик» (Цофстрой), возникшей в 1931 г. и реорганизованной в трест «Углебогатение». Кроме этого треста углебогатительными ф-ками ведают также трест «Кокс». На 1 января 1936 г. имелось в Донбассе 24 углебогатительных ф-к с пропускной способностью 16,8 млн. т в год, кроме того в стройке находились Кизеловская углебогатительная ф-ка мощностью 400 т/ч, т. е. 2 200 тыс. т в год (концентрата 1 млн. т), и Карагандинская мощностью 200 т/ч, т. е. 1 млн. т в год (концентрата 600 тыс. т).

В 1935 г. всеми углебогатительными фабриками Донбасса было пропущено около 17 млн. т угля, причем выход концентратов колебался по отдельным фабрикам от 43—50% до 95% (получено 13 млн. т концентратов).

По проценту охвата добываемых углей обогащением СССР отстает от нек-рых капиталистич. стран (Бельгия 85%, Германия 70%). К 1937 г. процент охвата в СССР составит около 30%. В де-

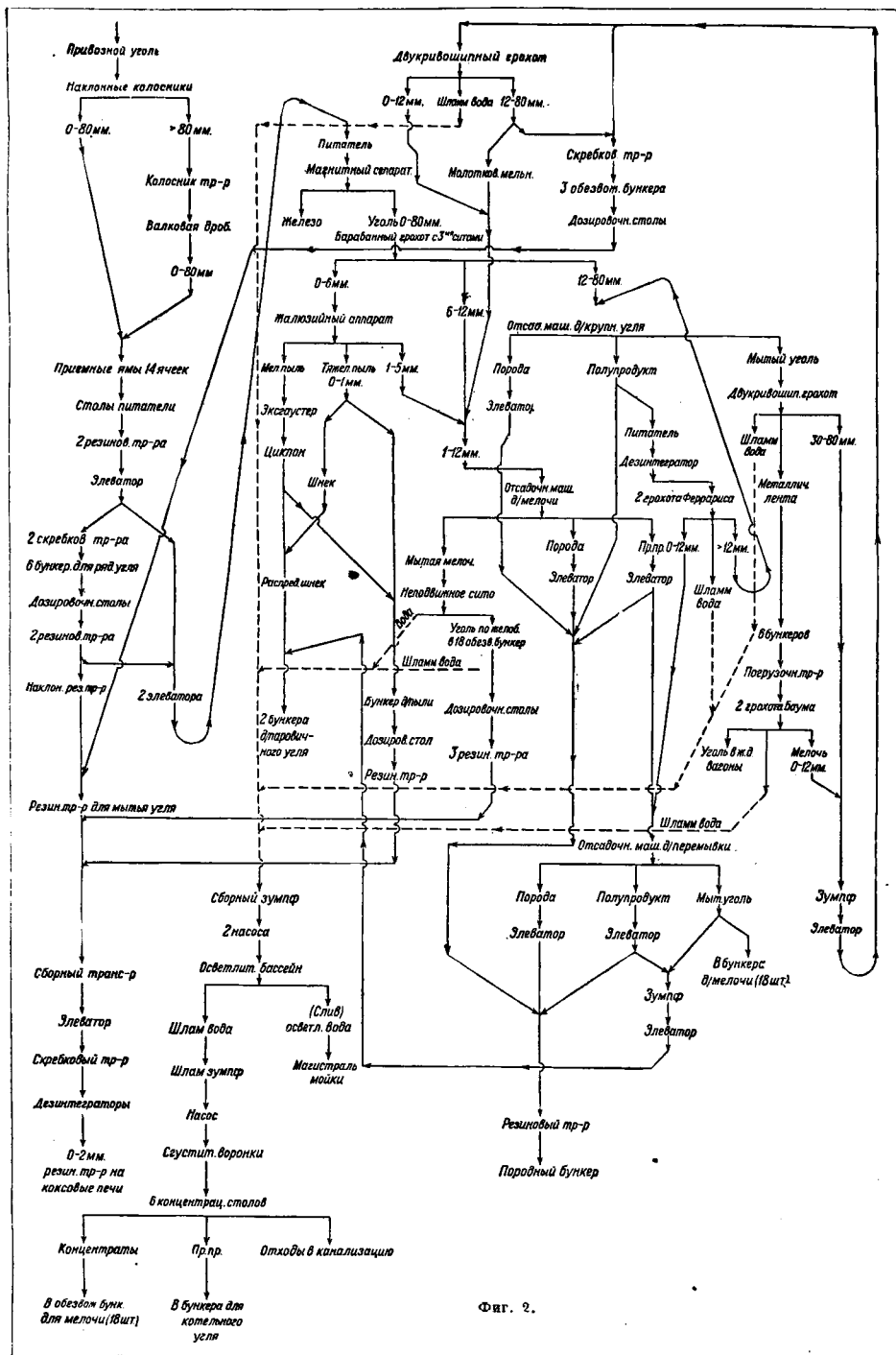
ле развития в СССР углебогатения важнейшим вопросом является вопрос о производстве обогатительной аппаратуры на наших в-дах и полном освобождении от снабжения иностранным оборудованием.

Углеразборные установки на сортировках состоят преимущественно из металлч. и резино-вых транспортеров, реже — из породоборных столов. Системы применяющихся на сортировках грохотов отличаются большим разнообразием. Наибольшее распространение имеют грохота (см. Грохочение) Баума, Кокса, Зельтнера, Феррарис. Встречаются также грохота Дистля, Зуски и двухкровошипные. На новых сортировках ставятся также качающиеся грохота с длинными подвесками Перриша, Армса и Маркуса. Вибрационные грохота на угольных сортировках СССР пока не применяются. На фиг. 1 представлена схема сортировки при шахте им. Киселева, обрабатывающая также антрацит шахт им. Лутуигина (Донбасс).

Углемойки включают операции мокрого обогащения. Обычно предел крупности механич. обогащения угля не выше 100 и не ниже 1—0,5 мм. Механич. обработка угля крупнее 100 мм требует существенного увеличения размера обогатительных машин и их громоздкой конструкции. Поэтому в этих случаях, когда нужно обогащать более крупные сорта, их необходимо предварительно раздробить до 80—100 мм. Уголь мельче 1—0,5 мм редко обогащается мокрым способом во избежание чрезмерного шламобразования и загрязнения воды мойки. Как общее правило мокрое обогащение угольной пыли является затруднительным и дает худшие качественные результаты, чем обработка крупного угля. Поэтому пыль отделяется перед мокрым обогащением на грохотах или чаще действием струи воздуха и обычно присоединяется к мытому углю в сухом виде. Этим несколько увеличивается зольность концентрата, но уменьшается его влажность до нужных пределов. Для достижения этой цели иногда к мытому углю присаживают необогащенный уголь. Наибольшее распространение имеют следующие методы мокрого обогащения: отсадка, реомойка, метод Чанса. Реже встречаются концентрационные столы, гидросепараторы и флотационные установки. Из работающих в Донбассе углемоек большая часть установок приходится на отсадку. На одной углемойке (при шахте № 8-А — Горловка) имеется агрегат из 6 концентрационных столов для обработки шлама. В других странах отсадка также занимает доминирующее положение. Из 1 745 У. ф. во Франции, Бельгии, Германии, Великобритании, оборудованных отсадочными машинами и реомойками, 1 625 (93%) оборудованы отсадочными машинами, а 122 (7%) — реомойками. Метод Чанса применяется преимущественно в США при обработке антрацитов. Для обогащения угольной мелочи ниже 6—12 мм применяют часто концентрационные столы, обыкновенно в комбинации с отсадочными машинами. Гидросепараторы, изобретенные в США сравнительно недавно, получили известное распространение на установках небольшой мощности. Из 280 ф-к в США на отсадочных машинах работают 159 ф-к; методами Чанса и реомойками — 55, на концентрационных столах 14, пневматич. методами 43.

Отсадочные машины для обогащения угля — в большинстве случаев поршневого типа с симметричным приводным механизмом; реже встречаются беспоршневые машины Баума

# УГЛЕБОГАТИТЕЛЬНЫЕ ФАБРИКИ



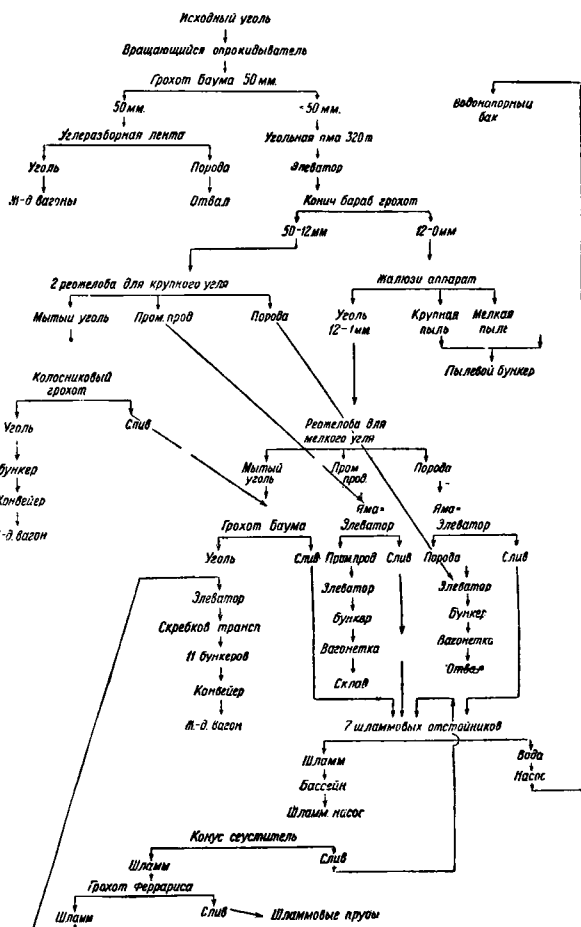
Фиг. 2.

с пневматическими золотниками. Применявшиеся раньше дифференциальные механизмы в настоящее время заменены эксцентриковыми приводами с приспособлениями для регулировки величины хода поршня. Машины изготавливаются цельнометаллические с одним или двумя элеваторами закрытого типа, с дырчатыми ковшами (в зависимости от количества получаемых конечных продуктов). Для обогащения угля меньше 10—12 мм применяются отсадочные машины с полевошпатовой постелью. В этих машинах разгрузка породы производится через отверстия отсадочного решета в нижней части ящика машины. Схемы углемоек, применяющих отсадку, отличаются большим разнообразием в зависимости от характеристики обрабатываемого угля и требований, предъявляемых к продуктам обогащения. Наибольшее распространение получили схемы, в которых применяется предварительная классификация угля перед отсадкой. В настоящее время грохочение обычно производится по широкой шкале 80—10 мм и 10—1 мм (шкала грохочения 8—10); менее распространена схема Баума, по которой неклассифицированный уголь сначала подвергается отсадке, а затем сортируется на конечные сорта. Количество продуктов, получаемых при отсадке, зависит от характеристики обогащаемого угля. Легко обогатимые угли делятся только на два продукта: концентрат и хвосты. При отсадке угля средней и трудной обогатимости выделяются обычно в большом или меньшем количестве промежуточные продукты. Последние либо используются как низкосортное топливо либо подвергаются дроблению для расчленения сроков угля и породы, а затем вторичному обогащению. Для примера на фиг. 2 приведена схема обогатительной ф-ки при шахте № 8-А Горловского рудоуправления (Донбасс).

Реомойка получила значительное распространение. За десятилетие (1919—28 гг.) построено 272 У. ф., оборудованные реомойками. Средняя производительность реомойки — ок. 100 т/ч. Наибольшее количество реомоек построено во Франции и Бельгии (соответственно 52 и 47 установок). У нас в Союзе — две реомойки (на Криворожском руднике и при ст. Постниково, Донбасс), построенные в 1931 г. Производительность этих реомоек ок. 60 т/ч каждая. Расход энергии в реомойках по сравнению с фабриками, оборудованными отсадочными машинами, меньше на 0,3—0,5 кВт/т. По данным Барто количество циркуляционной воды для реомойки составляет 5—7 м<sup>3</sup> на 1 т. Для фабрик же, оборудованных отсадочными машинами, это количество составляет 6,9 м<sup>3</sup> воды на 1 т. Реомойка отличается меньшей площадью здания и несколько меньшим расходом рабочей силы по сравнению с ф-ками, оборудованными отсадочными машинами. Большим преимуществом реомойки является также и то, что она мало чувствительна в отно-

шении изменения качества исходного угля. Реомойку обычно предпочитают отсадочным машинам в том случае, когда уголь является трудно обогатимым и содержащим большое количество промежуточного продукта. Примерная схема реомойки при шахте 1-бис Криворожского рудника (Донбасс) представлена на фиг. 3.

Конусы Чанса для обогащения антрацита изготавливаются в Америке двух стандартных размеров:  $\varnothing$  4 575 и 2 290 мм. Они могут об-



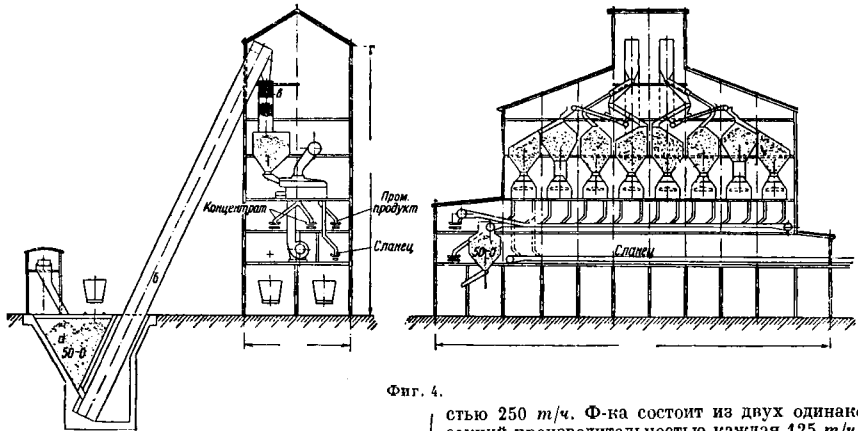
Фиг. 3.

рабатывать неклассифицированный уголь размером ниже 100 мм при условии предварительного отделения мелочи (ниже 5 мм). Производительность конуса Чанса — до 200 т/ч и выше. В Пенсильвании работает больше 30 фабрик, оборудованных конусами Чанса, каждая производительностью 600—3 000 т/сутки. Имеется также одна обогатительная ф-ка для обогащения каменного угля. На этой ф-ке производительностью 500 т/ч рядовой уголь подвергается грохочению на два класса. Всего установлено два ко-



нуса Чанса, каждый diam. 3 м сверху и 560 мм снизу. На одном конусе обрабатывается уголь крупностью 115—25 мм, а на другом — 25—2,9 мм. Уголь ниже 9,5 мм, содержащий 10,4% золы, не обогащается и смешивается с мытым углем. Стоимость обогащения на этой ф-ке 5—8 центов на тонну. Капитальные ватраты по сооружению ф-ки, включая сортировку, составили 140 тыс. долл. Расход песка — 0,6—1 кг

(Горловская обогатительная ф-ка при шахте № 3) и Бамаг-Мегуни (Узловская обогатительная ф-ка при шахте им. Румянцева). Эти ф-ки были сооружены в 1932 и 1933 гг. Кроме этих двух установок в Карагандинском бассейне строится обогатительная фабрика, оборудуемая пневматич. отсадочными машинами Карлсхютте. На фиг. 4 приводится схема оборудованной У. ф. пневматич. столами «ВИ» (Биртлей) производительностью



Фиг. 4.

на 1 т обогащенного угля. Общая установленная мощность по всей ф-ке 460 л. с., т. е. на 1 т часовой производительности приходится < 1 л. с. У нас в СССР промышленных установок, оборудованных конусами Чанса, не имеется.

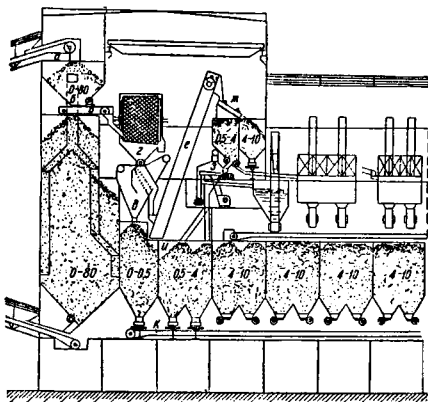
Флотация применяется для обогащения самых мелких сортов угля, ниже 2—2,5 мм. Рядовой уголь редко обогащается этим способом, так как его нужно предварительно мелко раздробить. Это связано с большими расходами в тех случаях, когда потребитель может пользоваться крупным углем. Еще дороже обходится обезвоживание концентратов. Для флотации угля применяются машины Минералс-Сепарейшен, реке Клейнбентинк и Эйгофа. Впервые флотация угля была применена в Испании в 1920 г. В настоящее время в Европе работает около 40 угольных флотационных ф-к с производительностью ок. 3 млн. т/год. Основной недостаток мокрого обогащения угля — увеличение содержания влаги в конечных продуктах. Влага в угле оказывает вредное влияние при коксовании, является мертвым балластом при погрузке, хранении, транспортировке угля и наконец уменьшает тепловорную способность угля, идущего для энергетических целей. К этому нужно прибавить возможность смерзания влажного угля при суровом климате и наблюдающийся в некоторых случаях недостаток воды, потребление которой при мокром обогащении достигает больших размеров. Перечисленные недостатки мокрого обогащения по сравнению с сухим компенсируются большим преимуществом в качественном отношении.

Воздушное обогащение (см.) применяется там, где к качеству обогащенного угля не предъявляется особо жестких требований, единственное условие для воздушного обогащения — содержание влаги в угле не д. б. больше 3—5%. В Донбассе работают две воздушные обогатительные фабрики, оборудованные машинами Биртлей

стью 250 т/ч. Ф-ка состоит из двух одинаковых секций производительностью каждая 125 т/ч. Исходный уголь ниже 50 мм забирается из угольной ямы а двумя элеваторами б, подающими его на вибрационные грохота в с отверстиями в 22 мм. Верхний продукт грохота (50—22 мм) поступает непосредственно в бункеры 1, а нижний продукт — на второе вибрационное сито с отверстиями в 9,5 мм. Верхний продукт этого сита (22—9,5 мм) поступает в бункеры, а нижний продукт (< 9,5 мм) подается ленточным конвейером на третье вибрационное сито с размером ок. 5 мм. Верхний продукт поступает в крайние бункеры, а нижний продукт — в соседние с ними. Под каждым из бункеров площадкой ниже установлен воздушный стол «ВИ», на который поступает уголь из соответствующего бункера; исключение составляет класс ниже 5 мм, который перед поступлением на стол подвергается обезвливанию в аспираторе. С каждого стола получается три продукта: обогащенный уголь, полупродукт и порода. Обогащенный уголь собирается двумя ленточными конвейерами шириной каждый 1 220 мм. Производительность каждого конвейера по 250 т/ч. Желоба, ведущие к этим лентам, м. б. переключены так, что каждый сепаратор может подавать уголь на любую ленту. Это дает возможность получать по желанию сортовой или смешанный продукт. Полупродукт собирается ленточным конвейером и м. б. либо погружен непосредственно в ж.-д. вагоны либо возвращаться для вторичной циркуляции на ф-ку, что имеет место в обычной работе. Порода направляется канатной дорогой в отвал. Крупная пыль м. б. передана в вагоны и использована как пылевидное топливо либо м. б. смешана с обогащенным углем. Тонкая пыль собирается в 4 фильтрах Уоринга.

Комбинированные установки для мокрого и воздушного обогащения получили за последние годы некое распространение за границей. Эти ф-ки удобны тем, что выделение мелкого угля на воздушное обогащение уменьшает со-

держание влаги в обогащенном угле. Примерная схема ф-ки с комбинированным методом обогащения изображена на фиг. 5. Исходный уголь размером  $80 \div 0$  мм конвейером *a* подается в бункер *b*. Питателем *в* уголь из бункера подается в конич. барабанный грохот *г*. Верхний продукт этого грохота направляется в отсадочные машины для мокрого обогащения. Нижний продукт поступает в обеспыливающее устройство *д*, после чего элеватором *е* поднимается на вибрационные грохоты *ж* с размером отверстий в 4 мм. Верхний продукт вибрационного грохота направляется в отсадочные машины для угля, а нижний сорт крупностью ок.  $4-0,5$  мм поступает на пневматический сепаратор *з*, выдающий концентрат,



Фиг. 5.

промежуточный продукт и породу. Концентрат грузится в бункер *и*. Под бункерами проходит смесительный транспортер *к*, на который подается уголь, обогащенный мокрым и сухим способом, и пыль. Регулируя количество подаваемых к обогащенному влажному углю сухого концентрата и пыли, можно получить конечную шихту требуемой влажности. Для контроля работы У. ф. можно пользоваться следующими ф-лами Drakeley:

$$\text{качественный кпд} = \frac{100(F_{10} - F_1)}{100 - F_1},$$

$$\text{количественный кпд} = \frac{100(F_{10} - F_1)}{F_1(F_{10} - F_1)};$$

здесь  $F_1$  — всплыв в контрольной жидкости из пробы исходного угля;  $F_{10}$  — всплыв из пробы концентрата и  $F_2$  — всплыв из пробы хвостов. Можно тоже пользоваться формулой Чапана и Мотт:

$$\text{кпд} = \frac{KA_f}{A_w},$$

где  $A_w$  — зольность концентрата,  $A_f$  — зольность хвостов и  $K$  — отношение зольности всплывшей в контрольной жидкости фракции исходного угля к зольности его осевшей фракции.

Лит.: Прейгерзон Г., Общий курс обогащения угля, М.—Грозный—Л.—Новосибирск, 1934 (указана лит.); Чапан В. и Мотт, Обогащение углей ч. 1, 2, М., 1935; Об. по обогащению углей, вып. 1, 2, «Углеобогащение», Харьков, 1933—1934; L o u i s H., The Preparation of Coal for the Market, L., 1928. Г. Прейгерзон.

**УЗЛЫ (ЦЕНТРЫ) РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫЕ**, см. *Радиовещание*.

**УЛЬТРАКОРОТКИЕ ВОЛНЫ** (физическое действие). Уже при первых работах с неэкранированными мощными ультракоротковолновыми генераторами (5—10 kW) наблюдалось появление лихорадочного состояния (с повышением  $t^{\circ}$  до  $39^{\circ}$ ) у обслуживающего персонала. Мелкие животные (крысы, мыши, насекомые), помещенные в поле конденсатора ультракоротковолнового контура, быстро погибают, причем  $t^{\circ}$  их повышается до  $42-43^{\circ}$ . Повышение  $t^{\circ}$  у мертвых объектов, помещенных в поле, значительно меньше; это позволяет думать, что действие У. в. заключается не только в тепловом эффекте, но и в каком-то, до сих пор не выясненном специфическом воздействии У. в. на живые организмы. Интересно отметить, что длина волны играет при этом значительную роль. Чем ниже степень организации объекта, тем более устойчивым он оказывается, тем короче делается волна, вызывающая «летальный (смертельный) эффект». В последние время впрочем этот результат оспаривается рядом исследователей. Воздействие на бактерии не дает определенных положительных результатов, но все же ряд авторов считает, что процент бактерий, погибающих в поле У. в., выше процента гибели при обычном нагревании до той же  $t^{\circ}$ . Обнаружено влияние У. в. на коллоидные системы (изменение скорости старения, быстроты остывания при прогреве в поле У. в. по сравнению с обычным прогревом и т. п.). Терапевтическая ценность У. в. заключается, во-первых, в возможности прогревания объекта без непосредственного контакта с пластинами конденсатора (лечение фурункулов, язв, ран и т. д.) и, во-вторых, в интенсивном прогревании внутренних частей организма и возможности локализованного тепловыделения. Первая возможность обусловлена уменьшением емкостного сопротивления воздушного зазора, вторая — распределением тока, отличным от распределения его при низких и диатермических частотах (см. *Диатермия*). Количество тепла, выделяющегося в той или иной ткани, пропорционально величине

$$- \frac{e}{1 + \frac{e}{2\lambda}},$$

где  $e$  и  $\epsilon$  — удельное сопротивление и диэлектрическая проницаемость ткани,  $s$  — скорость света,  $\lambda$  — длина волны. Так как  $\epsilon$  большинства тканей одинаковы, то максимум нагрева получается при выполнении условия  $2\lambda = e\epsilon s$ . Длины волн относительного максимального нагрева большинства тканей лежат в интервале 0,8—20 м. Благодаря этому удается прогревать глуболежащие органы и ткани, недоступные обычной диатермией ( $\lambda = 400-600$  м), где распределение тепла определяется только  $g$ , но не  $\epsilon$ ; изменением величины зазора, влекущим за собой изменения в распределении поля, можно концентрировать тепло во внутренней или одной из внешних частей организма, что также представляет преимущества с терапевтической точки зрения. Ультракоротковолновая диатермия нашла применение при лечении целого ряда заболеваний, в частности при лечении различных воспалительных процессов и злокачественных образований. Зарегистрирован случай излечения гангрены легких — болезни, не поддающейся лечению никакими иными способами. Далее У. в. оказывала влияние на сердечно-сосудистую систему (изменение диаметра капилляров), что позволяет использовать их для лечения склероза. Помимо терапии У. в. повидимому найдут применение в пищевой промышленности и сельском хозяйстве, т. к.

имеются указания на возможность консервирования ряда продуктов путем прогревания их в поле конденсатора и на влияние ультракоротких волн на всхожесть семян и клубней различных растений. Большим пробелом является полная неразработанность вопроса о дозировке ультракоротких волн и громадные затруднения, встречающиеся при попытках различных электрических измерений при больших мощностях ультракоротких волн. Для целей терапии требуется мощность порядка сотни  $W$ . Вопрос о наиболее благоприятном интервале длин волн пока еще не решен окончательно. Применение волн короче 3 м затруднительно как в отношении получения

достаточных мощностей, так и вследствие неизбежного уменьшения размеров конденсатора контура пациента.

Лит.: Малов Н., К вопросу о селективном прогревании тканей при У. в., «Физиотерапия», М., 1934, т. 9, I; его же, К вопросу о дозировке при У. в., там же, М., 1934, т. 9, 2; его же, О выборе генерации для ультратерапии, там же, 1934, т. 9, 3; Либеску П., Kurzwellentherapie, 1935; «Phys. Ztschr. d. Sowjetunion», 7, p. 583, 1935; 2, 1936; Schliephacke E., Kurzwellentherapie, В., 1932; Raab E., Die Kurzwellen in d. Medizin, В., 1933; Patzold Y., Die Erwärmung von Flüssigkeiten im hochfreq. Kondensatorfelde, «Ztschr. f. Hochfreq.», Lpz., 1930, В. 35, Н. 5; Pflomm E., Untersuchungen über d. Wirkung ultrakurzer Wellen auf die Entzündungen, «Archiv f. klinische Chirurgie», В., 1931, В. 166, p. 251. Н. Малов.

**ФЛОТАЦИЯ ЗОЛОТА.** За последние годы флотация (см.) получила широкое применение в обработке руд золота, серебра и платины. Главнейшей особенностью ее является то, что флотируются самородные металлы, содержание которых в рудах невелико и соответственно этому сравнительно мало число зерен, входящих в состав руды; кроме того золото и платиновые металлы обладают высоким уд. весом и нередко встречаются в рудах, почти не содержащих сульфидов или других минерализаторов пены.

Основные случаи применения флотации к золотым рудам можно подразделить след. обр.: 1) Золото преимущественно или исключительно связано с сульфидами. 2) Золото не связано преимущественно с сульфидами, но количество последних достаточно для стабильности пены и обеспечения флотируемости золота. 3) Руда не содержит сульфидов, но содержит значительное количество окислов железа; в последнем случае роль стабилизаторов пены выполняют окисные ила, дающие при достаточной дисперсности устойчивую и легко удаляемую пену. 4) Руда не содержит сульфидов или окислов железа, образующихся в результате окисления первых, но содержит минералы (например серицит), переходящие в пену и создающие устойчивость ее. 5) Флотация чисто кварцевых золотых руд может осуществляться посредством предварительного смешения с сульфидными рудами или специального подбора реагентов, создающих устойчивую пену. 6) Флотация дает возможность удалить составные части руды, вызывающие затруднения в процессе дальнейшего металлургич. извлечения (колчеданы, с трудом отдающие золото; графитистые и сурьмянистые минералы, затрудняющие цианирование). 7) Флотация извлекает ценные составные части руды (медь, свинец, мышьяк), оставляя хвосты для цианирования. 8) Флотация рассыпного золота.

**Форма и размер частиц золота имеют** весьма существенное значение. Вообще говоря, флотироваться могут не только частицы, не смачиваемые водой и отвечающие условию  $V = \cos \theta < 0$  (о значении величины смачиваемости  $V$  и краевого угла  $\theta$  см. *Смачивание и Флотация*). Неправильная форма частиц, приводящая к наклону их боковой поверхности к вертикальной оси, обуславливает возможность флотации. Так, Валентинер и Штрац обратили внимание на возможность флотации при  $\cos \theta > 0$ , т. е. при  $\theta < 90^\circ$ . Когхилл и Андерсон обратили внимание на влияние острых ребер при флотации («Эдж-эффект»); такая форма ребер является преградой

для периметра смачивания и задерживает флотацию. Когда смачивание достигает ребра и задерживается последним, то краевой угол может достигнуть значения, соответствующего флотации. Нек-рые авторы считают, что неправильная форма частиц и шероховатость, создаваемая неровностями на их поверхности, являются необходимыми условиями возможности флотации при практич. осуществлении данного процесса. Наряду с этим известны случаи флотации металлических частиц с совершенно гладкой поверхностью. Изучение формы частиц золота в связи с процессами обогащения и гидрометаллургического извлечения в недавнее время проведено Плаксиним и Шабарным. Изучение под микроскопом золотинок, выделенных из кварцевых руд, показало, что преобладающей формой является плоскостная, несколько вытянутая форма, обычно с весьма изрезанной периферией. Линией, часто с крючковатыми изгибами и при очень неровной бугорчатой поверхности золотинок со значительными углублениями. Следующим типом частиц является конкрециодальная форма. Далее можно отметить золотины сферической или приближающейся к ней формы и наконец удлиненную, вытянутую форму, представленную разными палочковидными или нитевидными отдельностями. Помимо чисто внешних очертаний золотинок можно отметить в одних случаях весьма плотное строение частиц, массивный вид их и в других случаях чрезвычайно тонкую, словно ажурную структуру. Как известно, золото кристаллизуется в правильной системе и представляет различные комбинации октаэдра и ребе куба, причем обычными являются двойниковые сростания. Однако наиболее обычны не эти отдельные кристаллы и их сростания, а именно описанные выше сложные образования, в которых исчезли все признаки кристаллографических форм и лишь изредка встречается отдельности с контурами кристаллических очертаний в какой-либо одной ее части при общей, обычно скульптурной структуре такой частицы. Иногда встречается повидному друзы кристаллов, но тоже с деформированной поверхностью. Описанный внешний вид золотинок характеризует форму частиц, из которых только немногие деформированы в процессе дробления при измельчении кварцевой золотой руды (мельче 28 меш). Наиболее общим свойством этих частиц является преобладание развития размеров в направлении двух пространственных осей по отношению к третьей; большая часть золотинок как бы сплюснута, и они прилегают к поверхностям, на которых происхо-

дло их образование. Наряду с этим дальнейший процесс измельчения при обработке руды должен способствовать сплюсыванию частиц и приближению их формы к пластинкам. Хэд, исследуя золото, содержащееся в пирите, выделял частицы металла и установил, что обнаруженные при этом золотины в редких случаях по своим размерам превышали 0,777 мм (200 меш). Большая часть их была меньше, причем на кристаллографич. плоскостях пирита были обнаружены частицы размером в 5 м (2 200 меш). Эти частицы золота имеют форму листов или хлопьев, находящихся на кристаллографич. плоскостях пирита, и аналогичны по форме примесям хлористого натрия на кристаллич. поверхности свинцового блеска. Весьма существенным для Ф. з. является существование пленок на поверхности золотинок. Эти пленки чаще всего состоят из окислов металлов и могут быть различной толщины. Характер пленки может в той или иной мере влиять на флотируемость золота. Недавно опубликованная работа Олдрайта и Хэда систематизирует данные о форме частиц золота из цикла измельчения. Обминание и расщепление частиц, производимые в цикле измельчения, приводят к образованию в первой стадии обмятых частиц овального сечения, а во второй стадии к образованию расщепленных, пластинчатых частиц с разрывами и проколами. Кроме того в последующем процессе флотации должно отозваться впрессовывание осколков минералов в частицы мягкого металла. В виду этого современная практика Ф. з. стремится всеми мерами не допускать переизмельчения золота во избежание понижения флотируемости его. Наряду с широко распространенным взглядом о вредном влиянии на флотацию впрессовывания минеральной пыли следует также отметить (в связи с вышеприведенными соображениями) уничтожение рельефа на поверхности частицы — сглаживание ее, приволающее так же, как и затирание, к понижению флотируемости. По отношению к флотируемости Ливер и Вульф подразделяют частицы золота по их размерам на следующие 4 класса: I класс — частицы с поперечником, большим 0,636 мм, что соответствует размеру частиц +20 меш; II — частицы с поперечником 0,635 — 0,317 мм, т. е. меньше 20, но больше 40 меш (-20 + 40 меш); III — частицы с поперечником 0,317—0,211 мм (-40 + 60 меш); IV — частицы с поперечником менее 0,211 мм (-60 меш). Соответственно этим классам флотируемость изменяется след. обр.: 1) частицы I класса не флотируются; 2) частицы II класса практически не дают возможности осуществлять флотацию их (флотируется 5,5%); 3) частицы III класса флотируются в количестве 25%; 4) частицы IV класса дают при флотации извлечение 96%. По подсчетам вес флотируемых частиц составляет величину, близкую к 0,01 мг (и менее). Фаренволд принимает, что предельный размер частиц золота при флотации золотых руд не д. б. крупнее 0,417 мм (-35 меш). При исследовании флотационных концентратов рассыного золота им были обнаружены частицы размером 0,01 — 0,8 мм.

Условия осуществления флотации и сводятся к следующим: 1) Перед флотацией необходимо предусмотреть выделение крупного золота, что может осуществляться: а) специальной гидравлич. ловушкой в самой флотационной машине (конус в дне машины Фаренволда субаэрационного типа); б) введением плависов или амальгамационных шлюзов (или амальгаматора Гибсона). 2) Характер пульпы имеет большое

значение для Ф. з. Для осуществления высокой степени сокращения необходима высокая селективность флотации, которая затрудняется присутствием в пульпе значительного количества илов (особенно коллоидных). 3) Первичные ила значительно затрудняют флотацию. Тальк и углеродистые вещества легко всплывают и разубоживают концентрат. Глинистые ила остаются в суспендированном состоянии и покрывают частицы золота, затрудняя этим самым всплывание его. Ила, образуемые окислами железа и марганца, повышают расход реагентов и также покрывают частицы золота, понижая извлечение. Для депрессии первичных илов прибавляются различные вещества, наилучшим из к-рых является крахмал. Его следует вводить в определенном количестве, обеспечивающем депрессию илов и не влияющем на понижение извлечения золота. 4) Наибольшая концентрация водородных ионов [H<sup>+</sup>] находится в пределах 7—10 и зависит от характера руды. 5) Известь вызывает в некоторых случаях депрессию золота. 6) В случае, если в пульпе допускается присутствие некого количества извести, следует всячески избегать введения в пульпу воздуха (содержащего углекислый газ), т. к. при этом образуется осадок углекислого кальция, чрезвычайно вредный для флотируемости золота. 7) В случае неких руд золото лучше флотирует в слабосиловой пульпе, создаваемой путем продувки углекислого газа. 8) Сернистый натрий, вводимый для сульфидации окисленных минералов, понижает флотируемость золота. Для сильно окисленных руд добавка сернистого натрия может оказаться полезной для повышения степени сокращения. 9) Добавка цианистого натрия не влияет на флотируемость самого золота, но под а в л е т флотируемость некоторых минералов, с к-рыми оно м. б. ассоциировано, а также может привести к потере золота вследствие растворения (если только раствор не поступает в процесс осаждения). 10) В неких случаях при отсутствии сульфидов в руде или при малом их содержании флотируемость золота м. б. обеспечена введением в пульпу добавки угля (лучше активированного) или сульфидов. 11) По новому процессу предлагается руды цианировать, а затем после добавки угля подвергать флотации. 12) Сернонистая медь не повышает извлечение флотацией, но ускоряет флотацию частиц меньше 60 меш. 13) Увеличение плотности пульпы повышает извлечение золота в концентрат, но в то же время повышает выход последнего.

Применение флотации к рудам в зависимости от минералогического состава последних. Возможность введения флотации в схему обработки руд определяется специальными исследованиями для установления индивидуальных свойств данной руды, но тем не менее можно установить общую классификацию, облегчающую выбор метода обработки, в зависимости от характера рудного месторождения и минералогического состава руд. К I группе по этой классификации относятся руды окисленной зоны и чисто кварцевые. К ним флотация применяется реже, чем к другим, хотя в ряде случаев применение ее оказывается возможным (случаи 3, 4 и 5, рассмотренные выше). Во II группу входят те руды, к-рые содержат большее или меньшее количество сульфидов. Золото в этих рудах бывает преимущественно связано с сульфидами или оказывается распределенным между сульфидами и остальной породой. Руды, относящиеся ко II группе, значительно чаще бы-

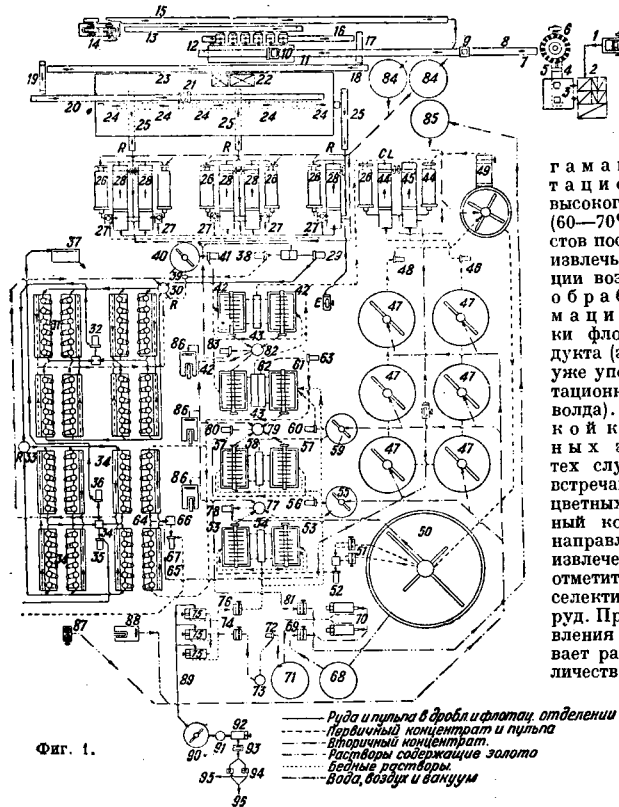
вают пригодны для флотации; в случае их пригодности введение флотации в схему обработки является уже вопросом экономики. Введение флотации может быть рациональным и при обработке руд III класса, содержащих медь, в том случае, если эти руды содержат значительное количество меди, делающее нерентабельным процесс цианирования, или если золото преимущественно связано с медными минералами. В некоторых случаях хвосты после флотации м. б. подвергнуты цианированию. Руды IV класса содержат мышьяковые и сурьмяные минералы. Упорная часть этих руд, вызывающая затруднения при обработке, м. б. выделена флотацией и затем

более низкая стоимость измельчения всей массы руды (требуется не такой тонкий помол, как для полного илового процесса); в случае раздельного процесса обработки флешей и илов это обстоятельство отпадает; 2) относительно меньшая площадь всей установки для обработки руды и меньше (иногда на 50—60%) капитальные вложения; 3) меньшее количество флотационного концентрата, составляющее обычно ок. 10—15% от веса руды, допускает применение к нему более совершенных методов обработки, к-рые не м. б. применены ко всей массе руды. б) Флотация с последующим цианированием хвостов применяется

к рудам, к-рые содержат вещества, вызывающие высокий расход цианистых соединений, напр. стибнит и другие сульфосурьмяные минералы, медные сульфиды (ковелин, халькозин). В этом случае флотацией можно будет удалить минералы, вредящие дальнейшему процессу цианирования. в) А амальгамация с последующей флотацией может быть применена в случае высокого извлечения золота амальгамацией (60—70%).

В этом случае флотация хвостов после амальгамации дает возможность извлечь еще 10—30%. Применение флотации возможно в некоторых случаях и для обработки хвостов амальгамационных фабрик. Для обработки флотацией крупноизмельченного продукта (флеша с илами) широко применяется уже упомянутая выше субаэрационная флотационная машина «Sub-A» Денвер (Фаренголда). г) Флотация с обработкой концентрата на плавильных заводах применяется гл. обр. в тех случаях, когда благородные металлы встречаются в качестве спутников в рудах цветных металлов. Кроме того флотационный концентрат в некоторых случаях м. б. направлен на большие цианистые заводы для извлечения из него золота и серебра. Надо отметить возможность потерь золота при селективной флотации полиметаллических руд. Применение цианистых солей для подавления флотации цинковой обманки вызывает растворение и потерю некоторого количества золота.

Флотация на золотозвлекательной фабрике Мак-Интайр (в Поркьюпайн) представляет один из лучших современных примеров постановки Ф. з. Ф-ка построена для обработки 2 100 т руды в сутки и имеет цианистое отделение, рассчитанное на цианирование 400 т концентрата в 24 ч. Схема цепи аппаратов представлена на фиг. 1, где дробильное отделение: 1—подземная шнековая дробилка Трейлора (36 × 48"), 2—шахта, 3—приемный бункер на 750 т, 4—лотковый транспортер, 5—магнит, 6—конич. дробилка Саймонса, 7—транспортер, 8—магнит, 9—весы Меррика, 10—автоматич. опрокидыватель, 11—бункер (190 т), 12—шесть грохотов Гэммера (6 × 4"), 13—транспортер, 14—барaban Трейлора, тип Аджо (78 × 18"), 15—20—транспортеры, 21—автоматич. опрокидыватель, 22—пылесоситель Слейя. Флотационное отделение: 23—бункер для руды на 420 т, 24—пять транспортеров в 30",



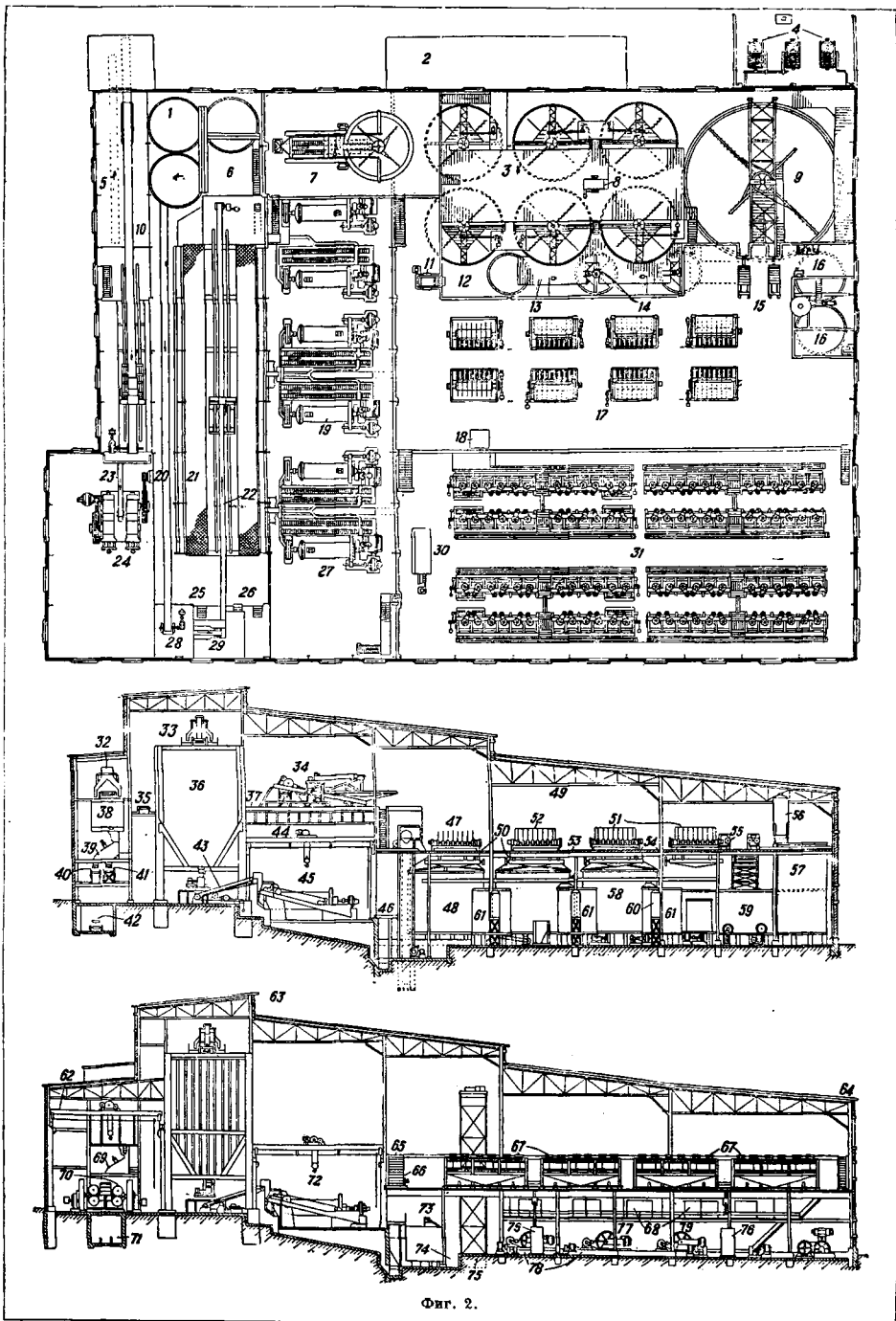
подвергнута цианированию в особых условиях. То же относится к теллуристым и отчасти к графитистым рудам (которые м. б. выделены в особую группу).

Схемы комбинированной обработки м. б. классифицированы след. обр.: а) Флотация с последующим цианированием концентрата (иногда с предварительной амальгамацией всей руды) применяется к рудам, содержащим золото и серебро частью в самородном состоянии, частью ассоциированными с сульфидами (пирит, арсенопирит, галенит и др.). Преимущество перед полным процессом непосредственного цианирования сводится к следующим: 1) в некоторых случаях

25 — конвейеры № 1, 9А, 9В и 9С, 26 — пять трубных мельниц Аллис-Чалмерс (5×16'), 27 — пять машин, комбинирующих Ф. в. с гидравлич. классификацией, 28 — пять классификаторов Дорра, 29 — насос Морриса (6'), 30 — насос Морриса (2'), 31 — 8 первичных флотационных машин Фаренволда (Денвер № 24), 32 — насос Морриса (6'), 33 — распределитель пульпы, 34 — 6 вторичных флотационных машин Фаренволда (Денвер № 24), 35 — насос Морриса (6'), 36 — насос Морриса (2'), 37 — стол Вильфлея в 2', 38 — насос Вильфлея в 4', 39 — автоматический пробоотбиратель, 40 — обезвоживающий фильтр, 41 — насос Вильфлея в 4', 42 — три обезвоживающих америк. фильтра. Цианистое отделение: 43 — три распределителя пульпы, 44 — две трубных мельниц Аллис-Чалмерс, 45 — два классификатора Дорра (30×6'), 46 — насос Морриса (6'), 47 — шесть агитаторов (20×24'), 48 — насос Морриса (6'), 49 — чашевой классификатор Дорра (30×6×20'), 50 — сгуститель Дорра (50×14'), 51 — два диафрагмовых насоса Дорро, 52 — насос Вильфлея (4'), 53 — два первичных америк. фильтра, 54 — два распределителя пульпы, 55 — чан, 56 — насос Вильфлея (4'), 57 — два вторичных америк. фильтра, 58 — два распределителя пульпы, 59 — чан, 60 — насос Вильфлея (4'), 61 — третичный америк. фильтр, 62 — распределитель пульпы, 63 — насос Вильфлея (6'), 64 — две флотационные машины цианистого отделения, 65 — флотационный концентрат из хвостов после цианирования поступает на измельчение, 66 — хвосты после Ф. в. на опробование, 67 — насос Морриса (6'), 68 — буферный чан для неосветленного золотосодержащего раствора (15×20'), 69 — тройной насос Альдрича (7×9'), 70 — два пресса Меррилла для осветления раствора (42'), 71 — чан для хранения осветленных растворов, 72 — центробежный насос Ротурбо (4'), 73 — вакуум-ресивер Кроу, 74 — тройной насос Альдрича (7×9'), 75 — три осадительных фильтрпрессы Меррилла (52'), 76 — тройной насос Альдрича (7×9') для бедного раствора, 77 — чан для первичного фильтра, 78 — центробежный насос Ротурбо (6'), 79 — чан для вторичного и третичного фильтра, 80 — центробежный насос Ротурбо (6'), 81 — тройной насос Альдрича (7×9'), 82 — чан для фильтра, 83 — центробежный насос Ротурбо (4'), 84 — чаны для хранения чистой воды (16×24'), 85 — чан для хранения цианистого раствора (16×24'), 86 — три сухих вакуум-насоса (23×12'), 87 — компрессор Аллей-Мак-Деллана на 220 фт.<sup>3</sup>, 88 — компрессор Сулливана на 1 000 фт.<sup>3</sup>, 89 — осадок в обработку. Отделение для обработки осадка: 90 — чан для обработки к-той, 91 — Монтежю, 92 — фильтрпресс Меррилла (30'), 93 — лоток для флюсов, 94 — две плавильные печи Роквелла, 95 — рафинированный слиток, который отправляется на Монетный двор, 96 — шлак поступает в плавку. Обозначения: R — флотореагенты, L — питание известью, C — питание цианистой солью (питание цинковой пылью производится перед тройным насосом 74), E — элеваторы зумпфа. Главнейшей особенностью в постановке Ф. в. на ф-ке Мак-Интайр является введение флотационной машины в цикл измельчения. Шаровые мельницы на 380 т, измельчающие гуду до -65 меш, имеют в замкнутом цикле с классификатором Дорра (28) по одной флотационной камере Фаренволда № 500 (27). На горловине каждой мельницы укреплены цилинд-

рич. сетка (отв. = 4,7 мм), из которой нижний продукт идет во флотационную машину, а верхний — непосредственно в классификатор. Отношение жидкого к твердому при флотации равно 1:1. Машина имеет гидравлическую лопушку для улавливания крупного золота во избежание аккумуляции последнего в цикле измельчения. Очистка флотационных ячеек производится раз в сутки. На 15 мин. они выключаются из цикла и промываются водой, после чего из машины удаляется концентрат, содержащий значительное количество золота. В лопушках извлекается 15% золота и в самих первичных машинах — 60%. Т. о. в цикле измельчения извлекается ок. 75% всего золота. На нек-рых ф-ках для более быстрого удаления пены при Ф. в. машины (как напр. в Лэк Вью энд Стар) снабжаются специальным козлаком. На ф-ке применяются следующие флотационные реагенты: коллектор Американ-Цианамид К<sup>0</sup> 0,09 кг/т вводится в мельницу, аэрофлот № 25, 0,04 кг/т добавляется непосредственно во флотационные машины. Стоимость измельчения и Ф. в. составляет (в центах на т): шаровые мельницы — 19,24, флотационные машины — 6,16, насосы — 2,54, удаление хвостов — 2,17, надзор — 1,37, классификация — 1,0, реагенты — 7,72, фильтрация — 1,70, отопление и освещение — 0,37. Итого — 36,33 центов/т. План и разрез ф-ки представлены на фиг. 2, где: 1 — верхний чан (отметка 1 141'); 2 — фабричная контора, 3 — площадка чанов агитаторов (отметка 1 904'), 4 — площадка осадительных фильтрпрессов (отметка 1 100'), 5 — транспортер № 3, 6 — площадка (отметка 1 082'), 7 — площадка чашевого классификатора (отметка 1 112'), 8 — ковшевой элеватор цианистого отделения, 9 — 50-фт. сгуститель, 10 — транспортер № 1, 11 — ковшевой элеватор флотационного отдела, 12 — площадка (отметка 1 069'), 13 — площадка буферных чанов, 14 — буферный чан, 15 — осветительные фильтрпрессы, 16 — чаны золотого раствора, 17 — площадка фильтров (отметка 1 099'), 18 — подъемники, 19 — труба мельница, 20 — транспортер № 6, 21 — верх бункера (отметка 1 131'), 22 — транспортер № 3, 23 — транспортер № 2, 24 — валки Трейлор-Аджо (78×18'), 25 — транспортер № 7, 26 — площадка (отметка 1 131'), 27 — площадка мельниц (отметка 1 077'), 28 — площадка (отметка 1 135'), 29 — площадка (отметка 1 134'), 30 — контрольный стол Вильфлея, 31 — площадка флотомашин (отметка 1 089'—6'), 32 — транспортер № 1, 33 — транспортер № 8, 34 — чашевой классификатор, 35 — транспортер № 6, 36 — бункер 4 000 т, 37 — площадка (отметка 1 112'), 38 — промежуточный бункер, 39 — грохота, 40 — транспортер № 2, 41 — транспортер № 4, 42 — транспортер № 3, 43 — транспортер № 9В, 44 — 10-т кран, 45 — отделение измельчения, 46 — площадка распределительных щитов мельниц, 47 — флотационные фильтры, 48 — агитатор № 6, 49 — фильтрвальное отделение, 50 — репульсер, 95 об/мин., 51 — цианистые фильтры, 52 — то же, 53 — площадка фильтров (отметка 1 099'—6'), 54 — репульсер, 90 об/мин., 55 — осветительные фильтрпрессы, 56 — ресиверы Кроу, 57 — чан золотых растворов, 58 — агитатор № 4, 59 — двухъярусный сгуститель 50', 60 — ресиверы фильтров, 61 — буферные чаны, 62 — 25-т кран, 63 — отметка конька (1 149'—7<sup>1</sup>/<sub>2</sub>'), 64 — отметка конька (1 118'—6'), 65 — площадка фильтров (отметка 1 099'—6'), 66 — контрольный стол Вильфлея № 6, 67 — флотомашин Фаренволда, 68 — распре-

# ФЛОТАЦИЯ ЗОЛОТА



Фиг. 2.



делительные шиты, 69 — грохота Гэммер, 70 — валки (78 × 18), 71 — транспортер № 3, 72 — отделение измельчения, 73 — площадная флотомашин (отметка 1 089' — 9"), 74 — отметка 1 065', 75 — шахта грузового подъемника, 76 — зумпф, 77 — площадная вакуумнасосы, 78 — вакуумнасосы Ингерсоль-Ранд, 79 — отметка 1 071'.

Лит.: А. Я. и М. В. С. Флотация золотых руд. М.—Л., 1932; И. Л. Косин и И. Обработка золотых руд. М.—Л., 1932; Ребиндер П. Ф. Физико-химия флотационных процессов. М.—Л., 1933; Яскуевич С. и Хан Г., Флотация золота. «Сов. золот.», 1935, 2; Александров С., Борьба с потерями золота на Ридлерской обогащательной фабрике. «Цветные металлы», 1932, 7—8; П. Кляксин И. и Шабабарин С., Форма частиц золота в рудах и влияние ее на процессы извлечения. «Советский золотопромышленность», 1934, 8; П. Кляксин И. и Наслузов И., Форма и состав золотинки. «Сов. золотопро», 1935, 10; П. Кляксин И., Проблемы реконструкции золото-платиновой промышленности по 2-й пятилетке, там же, 1933, 6—7; Сборник научных трудов Московского института цветных металлов и золота. 2-й Обогатительный и сортировочный отделы. М.—Л., 1934, 4—Металлургия золота и платины. М.—Л., 1935; Gaudin A., Flotation. N. Y., 1932; Bernerwitz M., Flotation Treatment Gold a. Silver Ores. «Eng. a. Min. Journ.», 1927, v. 124, 16, 17; Canada Department of Mines, Investigations in Ore Dressing a. Metallurgy (1927). Ottawa, 1929; «Canadian Mining a. Metallurgical Bulletin», 1934, Nov. 4; В. В. Форман а. Occurrence of Gold in Pyrite. «Eng. a. Min. Journ.», 1934, v. 135, 5; Leaver E. a. Woolf J., Flotation of Metallic Gold. ibid., 1934, v. 135, 6; Stevens T., Lake View a. Star. «Min. Mag.», 1933, v. 49, Oct., 4; Kidd R., Flotation in the Treatment of Gold Ores. «Metallurgy», 1932, v. 13, Sept., 309; Leaver E. a. Woolf J., Dressing Primary Slime Using the Flotation of Gold in Mining Ores. «U. S. Bureau of Mines», 3226. «Report of Invest.», Wash., 1933; Jackson Ch. a. Knaebel J., Gold Mining a. Milling in the United States a. Canada, Wash., 1932; Denny J. Mc., Intyre Metallurgy. «Eng. a. Min. Journ.», 1933; v. 34, 11. И. П. Кляксин.

**ФОЛЬГА**, листы и ленты черных, цветных и благородных металлов толщиной 0,1—0,005 мм и тоньше. Сравнительно небольшое распространение в пром-сти имеют тончайшие листы серебра и золота, применяемые для украшений и в ювелирном деле. Ф. красной меди идет на изготовление щеток низковольтных и многоамперных динамомаши; бронзовая и латунная Ф. из латуны марок Л62 и Л68 толщиной 0,05—0,08 мм и шириной до 180 мм применяется для подкладок под подшипники машин и двигателей; стальная Ф. употребляется в нек-рых конструкциях электромаши высокой частоты. Ф. из нейзильбера толщиной 0,08 мм и шириной 65 мм применяется для изготовления деталей к приборам автомашин и тракторов (мембраны и пр.). Гораздо большее применение в пром-сти имеет Ф. из свинца, олова и гл. обр. алюминия. Свинцовая Ф. применяется для упаковки табачных и чайных изделий и изготавливается в СССР из свинца марки С3 и С4 ОСТ 8032. В СССР свинцовую Ф. изготавливают в виде листов не тоньше 0,015 мм шириной 90—400 мм при длине не более 450 мм. Изготовленная Ф. складывается по размерам в пачки весом до 4 кг. За границей свинцовая Ф. изготавливается в виде длинных лент, свертяваемых в рулоны. Ширина лент достигает 650 мм при толщине 0,025—0,075 мм. Вес рулонов доходит до 100 кг. Почти чистая оловянная Ф., или станиоль, употребляется преимущественно для завертывания пищевых продуктов как материал, предохраняющий их от сырости и атмосферных воздействий, для целей электропромышленности, при изготовлении конденсаторов, прокладок и т. п. и для нужд капсюльно-снарядного производства. Изготовленная из сплава с содержанием ок. 2% меди оловянная Ф. идет для производства зеркал. Для этого Ф. наносится на стекло и переводится в амальгаму. Ф. так наз. ложного серебра изготавливается

в Германии из сплава олова с цинком (91,06% Sn; 0,31% Pb; 8,25% Zn; 0,23% Fe и Cu — следы). Ф. из сплава олова со свинцом при содержании > 4% Pb органами австралийского управления для упаковки пищевых продуктов не допускается. Свинцовая Ф., плакированная оловом, употребляется для упаковки и обкладки изнутри щитков для чая, для кондитерско-пищевой пром-сти в качестве изоляционно-упаковочного материала, а также для капсюлей мелкокалиберных и охотничьих пистолетов. На наших заводах оловянная Ф. изготавливается из олова марки «01» ОСТ 663 с обязательной присадкой сурьмы по ОСТ 662, причем содержание сурьмы в сплаве д. б. в пределах 1,9—3,1%. Допускается присутствие в сплаве свинца > 1% и меди > 0,05%. Листы Ф. имеют размеры 185 × 315 × 475 × 600 мм при толщине 0,01—0,085 мм. За границей оловянная Ф. выпускается в виде длинных лент шириной до 500 мм и толщиной 0,007 мм, свернутых в рулоны весом каждый ок. 45 кг. Листы свинцовой Ф., плакированной оловом, у нас изготавливаются из свинца марок «С2» и «С3» по ОСТ 8032 с обязательной присадкой к свинцу 2,5—3% сурьмы и 4,5—5% олова. Для плакировки употребляется олово марок «01» и «02» по ОСТ 663. Листы плакированной Ф. выпускаются шириной 150—475 мм, длиной 300—600 мм и толщиной 0,02—0,085 мм. Поверхность листов д. б. с обеих сторон покрыта оловом в 10—12% общего веса листа.

Ф. из алюминия имеет чрезвычайно широкое распространение; в пищевой пром-сти она почти полностью вытеснила дорогую оловянную Ф.; в табачной пром-сти она употребляется вместо свинцовой Ф. В качестве оборточного материала она широко используется в производстве фотоматериалов, канцелярских принадлежностей, мыла и аптекарских товаров. Кроме того алюминиевая Ф. применяется при изготовлении украшений, искусственных цветов, обложек для книг, афиш, обоев, для обмотки кабеля, для электростатич. конденсаторов и пр. Чрезвычайно большое распространение она получила для тепловой изоляции (материал альфоль представляет собой гофрированную алюминиевую Ф. толщиной 0,007 мм). За границей альфоль готовится в рулонах шириной ~ 400 мм; эта изоляция совершенно не воспламеняема, употреблять ее можно до t° 500°. Альфоль получил большое распространение для изоляции вагонов-холодильников, цистерн, паровозов, пассажирских вагонов, автомобилей для перевозки скоропортящихся продуктов, для изоляции печей, моторов, турбин, котлов, трубопроводов и пр. В судостроении им пользуются для изоляции палуб, кают, перегородок и холодильных помещений. В СССР алюминиевая Ф. готовится из алюминия «А1» и «А11» по ОСТ 2028 и выпускается нашими заводами в виде листов толщиной 0,008—0,001 мм, шириной до 450 мм и длиной до 520 мм. За границей главная масса ее изготавливается в виде длинных лент толщиной 0,0075 мм и шириной 450—600 мм, свернутых в рулоны.

Методы производства. В зависимости от металла, из которого производится Ф., м. б. применены следующие методы производства Ф. 1) отливка тонких листов с последующей их проковкой, 2) прокатка тонких листов с последующей их проковкой, 3) прокатка листов пакетом, 4) прокатка тонких лент и 5) получение листовой и рулонной Ф. электролитич. путем. Наиболее старым методом является изготовление оловянной Ф. путем отливки тонких листов с последую-

щей их проковкой. Для этой цели олово наливали в жолоб, из к-рого металл стекал равномерным слоем в иалонницу. Отливку производили очень быстро, получая при этом листы весом 1—2 кг, поверхность до 2 м<sup>2</sup> и толщиной ок. 0,1 мм. Отлитые таким путем листы собирали в пакеты, помещали на чугунный стол и проковывали в холодном состоянии до толщины ~0,05 мм. Прокровку тонких листов в холодном состоянии производили вручную, под молотами с ременным приводом и под паровыми молотами, причем при ковке под молотами обычно пакет из 200 и более листов укреплялся на широкой наковальне, а молот автоматически передвигался вдоль и поперек пакета. Впоследствии листовую Ф. из благородных металлов, меди, алюминия, свинца и олова начали изготавливать проковкой тонких листов, полученных путем прокатки. Механика проковкой прокатанных листов можно получить очень тонкие листы. Однако листы толщиной 0,01 мм и тоньше из стали, меди, латуни, алюминия и других металлов можно получить и путем прокатки в холодном состоянии. Для этой цели тонкие листы складывают в пакет на наклепанный лист толщиной 1—2 мм того же металла, что и прокатываемые листы. Сверху пакет покрывается таким же наклепанным листом. Затем весь пакет за несколько прокаток с промежуточными отжигами прокатываемых тонких листов или без отжигов прокатывается до требуемой толщины. При такой прокатке верхний и нижний листы, называемые «обложкой», «кондаем» или «рубашкой», по своим размерам не изменяются, а деформациям подвергаются лишь листы, находящиеся внутри обложки. Прокатка пакетом тонких листов в холодном состоянии придает листам гладкую, почти полированную поверхность. В настоящее время в СССР Ф. получается главным образом путем прокатки листов пакетом.

Прокатку листовую Ф. из свинца, олова или свинца, плакированного оловом, производят из слитков размером 20 × 130 × 350 мм или 25 × 130 × 350 мм, весом 6,5—10,4 кг. Прокатку ведут на легких станах дуо. Первоначально слиток прокатывается (25—1 мм) так, чтобы заготовка имела размеры 480 × 480 мм; после этого заготовка перегибается пополам и на станах дуо с валками 200—250 мм прокатывается до толщины 0,5 мм. Затем таким же способом прокатка ведется до требуемой толщины Ф. Для предупреждения листов от приваривания друг к другу прокатку ведут со смазкой маслом или смазкой специального состава, содержащей воск, какифоль, мыло и пр. При прокатке свинцовой Ф., плакированной оловом, слиток свинца толщиной 25 или 20 мм обкладывается с обеих сторон листами олова соответствующей толщины. Полученный пакет подвергается прокатке обычным путем при подогреве 70—100°. При прокатке под давлением валков происходит приварка слоя олова к свинцу, и полученный биметаллич. лист представляет собой свинцовый лист, покрытый с двух сторон прочно приваренным тонким слоем олова. После прокатки на требуемую толщину свинцовую, оловянную или плакированную Ф. обрезают на гильотинных ножницах и разрезают на готовый размер. Т. к.  $\rho$  рекристаллизации олова и свинца соответствует комнатной, то Ф. из этих металлов отжигу не подвергают. Обрезанная Ф. раскладывается в пакки, к-рые обертываются бумагой и упаковываются в деревянные ящики весом брутто > 50 кг. Выход Ф. из олова и свинца на наших з-дах в среднем со-

ставляет 50—55% от поданного в прокатный цех слитка.

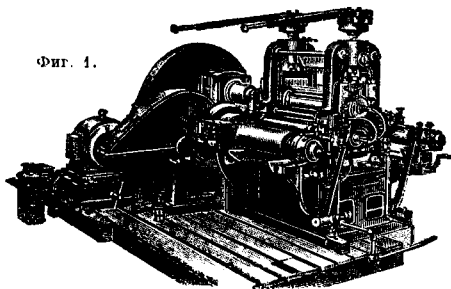
Процесс производства листовой алюминиевой Ф. несколько отличается от описанного производства свинцовой и оловянной Ф. и в СССР сводится к следующему.

Слитки алюминия размерами 30 × 265 × 670 мм, весом 14,5 кг прокатываются в 7 проходов в горниче состоянии при  $\rho = 450^\circ$  в полосу толщиной в 4 мм на станах дуо с валками  $\varnothing$  460 мм и длиной валков 980 мм. Полоса в 4 мм разрезается на карточки 4 × 690 × 483 мм. Затем карточки в холодном состоянии на листовом дуо прокатываются в 5 проходов в полосы толщиной 1,15 мм и подвергаются отжигу. Отожженные полосы подвергаются обрезке кромок и снова разрезаются на карточки размером 1,15 × 480 × 450 мм. Эти карточки и являются основной заготовкой, из которой прокатывается алюминиевая Ф. Карточка с толщиной 1,15 мм прокатывается затем в полосу толщиной 0,5 мм. Прокатка ведется на станах дуо с валками  $\varnothing$  250 мм и длиной  $l = 550$  мм. После прокатки полоса 0,5 × 480 × 1 030 мм отжигается, а затем сгибается вчетверо. Полученный пакет в четыре листа с размерами 2 × 480 × 257 мм прокатывается на станах дуо с валками диаметром 200—250 мм до размера 1,08 × 480 × 480 мм. Затем пакет сгибается пополам и прокатывается до размеров 1,08 × 480 × 480 мм, причем каждый лист имеет толщину 0,135 мм. После этого пачка опять сгибается пополам и прокатывается до толщины каждого листа в 0,068 мм, а затем до толщины 0,034 мм. Прокатанная пачка снова сгибается вдвое, и полученный пакет в 64 листа укладывается между двумя листами алюминия и в рубашке прокатывается до толщины каждого листа 0,017 мм и затем, если нужно, — до размеров 0,01 × 480 × 480 мм. В процессе прокатки крошки пакета образуются ручными ножницами. Прокатанная Ф. поступает затем в муфельную печь для отжига. Длительность отжига 2,5—3 часа при  $\rho$  300°. После отжига Ф. подвергается осмотру. Пакеты разбираются и прокладываются вручную бумагой и разрезаются на гильотинных ножницах до требуемых размеров. Во время прокатки листы смазываются смазкой следующего состава: воска 30 вес. ч., гарлиуса 70 ч. и сала 10 ч. Выход годной по листовой алюминиевой Ф. составляет 50—55%.

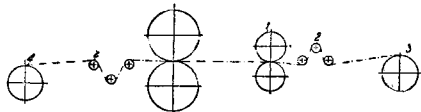
Несколько другим путем идет процесс прокатки рулонной алюминиевой Ф. Исходным материалом для изготовления рулонной Ф. служит алюминиевая лента толщиной 0,45—0,5 мм. Для получения подобной ленты употребляется алюминий высокого качества. На некоторых заводах после отжига лента с толщины 0,5 мм прокатывается в 5 проходов сразу до толщины на 0,015 мм на чрезвычайно точном стане дуо для прокатки Ф. Этот стан (фиг. 1) имеет валки  $\varnothing$  230 мм,  $l = 550$  мм. На станинах укреплен бачок, из которого по целому ряду крапиков на валки подается смазка. Для равномерной подачи ленты в валки стана устанавливаются питающие 1 и натяжные ролики 2 (фиг. 2, где 3 — разматывающее приспособление, 4 — намоточное приспособление). После прокатки на толщину 0,015 мм лента для очистки от масла промывается на специальном прокатно-промывном стане и поступает на станок для складывания ленты вдвое (фиг. 3; процесс складывания указан стрелками) и прокатывается за один проход до 0,015 мм. Затем лента поступает на станок, изображенный на фиг. 4; рулон двойной

ленты одевается на барабан 1 станка и разматывается на два рулона 2 и 3. Станки м. б. снабжены циркулярными ножницами 4. Полуоченная Ф. очень хрупка и потому она поступает в электрическую печь на время 3—4 часа, при  $t^{\circ}$  300°. После отжига Ф. поступает на полировочный стан. Если необходимо получить

Фиг. 1.

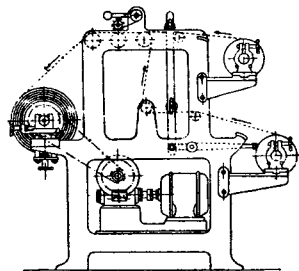


узкую Ф. в виде намотанных на катушки лент, то голая Ф. в виде широкой ленты поступает на станок, изображенный на фиг. 5. Этот станок служит для разрезки широкой ленты вдоль на узкие части и наматки их на катушки. На этом станке можно установить и рулон с папирсоной



Фиг. 2.

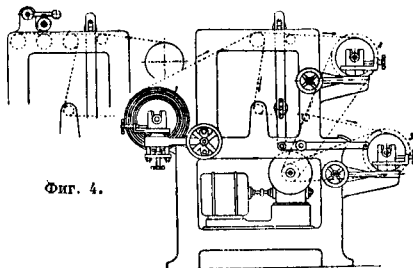
бумагой и при перемотке и разрезке получать Ф. с прокладкой из папирсоной бумаги, служащей для предохранения поверхности Ф. от повреждения. При необходимости иметь Ф. в виде листов лента должна разрезаться на гильотинных ножницах. Обычно Ф. выпускается в виде рулонов шириной 480 мм. Процесс прокатки рулонной Ф. из алюминия в СССР несколько



Фиг. 3.

отличается от описанного. В СССР ленту толщиной 0,5 мм. прокатывают в один пропуск до 0,18 мм. Второй пропуск ленты получает на том же стане с 0,18 до 0,08 мм. Третий пропуск ленты получает на другом стане, ничем не отличающемся от первого, с 0,08 до 0,045 мм, а затем на этом же стане четвертый пропуск с 0,045 до 0,025 мм. После четвертого пропуска лента отжигается в электрич. печи, а затем прокатывается на третьем стане, аналогичном двум предыдущим, в один пропуск с 0,025 до 0,013 мм. При этой толщине ленты поступает на промывной прокатный стан, где промывается бензином, и затем на станок для сдавливания лент. Плотно свернутые две алюминиевые ленты ватем посту-

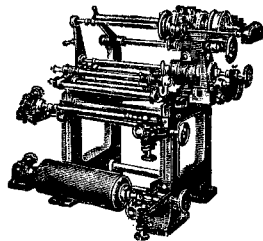
пают на четвертый стан, аналогичный первым трем станам, и прокатываются с толщины 0,026 до 0,014 мм, т. е. на выход, получая после прокатки толщину 0,007 мм каждая. В отличие от



Фиг. 4.

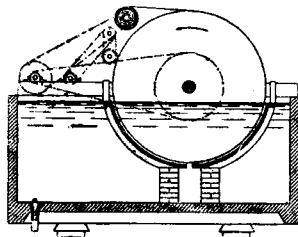
предыдущих станов валки четвертого станка подгреваются паром. Валки всех прокатных станов шлифуются весьма тщательно с выпуклостью 0,12 мм. При прокатке лента смазывается машинным маслом. На 100 кг Ф. расходуется 4—5 кг масла и ок. 4 кг бензина на промывку.

Станы для прокатки фольги изготовляются с особой тщательностью. В особенности тщательно должны быть изготовлены приводы станов, обеспечивая исключительно спокойную работу стана. Спокойный ход стана имеет громадное значение при производстве Ф. Всякого рода сотрясения и вибрации фундамента, вызываемые неравномерным ходом стана, оказывают на Ф. весьма вредное влияние. При прокатке Ф. в цехе д. б. идеальная чистота.



Фиг. 5.

За последние годы медную Ф. толщиной до 0,004 мм и шириной до 900 мм удалось получить электролитическим путем. На з-де «Ration Copper Works» в Perth. Amboy N. Y. получение ленты толщиной в 0,04 мм производится в барабанной ванне (фиг. 6), представляющей собой облицованную свинцованную ванну, по типу и размерам соответствующую обычно применяемым ваннам для электролиза меди.



Фиг. 6.

Вращающийся барабан — катод — изготовлен из 6%-ного сурьмянистого свинца и имеет  $\varnothing$  1 675 мм и 915 мм ширины. На расстоянии 20 мм от поверхности барабана расположены два анода, выгнутые сообразно форме катода. Отоложенный на барабан металл отдирается от его поверхности и сворачивается в рулон. Окружная скорость барабана равна 240 мм/мин. Плотность тока составляет 1 500 А/м<sup>2</sup>, напряжение 2,8 В. Электролит все время интенсивно перемешивается.

Необходимость введения интенсивного воздушного перемешивания вызывает необходимость в работе на нерастворимых анодах, т. к. в противном случае замуцаваемый при перемешивании анодных шламов мог бы повредить получающуюся медную ленту. Электролитом в барабанной ванне служит раствор, содержащий в 1 л 43—47 г меди и 180—200 г  $H_2SO_4$ . Температура ванны колеблется от 50 до 55°. Раствор в ванне все время циркулирует. Скорость протекания раствора равна 15 л в 1 мин. Получаемая длинная медная лента весьма схожа с прокатанной и обладает высокими механич. свойствами. Механич. испытание медной ленты толщиной 0,04 мм, полученной электролитич. путем в Москве в Ин-те им. Карпова, дало  $R = 46-49,5 \text{ кг/мм}^2$  при  $i = 3,3-7,5\%$ . Хорошие механические качества обнаружены при испытании лент, полученных на установке а-да «Красный выборж» в Ленинграде. Помимо медной Ф. до сих пор не удалось получить фольгу других металлов электролитич. путем.

Лит.: Берман С. и Истомин П., Прокатка цветных металлов, ч. 1, М.—Л., 1934; Берман С. О состоянии производства алюминийевой фольги в СССР, «Легкие металлы», М., 1931, 2; Крон К., Горная обработка металлов, пер. с франц., т. 2, М., 1929; Strom V., Производство медных лент электролитическим способом, «Eng. and Min. Journ.», 1933, 7 (реферат на русском языке — в журнале «Цветные металлы», М., 1933, 7, стр. 132); Объединенное бюро стандартов цветной металлургии при Гизметмет, М., 1932, выд. 17, и 1933, выд. 18; В. Д. и В. П. Цуканов, Металлическая фольга, «Metalurgia», Л., 1931, Febr., p. 141, 143; Werkstoff-Handbuch, Nichtisenmetalle, В., 1928; Purpe J. u. Stauber G., Walzwerkwesen, В., 1929. С. Берман.

**ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ЭМУЛЬСИЯ**, термин, относящийся как к фотографическому (светочувствительному) слою, нанесенному на какую-либо подложку (стекло, целлулоид, бумагу) и высушенному до воздушно-сухого состояния, так и к полуфабрикату, т. е. к реакционной смеси во всех стадиях производства. Основное практич. значение имеют галоидо-серебряные желатиновые Ф. э. Дисперсная система, называемая Ф. э., представляет в коллоидо-химич. понимании *суспензию* (см.), состоящую из частичек галоидного серебра—эмульсионных зерен, которые защищены лиофильным коллоидом — *желатиной* (см.). По назначению Ф. э. делятся на негативные и позитивные и отличаются по своим фотографич. свойствам и по составу.

Состав и строение Ф. э. состоят из желатины и смеси галоидных солей серебра; негативные Ф. э. содержат обычно  $AgBr$  с некоторой примесью  $AgI$ ; позитивные могут содержать  $AgCl$  и другие соли (соли органич. кислот). Кроме перечисленных веществ готовая Ф. э. может содержать избыток  $Br^-$  (или  $Cl^-$ ), следы  $Ag_2S$ , следы  $Ag$  (металлич.) и органич. соединения — оптич. сенсibilизаторы (см. *Сенсибилизация*). Воздушно-сухая Ф. э. в виде слоя и готовая Ф. э. перед нанесением на подложку в виде золь или геля (см. *Коллоиды*) имеют различный количественный состав вследствие различного содержания воды. Воздушно-сухая негативная Ф. э. содержит 35—45%  $AgBr$  (данные о количественном составе приведены в перерасчете на  $AgBr$ ) и остальное количество — желатина, удерживающая 6÷8% воды; на 1 м<sup>2</sup> площади подложки приходится до 20 г  $AgBr$ ; толщина негативного слоя равна ~20 м. Позитивная Ф. э., нанесенная на прозрачную подложку, отличается от негативной содержанием  $AgBr$  на 1 м<sup>2</sup> приблизительно вдвое меньше; толщина воздушно-сухого позитивного слоя ок. 15 м; Ф. э. на непрозрачной подложке содержат галоидного серебра еще

меньше: бромистые бумаги 2,5÷4 г/м<sup>2</sup>  $AgBr$ , хлоробромистые (газопечатные) 1,5÷2,5 г/м<sup>2</sup>  $AgBr$ . Состав Ф. э. в жидком состоянии неодинаков в различных стадиях производства и колеблется в зависимости от требуемых конечных свойств Ф. э. Кроме того состав готовой жидкой Ф. э. зависит от назначения — для пластинок или для пленки. Т. к. 1 л негативной Ф. э. при приготовлении пластинок покрывает в среднем 2,5 м<sup>2</sup>, в случае же пленки — 5 м<sup>2</sup> подложки, то в соответствии с этим Ф. э. для нанесения на пленку д. б. значительно богаче солями серебра: содержание  $AgBr$  доводится до 80 г/л вместо 35—45 г/л в случае Ф. э. для пластинок. Количество Ф. э. на единицу поверхности регулируется *вязкостью* (см.) путем изменения концентрации желатины, причем последнюю в случае Ф. э. для пленки доводят до 10—12% вместо 6—8% для пластинок. Ф. э. для фотобумаг, соответственно уменьшенному содержанию галоидного серебра на единице поверхности, содержат в среднем ок. 20 г/л  $AgBr$ .

Ф. э. имеет зернистое строение; представление о числе и размерах эмульсионных зерен в воздушно-сухом слое можно получить из данных табл. 1 (Мейдингер, 1925).

Табл. 1.—Количественные данные о зернистом строении Ф. э.

Данные	Э му л с и я		
	*1	*2	*3
Число зерен, $N/\text{см}^2$	3,5·10 <sup>8</sup>	1,0·10 <sup>8</sup>	1,6·10 <sup>10</sup>
Средний вес зерен в $\text{мг} \cdot 10^{-8}$ . . . . .	6,5	1,3	0,09
Средний радиус зерен в $\mu$ . . . . .	0,85	0,36	0,15
Среднее расстояние между зернами в $\mu$ . . . . .	2,1	0,35	0,56
$AgBr$ в $\text{мг}/\text{см}^2$ . . . . .	2,1	1,25	1,45
$AgBr$ % . . . . .	34	43	43

\*1 Высокочувствительная. \*2 Средней чувствительности. \*3 Очень мало чувствительная.

В нормальном слое зерна не лежат в одной плоскости, они располагаются в несколько (20÷40) элементарных слоев. Микроскопич. изучение Ф. э. показывает следующие две особенности: 1) эмульсионные зерна во многих случаях имеют явно выраженную ограниченность, т. е. явно кристаллич. строение; 2) эмульсионные зерна в большинстве случаев заметно разнятся по величине. Детальное изучение явно кристаллич. зерен (Тривелли, Шепард, 1920) показало принадлежность их к правильной (кубич.) системе (см. *Кристаллография*), причем разнообразие форм табличек являются производными октаэдра, образовавшимися в результате специфич. условий роста. *Рентгенографический анализ* (см.) подтвердил кристаллич. строение зерен; аморфные под микроскопом зерна мелкозернистых Ф. э. также имеют внутреннюю кристаллич. структуру (Уильсей, 1921). Ф. э. путем медленного оседания (см. *Седиментометрия*) можно разбить на фракции; фотографические свойства и состав отдельных фракций приведены в табл. 2 (Ревник и Сиз, 1924).

Второй особенностью Ф. э. является наличие зерен различных размеров; для сравнения таких полидисперсных суспензий огромное значение имеет метод количественного выражения распределения зерен по величине. Для этой цели могут применяться два способа: седиментоме-

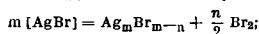
Табл. 2.—Анализ фракций Ф. э., полученный седиментометрическим путем.

Фракция*	AgBr %	AgI %	Мутность от носителя	Светочувствительность отсчитываемая	Коеф. контрастности у (в мн.)	Плотность зерен D <sub>0</sub> (в мн.)
Исходная Ф. э.	3,32	3,30	54	85	1,14	0,14
A—15,0	1,50	1,62	82	18	1,76	0,10
B—7,5	3,10	2,92	58	78	1,22	0,12
C—3,5	3,24	3,44	56	84	1,09	0,12
D—2,1	3,18	3,56	56	80	1,23	0,10
E—0,7	9,36	4,34	39	110	1,10	0,22

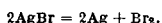
\* Расстояние слоя от дна цилиндра (в см.).

трический анализ (см. *Седиментометрия*) и микрофотографический подсчет зерен; последний благодаря специальным исследованиям нашел более широкое применение в фотографич. науке (Шеппард, Тривелли и Уайтман, 1921—1924; Чердынцев, 1930). Микрофотографич. метод осуществляется след. обр.: сначала готовят однослойные препараты путем полива пластинок разбавленной 50÷100 раз Ф. э.; производятся микрофотографирование в различных участках препарата при линейном увеличении 2 000÷2 500 раз; после дополнительного увеличения микрофотографий до 5 000 раз производятся измерение площадей зерен и разбивка их на классы. Размеры зерен, определяя вероятность полезного действия света, не являются однако однозначным критерием светочувствительности и других свойств Ф. э.; последние зависят не только от величины поверхности зерен, но и от ее физико-химич. состояния.

Фотохимические и фотографические свойства Ф. э. Под действием света в отдельных независимых друг от друга эмульсионных зернах происходят изменения, которые обуславливают способность зерен восстанавливаться в проявляющем растворе (см. *Проявители, Проявление*) со значительно большей скоростью по сравнению с неизменными зернами. Стойкие и невидимые фотохимич. изменения на зернах составляют скрытое (латентное) изображение. Наиболее важное значение для объяснения физико-химич. природы этих изменений имели следующие гипотезы: 1) гипотеза образования субглоидных соединений по следующей схеме:

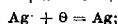
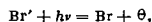


2) гипотеза образования коллоидного серебра как следствие фотохимич. восстановления:



Рентгенографич. анализ показал однако, что при освещении эмульсионных зерен образуется металл. серебро (Кох и Фоглер, 1925) и то, что раньше принималось за субглоидные соединения, представляет продукт *дсорбции* (см.) металл. серебра бромистым. Т. о. вторая гипотеза намечала путь развития современной теории фотографич. чувствительности. Микроскопич. исследование поведения эмульсионных зерен показало, что проявление после короткого освещения начинается в нек-рых дискретных точках — центрах проявления, распределенных по закону случая. Картина начальной стадии процесса аналогична видимому фотохимич. разложению (Холжсон, 1917; Сведберг, 1922; К. Чибисов, 1926). Центры проявления отнюдь не образуются только под влиянием проявляющего

раствора; они присутствуют в зерне до его действия (Той, 1923), возникшая отчасти при синтезе Ф. э. и гл. обр. после фотохимической реакции на ранее образовавшихся сенсibiliзирующих ядрах. Наличие последних на поверхности зерен подтверждается десенсибилизирующим действием окислителей; наоборот, восстановители (арсениты) вызывают образование центров проявления без светового воздействия. Эти реакции определенно указывают, что в зернах присутствуют инородные включения, к-рые расположены на поверхности. Дальнейшие исследования действительно показали, что для фотографич. чувствительности, обнаруживаемой после проявления, огромное значение имеет не только поверхность зерна, но и состояние этой поверхности: было показано (Сведберг, 1922), что среднее число центров проявления пропорционально поверхности зерна; однако позднее было установлено (Той, 1923; Шеппард, Тривелли и Ловеланд, 1925), что эта зависимость вначале не выполняется и лишь при увеличении экспозиции она стремится к некому пределу. Образование сенсibiliзирующих ядер осуществляется при синтезе эмульсии путем синкристаллизации изоморфных AgBr веществ, которые образуются под действием примесей в желатине. Путем применения различной желатины м. б. приготовлены Ф. э., мало различающиеся между собой как полдисперсные системы и очень сильно — по своим фотографич. свойствам. Химич. природа примесей в точности не установлена. Очевидно, что они обуславливают состав сенсibiliзирующих ядер, поэтому выяснение природы последних позволит ближе подойти к пониманию фотографич. активности желатины. Экспериментальные данные заставляют предполагать, что сенсibiliзирующие ядра состоят из Ag (металлич.) и Ag<sub>2</sub>S (отдельно или вместе); есть также указания относительно Ag<sub>3</sub>P (Лизеганг). Для объяснения роли сенсibiliзирующих ядер характерно, что спектральная светочувствительность Ф. э. практически не зависит от времени созревания и не меняется после десенсибилизации (уничтожения ядер). Следовательно сенсibiliзирующие ядра не изменяют элементарного фотохимического процесса в зерне и лишь ориентируют его (Шеппард, 1922), облегчая образование центра проявления вследствие деформирующего влияния на близлежащие ионы решетки AgBr. Элементарный фотохимический процесс заключается в перескоке валентного электрона с Br' на Ag' под действием поглощенного кванта света (Файнс, 1921; Шеппард и Тривелли, 1921):



следовательно фотохимически активными являются Br' и пвидимому особенно те ионы, которые расположены ближе к инородному включению, т. е. на к-рые распространяется деформирующее влияние. Освобожденные атомы Ag имели бы очень мало шансов на продолжительное существование и могли бы легко рекомбинироваться с Br, если бы они оставались в изолированном состоянии; этого не происходит вследствие конденсирования их около сенсibiliзирующих ядер, которые, являясь центрами коагуляции, способствуют т. о. образованию центров проявления. Следовательно сенсibiliзирующие ядра не повышают фотохимич. квантового выхода, они лишь защищают атомы Ag от рекомбинации. При одновременном образовании большого числа атомов Ag, как это имеет место вслед-

ствии многократной деградации энергии при действии квант большой мощности рентгеновского излучения, они успеют конденсироваться и образовать центр проявления без помощи сенсибилизирующего ядра, что подтверждается опытным путем. Для получения способности к проявлению эмульсионное зерно должно иметь по крайней мере один центр проявления; весьма характерно, что даже при проявлении почти всех зерен (92%) данного размера среднее число центров на одном зерне не превышает 2—3 (Сведберг, 1922). Для интерпретации фотографической чувствительности важное значение имеет вопрос о размерах центра проявления. На основании закона квантовой эквивалентности, явля экспозиции и аналитически определимые количества Ag или  $Ag_2S$ , можно подсчитать минимальное число атомов Ag, к-рые сообщают зерну определенного размера способность к проявлению; приближенные данные для порога проявления приведены в табл. 3.

Табл. 3.—Размеры центра проявления.

Автор	Сорт Ф. э.	z Ag на 1 e AgBr	Число атомов Ag на зерно $1 \mu^2 \times 0,1 \mu$
Шепард и Уайтман (по данным Леймбаха) . . . . .	Средней чувствительности «Экстра-рапид» Агда «специаль» «Ультрарапид» —	$3,6 \cdot 10^{-9}$	24
Эггерт и Арнс . . . . .		$2,0 \cdot 10^{-10}$	3
Галльш и Поэль . . . . .		$3,0 \cdot 10^{-9}$	21
Джонс и Шен . . . . .		$1,6 \cdot 10^{-9}$	11
		$1,5 \cdot 10^{-9}$	12

Между составом и строением Ф. э. и отдельными ее сенситометрич. характеристиками (см. *Сенситометрия*) существуют определенные соотношения, установление которых имеет исключительное значение для регулирования условий

Табл. 4.—Сенситометрические свойства различных Ф. э.

Сорт Ф. э.	% AgJ	Средняя площадь зерен в $\mu^2$	Плотность вуали $D_0$	Свето-чувств. относительно $S_r = \frac{10}{E_i}$	$\gamma$	Порог потенции св. м.	Макс. оптич. плотность $D_m$
A) «ультрарапид» . . . . .	5,3	0,59	0,12	272	0,80	0,052	1,49
B) . . . . .	6,7	0,58	0,11	272	0,83	0,053	2,36
C) . . . . .	6,7	0,48	0,11	254	0,92	0,052	2,83
D) . . . . .	4,8	0,35	0,08	254	0,88	0,052	2,54
E) . . . . .	5,9	0,31	0,11	254	0,97	0,052	2,29
F) высшей чувствит. . . . .	6,2	0,46	0,07	156	0,88	0,074	2,47
G) . . . . .	6,1	0,36	0,07	156	0,84	0,052	2,47
H) . . . . .	5,6	0,82	0,12	146	1,20	0,074	1,53
I) . . . . .	5,8	0,34	0,07	84	1,38	0,052	2,42
J) . . . . .	4,0	0,52	0,08	64	0,84	0,074	2,36
K) средней чувствит. . . . .	4,0	0,27	0,08	60	1,26	0,103	1,52
L) . . . . .	5,6	0,21	0,08	60	1,10	0,147	3,21
M) малой чувствит. . . . .	1,1	0,23	0,10	7	1,40	0,147	2,59
N) . . . . .	1,9	0,14	0,04	5	3,20	0,210	4,43

синтеза Ф. э.; в табл. 4 сопоставлены различные характеристики Ф. э., полученные для нахождения корреляции между ними (Тривелли и Дженсен, 1930).

Из приведенных данных видно, что более светочувствительные Ф. э. являются более крупнозернистыми, хотя это не всегда соблюдается.

Данное правило более применимо для одной Ф. э., когда зерна находятся в одинаковых условиях созревания, т. е. когда существует большая вероятность образования полноценного сенсибилизирующего ядра на зерне большего размера. В табл. 5 приведены данные, показывающие распределение индивидуальной светочувствительности между зернами различных классов (Уайтман, Тривелли и Шепард, 1924): более крупные зерна являются более лабильными, т. е. скорее приобретают способность к проявлению.

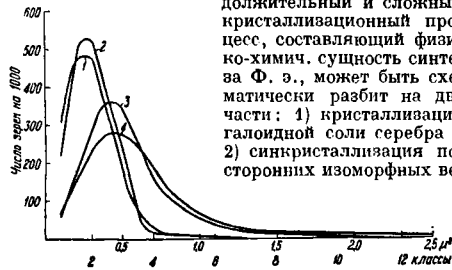
Табл. 5.—Способность к проявлению зерен различных размеров в зависимости от экспозиции.

Экспозиция, e	% проявленных зерен при среднем диаметре				
	0,3 $\mu$	0,5 $\mu$	0,7 $\mu$	0,9 $\mu$	1,1 $\mu$
150	13,07	25,35	52,01	51,87	56,96
300	30,92	69,08	85,04	92,86	94,65
600	76,30	93,59	98,00	98,43	100
1200	93,31	98,93	100	100	100
2400	97,98	99,34	100	100	100
4800	99,85	100	100	100	100

Синтез Ф. э. является наименее освещенной в литературе проблемой фотографии, что объясняется главным образом ее «секретным» состоянием, к-рое сложилось исторически в условиях частновладельческой системы пром-сти. Датой введения в практику желатиновых галоидо-серебряных Ф. э. является 1871 г. (Медокс), а в 1882 г., когда Ф. э. почти полностью вытеснили мокрый коллоидный способ, Эдер уже отмечает, что производственные секреты начинают занимать все большее место в процессах приготовления Ф. э. Так как получение фотографии, изображением сводится к осуществлению своего рода иррегулярного светочувствительного растра, то следовательно Ф. э. должна представлять дисперсную систему с основным требованием различия эмульсионных зерен по степени индивидуальной

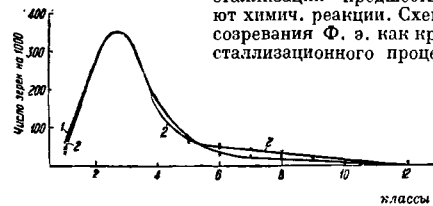
светочувствительности, — только при этих условиях светочувствительный слой будет способным передавать различные степени яркости. По физико-химической структуре Ф. э. представляет полидисперсную кристаллизационную суспензию, следовательно ее получение должно сводиться к кристаллизационному процессу. Т. к. приготовление Ф. э. как дисперсной системы сводится к образованию независимых между собой в фотографич. смысле эмульсионных зерен — кристаллов, которые можно рассматривать как отдельные чрезмерно укрупненные (комплексные) молекулы, и так как со-  
бразие зерен при формировании твердой кристаллической фазы в процессе созревания представляет физико-химическую, стремящуюся к равновесию систему, то является вполне законным применение термина **с и н т е з** Ф. э. Последний осуществляется при помощи реакции двойного обмена, используемой для образова-

ния дисперсной фазы AgBr в дисперсионной среде — растворе желатин, и складается из следующих основных производственных операций: 1) смешивание растворов — эмульсификация, 2) выдерживание при 40—60° — первое созревание, 3) промывание, 4) вторичное выдерживание при 45—50° — второе созревание. Продолжительный и сложный кристаллизационный процесс, составляющий физико-химич. сущность синтеза Ф. э., может быть схематически разбит на две части: 1) кристаллизация галоидной соли серебра и 2) синкристаллизация посторонних изоморфных ве-



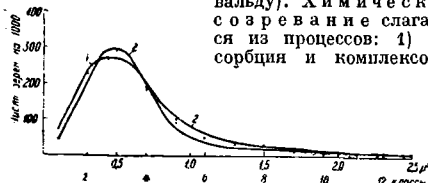
Фиг. 1.

ществ. Первая часть процесса, изменяющая степень дисперсности твердой кристаллической фазы, может быть обозначена как физическое созревание; вторая часть, ведущая к образованию сенсibiliзирующих ядер, должна быть тогда названа химич. созреванием, так как синкристаллизации предшествуют химич. реакции. Схему созревания Ф. э. как кристаллизационного процес-



Фиг. 2а.

са можно представить в следующей общей форме (К. Чибисов, 1932). Физическое созревание состоит из стадий: 1) распада двойного обмена, 2) образование молекулярных комплексов — стадия конденсации твердой фазы и 3) стадия роста эмульсионных зерен (по Оствальду). Химическое созревание складывается из процессов: 1) адсорбции и комплексоб-



Фиг. 2б.

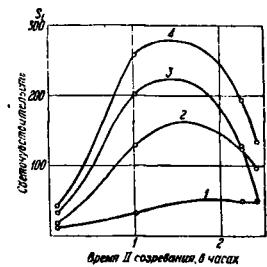
разование посторонних молекул с поверхностными ионами решетки AgBr, 2) химический распад неустойчивых комплексов и образование изоморфных AgBr веществ (Ag<sub>2</sub>S, Ag<sub>2</sub>S<sub>2</sub>) 3) укомплектование продуктов реакции в кристаллич. решетку — синкристаллич. образование сенсibiliзирующих ядер. Эта схема находится в следующем соответствии с производственными операциями: 1) эмульсификация — физическое созревание (реакция двойного обмена), 2) первое созревание — физич. созревание, 3) промывание — удаление растворимых веществ, способствующих физич. созреванию, 4) второе созревание — хи-

мическое созревание. Применением статистич. метода учета распределения зерен по величине было доказано (К. Чибисов и А. Михайлова, 1933), что первое созревание действительно является физич. созревaniem, тогда как во втором созревании рост зерен практически останавливается; на фиг. 1 даны кривые распределения эмульсионных зерен по величине для различных моментов первого созревания (I — время созревания 5 мин., 2 — 10 мин., 3 — 30 мин., 4 — 60 мин.), на фиг. 2а и 2б — кривые распределения эмульсионных зерен по величине в процессе второго созревания в сопоставлении их с кривыми для первого созревания (фиг. 2а: I — созревание 30 мин., II созревание 0 мин.; 2 — I созревание 30 мин., II созревание до 120 мин.; фиг. 2б: I — I созревание 60 мин., II созревание 0 мин., 2 — I созревание 60 мин., II созревание 120 мин.). В табл. 6 приведены гранулометрич. характеристики Ф. э. в различные моменты первого и второго созревания.

Табл. 6.—Гранулометрические характеристики Ф. э. в процессе созревания.

Гранулометрич. характеристика	Время I созревания в мин.				Время II созревания в мин. (при I—60 м.)		
	5	10	30	60	0	60	120
Общее число зерен $N \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-2}$	6,15	2,08	1,83	0,46	0,32	0,42	0,37
Средний вес зерен $\text{мг} \cdot 10^{-9}$	0,17	0,49	0,55	2,23	3,40	2,45	2,78
Средний объем в $\mu^3$	0,03	0,08	0,09	0,35	0,51	0,39	0,44
Средняя площадь проекции, в $\mu^2$	0,11	0,23	0,25	0,82	0,79	0,66	0,77
Средний диаметр в $\mu$	0,38	0,54	0,56	0,89	1,01	0,92	0,99

Кроме прямого доказательства указанных механизмов подтверждается изменением свойств Ф. э. в процессе I и II созревания (К. Чибисов, 1931): 1) в процессе I созревания наблюдается обычно уменьшение значений  $\gamma$ , тогда как во II созревании наблюдается рост  $\gamma$ ; в I созревании указанное изменение связано с укрупнением зерен и уменьшением кроющей способности, во II созревании — с сенсibiliзацией преимущественно крупных зерен; 2) сенсibiliзирующее действие наблюдается гл. обр. во II созревании, хотя характер процесса заметно зависит от времени I созревания (Керролли Гоббард, 1931), как это видно из фиг. 3 (где I — время I созревания 5 мин., 2 — 30 мин., 3 — 60 мин., 4 — 120 мин.). Нельзя думать, что в I созревании протекает только кристаллизационный процесс; однако до тех пор, пока существуют условия роста эмульсионных зерен, иные молекулы втягиваются отлагающимся основным веществом, успевающие не синкристаллизоваться могут затем «расти» AgBr, т. е. потерять фотографич. значение. В процессе физич. созревания рост зерен загущает, и тогда может за-



Фиг. 3.

метнее сказываться химич. созревание до приготовления Ф. э.

Путем изменения условий синтеза могут быть приготовлены Ф. э., резко различающиеся по своим свойствам; особенно большой интервал наблюдается в отношении светочувствительности. Получение Ф. э. с определенными свойствами достигается регулированием состава — путем изменения соотношения компонентов и структуры — путем изменения факторов. Соотношением компонентов удается изменять главным образом начальные условия, которые определяют тип Ф. э. Имеют значения следующие компоненты: 1) желатина, 2) щелочно-галлоидная соль, 3) аммиак, 4) концентрация водородных ионов  $[H^+]$ , 5) количество AgJ (или AgCl), 6) оптич. сенсibilизаторы; при регулировании свойств Ф. э. используются следующие факторы: 1) способ эмulsификации, 2) темп-ра I и II созревания, 3) время I и II созревания, 4) разбавление и смешивание, 5) время хранения готовой Ф. э.

Желатина в Ф. э. играет роль не только склеивающего вещества, удерживающего зерна AgBr на подложке, она оказывает основное влияние на конечные свойства Ф. э. В табл. 7

Табл. 7.—Зависимость свойств Ф. э. от химической природы желатины.

Желатина	Средняя площадь зерен в $\mu^2$	Средний диаметр зерен в $\mu$	Светочувствительность Ф. э., $S_i$	Предел контрастности, $\gamma_{\infty}$	Фотографическая ширина $L$ при $\gamma=0,5$
I	0,32	0,64	40	1,58	1,70
II	0,42	0,73	82	1,60	1,95
III	0,35	0,67	84	3,70	1,85
IV	0,38	0,68	320	3,64	1,82

приведены данные, показывающие зависимость свойств Ф. э. от химич. природы желатины (Шеппард, Эллиот и Свит, 1923); Ф. э. были приготовлены в одинаковых условиях на четырех мало отличающихся по физическим свойствам сортах желатины; гранулометрические характеристики полученных Ф. э. практически тождественны, однако фотографические свойства резко отличны. Следовательно можно считать, что в фотографич. желатине помимо основного белкового вещества содержатся нек-рые примеси, химически активизирующие эмульсионные зерна. Поэтому в процессе созревания желатина проявляет две функции: 1) белковое вещество обуславливает коллоидно-защитную функцию, регулируя процесс физич. созревания; 2) примеси вызывают химич. функцию, т. е. являются причиной образования сенсibilизирующих ядер и центров вуализации. Активная желатина м. б. дезактивирована путем диализа или окислением (А. Рабинович и А. Титов, 1932); наоборот, путем прибавления в малоактивную желатину экстракта из активной первой м. б. активирована (Шеппард и Поннет, 1925). Активность желатины не изменяется при гидролизе, т. е. примеси не принадлежат белковой молекуле (В. Бекунов, 1932). Для характеристики фотографических свойств желатины важное значение имеют реакция на восстановительную способность (В. Бекунов, 1932; Н. Макаров, 1933) и реакция на лабильную серу (Шеппард и Гудсон, 1930; В. Бекунов, 1933), что согласуется с представлениями о составе сенсibilизирующих ядер. Следовательно для примесей желатины являются характерными восстановительно-окислительные свойства и содер-

жание лабильной серы. Принадлежат ли эти особенности различным соединениям и каково их относительное значение, в настоящее время еще не установлено. В отношении сернистых соединений была сделана попытка отожествить их с тиозинамином (Шеппард, 1925). Коллоидно-защитная функция желатины осуществляется в результате ее адсорбции, что было доказано экспериментально путем определения азота в центрифугированных зернах микрометодом Кельдала (Шеппард, Ламберт и Кинан, 1932). Многократное промывание не удаляет адсорбированной желатины, кипячение удаляет примерно половину; на основании подсчета можно предполагать, что адсорбированная желатина образует на зернах бимолекулярный слой.

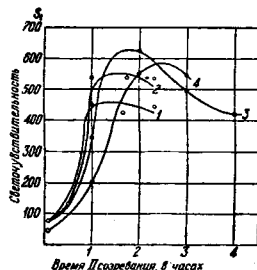
Щелочно-галлоидная соль применяется 1) в реакции двойного обмена для осаждения галлоидного серебра и 2) как избыток для регулирования физического и химич. созревания. Основной является бромистая соль, причем катион ( $Na^+$ ,  $K^+$  или  $NH_4^+$ ) практически не оказывает влияния за исключением  $NH_4^+$  в аммиачном методе, когда этот ион изменяет степень диссоциации аммиака. Влияние избытка бромида в I и II созревании различно: в I созревании он ускоряет процесс физич. созревания, повышая растворимость AgBr; это особенно наблюдается в случае безаммиачного метода синтеза Ф. э., как видно из табл. 8, где приведены значения  $\gamma$ , уменьшающиеся вследствие более быстрого роста зерен при увеличении избытка бромида (К. Чибисов и Н. Макаров, 1932).

Табл. 8.—Зависимость  $\gamma$  от избытка бромида в I созревании.

Избыток KBr в мол. % . . .	12,5	50	100	150	200
$\gamma$ (при 4-мин. проявл.) . . .	2,56	2,08	1,58	0,76	0,68

При аммиачном методе роль бромида значительно сложнее и окончательно не выяснена. Во II созревании избыток бромида, обычно очень небольшой (5—10 молекул KBr на  $10^3$  молекул AgBr), не может повышать растворимость AgBr; свободные Br<sup>-</sup> замедляют образование изоморфных AgBr веществ (Ag или Ag<sub>2</sub>S), так как эта реакция сопровождается освобождением Br<sup>-</sup>, и этим способствуют определенной концентрации образованию полноценных сенсibilизирующих ядер в местах, где уже начали образовываться. На фиг. 4 приведено влияние Br<sup>-</sup> на изменение светочувствительности Ф. э. в процессе II созревания (I—KBr на  $10^3$  AgBr, 2—1KBr на  $10^3$  AgBr, 3—5KBr на  $10^3$  AgBr, 4—20KBr на  $10^3$  AgBr) (Керролл и Гоббард, 1932).

А м м и а к — необязательный компонент при синтезе Ф. э.; обычно он применяется для получения высокочувствительных эмульсий и вводится в реакционную смесь в виде раствора с AgNO<sub>3</sub>; предельное количество его — соответствующее полному растворению гидрата окиси серебра (полное аммирирование). Как правило аммиак участвует только в I созревании; роль его сложная и полностью не выяснена; с одной

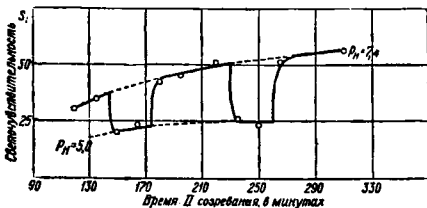


Фиг. 4.



стороны, он влияет на растворимость  $AgBr$ , с другой, — обуславливает реакцию среды.

Концентрация водородных ионов  $[H^+]$  может резко меняться в реакционной смеси I и II созревания: при аммиачном методе в процессе I созревания  $R_n = 10 \div 12$ , во втором —  $R_n = 5 \div 7$ ; при безаммиачном методе  $R_n = 5 \div 7$  в обеих стадиях.  $[H^+]$  влияет непосредственно на фотохимию, природу зерен  $AgBr$ , особенно при адсорбции  $OH^-$  (Фаянс, 1925; А. Рабинович и Х. Багдасарян, 1932), и через посредство влияния на скорость образования изоморфных  $AgBr$  веществ, следовательно сенсibilизирующих ядов. При изменении  $R_n$  в процессе созревания наблюдается обратное действие на светочувствительность  $\Phi. \varepsilon.$ , как это видно из фиг. 5 (Роулинг, 1927);



Фиг. 5.

в этих опытах  $R_n$  изменялась между значениями 5 и 7,4; другие свойства фотографич. эмульсии при этом не меняются.

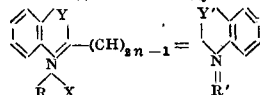
Количество  $AgJ$  в  $\Phi. \varepsilon.$  колеблется  $1 \div 7\%$ ; чисто бромосеребряных  $\Phi. \varepsilon.$  в практике не применяется, что указывает на важное значение  $AgJ$ . Введение  $AgJ$  в  $\Phi. \varepsilon.$  производится обычно путем одновременного осаждения, для чего в желатиновом растворе должна присутствовать вместе с бромистой иодистой соль ( $KJ$ ), однако подучаются  $\Phi. \varepsilon.$  с одинаковыми свойствами, если в желатиновом растворе предварительно осадить  $AgJ$  или ввести иодосеребряную эмульсию, причем степень дисперсности последней не оказывает существенного влияния. Это указывает, на то, что 1) при одновременном осаждении вначале вследствие малой растворимости выделяется  $AgJ$ , частицы которого играют роль центров конденсации для  $AgBr$ , и 2) при введении готового  $AgJ$  различной степени дисперсности происходит одинаковое распределение его, причем механизм этого процесса не установлен. Детальное изучение влияния количества  $AgJ$  (В. Чельцов и Н. Макаров, 1931) указывает на то, что в процессе физического созревания  $AgJ$  играет роль буферного вещества, поддерживающего число центров конденсации, следовательно степень дисперсности твердой кристаллич. фазы. При увеличении относительного количества  $AgJ$  наблюдается прохождение через максимум степени дисперсности, причем положение максимума зависит от избытка бромистой соли — с увеличением последнего максимум смещается к  $0\% AgJ$ . В согласии с этим количество  $AgJ$  является средством влияния на разрешающую способность  $\Phi. \varepsilon.$ , как это видно из данных табл. 9 (К. Чибисов и Н. Макаров, 1932).

Табл. 9. — Влияние  $AgJ$  на разрешающую способность  $\Phi. \varepsilon.$ 

Количество $AgJ$ в мол. . . . .	0	1	2	3	5
Коэф. контрастности . . . . .	1,27	1,76	1,66	1,29	1,27
Разрешающая способность, R . . . . .	32	40	44	40	60

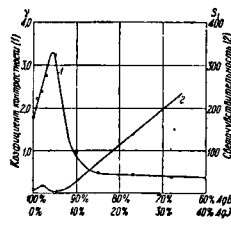
Увеличение степени дисперсности ведет к росту коэф. контрастности  $\gamma$ , при уменьшении же наблюдается увеличение светочувствительности  $S_f$  (фиг. 6). Отсюда видно также, что  $AgJ$  оказывает влияние на химич. созревание; это происходит не только через посредство физич. созревания, но и непосредственно вследствие увеличения адсорбирующей способности по отношению к сенсibilизаторам желатины (Шепард, 1926); кроме того  $AgJ$  д. б. причиной деформаций и внутренних напряжений в зерне, что может оказывать влияние на элементарный фотохим. процесс, т. е. вызывать смещение порога спектральной светочувствительности в длинноволновую область (Тривелли и Шепард, 1920; Шепард, 1928). В  $\Phi. \varepsilon.$  для позитивных светочувствительных слоев (диапозитивных пластинок, позитивной киноплени и фотобумаг) кроме  $AgBr$  и  $AgJ$  вводится  $AgCl$  ( $0 \div 100\%$ , т. е. применяются иногда чисто хлоросеребряные  $\Phi. \varepsilon.$ ).

Оптические сенсibilизаторы сообщают  $\Phi. \varepsilon.$  чувствительность к лучам длинноволновой части спектра: порог спектральной светочувствительности  $\Phi. \varepsilon.$  без их введения лежит около  $\lambda = 500 \text{ м}\mu$ , с применением же оптич. сенсibilизаторов м. б. получены  $\Phi. \varepsilon.$ , не только чувствительные к лучам всего видимого спектра, но даже к инфракрасным лучам. В качестве оптических сенсibilизаторов применяются красители: кислые — производные флуоресцина и осовные — дианиновые красители; в первых окрашенным является анион, во вторых — катион. Под дианиновыми красителями объединяются соединения следующего строения:



где  $Y$  и  $Y'$  м. б. равны не только группе  $-\text{CH}=\text{CH}-$ , как в случае хинолиновых производных, но также и другим группам, напр. с серой (в последнее время большое внимание уделяется именно тиодианинам);  $X$  — галлоид. В фотохимич. промышленности особенно широкое применение находят эритрозин и хинодианины (ортохром, пинахром, пинавердол и пинадианол); для сенсibilизации к инфракрасным лучам применяются криптоцианин и неоцианин.

Сенсibilизация осуществляется в результате адсорбции красителя на поверхности зерен  $AgBr$  (Шепард и сотрудники, 1928, 1932). Однако адсорбируемость является необходимым, но недостаточным свойством красителя. При изучении адсорбции оптических сенсibilизаторов было установлено (А. Рабинович и сотрудники, 1932—33) наличие в изотерме адсорбции в области малых концентраций б. или м. ясно выраженной площадки, т. е. области, где количество адсорбированного красителя не зависит или мало зависит от концентрации его в растворе. Практически применяемые концентрации оптич. сенсibilизатора соответствуют указанной области. Адсорбция зависит от  $R_n$  и избытка  $Br^-$  и  $Ag^+$ , как видно из табл. 10 (Шепард, Ламберг и Кинан, 1932).

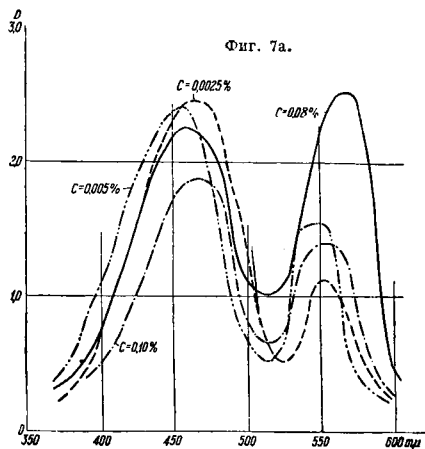


Фиг. 6.

Табл. 10.—Зависимость адсорбции оптических сенсibilизаторов от  $R_H$  и избытка  $Bv'$  и  $Ag'$ .

Краситель	$R_H$	Избыток $Bv'$	Избыток $Ag'$
Пипацинол (основ. крас.)	5,0	Слабая адсорбция	Сильная адсорбция
	7,5	Сильная адсорбция	Нет адсорбции
Дихлорфлуо рещени (иссл. красит.) . . .	5,0	Нет адсорбции	Сильная адсорбция
	7,5	Нет адсорбции	Слабая адсорбция

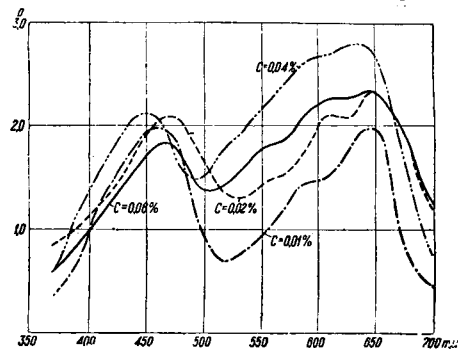
Адсорбция основного красителя в присутствии  $Ag'$  указывает на возможность комплексообразования. Эффект сенсibilизации зависит от количества красителя: при введении красителя в Ф. э. появляется дополнительная полоса спектральной светочувствительности; интенсивность ее при увеличении концентрации  $C$  красителя сначала увеличивается, а затем уменьшается, как это видно из фиг. 7а — сенсibilизация эритрозином и фиг. 7б — пипацинолом (Отзширо, 1923; А. Побединская и С. Пулина, 1932). Это явление зависит видимому от экранирующего действия красителя. При введении оптич. сенсibilизаторов Ф. э. оптимальная концентрация колеблется  $0,02 \pm 0,06\%$  от количества  $AgNO_3$ ; в случае криптианина и неопианина должны применяться значительно меньшие количества. Механизм передачи энергии при сенсibilизации в точности не установлен.



Фиг. 7а.

В числе используемых для регулирования свойств Ф. э. факторов на первом месте стоит способ эмульсификации; для получения Ф. э., применяемых с проявлением, эмульсификация производится при постоянном избытке растворимого бромида, т. е. реакция двойного обмена производится путем прибавления раствора соли серебра ( $AgNO_3$  или аммиачного раствора  $AgNO_3$ ) к раствору желатина и щелочно-галогенных солей; при таком способе образуются т. наз. Bromkörner —  $(AgBr)Br'$ , т. е. на поверхности зерен адсорбируются  $Bv'$ ; при обратном способе смешивания образуются Silberkörner —  $(AgBr)Ag'$ , которые вызывают вуальобразование при проявлении. Время эмульсификации заметно влияет на дисперсность твердой

кристаллической фазы; для получения высокочувствительных Ф. э. применяется медленная эмульсификация до 10—15 мин. или дробная, т. е. прибавление раствора соли серебра в 2 или 3 приема с б. или м. продолжительными промежутками; этим достигается большая полидисперсность, следовательно большая фотография.



Фиг. 7б.

широта. Время эмульсификации естественно заметно влияет на разрешающую способность Ф. э., как это видно из данных табл. 11 (К. Чибисов и Н. Макаров, 1932).

Табл. 11.—Влияние времени эмульсификации на разрешающую способность Ф. э.

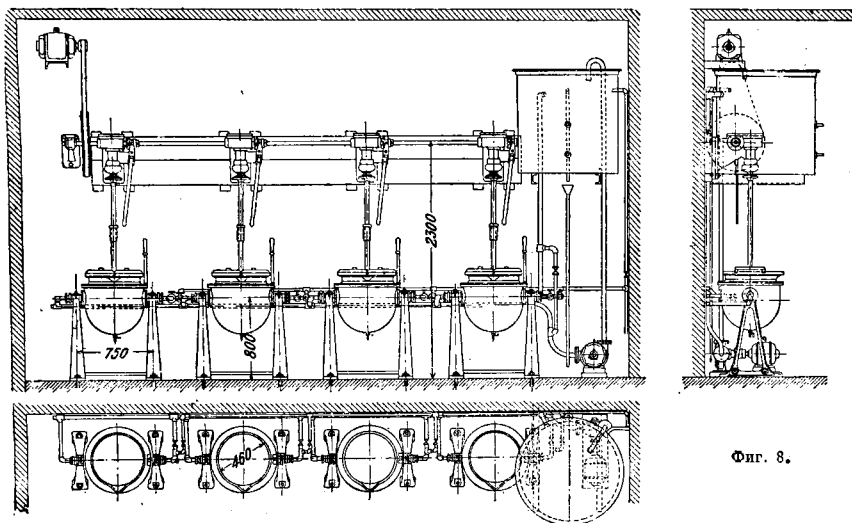
Время эмульсификации в мин. . . . .	0	1	3	4	10	23
Коэф. контрастности, $\gamma$ . . . . .	1,37	1,57	1,13	1,02	0,90	0,34
Разрешающая способность, $R$ . . . . .	55	50	44	44	33	27

Темп-ра реакционной смеси в I и II созревании колеблется при аммиачном методе синтеза  $40 \pm 55^\circ$ ; при безаммиачном — иногда до  $60-80^\circ$ . Повышение  $t^\circ$  увеличивает скорость созревания и при недостаточном контроле является рискованным. Время созревания зависит от условий синтеза и требуемых свойств: при синтезе высокочувствительных Ф. э. время I созревания — ок. 1 ч., время II созревания — до 2—3 часов; в случае малочувствительных эмульсий время сокращается, иногда специально II созревания совсем не применяют — его заменяет в таком случае операция плавления геля после промывания; для получения еще менее чувствительных Ф. э. (для фотобумаг) сокращается также и время I созревания, иногда ограничивается одной эмульсификацией. Можно применять фракционированное I созревание, т. е. в различные моменты времени брать фракции Ф. э. и после смешивания и промывания подержать II созреванию; этот метод до некоторой степени аналогичен дробной эмульсификации и дает возможность получать особый тип Ф. э. с постоянно возрастающим градиентом плотности. Наконец важное значение в фотохимии. производстве имеет метод смешивания готовых Ф. э. — он дает возможность до известной степени сочетать противоречащие свойства, например мелкозернистость и высокую чувствительность. Смешивание поднимает расчету — в случае двух Ф. э. может быть применен общий метод бинарных смесей (С. Шувалов и А. Бромберг, 1933). Разбавление Ф. э. регулируется с начала II созревания или в конце его в зависимости от способа нанесения

на подложку (стекло или гибкие подложки). Готовая Ф. э. в виде геля и даже в воздушно-сухом состоянии не представляет системы в устойчивом равновесии; в том и другом случае имеет место замедленный процесс химич. созревания (Керролл и Гоббарт, 1931; К. Чибисов и соавт., 1933). Выдерживание Ф. э. в виде геля применяется иногда как метод дозревания.

Технологический процесс производства Ф. э. складывается из следующих операций: 1) составление исходных растворов, 2) эмульсификация и I созревание, 3) студение и выдерживание геля при низкой  $t^{\circ}$ , 4) промывка геля, 5) плавление и II созревание, 6) студение и хранение готовой Ф. э. в виде геля, 7) смешивание, плавление и введение добавок и 8) фильтрация и нанесение на подложку. Для нек-рых Ф. э. отдельные операции могут выпадать: напр. II созревание при приготовлении малочувствительных Ф. э., промывание в случае Ф. э. для нек-рых сортов фотобумаг. Про-

ками и внешним обогревом; из них запасные емкости будут подаваться в аппараты для эмульсификации и I созревания. Для синтеза Ф. э. применяют глиняные, фарфоровые и металлич. сосуды; из металлов употребляются серебро и никель в чистом виде или в виде достаточно толстого покрытия; в настоящее время начинают применяться нержавеющая сталь; металлич. сосуды являются более удобными вследствие их большой теплопроводности. Эмульсификация и I созревание производятся в горшках емкостью 25–50 л с ручным перемешиванием; в настоящее время переходят на металлич. сосуды с механич. мешалками; на фиг. 8 показан эмульсионный агрегат для процесса созревания, состоящий из цилиндрич. сосудов с полусферич. дном, к-рые имеют внешнее обогревание посредством водной рубашки; горячая вода с определенной и постоянной  $t^{\circ}$  перекачивается помпой из сосуда, где имеет место автоматич. терморегулирование. Аналогичные аппараты применяются и

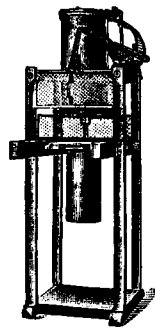


изводство Ф. э. очень мало механизировано, и лишь в последнее время процесс реконструируется и начинают вводиться в практику новые аппараты и приспособления, которые позволяют вести синтез в больших количествах, получая однородные партии Ф. э.

Составление исходных растворов производится на дистиллированной воде обычно в стеклянной посуде; расплавление желатины, к-рая будет участвовать при эмульсификации и в I созревании, производят чаще всего в сосудах для I созревания. Исходные растворы целесообразно фильтровать, однако вследствие необходимости введения желатины в несколько порций уже фильтруются готовые Ф. э. Желатина обычно вводится в три приема: первая порция участвует в процессе эмульсификации, концентрация колеблется 1–5%; вторая порция, обычно в сухом виде, вводится в реакционную смесь в конце I созревания для ускорения студения и наконец третья порция—в начале II созревания. В настоящее время предполагают ввести специальные дозировочники—цилиндрич. сосуды с полусферич. дном, снабженные мешал-

ками для II созревания и отличаются они лишь по емкости. Новые конструкции этих аппаратов предусматривают объемы 200–300 л Ф. э. После прибавления второй порции желатины Ф. э. д. б. превращена в гель и затем промыта; студение можно производить в тех же горшках, в к-рых велось созревание, охлаждая их ледяной водой; в настоящее время для ускорения студения стали применять неглубокие юветы, куда разливается Ф. э. Предложено еще более усовершенствовать эту операцию: для этого Ф. э. будет подвергаться сначала предварительному охлаждению до  $\sim 25^{\circ}$  в специальном аппарате и затем поступать на вращающийся и охлаждаемый снизу диск, где она будет размазываться при помощи особой фильеры слоем в 4 мм и за время одного оборота (ок. 1 мин.) застывать; гель будет срезаться в виде «червяков» (сечением 16–36 мм<sup>2</sup>) ножами особого устройства. Измельчение Ф. э. производится для ускорения промывания. В настоящее время червяки получают путем продавливания студия через решетку на особом прессе (фиг. 9). Перед промыванием для большей крепости червя-

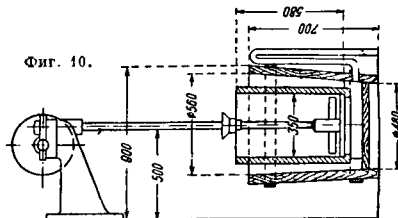
нов целесообразно гель выдержать при низкой  $t^{\circ}$  ( $2-4^{\circ}$ ) около суток. Промывание производится весьма primitивно: червяки помещают в небольшие мешки, которые подвешиваются в деревянных сосудах с циркулирующей водой; в настоящее время переходит на специальные промывные аппараты (фиг. 10), в к-рых червяки загружают в сосуды с решетчатым дном; аппараты снабжены мешалками. Еще более совершенным будет конструируемый промывной аппарат барабанного типа: червяки загружают во вращающийся барабан, разделенный радиальными перегородками; при медленном вращении из нижнего отделения вода выливается и ватем при дальнейшем повороте барабан снова наполняется водой; т. о. промывание будет производиться отдельными порциями воды, что экономит воду и улучшает промывку. Для промывания долж-



Фиг. 9.

на применяться артезианская или биологически очищенная вода при  $t^{\circ}$  не выше  $10-12^{\circ}$ . После промывания необходимо дать стечь лишней воде, что занимает обычно до 1-3 ч. II созревание

Готовые партии Ф. э. из запаса могут смешиваться для получения определенных свойств фотоматериала. После смешивания и расплавления к Ф. э. прибавляют нек-рые добавки, имеющие целью 1) повысить термоустойчивость слоя, 2) облегчить полив и в 3) создать желаемую спектральную



Фиг. 10.

светочувствительность. Для осуществления первой цели применяется задубливание (квасцы алюминевые или хромовые и формалин), для второй — изменение поверхностного натяжения (сапонин, альборит и др.) и наконец для осуществления третьей цели применяют оптич. сенсibiliзаторы. Перед поливом Ф. э. фильтруется через фланель или батист, для чего применяются специальные фильтрующие аппараты вакуумного типа или под давлением. Все процессы должны производиться при неактивном освещении. В настоящее время СКС ФОКХТ разработан проект большой киноплочной ф-ки, где в эмульсионном цехе будут механизированы не только отдельные операции, но и промежуточные этапы — подача растров, переброска полуфабриката из одного места в другое и пр. Созревание Ф. э. будет производиться в аппаратах, снабженных светонепроницаемыми крышками, следовательно они могут быть размещены в светлых помещениях; в темных помещениях рационализировать неактивное освещение как в смысле спектрального состава, так и распределения источников света.

Табл. 12.—Рецептурные данные для Ф. э.

Компоненты и факторы синтеза	Аммиачный метод		Безаммиачный метод (малочувств.)	Примечание
	Высоко-чувств. Ф. э.	Малочувств. Ф. э.		
Концентрация желатиниз в реакц. смеси I созревания в %	1÷4	4	4	Перед остудиванием доводится до 10%
Избыток КВг в реакц. смеси I созрев. в мол. %	25÷50	12,5÷25	25÷50	
Количество КJ (для образования AgJ) в мол. %	3÷5	1	1	При аммиачном методе применяется аммиачный раствор $AgNO_3$
Количество соли Ag в I созрев. из расчета на $AgNO_3$ в %	12	8	5	
Соотношение объемов при эмульсификации	—	1:1	1:1	
Соотношение объемов при дробной эмульсификации Темп-ра при эмульсификации и в I созревании	2:2:1 50°	— 45°	— 45-50°	
Время эмульсификации в мин.	1-я порция: 4-8; 2-я: 2-4	момент.	момент.	} Раствор солей и желатиниз — 1-я порция; соли Ag — 2-я порция
Время I созревания в мин.	75	30÷60	30÷60	
Соотношение объемов реакции смеси I и II созревания	1,2,75	1,2,75	1,2,75	При дробной эмульсификации: после 1-й порции 45 мин.; после 2-й — 30 мин. В случае Ф. э. для киноплочки соотношение объемов: 1:1,5+1:2
Концентрация желатиниз во II созревании в %	6-7	6-7	6-7	
Темп-ра реакц. смеси во II созревании	45°	45°	45°	Концентрация желатиниз 10-12%. В случае Ф. э. для бумаги соотношение объемов: 1:1+1:5
Время II созревания в час	1÷3	1÷2	1	

начинается расплавлением геля и прибавлением третьей порции желатиниз и избытка бромида. После II созревания Ф. э. готова для нанесения на подложку, однако часто ее оставляют после остудивания храниться в холодильных камерах.

ми в области синтеза, выполняющимся в Научно-исследовательском кино-фотоинституте (Москва). В случае безаммиачного метода можно рекомендовать для увеличения кроющей способности вводить путем дополнительного ссаждения во

II созревании AgCl в количестве 5—10 мол. % при обязательном избытке хлорида — 25 NaCl на  $10^3$  AgBr; в остальных случаях в реакционной смеси II созревания м. б. избыток бромида (5—10 КВг на  $10^3$  AgBr). Высокочувствительная Ф. э. предназначается для получения негативных изображений; для получения меньшей светочувствительности следует применять эмульсификацию в один прием в течение 2—4 мин. Малочувствительные Ф. э. предназначаются для получения позитивных изображений. Абсолютное значение светочувствительности зависит от природы желатин. Для получения ортохроматич. Ф. э. следует применять эритрозин, вводя его перед эмульсификацией и в начале II созревания по 0,02—0,04% от количества AgNO<sub>3</sub> для панхроматич. Ф. э. — ортохром и пинацанол по 0,02% или один пинацанол до 0,04% в готовую Ф. э. (перед поливом). В последнее время для получения панхроматич. Ф. э. пром-сть СССР начинает применять тиоцианиновые красители, синтез которых разработан в Украинском институте прикладной физико-химии (Харьков).

Лит.: Мяхайлов В. и Шкулин А., Химия и технология светочувствительных материалов, М., 1933; Ангерер Е., Научная фотография, пер. с нем., Л., 1933; Уолл Э., Фотографические эмульсии, пер. с англ., Л., 1931; Вегтгелл Ф., Фотохимическая промышленность, пер. с нем., Л., 1930; Савостьянов А. М., О физической природе latentного фотографического изображения, «Успехи физических наук», прикл. химия, т. 4, вып. 3, М., 1934; Чибисов К., Механизм образования скрытого и видимого фотографического изображения, там же, т. 10, вып. 3, М., 1930; его же, Состав и строение светочувствительной эмульсии, «Продст. фото», вып. 1, М., 1932; его же, Основы теории синтеза фотографической эмульсии, там же, вып. 12, М., 1933; его же, Физико-химическая интерпретация светочувствительности фотографических эмульсий, «Труды прикл. химии», т. 1, вып. 1, М., 1933; его же, Физико-химическая интерпретация процесса созревания фотографической эмульсии, «Фотониохимическая промышленность», сб. 2, М., 1933; Бониник Я., Современное состояние вопроса о сенсбилизации фотографических слоев, там же, сб. 2, М., 1933; Шувалов С. и Бромберг А., Смешивание фотографических эмульсий, там же, сб. 2, М., 1933; Мяхайлов В., О влиянии возраста созревания на фотографические свойства галлоидо-серебряных эмульсий, там же, сб. 3, М., 1933; его же, О влиянии промывки на светочувствительные галлоидо-серебряные эмульсии, там же, сб. 4, М., 1933; Чибисов К., Основы теории синтеза фотографических эмульсий, «Кино-фотопромышленность», сб. 1, М., 1932; его же, Исследование синтеза фотографических эмульсий, «Труды НИИ ФФ», вып. 1, М., 1932; Рабинович А. и Титов А. К вопросу о природе фотографической активности желатина, там же, вып. 2, М., 1933; Бекуюров В., Влияние гидролиза желатина на фотографические свойства эмульсий, там же, вып. 2, М., 1933; Рабинович А. и Багдасарьян Х., Влияние концентрации водородных ионов на светочувствительность свободного от ноллоидов AgBr, там же, вып. 2, М., 1933; Мяхайлов В. и Чибисов К., Исследование синтеза фотографических эмульсий (II. Кислый метод синтеза), там же, вып. 2, М., 1933; Чибисов К. и Чельцов В., Исследование оптической сенсбилизации при синтезе фотографических эмульсий, там же, вып. 2, М., 1933; Цуканин М. и др., О химическом строении и синтезе сенсбилизаторов цинциновой группы, там же, вып. 2, М., 1933; Рабинович А. и сотр., Исследования в области оптической сенсбилизации солей серебра, там же, вып. 2, М., 1933 и вып. 3, М., 1934; Бониник Я., Исследование комплексобразования при хроматической сенсбилизации, там же, вып. 3, М., 1934; Бекуюров В., О связи между восстановительной и вуалзирующей способностями желатина, там же, вып. 3, М., 1934; Чибисов К. и Мяхайлов В., Исследование зависимости способности фотографических эмульсий в зависимости от условий синтеза, там же, вып. 3, М., 1934; Чибисов К., Пообединская А. и Пулина С., К вопросу о строении фотографических эмульсий, там же, вып. 3, М., 1934; Чибисов К. и Мяхайлов А., Физико-химический механизм процесса созревания фотографической эмульсии, там же, вып. 3, М., 1934; Чердынцев С. В., Статистическое исследование зерен фотографических эмульсий, «Труды ГОИ», т. 9, вып. 88, Л., 1933; Eders Ausfuhr. Hndb. d. Phot., B., T. 1, Die Grundlagen der photographischen Negativverfahren, von Lüp-

po-Cramer, 3 Aufl., Halle a/S., 1927; *ibid.*, B. 3, T. 1, Fabrikation d. photographischen Platten, Filme u. Papiere, von Wentzel E., 3 Aufl., Halle a/S., 1930; Hndb. d. wiss. senschaftlichen u. angewandten Photographie, hrsg. v. A. Hay, B. 4, Erzeugung u. Prüfung lichtempfindl. Schichten, Lichtquellen, von M. Andresen u. and., W., 1930; *ibid.*, B. 5, Die theoret. Grundlagen d. photogr. Prozesse, v. W. Meldinger, W., 1932; Sheppard S., The Formation of the Photographic Latent Image, «Photogr. Journ.», v. 68, 9, Sept., 1923; Sheppard S., Ueber photograph. Empfindlichkeit, latentes Bild u. Entwicklung, «Bericht. üb. d. VII intern. Kongress f. wiss. u. angew. Phot.», (Dresden, 1931), I, p. 1935; Carroll B. a. Hubbard D., The Photographic Emulsions: A Sensitivity, *ibid.*, v. 8, Apr., 1932; Carroll B. a. Hubbard D., The Photographic Emulsions: Analysis for Nonhalid Silver a. Soluble Bromide, *ibid.*, v. 8, June, 1932; Carroll B. a. Hubbard D., The Photographic Emulsions: Variables in Sensitization by Dyes, *ibid.*, v. 8, Oct., 1932. К. Чибисов.

**ФОТОПЛАСТИНКИ**, листы стекла определенной формата, полные светочувствительной фотографической эмульсией (см.). Толщина эмульсионного слоя на Ф. 0,018—0,022 мм. Ф. применяются для получения изображений при помощи фотоаппаратов. В виду очень большого числа конкурирующих между собой фирм в обращении имеются фотоаппараты весьма различных размеров, что обуславливает необходимость выпуска Ф. большого числа форматов (табл. 1).

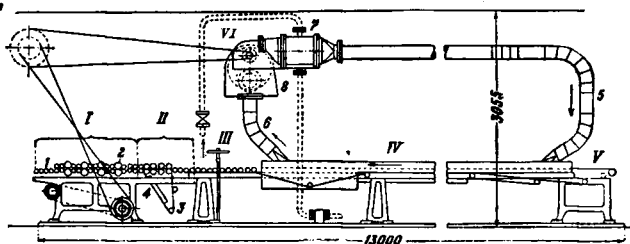
Табл. 1. —Стандартные форматы Ф. и размеры и допуски фотостекла.

Группа	Номинальные форматы Ф. в см	Размеры стекла в мм		Допуски для стекла в мм		
		длина и ширина	толщина	в длину и ширине	в толщине	
I	9×12; 6×9; 4,5×6	88,5×118,5	0,8	±0,25	±0,1	
	4,5×10,7; 6×13; 6,5×9					106,5×178,0
	8,5×8,5; 9×12; 6×9; 4,5×6					84,0×168,0
	10×15					99,0×149,0
	12×16,5					119,0×164,0
	9×12; 6×9; 13×18; 6×13; 6,5×9					119,0×178,0
II	10×15	149,0×198,0	1,2	±0,5	±0,2	
	12×16,5					164,0×238,0
	8,5×8,5					168,0×168,0
	9×18; 9×9					178,0×178,0
	9×12					178,0×238,0
	18×24					178,0×238,0
III	13×18	178,0×258,0	1,6	±0,5	±0,2	
	10×15					198,0×238,0
	10×16,5					238,0×328,0
	24×30					238,0×398,0
	30×40					238,0×398,0
	40×50					398,0×498,0
IV	50×60	498,0×598,0	1,8	±0,5	±0,2	

Производство Ф. Техника изготовления Ф. в основном заключается в подготовке стекла, нанесении на него светочувствительной эмульсии, сушке и сортировке. Подготовка стекла состоит из мытья и нанесения на вымытое стекло специального промывочного подслоя, связывающего со стеклом светочувствительную эмульсию. В настоящее время обе эти операции производятся на моечно-подслоной машине, изображенной на фиг. 1. Последняя состоит из следующих частей: I — моечная часть

*II* — горячий ковер, *III* — поливная часть, *IV* — сушильный канал, *V* — съемный столик, *VI* — сушильно-вентиляционный узел. Моечная часть состоит из ряда покрытых абонитом валиков 1, между которыми расположены четыре пары круглых щеток 2. Подкладываемые в машину пластин-

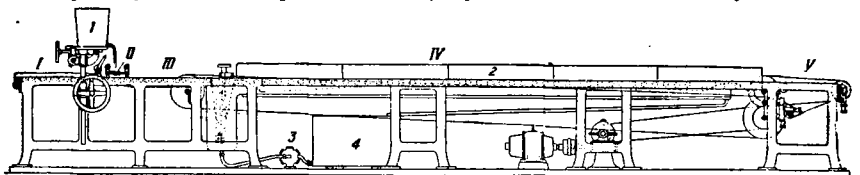
машина представляет транспортер, состоящий из валиков и бесконечного полотна, по к-рому непрерывной лентой движутся пластинки. Наиболее ответственной частью является каскад — поливное приспособление. Светочувствительная эмульсия поступает из горшка 1 через регулятор



Фиг. 1.

ки валиками подводятся под быстро вращающиеся щетки и поливаются водой; вымытые пластинки подводятся к горячему коверу *II* — бесконечному полотну, натянутому на валики, из к-рых нижний 3 нагревается электричеством или паром; 4 — горячий утюг-плита, нагреваемая элек-

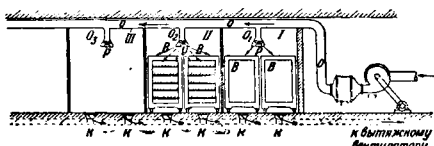
трешеством, для высушивания полотна. Пластинки, попадая на горячий ковер, вытираются валиками, обтянутыми материей, свободно лежащими на горячем ковре, и поступают на поливную часть машины *III*. Здесь под валиками находится каскад-желобок, в который наливается подслои. Подслоенное стекло поступает в сушильный канал *IV*, в к-рый через трубу



Фиг. 2.

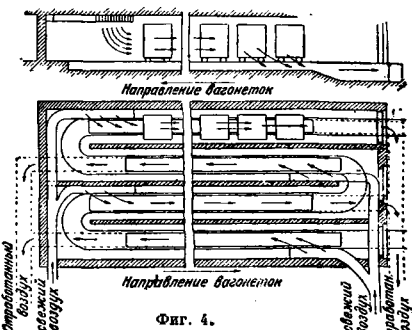
5 вдувается горячий воздух ( $t^{\circ} 70^{\circ}$ ), а через трубу 8 он отводится. Циркуляция, подогрев и фильтрование воздуха достигаются при помощи сушильно-вентиляционного узла *VI*, состоящего из калорифера 7, вентилятора и фильтра. Подслоенные сухие пластинки снимают со столика *V* и оставляют остывать в обеспыленном помещении. Рецепт подслоя: 60 г желатины, 45 см<sup>3</sup> хромовых квасцов (1 : 10), 400 см<sup>3</sup> спирта, 12 л воды дистиллированной. Остывшие подслоенные пластинки поступают на полив светочувствительной эмульсией. Для полива служит поливная машина (фиг. 2). Она состоит из следующих частей: *I* — подающий столик, *II* — каскад, *III* — моющие валики, *IV* — канал для остудевания, *V* — съемный столик. В основном

стинки снимают, ставят на специальные станочки, помещают последние на вагонетки и вводят в сушилки. Сушка является весьма ответственной операцией, от которой в значительной степени зависит качество Ф. Существует несколь-



Фиг. 3.

ко типов сушилок, из к-рых главнейшие: 1) камерная (фиг. 3), 2) канальная (фиг. 4), 3) вращающаяся. Первая представляет ряд камер — *I*, *II*, *III*, в которые вдвигаются вагонетки *B*. Воздух подается вентилятором через калорифер по трубе *O* и патрубки *O*<sub>1</sub>, *O*<sub>2</sub>, *O*<sub>3</sub>, имеющие на конце пропеллеры *p*. Влажный воздух удаляется через каналы *K*. Недостатком камерной сушилки является неоднородность и длительность сушки и периодичность работы. В каналь-



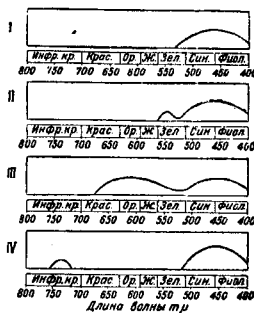
Фиг. 4.

ной сушилке пластинки движутся бесконечное полотно, в нижней части находящееся в плоской ванне с ледяной водой 2; последняя для поддержания низкой температуры при помощи насоса 3 все время прогоняется через ящик со льдом 4. Застудевшиеся пла-

ной сушилке вагонетки непрерывно движутся навстречу току воздуха, направление которого на фиг. 4 показано стрелками. Помимо удобства работы эта сушилка позволяет в различных местах иметь необходимый режим сушки. Вращающаяся сушилка представляет вертикальную этажерку, на к-рой в особых станочках ставят пластины; после этого сушилка приводится в быстрое движение. Во всех сушилках  $t^{\circ}$  поступающего воздуха 25—35°. Высушенные пластины сортируются, складываются парно (эмulsionной стороной внутрь), отсчитываются по 12 шт., заворачиваются в парафиновую, потом черную бумагу и укладываются в коробки.

Сорта Ф. Готовые Ф. исследуются при помощи специальных приемов, называемых *сенситометрией* (см.). Главнейшие показатели фотографич. свойств Ф.: а) светочувствительность  $S$ , б) контраст  $\gamma$ , в) вуаль  $D_0$ , г) величина участка правильной светопередачи — широта —  $L$ . Классификация Ф. по сортам производится на основании следующих признаков — светочувствительности, цветочувствительности, применения. До последнего времени твердого критерия для деления Ф. на сорта по светочувствительности не существовало. В 1933 г. для фотопромышленности были приняты следующий ассортимент Ф. (табл. 2).

явлении следует пользоваться красным цветофильтром. 2) Ортохроматические пластинки путем введения в эмульсию эритрозина или ортохрома Т очувствлены также к желто-зеленым лучам (фиг. 5, II). При проявлении следует пользоваться темно-красным светофильтром. 3) Панхроматические пластинки путем введения цианиновых красителей очувствлены к красно-оранжевым и красным лучам (фиг. 5, III). Для проявления следует применять зеленый светофильтр. 4) Инфракрасные пластинки очувствлены к невидимым инфракрасным лучам (фиг. 5, IV). Для проявления следует применять зеленый светофильтр. 5) Изохроматические пластинки имеют приблизительно равную чувствительность ко всем лучам спектра за исключением сине-



Фиг. 5.

Табл. 2.—Характеристики фотопластинок.

Сорт	S по Н. & D.	$\gamma$ для 8-мин. проявления	$D_0$		Другие характеристики	
			Значение $\gamma$	Условия определения при		
<b>А. Массовые сорта</b>						
1. Обыкновенные:						
а) нормальные	100 ± 25%	1,3 ± 10%	0,10	$\gamma=1$	} $L=32$	
б) контрастные	100 ± 25%	1,6 ± 10%	0,10	$\gamma=1$		
2. Высшей чувствительности:						
а) нормальные	200 ± 25%	1,1 ± 10%	0,15	$\gamma=1$		
б) контрастные	200 ± 25%	1,5 ± 10%	0,15	$\gamma=1$		
3. Навышей чувствительности:						
	400 ± 25%	0,8	0,25	$\gamma=1$		
<b>Б. Специальные сорта</b>						
1. Репродукционные	20 ± 50%	1,2	0,10	8 мин.	} $L < 16$	
2. Фотомеханические	2	2,5	0,15	8 "		
3. Цианиновые	1—3	2,0*	0,07	4 "		
4. Рентгеновские	50 ± 20%	2,0	0,20	8 "		
* Для 4-минутного проявления.						

Ф. чувствительны главным образом к сине-фиолетовой части спектра; между тем для глаза наиболее яркой является желто-зеленая часть. Для того чтобы улучшить светопередачу, изготавливают пластины, обладающие улучшенной светопередачей, приближающейся к визуальному восприятию. Достигается это путем введения соответствующих красителей в фотомульсию или купанием готовых пластинок в растворах красителей (см. *Сенситизация*). Каждый из приведенных в табл. 2 сортов может быть очувствлен к какой-нибудь зоне спектра или ко всему спектру, поэтому может иметь следующую цветочувствительность: 1) Обыкновенные пластинки, имеющие чувствительность гл. обр. к сине-фиолетовым лучам (фиг. 5, I). При про-

фиолетовых, где чувствительность остается выше. Проявлять следует в полной темноте. 6) Растровые пластинки для цветной фотографии представляют изохроматическую эмульсию, нанесенную на стекло, имеющее специальный подслои, состоящий из мелких цветных зернышек величиной 0,01—0,02 мм. В этом случае стекло сначала покрывают липким слоем, на него наносит цветные зернышки (растр), потом слой, защищающий растр от действия растворов, служащих для проявления и фиксации, и наконец наносят светочувствительный изохроматический слой. Составление пластинок различной цветочувствительности дано в *Спр. ТЭ*, т. IX, стр. 314, где приведены фотографии спектра на пластинках разной цветочув-

ствительности. При съемке на Ф. ярких объектов световой луч проходит светочувствительную эмульсию насквозь, отражается от стекла, преломляясь в нем, и идет обратно уже иным путем, вследствие чего около ярких пятен получается сияние — ореолы. Для предупреждения этого явления между стеклом и эмульсией наносит промежуточный слой, состоящий из веществ, поглощающих свет. При проявлении и фиксировании эти вещества растворяются. Пластинки, имеющие такой подслоя, называются противореолоными или м. и. В качестве противореолоного подслоя применяют: а) чаще всего перекись марганца, суспендированную в желатине (советские пластинки), б) окрашенные желатиновые слои, в) нечувствительную галоидо-серебряную эмульсию. Подлив подслоем производится на той же машине, на которой пластинки поливаются эмульсией.

Лит.: Михайлов В., Производство фотопластинки, М., 1934; Михайлов В. и Шкули А., Химия в технологии светочувствительных материалов, М., 1933; Шкули А., Экскурсии по фотофабрикам, М., 1932; Неллит К., Общий курс фотографии, пер. с англ., т. 1, 2, изд. М., 1932; Истодд Г. в р. т. 6, т. 1, Мархилев К., Курс фотографии, т. 1, М.—Л., 1933; Вентцель Ф., Фотохимия, промышленность, пер. с нем., Л., 1930; Wentzel F., Die Fabrikation d. photographischen Platten, Filme u. Papiere, 6 Aufl., Halle a/S., 1930; Hndb. d. wissenschaftlichen u. angewandten Photographie, hrsg. v. A. Hay, B., 4, W., 1930; В., Михайлов.

**ФОТОПЛЕНКА**, светочувствительные материалы на пластической прозрачной подложке для фотографич. целей. В зависимости от назначения Ф. подразделяется на следующие виды: киноплёнка, употребляемая для производства фильмов (кинокартин), Ф. для аэросъемки — аэроплёнка, или авиапленка, Ф. для рентгенографии, целлулоидно-аэроплёнка и наконец Ф. для любительской фотографии — роллифильм (катушечная Ф.) и пакфильм (форматная Ф.); последние вырабатываются различных сортов в зависимости от качества светочувствительного слоя и конструкции фотоаппаратов. Все эти виды Ф. различаются главным образом характером своего светочувствительного слоя и форматом, тогда как пластич. подложка для них применяется почти одинаковых свойств. Правда, есть ряд попыток организовать в производственном масштабе фабрикации новых видов Ф., к-рые резко отличаются от перечисленных выше. К таким видам прежде всего следует отнести озапанфильм, пластич. подложкой и носителем светочувствительных компонентов в котором является целлофан, металл. позитивные киноплёнки и т. д. (см. ниже). Все виды Ф. состоят из пластич. подложки, т. е. прозрачной пленки, называемой основой, и светочувствительного слоя, представляющего собой галоидосеребряный желатиновый слой *фотографической эмульсии* (см.). Все виды Ф. кроме рентгеноплёнки имеют два таких слоя. Рентгеноплёнка, несущая светочувствительный слой в большинстве случаев с обеих сторон, имеет три слоя. Кроме этих главных слоев все Ф. содержат в себе еще один слой, находящийся между основой и фотоэмульсией, — т. н. подслоя, служащий для удержания светочувствительного слоя на основе. И наконец ряд видов Ф. имеет на основе лаковый или желатиновый слой для противодействия стигмающему усилению фотоэмульсии и на светочувствительном слое — предохранительный слой для предотвращения его от механич. воздействий (парапены, вдавливания). Развитие мировой киноплёночной промышленности едва ли более двух-трех десятков лет. Наиболее крупными зарубежными фирмами, изготовляющими ки-

ноплёнку и другие виды Ф., являются в настоящее время фирмы: «Кодак» (Америка), «Агфа» (Германия), Люмьер (Франция), Ферранья (Италия) и ряд других. В СССР киноплёночная промышленность организована в 1929 г. в Шостке (УССР) производительностью 80 млн. л. м в год и в Переславле-Залесском (РСФСР) производительностью после реконструкции (1935 г.) в 40 млн. л. м в год. Кроме того приступлено к строительству крупной киноплёночной ф-ки в Казани производительностью до 100 млн. л. м в год. В настоящее время нашими ф-ками полностью освоены повыважив и желатиновый ассортимент киноплёнок и ряд других видов Ф. Переславский ф-ка освоила производство новой невоспламеняющейся киноплёнки на основе исследований Научно-исследовательского кино-фотоинститута (НИКФИ). В НИКФИ как ведущем отраслевым ин-те поставлен ряд проблем как в области освоения новых методов фабрикации основы (из простых эфиров целлюлозы, вискозной основы, ацетилацетиленолозана), так и в области освоения нового ассортимента фото-кинопродукции и улучшения качества выпускаемой.

1. **Фабрикация основы для Ф.**  
а) **Способы фабрикации.** Обычно изготовление основы для Ф. всех видов ведут по одному общепринятому методу. Этот метод заключается в том, что эфир целлюлозы (для обычных целлюлоидных плёнок — нитроцеллюлозу, для невоспламеняющейся киноплёнки — ацетилцеллюлозу или смесь обоих эфиров целлюлозы) переводят с помощью растворителя в удобное для отлива основы жидкое коллоидное состояние. В этот раствор вводят вещества, обуславливающие пластические свойства основы; полученный коллоид разливают на зеркальные поверхности соответствующих отливочных машин, где и образуется в результате испарения летучих компонентов самая плёнка, которая на некоторых конструкциях отливочных машин претерпевает еще досушку. Все другие способы изготовления основы или совершенно не имеют производственного значения или распространены настолько слабо, что не могут быть причислены к установившемуся, проверенному в производстве способу. Возможные способы получения основы м. б. классифицированы гл. обр. по виду основного сырья, идущего для фабрикации этой основы. Табл. 1 до некоторой степени характеризует данную классификацию.

Табл. 1.—Способы получения основы для фотоплёнок.

Наименование группы	Вещества, входящие в группу	Способы получения основы
Слонные эфиры целлюлозы	Нитроцеллюлоза, ацетилацетиленолоза, ацетонитроцеллюлоза, формилцеллюлоза	Почти исключительно отливом плёнок из эфирно-целлюлозных растворов
Простые эфиры целлюлозы	Этилцеллюлоза, бензилцеллюлоза	То же
Целлюлоза	Регенерированный целлюлоза, гл. обр. из вискозы (целлофан) Бумажные ленты для позитивной киноплёнки	Обычные методы изготовления целлофановых плёнок (см. <i>Cellophan</i> ) Изготавливают бумажные ленты, укрепляя их механическими свойствами
Различные органич. вещества	Желатина, казеин, продукты полимеризации сложных органич. веществ и др.	Для каждого продукта применяется соответствующий метод (либо отлив плёнки из растворов либо прессование мас-сы и др.)
Металл	Тонкие металлич. ленты для позитивной киноплёнки	Обычные методы получения очень тонких металлических лент



Прозрачная основа для киноленок позволяет проектировать кинофильмы на экран обычным методом, с помощью проходящего света. При методе бумажной или металлической основы приходится пользоваться отраженным светом. Кроме получения Ф. из сложных или простых эфиров целлюлозы заслуживает большого внимания способ изготовления основы из вискозы, т. е. получение целлофановых пленок. Несмотря на их дешевизну и возможность замены для этих Ф. серебра диазокрасителями с азокомпонентами целлофановые пленки обладают большим недостатком — большой гигроскопичностью. Набухание в воде может доходить до 55,5%, в то время как для нитроцеллюлозных пленок, а при соответствующем подборе пластификаторов и качества самого эфира целлюлозы и для ацетилцеллюлозных пленок набухание в воде совершенно незначительно. Для повышения водостойкости целлофановых пленок применяется ряд мер, позволивших осуществить за границей производственный метод фабрики этого сорта основы (специальные методы получения целлофана, обработка годового целлофана, лакировка его и т. п.).

б) Исходные материалы. Все исходные материалы для получения основы можно разделить на три большие группы: основные материалы, растворители и пластификаторы. Основные материалы, растворители и пластификаторы. Основные материалы. Из них наибольшее распространение получила нитроцеллюлоза, растворимая в спирто-эфирной смеси и называемая коллоксилином, а для невоспламеняющейся кинолентки — ацетилцеллюлоза. Коллоксилин, применяемый для основы, содержит в себе обычно 11,85–12,15% N и имеет соответствующую вязкость в растворителе, характеризующую степень деполимеризации частиц (15-секундный \* коллоксилин). Наши советские киноленточные фабрики употребляют коллоксилин с вязкостью, отвечающей весьма ориентировочно 1,45° Э. Коллоксилин должен также обладать полной растворимостью в спирто-эфирной смеси (1:2 объемных единиц), крупноволнокистой структурой (для лучшего растворения), > 0,3% зольности и абсолютно белым цветом волокон. Ацетилцеллюлоза, применяемая для изготовления невоспламеняющейся кинолентки, должна иметь максимальное содержание связанной уксусной кислоты (< 56%  $\text{C}_2\text{H}_3\text{COOH}$ ) при полной растворимости в ацетоне и этилацетате. Повышение процентного содержания связанной  $\text{C}_2\text{H}_3\text{COOH}$  позволяет получить минимальную гигроскопичность ацетатных пленок (варьирующую для различных сортов ацетилцеллюлозы 1,2–25,4% впитывания воды). Понижение гигроскопичности ацетатных пленок достигается также применением оптимальной композиции пластификаторов, основная цель которых — придание пластических свойств пленке. Большое значение для получения высококачественных ацетатных пленок имеет применение высокоацетилированных ацетилцеллюлоз при соответствующем подборе экономически выгодного массового растворителя, т. к. известно, что ацетон не растворяет высокоацетилированные сорта ацетилцеллюлозы. Основные требования к другим свойствам ацетилцеллюлозы примерно такие же, как и для коллоксилина. — Растворители. В ка-

честве растворителей при изготовлении основы применяется сравнительно ограниченный ассортимент органических жидкостей. Основными массовыми растворителями являются следующие: легклетучие жидкости — спирто-эфирная смесь, метиловый спирт, ацетон, этилацетат; тяжеллетучие — бутил- и амилацетат, амидный спирт, бензиловый спирт, бензилацетат и др. Часть этих растворителей применяется только для нитроцеллюлозы, другая часть — для ацетилцеллюлозы. — Пластификаторы. В качестве пластификаторов предложено огромное количество органич. веществ. Однако практич. применение получили из них весьма немногие. Напр. для нитроцеллюлозы применяются почти исключительно камфора и касторовое масло, хотя ряд других веществ является несомненно лучшими пластификаторами (стеараты, фталаты, адипинаты). Для ацетилцеллюлозы наибольшее распространение получили трифенилфосфаты, и трирезилфосфаты, фталаты, триацетин и другие вещества, гл. обр. сульфосоединения. Для практич. ориентировки приводим нек-рые практически оправданные рецепты для составления коллоидного раствора при изготовлении нитроцеллюлозной (а) и ацетилцеллюлозной (б):

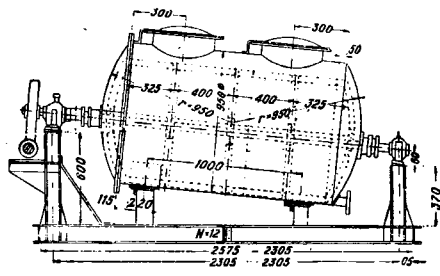
а) Коллоксилина . . . 100 кг	б) Ацетилцеллюлозы 100 кг
Камфоры . . . . . 10 *	Ацетона . . . . . 267 *
Этилового спирта 176 *	Этилацетата . . . . . 133 *
Этилового эфира 211 *	Диэтилфталата . . . . . 6 *
Амидного спирта 8 *	Трифенилфосфата 6 *
Амилацетата . . . . . 8 *	Трирезилфосфата 3 *
Бутилового спирта . . . . . 2 *	Бензилового спирта 6 *

в) Изготовление коллоидного раствора (коллодия). При составлении композиции коллоидного раствора для целлюлоидной или ацетатной пленки необходимо учитывать взаимодействие составных компонентов коллодия; оно влияет как на процесс самого золеобразования, так и на характер пленкообразования. Поэтому мы должны строго различать два главных свойства растворителей: растворяющую способность по отношению к эфиру целлюлозы и степень летучести. В отношении первой все растворители м. б. классифицированы на собственно-растворители (пептизаторы), разбавители (коагуляторы) и противотускнители. К последней группе м. б. отнесены вещества, не растворяющие и не разбавляющие коллодий, но способствующие более равномерному испарению летучих компонентов, при к-ром не происходит помутнения поверхности пленки вследствие конденсации влаги, которое может происходить при сильном охлаждении пространства испарения благодаря улетучиванию таких веществ, как эфир, ацетон и т. п. В качестве противотускнителей рекомендуется обычно амидный спирт или даже свишущие масла. Можно обойтись и без этих компонентов коллодия, если вводить в композицию ряд высококипящих растворителей. Реально составленный реперт коллодия должен обязательно иметь в своем составе высококипящий собственно-растворитель, улетучивающийся последним из состава пленки и удерживающий эфир целлюлозы в растворенном состоянии. Количество разбавителя, прибавляемого в коллодий, определяется прежде всего его коагулирующей способностью по отношению к эфиру-целлюлозному золю. В производстве пленки в качестве разбавителя используется главным образом тот основной массовый растворитель, к-рый принят в той или иной композиции коллодия. Вторым свойством растворителей, обуславливающим оптимальный процесс пленкообразования с точки зрения получения глянце-

\* Стандартный стальной шарик  $\frac{1}{16}$  дюйм. падает в столбе раствора коллоксилина (коллоксилина 12,2%, этилового спирта 22%, этилацетата 17,5% и бензола 48,3%) в стеклянной трубке  $\frac{1}{4}$  дюйм. и длиной 14 дюйм. при 25°. Время прохождения шарика через 10 см. раствора (определяющее вязкость коллоксилина), выраженное в сек. дает соответствующее «секундное» название коллоксилину.

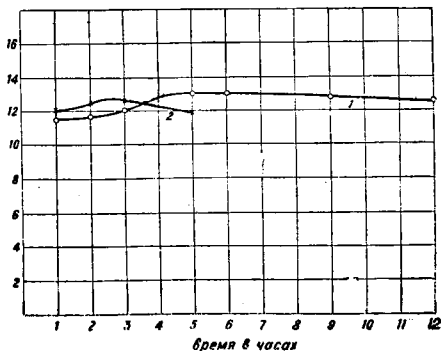
витой поверхности основы, является степень летучести растворителя. Состав композиции коллоидного раствора должен отвечать возможности постепенного испарения ряда растворителей, начиная от легколетучих до тяжелолетучих. Последние входят в состав пленки, давая т. н. остаточный растворитель, обуславливающий прозрачность основы и позволяющий до нек-рой степени улучшить пластические ее свойства.

Процесс образования на основе последних исследований заключается несомненно в химич. (Гесс) и электрхимич. (Хайфилд, Оствальд) взаимодействиях между мидцеллой эфира целлюлозы (вернее полярным и неполярными частями ее) и растворителем. Гесс считает, что в результате этого взаимодействия образуются аддитивные соединения между эфиром целлюлозы и растворителем, растворяющиеся в остальной массе растворителя. Работами Оствальда и его сотрудников, являющимися до нек-рой степени продолжением работ Хайфилда, установлено, что растворяющая способность растворителей эфиров целлюлозы стоит в непосредственной связи с величиной  $\frac{\mu^2}{\epsilon}$ , где  $\mu$  — дипольный момент и  $\epsilon$  — диэлектрич. постоянная растворителя. Так, неактивные растворители имеют  $\frac{\mu^2}{\epsilon}$ , равную значениям 0-0,105, жидкости, вызывающие набухание, 0,115-0,235 и наконец жидкости, вызывающие растворение, 0,251-0,528. С этой точки зрения являются более понятными факты растворения эфиров целлюлозы в смешанных растворителях, которые по Спрингстону являются оптимально действующими в молекулярных соотношениях.



Фиг. 1.

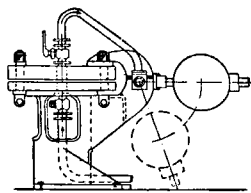
Практика изготовления коллодия сводится к трем основным технологич. операциям: зольобразованию (процессу смешения — малаксажу), освобождению коллодия от механич. загрязнений и наконец удалению пузырьков воздуха.



Фиг. 2.

Процесс малаксажа, проводимый в мешательных аппаратах — малаксах, в значительной степени зависит от качества перемешивания, времени его и от конструкции малаксера. Лучшими

малаксерами надо признать весьма распространенные малаксеры системы Вернер-Иффендерера и обыкновенные малаксеры с мешалками (фиг. 1, малаксер Неймана, состоящий из котла, двух локов для загрузки материала, трубы для выхода массы и мешалки в виде рамы). Худшими являются малаксеры без мешалок, в которых коллоидная масса при вращении всего барабана разбивается о раму, неподвижно укрепленную в барабане. Весьма хорошим типом являются также вертикальные малаксеры с мешалками. Характеристика процесса малаксажа по вязкости образуемого коллодия в зависимости от времени перемешивания и типа малаксера приведена на фиг. 2 (1 — перемешивание вальцованием, 2 — перемешивание мешалками; вязкость выражена в ск. падения шарика в спирто-эфирном растворе коллоксилина). Освобождение коллоидного раствора от механич. загрязнений производится с помощью фильтрпрессов различных типов. Из них наибольшего внимания для практики производства основы безусловно заслуживают фильтрпрессы однокамерного типа, работающие под высоким давлением. На фиг. 3 изображен фильтрпресс Дейне. Наконеч большое значение при производстве основы имеет удаление из коллодия пузырьков воздуха. Обеспечение может производиться либо вакуумизацией либо нагреванием коллодия в змеевике, обогреваемом горячей водой. При выходе коллодия из змеевика в специальный термостат (фиг. 4) воздух выделяется с нек-рым количеством эфира или ацетона в свободное пространство термостата, где производится последующее отстаивание коллодия.



Фиг. 3.

Как было указано выше, процесс пленкообразования основан на высушивании коллоидного раствора, т. е. испарении летучих компонентов. По Оствальду процесс пленкообразования проходит три стадии по следующей схеме:

золь → лиггель → всерегель

Блём дал математич. определение процесса испарения летучих компонентов коллодия. Зависимость между эфиром целлюлозы и растворителями в процессе пленкообразования можно выразить следующим у-рем:

$$y = a(t^n),$$

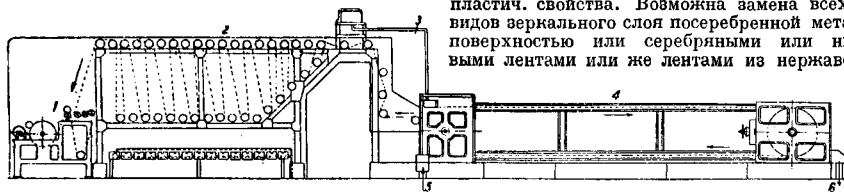
где  $y$  — количество летучей части, остающейся за время испарения  $t$ , а  $a$  и  $n$  — константы. В то же время скорость пленкообразования в каждый момент пропорциональна остающемуся еще количеству летучих частей, т. е.

$$\frac{dy}{dt} = \beta(a - y),$$

где  $\beta$  — константа. Считая пленку особым состоянием материи, Блём различает три фазы пленкообразования: 1) диффузию летучих частей через толщину пленки, 2) переход молекул растворителей в адвезионный слой и 3) диффузию паров растворителя в окружающее пространство.

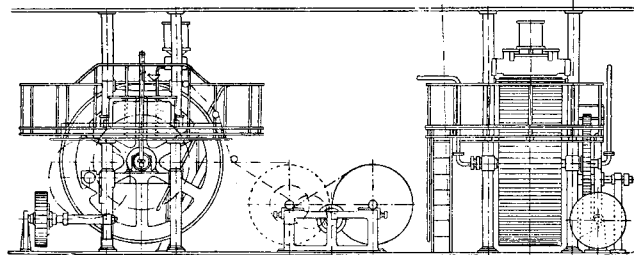
Отлив основы производится на специальных коллодионотливочных машинах. Наиболее рас-

пространенными типами таких машин являются ленточные и барабанные машины. Ленточная машина, схематически изображенная на фиг. 5 (где 1—намотка, 2—сушилка, 3—подача коллодия, 4—ленточная машина, 5—подача воздуха, 6—отсос воздуха), представляет собой два барабана, на которых натянута тонкая медная лента. Передний барабан приводится в движение



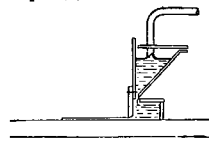
Фиг. 5.

не соответствующей передачей и является т. о. ведущим; задний—может на подшипниках соответствующей конструкции передвигаться по четырем направлениям по плоскости, чем осуществляется натяжение, ослабление и перенос медной ленты для ее регулировки. Барабанная машина, изображенная на фиг. 6, предста-



Фиг. 6.

вляет собой большого diam. барабан, на который проиходит полив коллодия. Подача коллодия на медную ленту или поверхность барабана производится через особые льющие приспособления, т. н. фильеры, к-рые бывают двух типов в зависимости от вязкости коллоидного раствора. Для высоковязких растворов применяется



Фиг. 7.

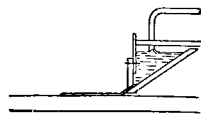
тип мажущей фильеры (фиг. 7), для менее вязкого—тип льющей фильеры (фиг. 8). В зависимости также от концентрации коллодия, вернее его вязкости, технологич. режим отливочных машин также несколько отличен друг от друга. Это различие гл. обр. относится к характеру зеркального слоя на медной ленте, к термич. режиму машины и характеру досушки основы. Полив коллодия на отливочных машинах производится обычно не на металлическую поверхность медной ленты ленточных машин или поверхность барабана на барабанных машинах, а на зеркальный слой, наносимый на металлич. поверхность. Для высоковязкого коллодия этот слой состоит из нескольких слоев. Вначале наносится слой желатины, затем очень тонкий слой целлюлозы и наконец сверху несколько тонких слоев ацетицеллюлозного раствора,

которые дают высокогляцевитую поверхность зеркального слоя. Для менее вязкого коллодия обычно применяется один или несколько слоев желатины. Основным требованием, к-рому должен отвечать тот или другой зеркальный слой, является прежде всего отсутствие взаимодействия его с компонентами коллодия, наличие высокогляцевитой поверхности и достаточные пластич. свойства. Возможна замена всех этих видов зеркального слоя посеребрянной металл. поверхность или серебряными или никелевыми лентами или же лентами из нержавеющей

стали, вместо обычно используемых медных лент. Эти металл. поверхности не изменяются от действия коллодия и дают высокогляцевитую поверхность, чего нельзя сказать относительно медных лент.

г) Обработка основы перед нанесением светочувствительного слоя. На полученную в рулонах ацетатную или целлюлодную пленку нельзя непосредственно наносить светочувствительный слой. При нанесении его на основу и высушивании фотоэмульсия легко сползает с основы при фотографич. обработке. Для целей скрепления фотоэмульсии с основой поверхность последней д. б. либо покрыта скрепляющим слоем либо соответствующим образом обработана. Полученные в результате этого нанесения или обработки слои, так же как и растворы, служащие

для этих целей, носят название подслоев. Распространенными видами подслоев являются т. н. кислые и щелочные подслои. Основным компонентом кислых подслоев является желатина. В качестве других компонентов подслоя применяются растворители основы—метилловый спирт, ацетон, этилацетат, этиленхлоргидрин и др., в качестве разбавителей подслоя—гл. обр. этиловый спирт и отчасти метилловый. Т. к. желатина является органобальным коллоидом, то для целей стабилизации ее в растворе, состоящем из небольшого количества воды и большого количества органических растворителей, необходимо присутствие стабилизаторов. Такими служат к-ты, вследствие чего подслои и называются кислыми. Наибольшее распространение получили в составе подслоя уксусная и салициловая кислоты. Первая из них является одновременно и растворителем основы. В качестве примера приводим два рецепта подслоя для целлюлозной основы на уксусной и салициловой к-тах:



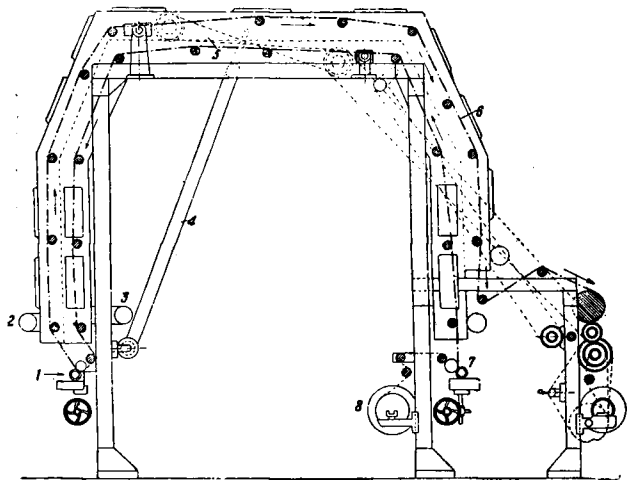
Фиг. 8.

I	
Желатина . . .	150 г
Воды дистил. . .	600 см <sup>3</sup>
Ледяной уксусной к-ты . . .	210 г
Вываривание 2 ч. при 45°	

В растворе:	
Метиллового спирта . . . . .	3 л
Этилового спирта . . . . .	9 л

Желатин . . . . . 100 г	II	В растворе:
Воды дистил. . . . . 300 см <sup>3</sup>		Метилового
Салицил. н-ты . . . . . 40 г		спирта . . . . . 4,5 л
Вязрвание 2 ч. при 45°		Эталоного спир-
		та . . . . . 5,5 л

При приготовлении кислых подслоев для ацетатной основы в качестве растворителей основы употребляются этиленхлорид, ацетон и другие органич. вещества. Однако лучшее скрепление фотоземли с ацетатной основой получается при применении щелочных подслоев. Щелочные подслои основаны на омыляющем



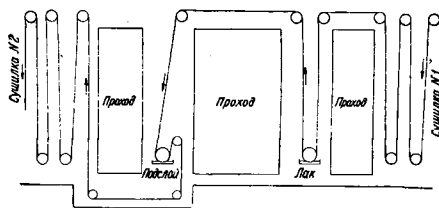
Фиг. 9.

действии щелочи по отношению к эфиру целлюлозы. Образующийся в результате омыления тонкий поверхностный слой целлюлозы, не изменяя прозрачности основы, хорошо держит на себе светочувствительный слой фотоземли. Способ получения такого щелочного подслоя как для целлюлозной, так и для ацетатной основы: омыление поверхности основы 2%-ным раствором NaOH при 50—55° при продолжительности омыления в 14 мин. После этого тщательная промывка основы от следов щелочи. Основными требованиями, предъявляемыми к подслою, являются прежде всего хорошие скрепляющие свойства, отсутствие взаимодействия со светочувствительным слоем и отсутствие влияния на свойства основы (гл. обр. механич. качества). Однако большинство применяемых подслоев, в особенности с искусной н-той и кислые подслои для ацетатной основы, иногда весьма сильно влияют на светочувствительные свойства эмульсий (в особенности высокочувствительных) и на механические свойства основы, уменьшая ее крепость. Некоторые ф-ки Ф. применяют наряду с нанесением подслоя еще и лакировку обратной стороны основы. Нанесение лака вызывает необходимость уменьшения стягивающего действия эмульсии при ее сушке и повышении глянцеваемости обратной стороны основы. Нанесение лака и подслоя производится либо на отдельных подслоидных машинах либо на комбинированных отливочно-подслоидных машинах. В последнем случае выходящая из отливочной машины основа досушивается, лакируется, подслоидруется и вновь досушивается в специальном агрегате,

соединенном со всей отливочной машиной. Схема отдельной подслоидной машины дана на фиг. 9 (1—нанесение подслоя, 2—нагнетание воздуха, 3—отсос воздуха, 4—цепная регулировка ременной передачи гофри, 5—конусная передача гофри, 6—окна-дверцы, 7—нанесение лака, 8—размотка основы, 9—намотка подслоидной основы); схема подслоидного агрегата в отливочно-подслоидной машине дана на фиг. 10.

д) Рекуперация летучих растворителей. Большое экономическое значение при производстве основы имеет рекуперация летучих растворителей, испаряющихся при отливке основы. Обычно используются тремя методами рекуперации: 1) методом конденсации, 2) абсорбцией растворителей (главным образом крезолом), 3) адсорбцией растворителей (активированный уголь, силикагель). Все эти методы в огромной степени зависят по своему эффективному действию, т. е. максимуму возврата растворителей, от степени герметичности отливочных машин. Сорбиционные методы рекуперации следует предпочесть методу конденсации, хотя последний представляет собой менее сложный способ, могущий дать при полной герметичности отливочной машины весьма высокий кпд.

е) Цеховой контроль при производстве основы. Контроль производства основы в цеху складывается из ряда контрольных измерений и наблюдений по отдельным операциям технологического процесса. При изготовлении коллодия и его очистке производят измерения вязкости коллодия методом падения шарика, чем и определяется окончание малаксажа, а также определяется сухой остаток в коллодии. Чистота фильтрованного коллодия и процесс обезуглеживания контролируются визуально. После отлива пленки последняя контролируется на специальных столах (винтажный стол), причем все дефекты основы из нее вырезаются. Кроме того производят испытание основы на механич. качества (предельные



Фиг. 10.

разрыв, удлинение и излом), усушку и усадку. Качество подслоя определяется опытным путем изготовлением подслоя на основу с последующим высушиванием его, нанесением фотоземли и ее высушиванием. Определяют при стандартном подслое качество прилипания посредством разрыва эмульгированной основы пальцами, причем стараются отделить слой эмульсии от основы. При новом типе подслоя определяют

влияние его на механич. свойства основы и фотографич. свойства эмульсии. После подслоирования основа вновь подвергается контролированию на визитажных столах, где вновь вырезаются места с дефектами, и проконтролированная основа поступает в эмульсионнополивающий цех для нанесения на нее эмульсии.

2. Нанесение светочувствительного слоя на основу. Когда основа соответствующим образом субстратирована, т. е. на нее нанесен подслои, она поступает после контроля в эмульсионнополивающий цех для нанесения эмульсии на основу (эмульсирования). **Фотографические эмульсии** (см.), наносимые на основу, различаются по своим фотографическим качествам соответственно тому или другому сорту изготовляемых Ф. Для изготовления позитивных киноплёнок основа покрывается позитивной фотоземлемой. Сорты позитивной фотоземлемы несколько отличаются друг от друга в зависимости от того, идут ли они для печати фильмов или для звукопечатания. Обычно позитивные эмульсии обладают незначительной светочувствительностью, большим контрастом и большой разрешающей способностью. Для получения негативных сортов киноплёнки основа покрывается негативной эмульсией. Различные негативные сорта киноплёнок отличаются своей светочувствительностью, контрастом и цветочувствительностью. Для получения киноплёнки, чувствительной к различным участкам спектра или ко всему спектру, пользуются введением оптич. sensibilizаторов либо непосредственно в эмульсию при ее синтезе либо купанием эмульсированной основы в sensibilizующих ваннах. Так изготовляются всевозможные сорта ортохроматич., панхроматич. и гипер sensibilizированных киноплёнок. Наибольшая трудность изготовления фотографич. эмульсий для высокочувствительных негативных киноплёнок заключается в том, что для получения весьма незначительных по величине изображений (размеры кадра кинокартины), требующих безукоризненной проработки деталей, необходима весьма мелкодисперсная фотоземлемы. В то же время, как известно, наибольшей чувствительностью обладают эмульсии с крупными зёрнами галогенного серебра. Поэтому получение высокочувствительных негативных эмульсий с мелким зёрном галогенного серебра требует больших практич. и теоретич. знаний синтеза эмульсий и достигается соответствующим подбором активной желатины и правильным ведением процесса синтеза во всех его деталях. Требования, предъявляемые к эмульсиям для различных сортов любительских Ф. (ролл- и пакфильмов), а также для авиалёнки и рентгеноплёнки, мало отличаются от требований к соответствующим сортам фотопластинок. Характерной особенностью авиалёнки является ее довольно высокая контрастность при высоких чувствительностях, а для рентгеноплёнок — восприимчивость к рентгеновскому излучению. Фабрикация фотографич. эмульсии для того или другого вида Ф. отличается не только соответствующей рецептурой исходных компонентов, но и некоторыми изменениями самого ведения технологии. процесса.

Полученная тем или другим путем фотоземлемы наносится при помощи специальных эмульсионнополивающих машин на основу. Принципы действия таких машин и их устройство описывались уже при рассмотрении фотографических бумаг (см. *Бумаги фотографические*), поэтому мы ограничимся лишь кратким указанием на спе-

цифику эмульсирования основы, отличную от эмульсирования бумаги. Подготовленная соответствующим образом расправленная фотоземлемы весьма осторожно отфильтровывается во избежание вспенивания раствора, ведущего к образованию едва заметных белых точек («пинки»), и подается для полива на основу. При получении различных сортов любительских Ф. (ролл- и пакфильмов) на этой же машине предварительно наносит на обратную сторону подслоированной основы тонкий слой чистого желатинового раствора и после его высыхания на лицевую сторону — эмульсию. Для всех сортов двухсторонних Ф. (рентгеноплёнка, плёнка для цветных фильмов) производится последовательное нанесение эмульсии сперва на одну, а затем на другую сторону основы. Однако в последнее время сконструированы машины для одновременного полива эмульсии на обе стороны основы. Обычно полив эмульсии производится при скоростях: для кинонегативной плёнки, авиа- и фотоплёнок — 4 м/мин, для кинопозитивной плёнки и рентгеноплёнки — 5 м/мин, для нанесения раствора желатины на обратную сторону основы при изготовлении Ф. — 8 м/мин. Количество чистого  $AgNO_3$ , наносимого с фотоземлемой на различные заграничные сорта Ф., по данным НИКФИ дано в табл. 2.

Табл. 2.—Содержание  $AgNO_3$  или  $Ag$  в светочувствительном слое Ф.

Наименование плёнки	Содержание	
	$AgNO_3$ в 1 м <sup>2</sup> плёнки в г	Содержание $Ag$ на 1 м <sup>2</sup> плёнки в г
Атфа кинонегативная . . . . .	16,9	—
Атфа кинопозитивная . . . . .	7,9	—
Кодак кинонегативная . . . . .	14,7	—
Кодак кинопозитивная . . . . .	8,2	—
Герстр кинонегативная . . . . .	13,6	—
Герстр кинопозитивная . . . . .	7,4	—
Цейсс-Икон кинонегативная . . . . .	12,6	—
Цейсс-Икон кинопозитивная . . . . .	7,1	—
Ферранья кинонегативная . . . . .	13,5	—
Ферранья кинопозитивная . . . . .	7,3	—
Патэ кинонегативная . . . . .	19,7	—
Патэ кинопозитивная . . . . .	8,2	—
Атфа фотоплёнка (роллфильм) . . . . .	—	7,64
Атфа фотоплёнка (пакфильм) . . . . .	—	7,53
Перути плёнка для аппаратов «Дейка» . . . . .	—	5,72
Ферранья рентгеноплёнка (эмульсия с обеих сторон) . . . . .	—	13,65
Цейсс-Икон специальная фотоплёнка для камер «Контакс» . . . . .	—	8,60
Кодак фотоплёнка Верихром-фильм . . . . .	—	9,80

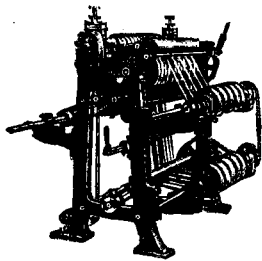
По данным СКС ФОКХТ для советских ф-н приняты следующие нормы содержания металлич.  $Ag$  на 1 м<sup>2</sup> плёнки:

Кинопозитивная . . . . . 4,5 г	Авиалёнка . . . . . 9,0 г
Кинонегативная . . . . . 8,5 г	Рентгеноплёнка (на обе стороны основы) . . . . . 1,0 г
Фотоплёнка . . . . . 7,5 г	

Расход самой фотографич. эмульсии при поливе ее на основу варьирует для различных сортов Ф. 140–250 см<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> основы. Для рентгеноплёнки эти цифры относятся к нанесению эмульсии на одну сторону основы.

Для сушки эмульсированной основы плёнка проходит в сушильных каналах, т. е. в сушилках, которые бывают различных типов (см. *Бумаги фотографические*). Соответствующий термостатический режим в этих сушилках осуществляется либо по всей сушилке либо по отдельным ее зонам. В зависимости от сорта Ф. поддерживается в том или другом случае соответствующий ре-

жим. Сушка обычно осуществляется воздушным потоком соответствующей влажности и темп-ры. При сушке эмульсированной пленки в сушильках с зонами можно исходить примерно из следующих данных, определяющих термогигрометрический режим для шести зон. Воздух, нагретый до 22°, поступает в 1-ю зону (у поливных машин), затем, насытившись до влажности 80%, поступает в 6-ю зону (зона охлаждения и увлажнения у сматывательных машин). Наконец воздух нагревается до 34° и проходит последовательно 5-ю, 4-ю, 3-ю и 2-ю зоны по принципу противо-тока по отношению к движению пленки. После соответствующего охлаждения и последующей фильтрации и нагрева воздух вновь поступает в 1-ю зону. В последнем случае большое внимание уделяется

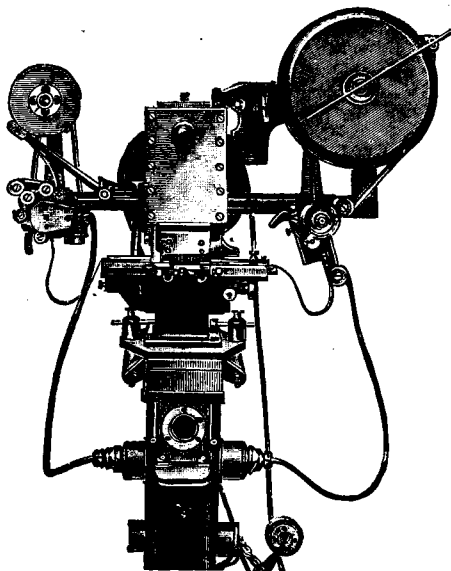


Фиг. 11.

конструированию т. н. канальных сушилок, где эмульсированная основа после предварительного охлаждения проходит в сильном токе высоко нагретого воздуха через специальный канал. Производственный контроль, осуществляемый в процессе изготовления эмульсий, заключается в определении фотографич. свойств эмульсии, а при поливе (нанесении ее на основу) происходит оперативный контроль на отдельных фотографич. свойства, гл. обр. на вуаль и содержание серебра, для того чтобы в последнем случае регулированием толщины эмульсионного слоя на основе исправлять соответствующие отклонения от стандарта. Методику фотографич. испытания эмульсии см. *Сенситометрия*; определение же количества серебра производится обычными аналитическими методами (Леман, Эггерт). После нанесения и высушивания эмульсионного слоя в соответствующих цехах со слабо актиничным освещением (гл. образом при красных фонарях) эмульсированная основа в рулонах после их испытания на фотографич. и другие свойства поступает в отделку, к-рая отлична для различных сортов Ф.

3. Отделка Ф. I. Кинопленка. Операции отделки кинопленки значительно отличаются от соответствующих операций для остальных видов Ф. Отделка кинопленок складывается из следующих технологич. операций: 1) резка, 2) визитаж (контроль), 3) склейка (только для кинопозитива); 4) перфорация, 5) метрирование (бывает не всегда), 6) упаковка в темноте и на свету. Резка эмульсированной основы осуществляется на специальных прецизионных резательных машинах (одна из них изображена на фиг. 11). Рулоны эмульсированной основы разрезаются на полосы шириной 35 мм, и каждая из этих полос сматывается на отдельный рулон. Наиболее существенным условием проведения этой технологич. операции является поддержание в резательной комнате определенной влажности воздуха — не ниже 75%. При сухом воздухе в помещении пленка носит на себе следы электрич. разрядов, что для негативной пленки в особенности является весьма существенным дефектом, бракующим пленку. Уменьшению электрич. разрядов способствует также пониженная скорость работы машины, к-рая не должна пре-

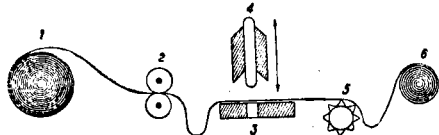
вышать 5 м/мин. — В и з и т а ж (контроль) полос кинопленки осуществляется по отношению к каждому отдельному рулончику нарезанной пленки. Контроль пленки проводится на специальных визитажных столах, где происходит перемотка пленки с одной оси на другую, причем, пропуская пленку над красным окошком стола, визитажница вырезает из пленки все дефекты основы, эмульсионного слоя и брак, образующийся на резательных машинах. Вырезыванию подлежат пузырьки в основе, черные и белые точки всех размеров, места с неравномерно нанесенной эмульсией, затеки эмульсии, пузырьки в эмульсионном слое, всевозможные трещины, сгибы и поломки, а также всевозможные вдавливания и царапины. Визитаж позитива и негатива производится в отдельных помещениях, что обуславливается степенью освещения помещения и окошек в визитажных столах: для позитивного отделения большей, для негативного — меньшей. В среднем одна визитажница за 7 ч. рабочего дня может провизитажировать 2 000—4 000 л. м кинопленки в зависимости от количества вырезаемого брака. С к л е й к а полос кинопозитива осуществляется на специальных склеивательных станках. Позитивная кинопленка склеивается в один 300-м рулон, причем не допускается свыше 5 склеек на один рулон. Негативная кинопленка выпускается, как уже указывалось выше, без склеек. Длина рулона кинонегатива должна иметь 120 м; если же длина полосок не достигает 120 м, пленку выпускают в отдельных упаковках по 60, 30 и



Фиг. 12.

даже 15 м. Склейка кинопозитива производится специальным клеем, изготовляемым по следующему рецепту: ацетона (хим. чистого) 3 ч., амилангетата (135—142°) 1 ч., ледяной уксусной к-ты 0,5 ч. Производительность одного рабочего на этих склеивательных станках 8—10 тыс. м в продолжение 7-час. рабочего дня. После склейки позитивная кинопленка поступает в перфорационное отделение. П е р ф о р а ц и я позитив-

ной и негативной киноплёнки осуществляется на специальных перфорационных станках, один из которых изображен на фиг. 12. Схема перфорационного станка изображена на фиг. 13, где 1—ролик, с которого сматывается неперфорированная пленка,

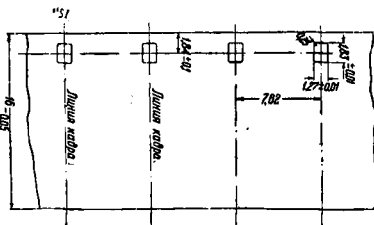


Фиг. 13.

2—гладкие вальцы, беспрерывно подающие зажатую между ними неперфорированную пленку; далее пленка делает петлю и проходит уже прерывисто по матрице 3 под вертикально движущимся вверх и вниз ножом 4, к-рый и пробивает (перфорирует) пленку. В точке 5 расположен грейфер, продвигающий пленку прерывисто; 6—представляет сматывательный механизм. В настоящее время существует два вида стандартов перфорации позитивной и негативной киноплёнки в отдельности: немецкий и американский стандарты. В качестве примера приводим на фиг. 14 нем. нормы перфорации для позитивной и негативной киноплёнок.

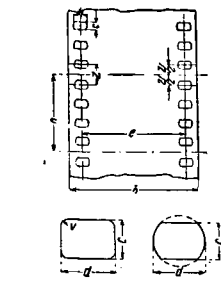
Что касается узкой (16-мм) пленки, изготовляемой на безосной (гл. обр. ацетатной) основе, то надо отметить существование двух стандартов для узкого киноаппарата: один для немого фильма, другой—для звукового. Для немого фильма позитивной узкой пленки на фиг. 15 даны

перфорированным киноплёнкам. Перфорационные станки для узкой пленки сконструированы т. о., что на них осуществляется и резка 32-мм пленки на 16-мм. Т. о. резка широких рулонов эмульсированной основы производится сперва на полосы по 32 мм и затем уже на перфорационном станке на 16 мм. Производительность перфораторов для широкой киноплёнки (35 мм) весьма различна в зависимости от конструкции перфораторов. Фирма Дебри дает перфораторы «Оптим» с производительностью 4 м/мин, следовательно 240 м/ч готовой продукции. После перфорации киноплёнка поступает на метрж, осуществляемый иногда и на самих перфораторах, и затем на упаковку вначале парафинированной красной бумагой, затем неактивной черной, после чего упаковывается в специальные жестяные коробки.

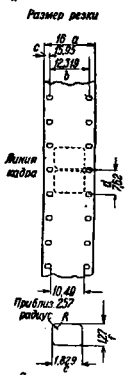


Фиг. 16.

II. Катущечная и форматная пленка. Отделка этих сортов Ф. (авиапленка, рентгенопленка, пакфильм, роллфильм и ряд других сортов пленок) более проста и складывается из трех основных технологических процессов: 1) продольно-поперечная резка, 2) визитаж, 3) упаковка. Обычно резка Ф. производится на двух резабельных машинах, одной — для продольной резки, другой — для поперечной или же сразу на специальных продольно-поперечных резабельных машинах, причем авиапленка и катущечная Ф. (роллфильм), не подвергаемая поперечной резке, передается непосредственно на визитаж. Обычно катущечная Ф. выпускается роликами на 8 снимков размером 6×9 см и на 6 снимков размером 8×10,5 см. Авиапленка выпускается катушками размером 13×1 000 см, 19×2 260 см, 19×2 850 см и 19×5 000 см. Выпускаются сорта данной продукции и других размеров. Однако указанные размеры являются наиболее ходовыми. Визитаж катущечных пленок производится на специальных столах, с фонарями во всю ширину полоски, имеющих две металки, шкалу, по которой отмеривается длина пленки, и ручной или педальный нож, при помощи которого производится разрез пленки по ширине полоски. Визитаж форматных пленок (рентгенопленки, пакфильм и др.) осуществляется точно таким же путем, как это имеет место при контроле фотобумаги (см. *Бумаги фотоаппаратные*). Наиболее сложной операцией является операция упаковки пакфильма. Этот сорт Ф. представляет собой 12 листов пленки, сложенных вместе и заключенных в общую специальную кассету. К каждому листу пленки подклеен бумажный язычок, при помощи к-рого экспонированный листок пленки перемещается с листовой на заднюю часть кассеты, а на освободившееся место встает новый, готовый к съемке. Кассета закрыта со всех сторон, т. е. смена листов пленки может производиться на полном дневном свете. Этот сорт пленки представляет со-



Фиг. 14.



Фиг. 15.

немецкий и американский стандарты перфорации, причем размеры нем. стандарта обозначены буквами, значение к-рых приведено в табл. 3.

Табл. 3.—Размеры немецкого стандарта перфорации 16-мм киноплёнки (к фиг. 15).

Размеры . . . . .	a	b	c	d	e	v	h
Позитив . . . . .	16-0,05	1,32±0,02	1,84±0,1				
Размеры . . . . .	d	s	f	R			
Позитив . . . . .	7,62	1,83±0,01	1,27±0,01	0,25			

Для звукового фильма с одним рядом перфорационных отверстий приведен общий стандарт (фиг. 16). Все эти размеры относятся к све-

бой большие удобства по сравнению со стеклянными фотопластинками. Обычно наиболее распространенными размерами папильонов являются листки пленок в 4,5×6, 6,5×9 и 9×12 см. Рентгенопленка выпускается обычно форматом 18×24, 24×30 см и других размеров.

4. Методы испытания фотокиноплёнок и технические требования к киноплёнкам. Все испытания готового фабриката можно разделить на две важнейшие группы, характеризующие главные части Ф.: основу и светочувствительный слой. Обычно испытание основы заключается из определения механич. свойств пленки, деформации основы при сушке и при набухании в воде (для ацетатной пленки) и качества прилипания фтоэмульсии к основе. Механические свойства основы определяются на динамометре Шоппера, снабженном самопишущим пером для вычерчивания кривой растяжения в зависимости от нагрузки, и на фальцере Шоппера, показывающем пластичность пленки по числу двойных изгибов, к-рые выдерживает основа. Испитание механич. свойств основы по своей методике почти не отличается от аналогичных испытаний бумаги, целлюлозы, пластич. масс и т. п. (см. *Бумаги испытание*). Технич. требования к основе для киноплёнки слагаются гл. обр. из следующих данных: 1) основа д. б. чистой, прозрачной, без пятен, полос и т. д.; 2) толщина основы д. б. 0,13 мм ( $\pm 0,05$ ); 3) механич. свойства должны иметь значения, приведенные в табл. 4.

Табл. 4.—Механические свойства основы.

Показатели	Целлюлозная основа (горючая)	Ацетатная основа (негорючая)
Разрывное усилие в кг/мм <sup>2</sup> . . .	8—10	7
Удлинение в % . . . . .	25—35	20
Число изломов на фальцере . . .	< 10)	< 50

4) Ширина полоски для широкой киноплёнки д. б. 35 мм ( $- 0,05\%$ ), для узкой—16 мм ( $- 0,05\%$ ). Определение качества эмульсионного слоя гл. обр. по его фотографическим свойствам совершенно аналогично таковому же вообще для всех видов фотоэмульсий, наносимых на стекло и на бумагу (см. *Бумаги фотографические*). Фотографич. испытания Ф. характеризуются определением следующих свойств фотоматериала: 1) общей светочувствительности, 2) цветочувствительности, 3)  $\gamma$  при различном времени проявления, 4) вуали

(D<sub>0</sub>) при различном времени проявления, 5) максимальной плотности (D<sub>max</sub>), 6) ширины L, 7) содержания Ag на 1 м<sup>2</sup>, 8)  $\rho^2$  эмульсионного слоя, 9) разрешающей способности и других дополнительных испытаний, специфических для различных видов Ф.

Лит.: Коалов П., Технология фотопроизводства, т. 1, Технич. химия основы, М., 1933; е же же, Технология фотопроизводства, т. 2, Техничская химия светочувствительного слоя; е же же, Производство фотопроизводства, М., 1934; Михайлов В. и Шнуриц А., Химия и технология светочувствительных материалов, М.-Сива, 1933; Коалов П. и Чернасская М., Физико-химические обоснования процесса изготовления подложки, «Фототехническая промышленность», 1933, 2; Коалов П., Коллоиды для производства киноплёнки, его получение и свойства, там же, 1932, 1, 1933, 2; е же же, Фабрикация ацетилцеллюлозной основы, там же, 1933, 4; Михайлов В., Техническим для рачих эмульсионных пехов, 1935; Шнуриц А. и А. Техничским для рабочих эмульсионно-получивочных пехов, 1935; Коалов П. и Князев Б., Техническим для рабочих пеха основы, 1935; Коалов П., Теоретические обоснования процесса синтеза латин эмульсии с основой, «Фототехнич. пром-сть», 3, 1935; Коалов П. и Зуева Р., Старение эфирцеллюлозных пленок, «Фототехнич. пром-сть», 5, 1935; Дриберг Л., Химия и технология пленкообразующих веществ, т. 1, 1935 (см. также ряд статей в журн. «Фототехнич. пром-сть» за 1932—35 гг.); Воскресенский П., Пленка из вискозы как материал для негорючих кинофильмов, там же, 1933, 4; Wentzel P., Die Photokarbischemische Industrie, Dresden—Lpz., 1926; Wentzel P., Die Fabrikation d. photogr. Platten, Filme u. Papier, Halle a/S., 1930; Weiss u. angew. Photographic. hsk., v. 4, Hay, v. 4, W., 1930; Ullmann M. Azetylzellulose Folien u. Filme, Halle a/S., 1932; Clément L. et Rivière C., Matières plastiques, soies artificielles, P., 1924; Clément L. et Rivière C., Die Zellulose, B., 1923; Ullm. Enz., 2 Aufl., W., 4; Krüger, Zelluloseacetate, Dresden—Lpz., 1933 (см. также ряд статей в «Kolloid-Zeitschrift», «Farbe und Lacke», «Kunststoffe», «Farben-Zeitung» и др.). П. Коалов.

**ФРЕЗЕР**, фреза, фрез, фрез, шарошка, многолезцовый ст. укороченный инструмент, характеризующийся вращательным движением резания и б. или м. тангенц. альным движением подачи. Ф. играет выдающую роль в металлообработке, причинной чему служит гл. обр. сравнительная простота и быстрота получения поверхности самых разнообразных конфигураций. В зависимости от назначения Ф. бывают различных видов и размеров. Элементарный, так наз. л е т у ч и й, или о д н о з у б ы й, Ф. изображен на фиг. 1; он представляет собой резец, укрепленный в цилиндрчике, вращающейся оправке; если этому резцу приан какой-нибудь профиль, то он, вращаясь, будет выбирать (вырезать) в подвходимом к нему материале поверхность конфигурации, соответствующей очертанию резца; при этом линия режущей кромки Ф. явится образующей для получаемой поверхности, а форма направляющей оп. определяется движением по-

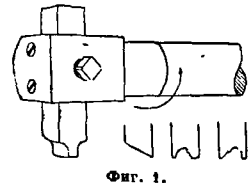
Табл. 5.—Технические требования к основным видам киноплёнок советского производства.

Сорт киноплёнки	Светочувствительность по		Плотность D <sub>max</sub>		Гамма $\gamma$	Вуаль D <sub>0</sub>	Ширина L	Разрешающая способность
	H. & D. <sub>31</sub>	H. & D. <sub>10</sub>	для 4 мин. проявления	для 8 мин. проявления				
Позитивная киноплёнка . . . . .	6—10	—	2,4—2,6	—	1,9	0,10	—	—
Кинонегатив «Ортохром» . . . . .	300—480	90—140	—	2,5—2,8	0,8—1,2	0,15	1:64	—
Кинонегатив «Ортохромэкстра» . . . . .	550—610	160—180	—	2,5—2,8	0,8—1,2	0,20	1:64	—
Кинонегатив «Панхром» . . . . .	550—600	160—180	—	2,5—2,8	0,8—1,2	0,25	1:64	—
Пленка для звукозаписи:								
а) для интенсивной записи . . . . .	35—40	10—12	1,2—1,4	—	1,1	0,07	1:32	65
б) для трансверсальной записи . . . . .	15—20	4,5—6	1,3—1,5	—	2,3	0,07	1:32	65

Определение светочувствительности производится по классической системе H. & D. с указанием данных по Дюносу, причём источник света принимается электрический со световым потоком под дневной свет. Проявление ведется нормальным параамилофенольным проявителем с концентрацией 1/25 моля.

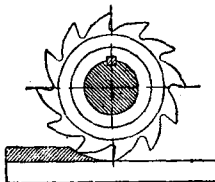


гачи изделия. На фиг. 2 изображен цилиндрический Ф. высокой производительности (с усиленным зубом) для обработки плоскостей. когда требуется снимать большую стружку. На фиг. 3 и 4 изображены цилиндрич. Ф. с зубьями, расположенными по крутой спирали, предназначенные для работ высокой производительности; Ф., изображенный на фиг. 4 (тип Кеха), благодаря тому что



Фиг. 1.

зубья направлены по спиралям в равные стороны, является уравновешенным относительно осевых усилий. Фиг. 5а и 5б изображают лобовые или торцевые Ф., предназначенные также для обработки плоскостей; они работают зубьями, расположенными на торце; фиг. 6 — цилиндрич. Ф. со вставными ножами; фиг. 7 — цилиндрич. торцевой Ф. с ножиц. хвостом и вставными зубьями; фиг. 8 — т. н. двухперый Ф. для фрезеровки шпоночных пазов; фиг. 9а — червячный Ф. для фрезерования методом обкатки шлицевых пазов валика, сечение которого изображено на фиг. 9б; фиг. 10а — то же для фрезерования квадрата (фиг. 10б); фиг. 11а — червячный Ф. для нарезания зубчатых колес (фиг. 11б) методом обкатывания;

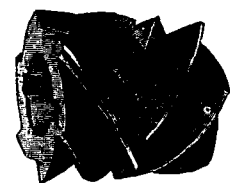


Фиг. 2.



Фиг. 3.

фиг. 12а — фасонный Ф., вогнутый, полукруглый для фрезерования выпуклого полукруга (фиг. 12б); фиг. 13а — то же для обработки вогнутой полукруглости (фиг. 13б); фиг. 14 — фасонный Ф. модульный для фрезерования зубьев шестерен по профилю этого Ф. должен в точности совпадать с очертанием впадины между зубцами; т. к. зубчатые колеса одного и того же модуля, но с разными числами зубьев имеют разные (по профилю) впадины, то необходимо было бы для каждого числа зубьев иметь отдельный модульный Ф., но т. к. профили отличаются друг от друга лишь незначительно, то в действительности обходятся небольшим количеством различных Ф. для любого числа зубцов от 16 до ∞: для модулей 0,3 — 0,5 комплект состоит из 4 Ф., для модулей 0,6 — 10 — из 8 Ф., и для модулей 11 — 30 — из 15 Ф.; фиг. 15 — фасонный



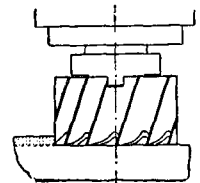
Фиг. 4.

Ф. сложной конфигурации; фиг. 16 — резьбовой Ф. для фрезеровки резьбы на резьбофрезеровательных станках, причем профиль резьбы на Ф. расположен кольцеобразно, а не по винтовой линии; фиг. 17 — Ф. для выфрезерования пазов и канавок; фиг. 18а — то же последней

конструкции, зубья направлены в разные стороны, что обуславливает большую чистоту обработки боковых стенок паза (фиг. 18б); фиг. 19а — дисковые двухсторонние Ф., пример их применения изображен на фиг. 19б; фиг. 20а — трехсторонний регулируемый Ф., уменьшение ширины Ф. после переточки компенсируется раздвижением Ф. и постановкой прокладок а (фиг. 20б); фиг. 21 — Ф. для шпонок Вудруфа; фиг. 22 — угловые Ф.; фиг. 23 — лобовой Ф. с плоскими вставными ножами; фиг. 24 — то же с круглыми вставными ножами (фрезерные головки); фиг. 25 — наборные Ф. для обработки дерева; фиг. 26 — фасонные Ф. для дерева; фиг. 27 — то же, но каждый зуб имеет две режущие грани, т. о. может фрезеровать в ту и другую сторону.



Фиг. 5а.



Фиг. 5б.

По способу образования зуба все Ф. разделяются на Ф. с затупленным зубом (американским) и с острым зубом (европейским). На фиг. 28 изображена форма остроугольного (европейского) зуба, передняя плоскость аа которого обычно направляется по радиусу. Но в Америке б. ч. переднюю грань делают с наклоном к радиусу, т. е. с углом поднутрения до 20°, в среднем 12°, благодаря чему получают уменьшение давления стружки и экономию расхода

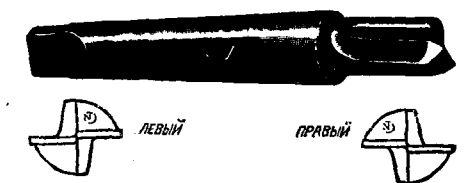


Фиг. 6.



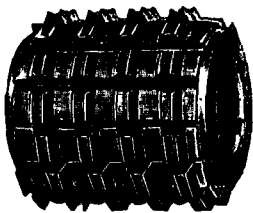
Фиг. 7.

энергии. Как показывает практика, производительность (объем снимаемого металла в минуту на 1 а. с.) увеличивается при работе поднутренным фрезером, причем и обработка подоловой стали производительность больше на 30—80% и хромоникелевой стали на 30—40% в зависимости от размера угла поднутрения. Для фрезерова-



Фиг. 8.

Фиг. 9а — червячный Ф. для фрезерования методом обкатки шлицевых пазов валика, сечение которого изображено на фиг. 9б; фиг. 10а — то же для фрезерования квадрата (фиг. 10б); фиг. 11а — червячный Ф. для нарезания зубчатых колес (фиг. 11б) методом обкатывания;



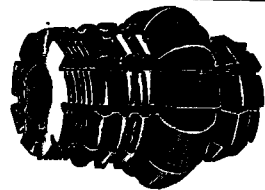
Фиг. 9а.



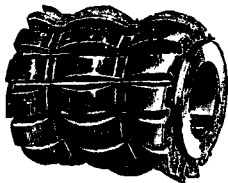
Фиг. 9б.



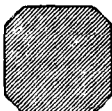
Фиг. 14.



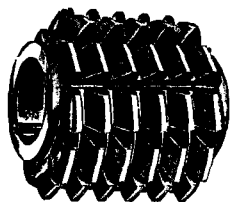
Фиг. 15.



Фиг. 10а.



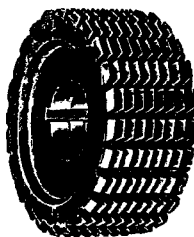
Фиг. 10б.



Фиг. 11а.



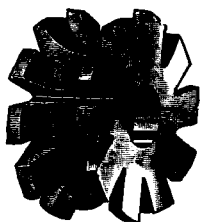
Фиг. 11б.



Фиг. 16.



Фиг. 17.



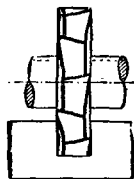
Фиг. 12а.



Фиг. 12б.



Фиг. 18а.



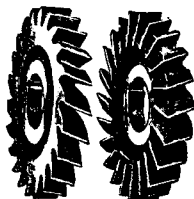
Фиг. 18б.



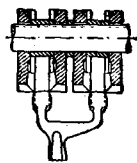
Фиг. 13а.



Фиг. 13б.



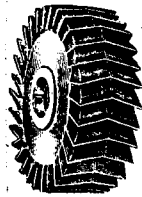
Фиг. 19а.



Фиг. 19б.

ния также важен угол  $\beta$  (задний или вазара); увеличивая его, облегаем врезание, но вместе с тем и ослабляем прочность зуба; обычно его делают в  $5^\circ$  для твердых металлов и в  $8^\circ$  для мягких. Угол заострения  $\gamma$  обеспечивает прочность зуба и надлежащий размер впадин для помещения стружки. Обычно он принимается в  $50-60^\circ$ , причем чем больше диаметр фрезера, тем больше угол  $\gamma$ , а следовательно и зуб получится прочнее. Ширина задней грани  $\delta$ , или фаски, делается  $0,4-1$  мм в зависимости от диаметра  $\Phi$ . Количество зубьев европейские и

угол спирали обычно берется  $\sim 25^\circ$ . На фиг. 4 приведен способ уравнивания этих сил. У з а т ы л о в а н н ы х (американских)  $\Phi$ . задняя грань образована по логарифмич. спирали, а передняя распложена радиально (фиг. 29). Заточка америк.  $\Phi$ . ведется только по передней грани, т. е. зуб америк.  $\Phi$ . по мере стачивания становится тоньше, и лишь незначительно уменьшается диаметр  $\Phi$ . по зубу в пределах понижения (спирали); при этом как профиль зу а, так и задний угол все время сохраняются постоянными (известное свойство логарифмич. спирали,

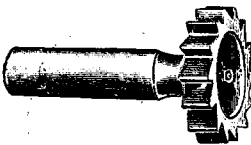


Фиг. 20а.



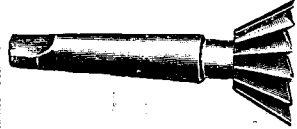
Фиг. 20б.

наши з-ды определяли по ф-ле прсф. Кнаббе  $z \approx 4\sqrt{D}$ , где  $D$  — диаметр  $\Phi$ . в мм; но эта ф-ла дает очень мелкий шаг, пригодный только в некоторых случаях при требовании очень большой точности и гладкости. В последнее время пользуются  $\Phi$ . с более крупным шагом, т. е. с более прочным зубом, а следовательно и более производительным. Для чистовой работы  $z = 3 + 2,5\sqrt{D}$ ; для обычной работы  $z = 2 + 1,75\sqrt{D}$ ; для обдирочной  $z = 1,25 + 1\sqrt{D}$ .



Фиг. 21.

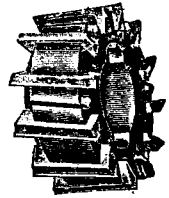
Американцы применяют  $z = 19,5\sqrt{R} + 5,8$ , где  $R$  — радиус  $\Phi$ . в дм., и при минимальном количестве зубьев  $z = 4R + 8$ . Заточка фрез с европейским зубом производится со стороны задней грани путем снятия фаски, так. обр. по мере



Фиг. 22.



стачивания ширина фаски увеличивается. Желательно, чтобы при фрезеровании участвовали в работе по крайн. мере 2 зуба  $\Phi$ ., но при малых припусках, которые даются в настоящее время, этого б. ч. не удается осуществить при работе  $\Phi$ . с прямыми зубьями. Поэтому получают все большее распространение цилиндрич.  $\Phi$ . с зубьями, расположенными по спирали. Чем круче спи-



Фиг. 23.



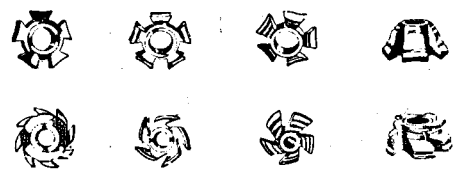
Фиг. 24.

раль, тем  $\Phi$ . спокойнее работает и дает большую производительность. В Америке угол спирали делают от  $45-60^\circ$  (фиг. 3). Недостаток этих  $\Phi$ . заключается в том, что они дают осевую силу, которая с увеличением угла спирали также сильно увеличивается, поэтому



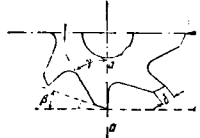
Фиг. 25.

по которому радиус для любой ее точки образует один и тот же угол с касательной). Американские затылованные  $\Phi$ . применяются преимущественно для фасонных фрез. Величина падения логарифмич. кривой определяется величиной заднего угла  $\beta$ . Этот угол принимают в  $8-20^\circ$ , в среднем  $10-12^\circ$ . Количество зубьев берется небольшим, чтобы каждый зуб был длиннее и чтобы его можно было много раз перетачивать. Ширина впадин берется равной  $0,2-0,25$  шага, а сама впадина фрезеруется угловой фрезой  $18-24^\circ$ . Число зубьев определяется ф-лой  $z = \frac{200}{D} + 8$  для  $\Phi$ . с крупными зубьями и  $z = \frac{200}{D} + 10$  для  $\Phi$ . с менее крупными зубьями.

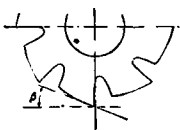


Фиг. 26 и 27.

Улучшение конструкции  $\Phi$ . идет, обусловливаясь следующими тенденциями: а) уменьшением числа зубцов для усиления зуба и получения стружки большей толщины; б) поднутрения зуба; в) усилении закрепляющих элементов (увеличение диаметра отверстия по  $\Phi$ ., на-



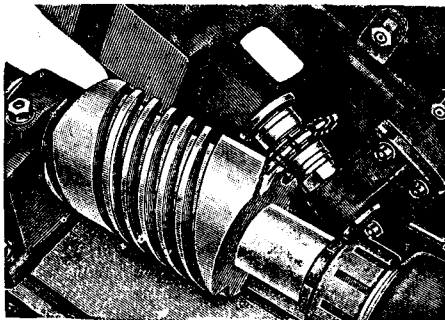
Фиг. 28.



Фиг. 29.

саживаемых на оправку для придания жесткости последней, усиление шпопки и т. п.); г) придание зубьям наклона по отношению к оси вращения для обеспечения равномерного распределения усилий на протяжении одного оборота  $\Phi$ .; д) экономия дорого стоящей быстрорежущей стали за счет изготовления тела  $\Phi$ . из дешевого материала, а режущих частей — ножей из дорогой стали; е) замена фрезерования с помощью делительной головки во всех тех случаях, где это можно применить способом непрерывного фрезерования по методу обкатки. Следует при этом заметить, что появление сверхтвердых сплавов (видим,

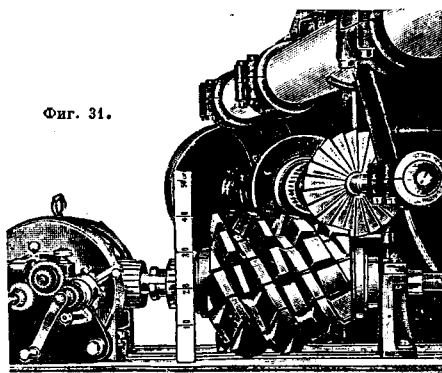
«победит» и др.) вызвало к жизни конструкции Ф., у которых режущие лезвия напаяны пластинками из этих сплавов. Ф. изготавливаются гл. обр. из быстрорежущей стали, как более производительной по сравнению с углеродистой. Но вместе с тем имеется область, где вполне будет экономично применение Ф. и из углеродистой стали, напр. фрезы для обработки единичных изделий, где высокая производительность значения не имеет, Ф. для обработки мягких металлов, Ф. малых размеров, которые могут работать



Фиг. 30.

только при малой подаче, и пр. Наши специальные з-ды употребляют стали для Ф. следующих составов. Быстрорежущая сталь: 0,8—0,4% С; 18,0—12,0% W; 5,5—3,5% Cr; 0,5—0,2% Mo; 1,0—0,3% Va; 0,50—0,15% Mn; < 0,03% S; < 0,03% P; < 0,35% Si. Это соответствует маркам «П без» П, «Успех» У, «Молия» ЭМ, ЭМ1, ЭМ2, или ОСТ 4957—М1, М2, М3, М4. Углеродистая легированная сталь: 1,25—0,9% С; 1,10—0,2% W; 0,25—0,10% Va; < 0,03% P, < 0,35% Si; 0,35—0,15% Mn. Это соответствует маркам «Добрыня» № 10, ЭУ10, ЭУ11, ЭУ12, или по ОСТ 4956—У9А, У10А, У11А и по ОСТ 4958—Х2, Х4Т, ХВ4, ХВ5. Некоторые основные технические условия, характеризующие нужные качества этих сталей, даются ниже. Быстрорежущая сталь: а) при металлографии, исследовании не д. б. обнаружено пустот, трещин, шлаковых и других посторонних включений. Структура стали д. б. однородна с равномерно распределенными карбидами: карбидной сетки, местных скоплений карбидов и большого их размера не допускается; б) обезуглерожженный слой д. б. минимальным и не может превышать следующих пределов (по радиусу):  $\varnothing$  от 5 до 15 мм—0,5 мм,  $\varnothing$  от 15 до 30 мм—1,0 мм,  $\varnothing$  от 30 до 50 мм—1,5 мм,  $\varnothing$  от 50 до 70 мм—2,0 мм; в) при пробе на закаляемость в масле твердость по всей длине куска не д. б. меньше 63 единиц по шкале «С» Роквелла; г) сталь доставляется непременно в отожженном состоянии и должна иметь твердость по Бринелю в пределах 200—300, что соответствует примерно  $K_{2,5} = 75 \div 85$  кг/мм<sup>2</sup>. Углеродистая и легированная сталь: а) при металлографии, исследовании не д. б. обнаружено пустот, трещин, волосовин, шлаковых и других посторонних включений. Структура стали д. б. однородна с равномерно расположенными мелкими карбидами: цементной сетки, крупнопластичного перлита, равно как и местных скоплений карбидов не д. б.; б) при пробе на закаляемость твердость д. б. не ниже 62 единиц по шкале «С» Роквелла; в) сталь доставляется непременно в отожженном состоя-

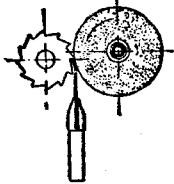
нии и должна иметь твердость по Бринелю в пределах 190—220, что соответствует  $K_{2,5} = 65 \div 80$  кг/мм<sup>2</sup>. Американская практика рекомендует изготовлять высококачественные Ф. из прокованной заготовки, для чего берется кусок стали диам. в 2 раза меньше диаметра нужного нам Ф., и кузнечным способом осаживается до нужного размера; вслед за этой операцией следует отжиг заготовки, только после этого ее пускают в дальнейшую обработку. Однако очень многие з-ды у нас и за границей изготовляют Ф. из заготовок, нарезанных из круглых штанг. Обработка заготовок Ф. ведется на токарных или револьверных станках, причем обработка здесь сводится к образованию отверстия и обточке торцевых поверхностей. Часто при работе на револьверных станках не пользуются предварительно нарезанными заготовками, а работу ведут из прутка. Приемы токарной и токарно-револьверной работ в инструментальной промышленности ничем не отличаются от обычных приемов, встречающихся в металлообработке. Заметим, что при обработке Ф. отверстие приходится делать точным как до закалки, так и после закалки для фрезерования зуба, иначе зуб, нарезанный на свободной оправке, будет бить. Шпонка протягивается на обыкновенных протяжных станках при серийном изготовлении Ф.; торцевые шпоночные пазы делаются чаще всего на фрезерных станках. При токарной обработке фасонных Ф. используются фасонными резцами или копирами (см. *Копируемые станки*). При изготовлении Ф. с заточенным зубом (американских), после того как сделаны зубцы, производят заточивание зуба фасонным резцом на специальных токарно-заточивочных станках (см. *Заточивочный станок*) при помощи



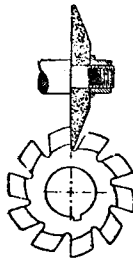
Фиг. 31.

фасонных резцов. В случаях кривой заточки движение реза становится более сложным; необходимо сообщить ему в этом случае перемещение не только радиальное, но и боковое одновременно. При изготовлении заготовки для червячных Ф. на выточенной цилиндрич. заготовке фрезеруют основной червяк, как показано на фиг. 30, т. е. способ этот более рентабелен, чем вытачивание спиральных канавок на токарном станке. Фрезерование продольных канавок на Ф. для сбрасывания зубьев (передней грани) делается на фрезерных станках, для чего используются делительная головка (фиг. 31). Затем производят заточивание зубьев на заточивочном станке, после чего Ф. поступает в термич.

обработку. Обработка Ф. после закалки выполняется в шлифовании отверстия, торцов и в последующей заточке зуба. Концевые Ф., где в качестве важного элемента имеется хвостовая часть, цилиндрическая или коническая, требуют дополнительной операции — шлифовки хвостовой части. В последнее время фрезеры для точной обработки (червячные шлифовые шестерен, червячные шлифовые, резьбофрезеры и др.) после закалки шлифуются и по внешней грани, чтобы уничтожить деформации термической обработки. Операция такой шлифовки производится на описанных ватилочных станках с той лишь разницей, что вместо резаца ставится электрошлифовальный аппарат. Шлифовые отверстия производятся на внутришлифовальных станках, причем Ф. либо укрепляется на шпинделе станка при помощи магнитного патрона (если это допускает конфигурация Ф.) либо Ф. зажимается в патроне механически — губками; патроны употребляются обычной конструкции, а при массовом производстве — специальные, допускающие лучшую (более точную) центровку Ф. Эта вообще сравнительно простая операция в применении к Ф. должна быть выполнена с большой точностью, так как здесь требуется достичь того, чтобы отверстие пришлось точно (часто с точностью до 0,02 мм) в центре по отношению к наружной поверхности Ф. Последнее легко выполнимо, если применяется последующая шлифовка наружного диаметра, в противном случае выполнение этого затруднительно, т. к. Ф. имеет наружную поверхность, изрезанную зубьями, и его трудно центрировать. Шлифовка торцов производится на плоскошлифовальных станках, где Ф. крепится на магнитной плите. Часто один из торцов шлифуется на внутришлифовальном станке вслед за тем (не снимая Ф. с патрона), как шлифовано отверстие. Для этого употребляются внутришлифовальные станки, имеющие дополнительное приспособление для торцевой шлифовки чашечным камнем. Заточка зуба Ф. чаще всего производится на универсально-заточных станках. На фиг. 32 изображено схематич. расположение Ф. и шлифовального круга при заточке острых зубьев; на фиг. 33 изображено



Фиг. 32.

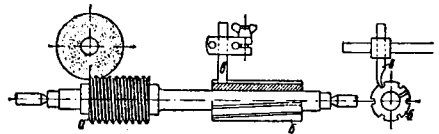


Фиг. 33.

расположение Ф. и шлифовального круга при заточке ватилочных (американских) зубьев. Когда приходится затачивать большое количество Ф. с вставными зубцами, употребляют специальные станки; в последнее время для заточки червячных Ф. стали применять станки, снабженные механизмом, благодаря которому при движении мимо затачивающего круга Ф. соответственно поворачивается (автоматически), чем достигается соблюдение нужного угла наклона спирали. При работе на универсально-заточных станках для заточки червячных фрезеров *a* (фиг. 34) пользуются копиром *b*, снабженным канавками, в точности соответствующими

по числу и углу наклона канавкам червячного Ф.; палец *в* при продольном перемещении суппорта поворачивает оправку с насаженным Ф. на требуемый угол.

Определение качества каждого готового Ф. требует сравнительно сложных манипуляций и является очень важным делом, так как внешний безупречный вид Ф. еще далеко не свидетельствует о том, что он окажется годным в работе. Ниже приводятся некоторые основные моменты из технич. условий на приемку Ф.: а) Ф. должны быть сделаны из соответствующей стали, обеспечивающей нужную стойкость; б) отверстие д. б. выполнено в пределах допуска по ОСТ. Если Ф. имеет хвостовую важную элемент, то последний д. б. выполнен также с соблюдением допусков по ОСТ; в) конфигурация зуба д. б. выполнена с точностью, обуславливаемой точностью того изделия, для обработки которого



Фиг. 34.

предназначается Ф. Проверка ведется либо универсальными измерительными приборами, если в данном конкретном случае это окажется возможным, либо специальными профильными шаблонами (лекалами) на просвет. Возможно также применять пробное фрезерование и проверку пригодности Ф. с этой точки зрения путем промера обработанного изделия; г) Ф. должен иметь минимальное битье по индикатору; ниже даем допуски на битье ряда Ф., принятые в СССР на нек-рых з-дах (в мм):

	Битье по верху	Боковое битье
Цилиндрич. Ф. . . . .	0,07	0,05
Червячные Ф. . . . .	0,05	0,05
Дискные модульные Ф. . . . .	0,05	0,03
Трехсторонние Ф. . . . .	0,06	0,05

д) Твердость Ф. должна быть в пределах 59—63 при нагрузке 150 кг Роквелла для быстрорежущих Ф. и 53—59 для Ф. из углеродистых сталей; е) желательно испытание Ф. в работе резанием для проверки его режущих свойств и стойкости, чтобы иметь гарантию, что он явится эффективным в нужной мере, т. е. сможет обеспечить тот режим резания, который предусматривается при изготовлении изделий. До сих пор в СССР еще нет общепринятых технич. условий на готовые Ф., нет таких условий и в зарубежной литературе, если не считать отдельных отрывочных сведений.

Лит.: Цитинг П., Фрезера, пер. с нем., М., 1928; Сави Н.Н. Резание металлов и инструментов, М.—Л., 1926; Фильдерер М. и Зинде М., Практика фрезерования и производство фрез, М.—Л., 1932; Соколов М., Инструментальное дело, М.—Л., 1933; Оглобин А., Фрезы, М.—Л., 1933. Ф. Нерохов.

**ФУШТОК**, рейка с делениями, устанавливаемая у берегов рек, озер, морей и других водоемов; является простейшим прибором для измерения положения уровня (горизонта) воды. Ф. с организованным наблюдением уровня воды составляет основу водомерного поста, имеющего назначением изучение уровня режима водоема. На реках водомерные наблюдения помимо непосредственной характеристики уровня режима имеют также значение для учета водокосности рек, т. к. высота уровня в реке зависит

от количества протекающей воды через данное живое сечение в единицу времени (расход воды). На морях и озерах футшточные наблюдения производят с целью изучения: 1) режима приливов, отливов и сейш, 2) обычных колебаний в зависимости от случайных изменений в расходе и приходе воды, а также для редукций промеров к условному уровню, называемому «нуль глубин». Колебания уровня необходимо знать портостроителю для правильного установления судовых глубин, а также для назначения горизонтов незатопляемых площадей портовой территории. В первом отношении имеет значение наименьший уровень, при котором устанавливаются наименьшие глубины, во втором — наивысший. Кроме указанного, наблюдения по Ф. нужны для целей судоходства при определении глубин на фарватерах. Наблюдения по Ф. имеют также значение в области теории и практики геодезии. Продолжительные и непрерывные наблюдения по одному и тому же Ф. дают возможность вывести с большой точностью средний уровень моря, который должен совпадать с поверхностью геоида, т. е. тела, определяющего общую форму поверхности земли. С Ф. связана гипсометрия. основа государственных нивелировок, к-рые должны привязываться к нулям морских Ф. для получения отметок — точек земной поверхности от нулевой уровневой поверхности, проходящей через определенную точку Ф. В случае обнаружения при длительных футшточных наблюдениях систематич. изменений среднего уровня последние приписываются «вековому движению» берегового массива, и таким образом Ф. является средством изучения т. н. эпейрогенических движений земной коры. Ф. по цели наблюдений можно разделить на две группы: речные и морские, к последним присоединяют озерные. По значимости результатов следует различать Ф. основные, устанавливаемые на продолжительное время для изучения основных законов колебаний уровня, и второклассные, устанавливаемые на короткий период в качестве подсобных для редукций промеров или получения основных уровней по методу сравнения. Речные водомерные посты подразделяются на уровенные, на которых наблюдения производятся исключительно для изучения режима уровней, и расходные посты, целью к-рых является изучение изменений расхода воды во времени путем предварительного установления связи между высотой уровня и расходом воды.

**Установка Ф.** Место для установки Ф. на морях и озерах выбирается с расчетом, чтобы оно было защищено от прямого воздействия волнения и с приятием во внимание рельефа дна в ближайших окрестностях поста, так как Ф. в отдаленном месте и в глубине залива дают режим уровня не основного водоема, а местный — искаженный. На реках требования к выбору места еще более строгие, а именно: необходимо принимать во внимание типичность места для участка исследований, защищенность от повредительных ледоходов и от размыва, отсутствие естественного или искусственного перепадного подпора, неизменность на участке уклона и условий шероватости и неизменность русла реки.

**Устройство Ф.** Простейший Ф. представляет собой рейку  $10 \times 5$  см в сечении, длиной 2—4 м в зависимости от амплитуды колебаний уровня, окрашенную масляной краской с нанесенными на нее делениями в двойных см. Нуль делений помещается внизу, чтобы отчет выходил положительным и возрастал с поднятием

уровня. Для основного Ф. Потецкимским геодезич. ин-том выработан (1884 г.) тип металлич. Ф. с фарфоровыми вкладышами, отличающийся большой прочностью. Чтобы избежать неточностей отсчетов при волнении, изобретен Ф. с поплавком в колодеце; поплавок помещен внутри вертикально стоящей трубы, сообщаемой с морем; снаружи трубы разбита шкала делений, высота воды указывается подвижным указателем, подвешенным на блоке и сообщаемым с поплавком цепочкой, перекинутой через блок. Другое приспособление для этой же цели предложено инженером-гидрографом Рено и состоит из стеклянной трубки, открытой сверху и снизу; вода в нее проникает снизу через песочный фильтр, что способствует затуханию колебания от волны. **Полярный Ф.** Для изучения колебаний уровня в полярных экспедициях применяется специальный фрезер, устраиваемый на льду. На дно через прорубь опускается на проволоке гири, проволока перекидывается через блок, укрепленный на стойке на льду, на другом конце свешается противовес с указателем. При подъеме и опускании ледяного поля индекс передвигается, указывая степень колебаний. При береговых исследованиях пользуются пловучим Ф., прикрепленным к бакаку (в виде морской веши); нижний конец Ф. прикрепляется к грузу, опускаемому на дно. Уровень отсчитывается по верхней разделенной части Ф., торчащей из воды.

**Речные водомерные посты:** а) речные посты, на к-рых измерение уровня производится по постоянным, укрепленным у места измерений, одной или несколькими рейкам; б) свайные, состоящие из ряда свай, забитых в створе на берегу реки так, что самая нижняя свая находится под водой, а самая высокая лишь немного покрывается самой высокой водой; измерение уровня воды производится при помощи переносной рейки, которая ставится на головку ближайшей к берегу свай, находящейся в воде; в) смешанные, включающие в себе элементы свайных и речных постов, и г) посты мостового типа, в которых горизонт воды определяется измерением расстояния от какой-либо неподвижной точки, находящейся вне поверхности воды над ней, например от фермы железного моста или подошвы рельса на мосту. Ф. устанавливаются, прикрепляя их к специально вбитой в дно свае или кусту свай. В портах они прибиваются к пристаням и молам и иногда окрашиваются непосредственно на стенках гаваней или на гладких поверхностях скал. Морские Ф. прикрепляют иногда к специальным ряжам или непосредственно к скалам. Допускается и наклонная установка, в этом случае деления Ф. рабываются с учетом угла наклона. На горных реках с небольшими амплитудами устанавливаются иногда т. н. передаточный пост; такой пост: 1) не нарушает естественных условий потока, 2) не создает подпора, 3) не может быть поврежден плавящимися предметами. Он состоит из гири, опускаемой на тросе через блок до поверхности воды. Блок подвешивается на поперечной балке над водой у берега. Отсчет делается по указателю, прикрепляемому к тросу. Ф. для наибольших и наименьших уровней, отмечающие эти уровни автоматически, имеются различных конструкций; относительным распространением пользуются зубчатая рейка с поплавочным индикатором. Такая рейка с боков имеет зубцы. Поплавок в виде небольшой горизонтальной пла-

вающей доски надет на рейку отверстием в своей середине. При подъеме воды поплавок поднимается, но опустится ему мешают пружины, упирающиеся с боков в зубцы рейки. Основное требование к Ф.—его неподвижность в период наблюдений. Для обеспечения контроля над неподвижностью Ф. на берегу устраивается футшточный репер. На реках для этой цели служат чугунные винтовые сваи, каменные или бетонные столбики, реперные марши, закладываемые в фундаментах зданий, и заершенные штыри. Временными реперами служат деревянные столбы с горизонтальным пропилом. Превышение репера над нулем рейки д. б. точно определено нивелировкой и временами поверяться; перемены этой величины характеризуют степень неподвижности установки.

Методика наблюдений. Нормальной частотой для равнинных рек на уровнежных постах принимается наблюдение 1 раз в сутки в 7 ч. утра по поясному времени и в период весенних паводков еще раз в 19 ч. На расходных постах считаются желательными непрерывные наблюдения самописцами или же трехсрочные или четырехсрочные суточные измерения; часы этих измерений м. б. установлены эмпирич. путем на основании пробной серии ежедневных наблюдений. На морских постах в бесприливных морях наблюдения уровня приурочиваются к срокам метеорологич. наблюдений, т. е. в 7 ч., 13 ч. и 21 ч., при наличии же приливов и отливов наблюдения делаются ежедневно, а около моментов полных и малых вод—через 10 мин. Для уточнения отчетов существуют специальные приборы, напр. измеритель инж. Соколова, дающий точность отсчета до 1 мм, или америк. крючковые рейки с верньерами до 3 мм.

Лит.: Оглевский А., Гидрометрия, М.—Л., 1934; Гирилович Н., Гидрометрия, 2 изд., Л., 1933 (литогр.); Руководство для ведения гидрологических и метеорологических наблюдений на береговых станциях и плавучих маяках морского ведомства, Л., 1933; Блязлик Е., Правила для наблюдений водонесущих постов в Обь-Енисейской партии, «Материалы и инструкции по исследованию водных путей», вып. 21, СПб., 1912; Максимова Г., Сети точных нивелировок на берегах Балтийского моря, доклад № 71 Гидрологической конференции Балтийских стран, Л., 1933; в связи с. О среднем уровне Черного и Азовского морей в восточном бассейне каспийского моря и высот для морей СССР, Известия Рос. гидролог. ин-та, Л., 1927, 19; Основы гидрологии, под ред. С. Советова, М.—Л., 1933; Шпиндлер Н., Лекции по физической географии, вып. 1 и 2, СПб., 1903; Ляницкий В., Морские порты, 2 изд., М.—Л., 1932; Максимова Г., Курс гидрографии, П., 1918; Жемеров З., Средний уровень Балтики у Кронштадта, «Зап. по гидрографии», 1930, 1; Д. Д. Данилов, L'Etat de la Geodetic Survey, Special Publication of Coast a. Geodetic Survey, 1927, 33; Prude G., Instruction for Tidal Observations, ibidem, 1928, 139; M. Rollet de L'isle, Observation, étude et prédication des marées, Paris, 1905; Bowie W., Geodetic Operations of the United States 1924—26, «Sp. Publ. of Coast a. Geodetic Survey», 1927, 134.

**ЦЕЛЛЮЛОИД**, пластическая масса, изготовляемая из нитроцеллюлозы путем смешивания ее с камфорой. Ц. был изобретен (1869 г.) американцем Дж. У. Гияттом, и с тех пор целлюлоидная промышленность получила широчайшее распространение. Продукция Ц. и изделий из него ежегодно составляет во всем мире десятки тысяч т, и производство и переработка его имеют почти во всех государствах земного шара. В основном процесс изготовления Ц. сохранился в настоящее время тем же, каким был в свое время предложен Гияттом, и состоит из следующих основных операций: 1) подготовка сырья, 2) смешивание нитроцеллюлозы с камфорой и другими органич. веществами, 3) фильтрование массы, 4) вальцевание, раса сопровождающееся

подпрессовкой и наполнением массы, 5) прессование в блок, 6) резка блока, 7) сушка листов, 8) выпрессование листов и полировка, 9) переработка Ц.

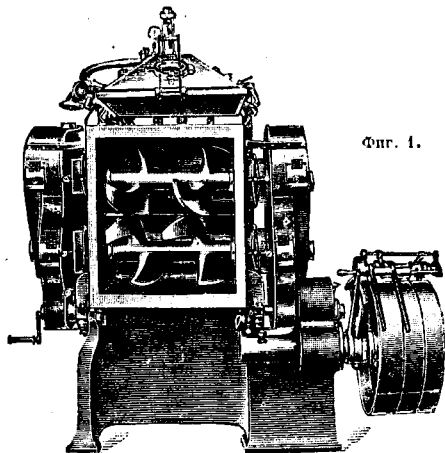
Сырье. Основными видами сырья для изготовления Ц. являются: а) нитроцеллюлоза, б) камфора, в) спирт. Кроме них применяют еще пластификаторы, минеральные наполнители и красящие вещества. К основным материалам предъявляются следующие требования: а) Нитроцеллюлоза. Содержание азота—10,7—11,5%; вязкость по Энглеру—не выше 4; растворимость в спиртовом растворе камфоры полная, так же как и в спиртовом растворе эфира; стойкость при 135° не менее 20 мин.; реакция—нейтральная; цвет—чистый белый; отсутствие посторонних механич. примесей. б) Камфора. При производстве Ц. применяется как натуральная, так и синтетич. камфора. Натуральная камфора должна иметь  $t_{пл.}$  175°, вращать плоскость поляризации влево, не должна иметь заметной кислой реакции, посторонних примесей и загрязнений. Синтетическая камфора независимо от способа изготовления должна иметь  $t_{пл.}$  не ниже 173°, не иметь кислотности, в остальном же требования одинаковы с натуральной камфорой. в) Спирт этиловый. Крепость—не ниже 95° (92,5 вес. %), бесцветный, прозрачный, без постороннего запаха, при смешивании с водой в любых пропорциях не должен давать помутнения, твердый остаток после выпаривания на водяной бане—не выше 0,01%.

1) Подготовка сырья состоит в предварительном приготовлении раствора камфоры в спирте, причем эта операция производится преимущественно при употреблении натуральной камфоры, поступающей на производство в виде плотных, трудно измельчаемых плиток. Растворение производится в растворителе с мешалкой обычного типа. Перед употреблением раствор д. б. отфильтрован.

2) Смешивание нитроцеллюлозы со спиртом и камфорой является первой стадией в изготовлении целлюлоида. Соотношение составных частей примерно следующее: нитроцеллюлозы—100 ч. (45,5%), камфоры—40 ч. (18,2%), спирта—80 ч. (36,3%). Содержание камфоры может колебаться в пределах 25—50% по отношению к нитроцеллюлозе. Смешивание составных частей в настоящее время производится в специальных смесителях, обычно сист. Вернера и Пфлейдерера. Специальный целлюлоидный смеситель состоит из: 1) футерованного внутри никтевыми листами бака, снабженного двойными стенками, 2) месильных лопастей, расположенных горизонтально и вращающихся навстречу друг другу, и 3) герметич. крышки, снабженной застывленным отверстием для наблюдения за массой и соединенной с вакуумом и холодильником (фиг. 1). Операция производится при нагревании до 80—90°, для чего смеситель обогревается отработанным паром или горячей водой из специального котла. Продолжительность операции в зависимости от размеров смесителя и качества нитроцеллюлозы 2—3 часа. Нормальный смеситель емкостью в 400 л допускает одновременную переработку до 100 кг нитроцеллюлозы. Полноразмерная мощность для смесителя при стандартной целлюлозе—10 л. с. При употреблении нитроцеллюлозы с большей вязкостью расход энергии сильно увеличивается. Конец операции определяется по внешнему виду массы (гомогенность, отсутствие комков). Когда смешивание закончено, дают вакуум и отсасывают большую часть спирта, после чего масса идет на следующую

щую операцию — фильтрование. Отсасыванием удаляется приблизительно 50% всего спирта. При перемешивании массы нужно следить, чтобы  $t^{\circ}$  была в пределах 80—90°. После выгрузки массы следующая загрузка производится лишь после тщательной чистки смесителя.

3) **Фильтрование.** Для очистки полученной массы от механич. примесей, к-рые могут попасть в нее как с сырьем (особенно с нитроцеллюлозой), так и со смесителем или при транспортировке, ее подвергают фильтрованию на специальных фильпрессах. Удаление механич.



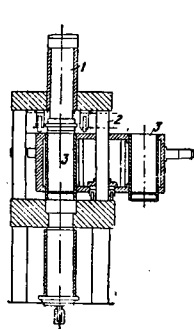
Фиг. 1.

примесей важно не только потому, что они могут испортить вид готового изделия, но главным образом потому, что они могут вызвать взрывы при дальнейшей переработке массы и хранении готового Ц. Тестообразную массу загружают в цилиндр, где она спрессовывается вначале небольшим поршнем, затем продвигается под большой поршень, который и продавливает массу через фильтровальную сетку. В зависимости от количества оставшегося после отсасывания спирта, вязкости нитроцеллюлозы и плотности сетки давление, развиваемое при фильтровании, колеблется в пределах 50—300 *atm*. Масса фильтрруется через сетки из бронзовой или латунной проволоки, к-рые по сравнению со стальными изнашиваются меньше. При сильном загрязнении массы ее фильтруют несколько раз через сетки с постепенно повышающимся номером; иногда применяют волосные сетки и специальное фильтровальное полотно. Большое значение имеет  $t^{\circ}$ , при которой ведется фильрование. Обычно ее держат в пределах 75—85°, избегая слишком высокого подъема ее, т. к. это связано с опасностью воспламенения Ц. Время прессования при употреблении стандартных материалов составляет 3—5 мин. Потребная мощность 1—1½ л. с. Отработанные сетки обычно очищают от задержавшегося на них Ц. и загрязнений промывают в ацетоне или спиртовым эфире. Т. к. фильрование ведут при нагреве, некоторые системы прессов снабжены увлажителями паров спирта, направляемых на рекуперацию. Схематическое устройство фильпресса показано на фиг. 2: 1—поршень, 2—колонка пресса, 3—поворачивающийся цилиндр.

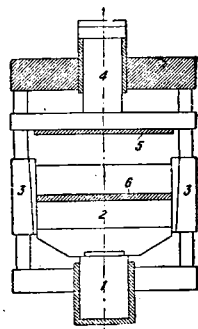
4) **Вальцевание.** Профильрованная масса подвергается вальцеванию. Задача последне-

го — полная гомогенизация раствора нитроцеллюлозы в камфоре и удаление избыточного растворителя. Одновременно при вальцевании производят наполнение и окраску массы. Операция производится в течение 3—4 ч. при  $t^{\circ}$  60—70° на специальных вальцах. Вальцы машины полые. Один из валов обогревается горячей водой, другой же охлаждается. Скорости вращения валов неодинаковы: обычно линейная скорость вращения нагреваемого вала на 10—15% больше скорости вращения охлаждаемого вала. Нормальные вальцы имеют следующие показатели: diam. валов 900 мм, скорость вращения 6—7 об/м., количество перерабатываемой массы — исходя из 100 кг нитроцеллюлозы, потребная мощность 50—75 л. с. в зависимости от качества нитроцеллюлозы (вязкости). Вальцы покрывают колпаком, а испаряющийся спирт отсасывается сильным вентилятором. Пыри спирта направляются на рекуперацию. После вальцевания в массе остается еще 10—15% спирта. По мере хода операции масса периодически срезается с вала ножом, сворачивается и снова валцуются. Конец вальцевания определяется как по внешнему виду массы (упругость при надавливании ногтем и т. д.), так и по содержанию спирта, определяемого путем взвешивания массы, срезаемой с вальцов. Вальцевание требует очень внимательного наблюдения, т. к. сопряжено с опасностью воспламенения.

5) **Прессование** в блок имеет назначением уплотнение массы, удаление содержащегося в массе воздуха в виде пузырей и придание массе формы, удобной для дальнейшей переработки на листы. Операция производится при нагревании и применении высокого давления в два приема. Продолжительность операции 4—5 ч. В течение первых 2—2½ ч. поддерживается давление в 50 *atm* и  $t^{\circ}$  60°, а затем давление повышается до 150 *atm*, а  $t^{\circ}$  до 80—90°. По окончании прессования блок охлаждается приблизительно 4 ч. Схема прессы изображена на фиг. 3.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Давление производится сверху и снизу; осуществляется оно соответствующим расположением поршней: 1—поршень, 2—стол (нагреваемый и охлаждаемый), 3—кожух, 4—гидравлический цилиндр. Пресс имеет две плиты (5 и 6), причем верхняя поднимается гидравлич. путем, нижняя вынимающаяся плита снабжена бороздками. Готовый блок вынимается вместе с этой плитой. Перед загрузкой массы в пресс ее покрывают никелевым или цинковым листом, стенки же прессы смазываются мыльным раствором. Это делается для предотвращения приставания мас-



сы к стенкам. Работа с блокпрессом требует особой внимательности и чистоты, так как попадание какого-либо жира даже с рук приводит не к полному свариванию массы. Блоки прессуются в виде цилиндров или прямоугольных параллелепипедов. Цилиндрический блок весит 120—160 кг, прямоугольный—160—200 кг. Стандартные размеры последних—600×1 200 мм. Для цилиндрических блоков применяются специальные прессы. Вынутый из прессы блок до пуска его на дальнейшую обработку подвергается охлаждению водой в специальных баках, что необходимо для выравнивания  $t^{\circ}$  во всей массе блока. Охлаждение блока продолжается 20—24 ч. Для получения трубок из Ц. провальцованная масса прессуется через обогреваемый мундштук горизонтального гидравлич. прессы. При этом температура поддерживается в пределах 60—70°, а давление—ок. 200—300 атм. Скорость движения трубок колеблется в пределах 3—220 мм/сек.

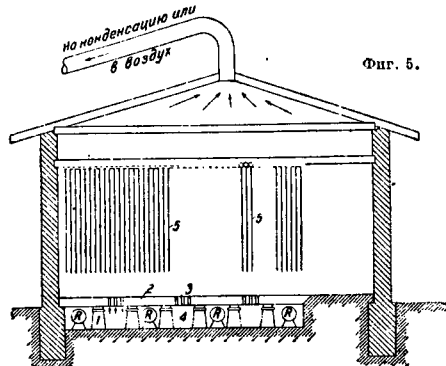
6) Резка, или строгание, блока. Охлажденный блок вместе с нижней стальной плитой переносится на строгальную машину. Она состоит из: 1) подвижного стола, 2) ножа и 3) приспособления для автоматич. подъема стола после снятия листа на точную высоту. В новейших строгальных машинах подача ножа производится гидравлич. путем. Нарезка блока на листы производится автоматически. Листы строгаются толщиной 0,03—25—30 мм; допуск не выше 0,25—0,3%. В современных строгальных машинах скорость резки 450—600 мм/сек, т. е. они делают до 30 срезов в минуту. Потребная мощность 5—10 л. с. Нож приходится заменять (и точить) через каждые 400—500 листов. Цилиндрич. блоки режутся на листы бесконечной длины на специальном строгальном станке. На строгальной машине можно производить резку блока не только на листы, но и на палочки, для чего вместо ножа ставят несколько специальных резцов (не менее 6 шт.). Т. о. можно вырезать палочки диаметром 2—60 мм. Однако при этом получается большое количество отходов, доходящее в нек-рых случаях до 40%. Схема реза для палочек показана на фиг. 4.



Фиг. 4.

7) Сушка листов. Нарезанные листы, палки или трубки содержат до 15% спирта. Для удаления его Ц. подвергается сушке в специальных камерах. Схема такой камеры показана на фиг. 5, где Р—радиаторы для обогрева, 1—цементные ребра, 2—цементные плиты без отдушины, 3—плиты с отдушниками, 4—воздушные шахты, 5—целлюлозные листы. Сушка производится при  $t^{\circ}$  35—40°. Воздух нагревается радиаторами, обогреваемыми горячей водой. Радиаторы помещаются под полом. Цементный пол имеет отверстия для выхода воздуха. Из камеры воздух высасывается сильным вентилятором, и пары спирта направляются на рекуперацию или выпускаются в воздух. Камера имеет двери с обоих противоположных концов. Целлюлозные листы подвешиваются на проволоках, протянутых через всю камеру, при помощи специальных эжиков. Продолжительность сушки зависит от толщины листов; обычно при толщине листа в 0,1 мм при 35° она равна 12 ч. Толстые листы иногда сушатся в течение нескольких месяцев, поэтому их подвешивают предварительной подсушке при более низкой  $t^{\circ}$  20—25° в течение нескольких (3—5) дней, а уже затем сушат при указанных условиях.

В целях безопасности сушильные камеры должны помещаться не ближе 12 м от других зданий, двери камеры должны открываться наружу. Освещение—только электрическое и специальными безопасными лампами, причем выключатель должен находиться вне камеры. Определенные степени высыхания проводится след. обр.: куски Ц. размельчают рашилом и полученные стружки помещают в стаканчик для взвешивания и высушивают при 80° в течение 10—15 мин.



Фиг. 5.

8) Выпрямление листов и полировка. Сушка листов сопровождается короблением и стигиванием их. Поэтому для выпрямления листов и придания им товарного вида их подвергают выпрямлению и полировке. Выпрямление производится путем прессования в многостанном вертикальном гидравлическом прессе. Плиты прессы снабжены каналами, через которые пропускается горячая вода для обогрева и холодная для охлаждения. Листы Ц. кладут между стальными листами последовательно и помещают между плитами прессы. При выпрямлении поддерживают  $t^{\circ}$  85—90° и давление в 100—150 атм. Вся эта операция продолжается 15—20 мин., после чего дается охлаждение. Для получения полированных листов Ц. прокладывается никелированными пластинами,  $t^{\circ}$  та же, давление же увеличивается до 300 атм; прессование продлится ок. 1/2 ч. Пресс обычно имеет до 20 этажей, и между каждым из них кладется до 5 листов. При прессовании происходит сильная электризация Ц., поэтому пресс снабжен приспособлением для отвода электрич. заряда. Полировка Ц. производится механич. путем или же лакировкой специальным лаком.

9) Переработка Ц. Полированные или выпрямленные листы обрезают с краев для придания им ровной правильной формы. Образующиеся отходы перерабатывают снова. Ц. в листах, палках или трубах подвергается дальнейшей переработке на различные изделия путем штамповки или обработки на станках. Отходы Ц. в виде всякого рода обрезков перерабатывают снова. Поэтому при правильно ведущемся производстве отходы составляют очень незначительную величину. Переработка производится так же, как и обычно при получении Ц.

Важнейшие технические нормы. Рабочее помещение определяется нормой 15 м<sup>3</sup> на человека в больших помещениях и 20—25 м<sup>3</sup> в малых. Расход воды зависит от величины блок-прессов; при ежедневном производстве в 1 000 кг Ц. он составляет до 50 л на 1 кг продук-

пии (не считая изготовления нитроцеллюлозы). Потребление энергии — ок. 1 kW на 1 кг продукции, потребление пара — 15—20 кг на 1 кг.

Свойства Ц. Уд. вес — ок. 1,3; прочность на разрыв 5—8 кг/мм<sup>2</sup>, удлинение — 30—35%; плохой проводник тепла; адсорбирует газы. Вода, слабые растворы кислот и щелочей не действует на Ц.; наоборот, концентрированные растворы растворяют его; горюч, но не чувствителен к удару, трению; под действием света и тепла (появление) распадается и тогда становится огнеопасным (самовоспламенение). При нагревании до 90° Ц. размягчается.

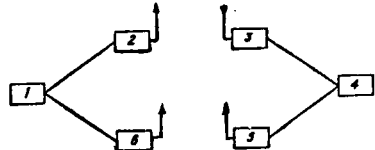
Трудно воспламеняемый Ц. Огнеопасность Ц. заставила искать путей снижения ее. Для уменьшения воспламеняемости в Ц. вводят хлориды и бромиды металлов (преимущественно I и II группы), соли борной к-ты, растворимые в органич. жидкостях фосфаты и углекислые соли. Кроме того вводят различные органич. вещества, некоторые из них заменяют частично камфору. Из органических веществ вводят: желатину, сурепное масло, мальтодекстрин, мочевины и ее производные, лактамиды, соли камфорной к-ты, триарилфосфаты, казеин, воски и т. д. Однако все эти добавки не очень уменьшают воспламеняемость Ц. Пытано поиска безопасного Ц. привели к замене его другими веществами, например ацетицеллюлозой (целлон) и другими эфирами целлюлозы, белками, синтетическими пластмассами, смолами и т. п. Имеются сотни патентов, рекомендующих замену Ц. другими огнебезопасными массами.

Лит.: Слоссон Э. Искусственные пластические вещества, пер. с англ., Л., 1928; Фридендер Р. Целлюлоид, его свойства, производство и применение, Л., 1925; Ушаков С. Пластические массы из эфиров целлюлозы, М.—Л., 1933; Каушо, Руководство по искусственным пластич. массам, пер. с нем., Л., 1934; A nd e s L., Celluloid u. seine Verarbeitung, W.—Lpz., 1907; В о s k t a n n Fr., Das Celluloid, 6 Aufl., W.—Lpz., 1921; F e i l e r S., Das Celluloid u. seine Ersatzstoffe, W., 1912; P i e s t S., Stich E. u. V i e w e g W., Das Celluloid, Halle, 1913; «Пластические массы», «Celluloid und plastische Masse», Beilage zur «Gummi-Ztg», Berlin; «Kunststoffe», München; «Chemiker-Ztg», «Le Caoutchouc et la Guita-Percha», P.; «Revue Générale des Matières Plastiques», P.; «British Plastics», L.; «Ind. a. Eng. Chem.»; «Plastic a. Moulded Products», N. Y., и ряд других.

**ЦЕНТРЫ РАДИОТЕЛЕГРАФНЫЕ** телеграфно-телефонной связи. По масштабу радиосвязи Ц. р. разделяются на магистральные, внутриобластные и низовые. Существенным отличительным признаком этого подразделения являются мощности передатчиков, устанавливаемые в Ц. р., а именно — в центре магистральной радиосвязи устанавливаются 15—20-kW передатчики, в центре внутрисобластной — 1—2-kW передатчики и низовой — 50—150-W передатчики. Экономическая и эксплуатационно-техническая характеристика всех трех масштабов радиосвязи может быть сделана только при рассмотрении передатчиков Ц. р. как звеньев единой линии радиосвязи. Для полной же характеристики работы линии радиосвязи необходимо учитывать, что она состоит из следующих шести звеньев (фиг. 1): 1 — радиобюро (радиозвез), 2 — передающий Ц. р., 3 — приемный Ц. р., 4 — радиобюро (радиозвез), 5 — передающий Ц. р., 6 — приемный Ц. р.

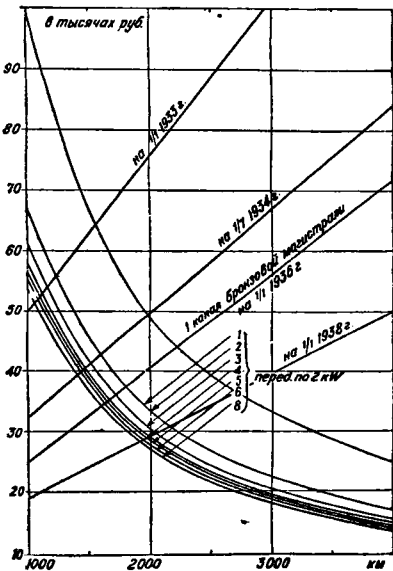
Экономические преимущества радиосвязи перед проволочной связью. При учете первоначальных затрат на все шесть звеньев радиолинии и стоимости их эксплуатации в течение 10 лет, а также полной стоимости проволочной линии связи с тем же сроком эксплуатации можно произвести срав-

нительную характеристику стоимости обоих типов связи для различных расстояний. Такое сравнение сделано для различного числа передатчиков в 15 и 1—2 kW, находящихся на передающем Ц. р., и соответственно — приемных устройств на приемном Ц. р. и радиобюро (фиг. 2 и 3, сравнительная стоимость одного канала проволочной магистрали и одного радиоканала при различном количестве их в Ц. р.), причем по оси абсцисс отложено расстояние, по оси ординат — стоимость эксплуатации и амортизации за год. На этих фигурах прямые



Фиг. 1.

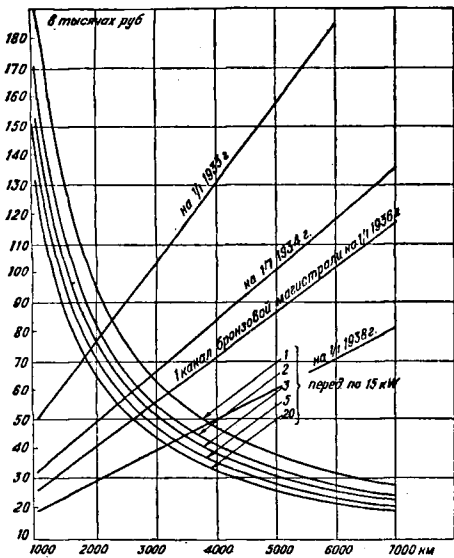
линии относятся к стоимости проволочной связи, кривые — к радиосвязи. Для проволочной связи учтена ее реконструкция во 2-м пятилетии, заключающаяся в уплотнении линий каналами надтоальной связи (см. Многократное телеграфирование и телефонирование). Для низовой радиосвязи (фиг. 4) сравнение проделано для стоимости эксплуатации и амортизации



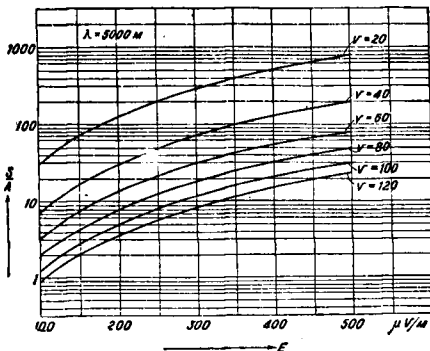
Фиг. 2.

в час при различном числе связей по радио при циркулярной передаче. По оси ординат отложена стоимость эксплуатации и амортизации в час, по оси абсцисс — расстояние.

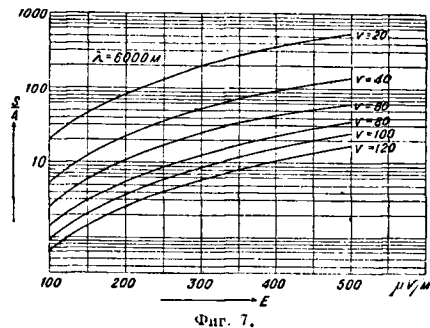
Эффективность радиосооружений передающего Ц. р. и затухание мощности вдоль линии радиосвязи. Длина волновое центра. Мощность сооружений (передатчика и антенны) Ц. р. зависит от длины обслуживаемой



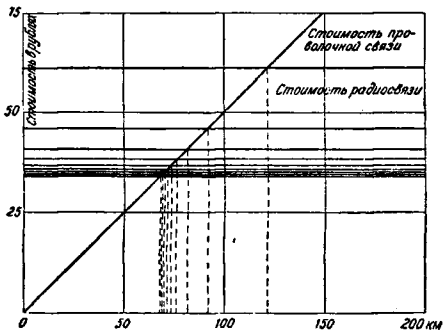
Фиг. 3.



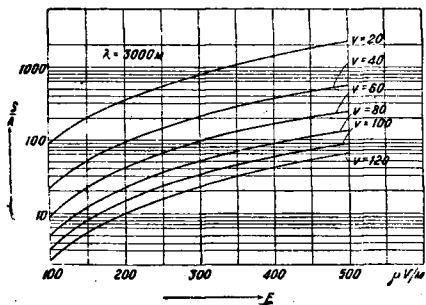
Фиг. 6.



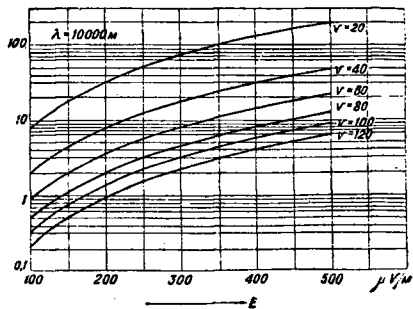
Фиг. 7.



Фиг. 4.

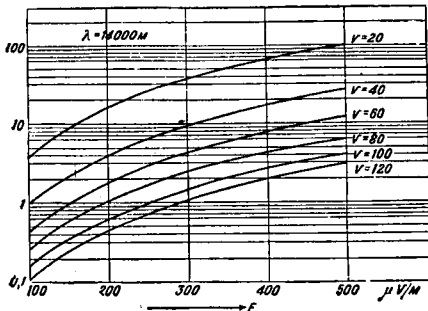


Фиг. 5.



Фиг. 8.

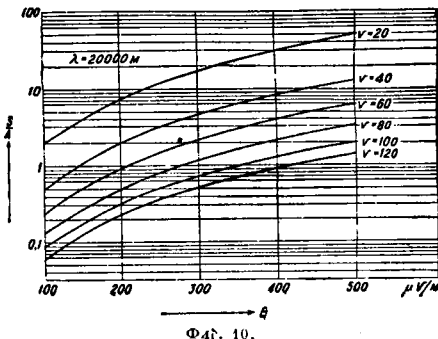
радиомагистральной, длины принимаемой волны и интенсивности помех на приеме. Чем длиннее магистраль, тем больше затухание энергии. С увеличением длины волны длинноволнового диапазона интенсивность атмосферных помех увеличивается, но затухание энергии уменьшается,



Фиг. 9.

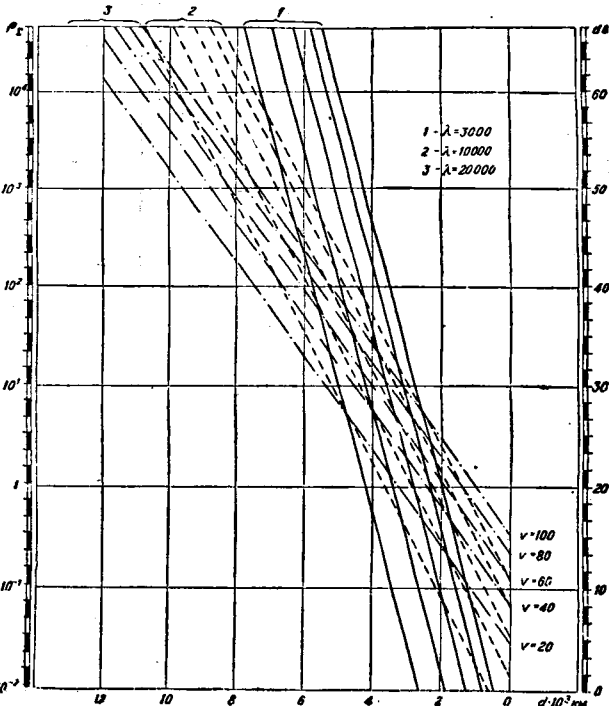
и следовательно в этом случае могут быть найдены оптимальные условия для связи подбором длины волны. Основными помехами в длинноволновом радиотелеграфном диапазоне являются атмосферные помехи (см.) геологич. и космич. происхождения; в коротковолновом диапазоне — замирания (см.) и эхо. Следовательно для волн от 1 875 до 30 000 м норма напряженности (см.) поля для различных скоростей телеграфирования  $v$  (слов в мин. — см. Быстродействующие радиопередачи и радиоприем) будет диктоваться отношением  $\frac{S}{A}$  интегрального эффекта силы сигналов  $S$  к силе помех  $A$ . Для различных длин волн эти кривые  $\frac{S}{A} = f(L)$  (фиг. 5, 6, 7, 8, 9, 10) дают возможность судить о необходимой напряженности поля для приема. Кривые на фиг. 11, показывающие затухание мощности вдоль линии радиосвязи, представляют возможность судить о необходимой мощности излучения передающих устройств длинноволнового центра. Уровни мощности построены (фиг. 11, где  $P_{\Sigma}$  — излучаемая мощность,  $v$  — скорость телеграфирования,  $db$  — уровень в децибелах,  $O$  — нормальный уровень, кривая 1 соответствует  $\lambda = 3\ 000$  м, 2 —  $10\ 000$  м, 3 —  $20\ 000$  м) по методу, аналогично применяемому в проводной связи, а именно затухание мощности квалифицируется относительно одного общего стандартного нулевого уровня телефонной или телеграфной связи. В данном случае радио- и проводочная связи совершенно идентичны. Чтобы выразить потери при радиопередаче в такой форме, к-рая давала бы возможность иметь комплексную радиопроволочную связь, необходимо базироваться при судейдении о затухании на стандартной величине

нулевого уровня мощности, рекомендованной Международным консультативным комитетом в Гааге. Такая мощность для телефона составляет



Фиг. 10.

1 мW при напряжении, равном 775 мV, и токе — 1,29 мA при соответствующем приемном телефонном устройстве, сопротивление к-рого м. б. равно 600  $\Omega$ . За нормальный уровень мощности при телеграфной радиопередаче м. б. принята величина, равная 0,01 W, представляющая со-

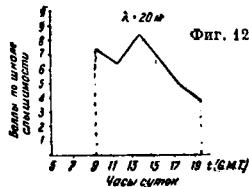


Фиг. 11.

бой среднее значение мощности, необходимой для различных реле (Приса, Крида, Сименса и т. д.). Методы расчета напряженности поля для длинных волн см. Беспроволочная связь, Техника высокой частоты.

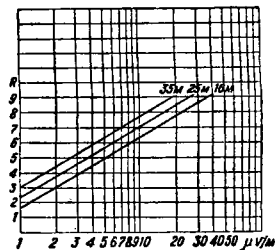
Коротковолновые Ц. р. Суждение о необходимой мощности коротковолнового Ц. р. и эффективности его передающих сооружений представляет трудности, т. к. связано с вопросом прохождения коротких волн (см.), величины помех в этом диапазоне (см. Атмосферные помехи и Радиопомехи) и расчетом напряженности поля в месте приема. Остановимся подробно на этом последнем расчете, т. к. именно он является основным при расчете Ц. р.

Расчет напряженности электромагнитного поля в месте приема. Методы расчета напряженности электромагнитного поля коротких волн даются различными авторами. 1) Результаты измерений напряженности поля различных радиостанций, проведенные фирмой Маркони до октября 1929 года, были доложены Всемирному инженерному конгрессу, состоявшемуся в Токио в октябре 1929 г. Извлечения из этого даны [1] ими в виде метода расчета прохождения волн в различных



Фиг. 12.  $\lambda = 20 \text{ м}$

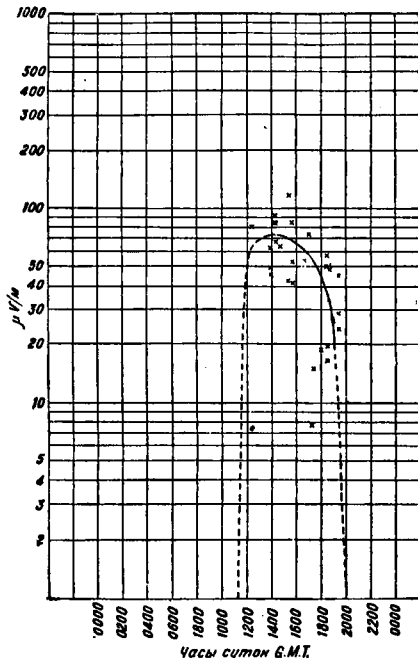
часы суток разных сезонов года. Последующие измерения с октября 1930 г. по январь 1931 г., а также анализ их [2] подтверждают точность метода расчета при помощи теневых карт. 2) Метод расчета, предложенный А. Н. Шуйкиным [3], исходящим при выводе своей формулы из теневых карт Эккерслея и Тремелена, а также и Берроуза, по конечному результату, величине вычисленного напряжения электромагнитного поля мало чем отличается от метода Эккерслея и Тремелена. Для сравнительного анализа этих



Фиг. 13.

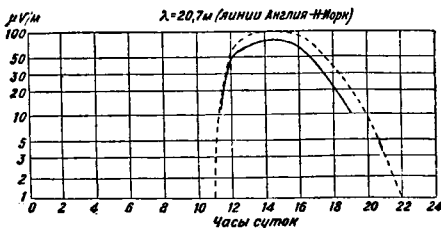
двух методов возьмем линию радиосвязи между Англией и Нью-Йорком, работающую на волне 20,7 м. Расчет при помощи теневых карт дает кривую удовлетворительного прохождения волны, как указано на фиг. 12, а время от 9 до 19 GMT. Если теперь воспользуемся кривой (фиг. 2), предложенной Эккерслеем [2], то значение поля будем иметь не в баллах слышимости R, а в  $\mu\text{V}/\text{м}$ . Сравнивая эту кривую с экспериментальными данными (фиг. 14), мы видим, что кривая (фиг. 13), которая служит для перевода баллов слышимости в  $\mu\text{V}/\text{м}$ , достаточно удовлетворяет своему назначению. Сравнивая далее результаты расчета поля по методу Шуйкина (фиг. 15, сплошная кривая — опытные данные, пунктирная — расчет), мы видим, что они мало отличаются от расчетов по методу Эккерслея и Тремелена. 3) Методы расчета напряженности поля, предложенные Шуйкиным и Ляссеном [4], достаточно аналогичны. Метод Шуйкина дает возможность расчета поля только для однократного отражения. Метод же, предложенный Ляссеном, дает возможность расчета поля как при однократном отражении, которое он называет ближним излучением

(4 500 км), так и для луча, претерпевающего многократное отражение от слоя Хивисайда и земли. Кроме того по методу Ляссена возможно учесть различную величину ослабления энергии излучения в зависимости от проводимости почвы.



Фиг. 14.

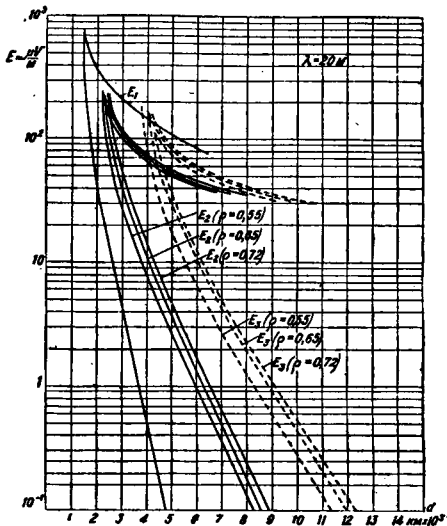
Сравнение методов Шуйкина и Ляссена произведем на примере, соответствующем расстоянию между Англией и Нью-Йорком. Для этого расстояния по верхней ветви первой слева кривой  $E_1$  (фиг. 16,  $e$  — величина ослабления луча) мы находим, что максимальное значение поля, которое не подверглось воздействию замираний, соответствует величине, рав-



Фиг. 15.

ной 120  $\mu\text{V}/\text{м}$ . При этом мы должны отметить, что это значение поля соответствует 1 kW излучения. Теперь, обращаясь к кривым, подсчитанным по формуле проф. Шуйкина (фиг. 17), мы для того же самого расстояния найдем, что мощность излучения, равная 1 kW, совпадает приблизительно ту же самую величину поля, т. е. ок. 150  $\mu\text{V}/\text{м}$ . Т. о. мы видим, что методы

расчета проф. Шулейкина и Ляссена по конечному результату ничем не отличаются друг от друга. Переходя далее к сравнению измерений



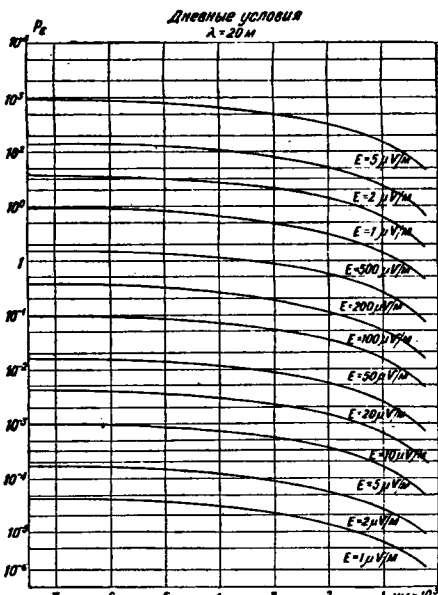
Фиг. 16.

Энкерслея и его метода расчета с методами проф. Шулейкина и Ляссена, необходимо отметить, что последние при построении своих методов не учитывали влияния замираний на величину поля в месте приема, тогда как Энкерслея, исходя при построении своего метода из экспериментальных данных, тем самым и учитывал влияние замираний на радиопередачу. Последние оказывают серьезное влияние на результаты расчета коротковолнового Ц. р. Поэтому при дальнейшем расчете приходится решать вопрос о вероятной глубине замирания на данной линии радиосвязи.

Замирание (см.) проявляет себя различным образом. Часто встречается интерференционное замирание, легко определяемое по периодич. усилению и ослаблению сигналов. При радиотелефонной связи в сильной степени проявляется себя т. н. избирательное замирание, распознаваемое в появлении сильных искажений музыки и речи. На границах мертвых зон наблюдается т. н. поляризац и о н о е замирание. Апплетон и Барнетт [3] полагают, что наиболее часто встречаемым замиранием для волн от 60 до 400 м является интерферирующее замирание. Интерферирующими лучами в данном случае авторы считают волны, распространяющиеся двумя путями, один из которых пролетает вдоль поверхности земли, а другой возвращается к земле после отражения от слоя Хивисайда. Оба эти луча, попадая в приемное устройство, имеют различные фазы вследствие сдвига во времени. Сигнал вследствие этого ослабляется и даже совершенно исчезает при сдвиге фаз на 180°. Разность хода лучей всецело зависит от высоты слоя Хивисайда. С наступлением дня интенсивность луча, отраженного от верхних слоев атмосферы, постепенно уменьшается и наконец совершенно исчезает. Кроме того интерферирующее замирание имеет

место в коротковолновом диапазоне также на волнах и короче 60 м. В этом диапазоне интерференция возникает также от сдвига во времени, только в данном случае разность хода лучей получается вследствие того, что они отражаются от различных участков слоя Хивисайда. Если передатчик работает телеграфом, то, работая сильно направленными антеннами, мы можем в сильной степени уменьшать возможность отражения околных лучей и следовательно уменьшить интерферирующее замирание. При работе радиотелефоном вследствие большой ширины полосы передаваемых частот от интерферирующего замирания избавиться при помощи остро направленных передающих антенн труднее, т. к. в этом случае отражение излучаемого спектра частот происходит на различной высоте. Кроме того ионизированный слой не находится в спокойном состоянии вследствие меняющейся ионизации и магнитных бурь, поэтому меняется поглощение и длина пройденного лучом пути, что также вызывает замирание. Влияние магнитных бурь особенно сильно сказывается при прохождении коротких волн вблизи магнитных полюсов. Избирательное замирание, как ранее указывалось, имеет место при радиотелефонной передаче вследствие различных условий отражения спектра излучаемых частот, следовательно на приеме мы получим различное соотношение фаз для частот принятого спектра, и поэтому окажется, что одни амплитуды спектра усилятся, другие вследствие сдвига на 180° совершенно пропадут и третьи ослабнут вследствие не-рого сдвига фаз.

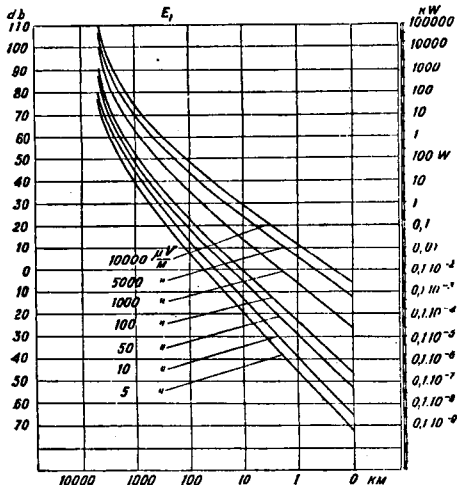
В исследованиях Поттера [4] можно видеть, что с увеличением длины волны передачи частота



Фиг. 17.

и глубина избирательного замирания уменьшается. В частности он нашел, что глубина замирания меняется в десять раз при переходе от волны

15 м к волне 120 м. Что касается продолжительности замираний, то Апплетон приходит к следующим выводам: продолжительность замираний на длинных волнах достигает нескольких секунд; при 100 м достигает нескольких долей секунд и при 10 м замирание совершенно исчезает.



Фиг. 18.

Беведрж и Петерсен [7] в описании системы радиотелеграфного приема на несколько антенн считают, что сигнал частотой 20 000 kHz, имеющий напряженность поля в месте приема  $100 \mu\text{В/м}$ , может быть совершенно неслышен, т. е. колебания напряженности поля порядка  $10\ 000 : 1$  по их наблюдениям представляют довольно частое явление. Наблюдения Энкерслея [2] приводят его к выводам, что колебания силы сигналов, получаемых в Англии из Монреаля и Нью Йорка, довольно часто характеризуются отношением  $10 : 1$ . Колебания поля при связи с Юж. Африкой, а также с о-вом Ява (условия соответствуют условиям СССР) дают колебания поля соответственно с  $50 : 1$  и  $60 : 1$ . При связи с городом Пуна (Индия) колебание поля наблюдалось порядка  $40 : 1$ ; это полностью соответствует условиям радиосвязи Москва—Ташкент.

В заключение расчетов коротковолновых Ц. р. предлагается таблица рекомендуемых усиления в децибелах (db) для удовлетворительного приема. Она объединена с таблицей, представленной Великобританией на Всемирную волновую конференцию в Мадриде.

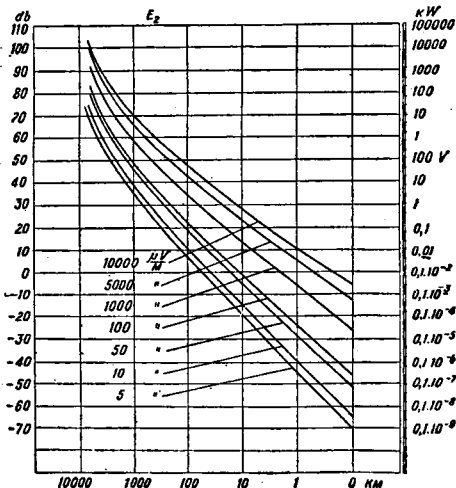
Т. о. из таблицы мы видим, что вообще наиболее вероятное соотношение поля сигналов максимального и минимального значения при замирании соответствует величине ок. 35 db (при автоматич. телеграфной работе или телефоне) и в частности для рассмотренного выше примера радиомагистрали Лондон—Нью Йорк—40 db. Поле, равное  $70 \mu\text{В/м}$ , к-рое замерено на призмной станции Челмфорде (Англия) (фиг. 14) на волне 20,7 м, получено от 10-kW радиостанции близ Нью Йорка; при этом антенное устройство этой радиостанции дает возможность увеличить излучаемую мощность таким образом, что на приеме получается увеличение соотношения на 20 db. Т. о. эквивалентная излучаемая мощность полу-

Рекомендуемые усиления в децибелах.

Источники	Тип присма	Соотношение сигналов*	Примечание
Беведрж и Петерсен	Телеграф. пилуций прием	80	
Энкерслея	—	40	Для связи Лондон—Нью Йорк
"	—	32	Для связи с Пуной
По английским источникам	Телегр. слух. прием	5—10	
То же	Телегр. пил. прием, сигналы Морзе	10—12	
" "	Телегр. пил. автом. прием	25—30	
" "	Передача изображений	10—20	Ширина полосы 30.0 Hz
" "	Радиотелефон	25—35	
По амер. источникам (США), предложено в Гааге	Радиотелеграф слух. прием	5—10	
То же	То же, автоматический прием	25—30	
" "	Радиотелефон	25—30	

\* В db по напряженности поля.

чается равной  $1\ 000 \text{ kW}$ . Обращаясь теперь к графикам (фиг. 17), к-рые построены по методу Шулейкина, мы видим, что такая излучаемая мощность  $1\ 000 \text{ kW}$  создаст поле на месте при-



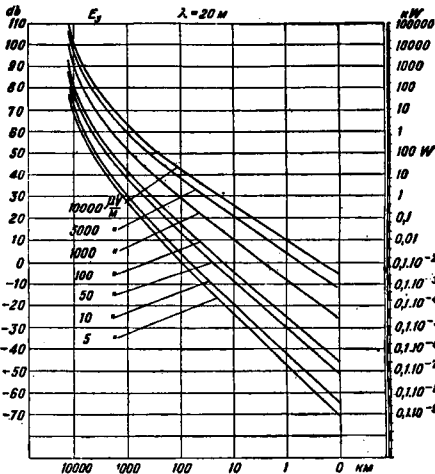
Фиг. 19.

ема— $E_{\text{ш}}$ , не подверженное замираниям, равное 6,5—7 тыс.  $\mu\text{В/м}$ . Беря теперь отношение максимального значения поля  $E_{\text{ш}}$  (по Шулейкину), не подверженного замираниям, к измеренному

Эккерслеем  $E_{Экк.}$  или, что то же, к рассчитанному по его методу, получим в db следующее:

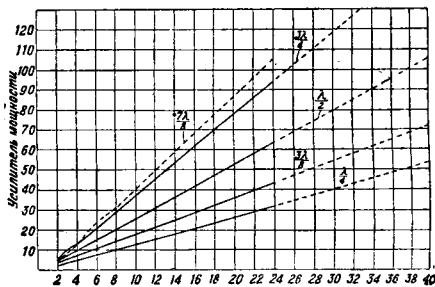
$$20 \lg \frac{E_{Пл}}{E_{Экк.}} = 20 \lg \frac{7000}{70} = 40 \text{ db.}$$

Т. о. все проанализированные методы одинаковы



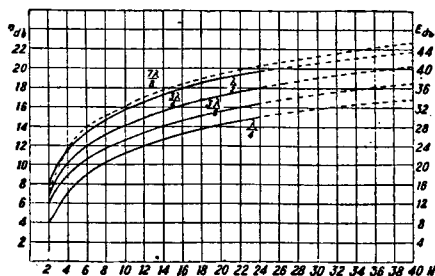
Фиг. 20.

по количественной оценке значения напряженности электромагнитного поля в месте приема.



Фиг. 21.

Рассчитывая напряженность электромагнитного поля по методу Ляссена [4], можно построить



Фиг. 22.

кривые затухания мощности для различного числа отражений  $E_1, E_2, E_3$  (фиг. 18, 19 и 20).

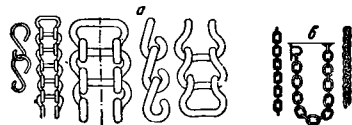
Т. Э. Доп. т.

Эти кривые, которыми можно пользоваться для расстояния более 500 км, дают возможность судить о необходимой мощности излучения коротковолновых передающих сооружений центра. Для полного представления о сооружениях передающего центра — мощности передатчика и эффективности коротковолновых антенн (числа диполей) — можно пользоваться кривыми (фиг. 21 и 22) Соутворта [3]. Кривые фиг. 21 представляют зависимость усиления мощности от числа пар диполей (N) и расстояния вибратора и отражателя. Кривые на фиг. 22 представляют ту же самую зависимость, но для усиления мощности и напряженности поля, выраженных в децибеллах. Обе фигуры дают возможность судить о таких зависимостях для разных типов коротковолновых антенн при различных расстояниях между диполями.

Лит.: 1) Eckerlesley T. a. Tregmlich, «The Marconi Review», 1930, 2 (Мировые радиосвязи на коротких волнах); 2) Eckerlesley T., ibid., 1931, 30 (Измерение напряженности поля при коротковолновой передаче); 3) Шук и А., Метод расчета прохождения коротких волн, «Журнал прикладной Физики», 1932; 4) Ляссен, «Ztschr. für techn. Physik», 1931, 10, 11. (Теория распространения коротких волн); 5) Arrington a. Baggett, «Proc. Roy. Soc.», 1926, v. 113, 764 (О явлениях интерференции между поверхностными волнами и волнами, отклоненными верхними слоями атмосферы); 6) Vown, Martin a. Potter, «Proc. of the Inst. of Radio Eng.», 1926, 14 (Селективный Фидлинг. Случай частотной модуляции); 7) Petersen, Веггаге а. Моуге, ibid., 1931, 4 (Система для приема радиотелефона на изоляко антенн, применяемая компанией Radio Corporation); 8) Southworth E., ibid., 1931, Sept. (Некоторые факты, влияющие на усиление направленности антенн).

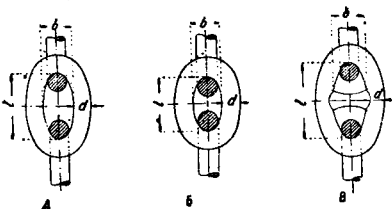
Ю. Баргевев.

**ЦЕПИ**, система подвижно соединенных между собой металлических звеньев, образующих гибкий тяговой орган (нить). Назначение Ц., а отсюда конструкция их и размеры весьма разнообразны. Оставляя в стороне ювелирные Ц., служащие для целей украшения, надо различать следующие основные типы Ц.: 1) проволоч-



Фиг. 1.

ные Ц. (фиг. 1); 2) кольцевые Ц. (фиг. 2); а) сварные, б) с цельными звеньями; 3) шарнирные Ц. (фиг. 3).

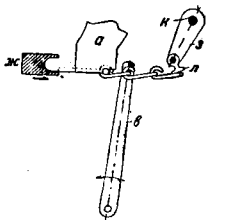


Фиг. 2.

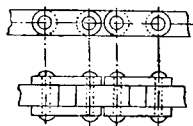
Проволочные Ц. бывают весьма различной формы (фиг. 1). Состоят из звеньев, образуемых путем загибки проволоки без сварки. Этого рода Ц. служат для передачи движения в механизмах с небольшими усилиями и скоростями (гиревые часы, распределительные механизмы и т. д.) и для крепления мелких деталей в разного рода машинах, приборах и бытовых предметах. Производство проволочных Ц. во-



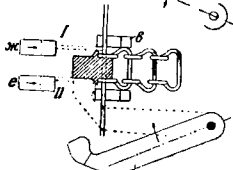
обще весьма несложно и м. б. выполнено кустарным путем с помощью простых приспособлений. При массовом производстве проволочных Ц. обыкновенно применяются автоматы, выполняющие следующие основные операции: 1) правка (рихтовка) проволоки, 2) предварительная загибка звена, 3) сборка звеньев, 4) окончательная формовка звена. Ц. Вокансона (фиг. 1, а) выполняются на автоматах, действующих след. обр. (фиг. 4). 1) Проволока рихтуется, проходя через



ряд роликов, и подается до упора. Эта операция производится движком, имеющим прямолинейно-возвратное движение и снабженным зажимным приспособлением. 2) Поданная до упора проволока зажимается оправкой *a* и обрезается ножом. 3) Рычаги *b* и *c* огибают концы проволоки вокруг оправки *a* до положения *I* и затем быстро

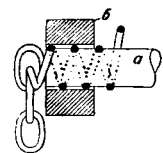


Фиг. 3.



Фиг. 4.

возвращаются в исходное положение. 4) После этого рычаги *e* и *д* обжимают загнутые концы до положения *II*, придавая заготовке в одной плоскости форму звена. 5) Движки *e* и *ж* производят загибку крючков и возвращаются в исходное положение. 6) Оправка *a* и рычаги *e* и *д* возвращаются в исходное положение, освобождая готовое звено. 7) Рычаг *а*, вращаясь вокруг оси *к*, упирается собачкой *л* в одно из звеньев и продвигает Ц. на один шаг. При этом изготовленное звено попадает в такое положение, что проволока при подаче для следующего звена

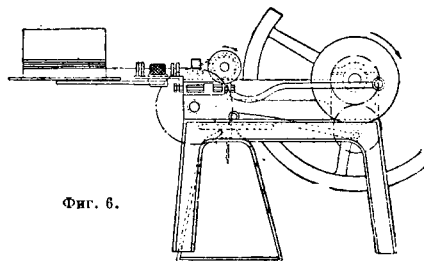


Фиг. 5.

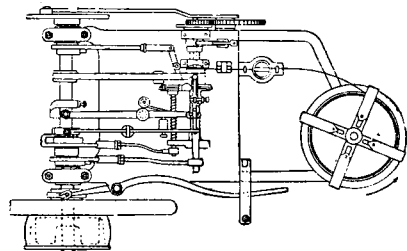
продвигается в ушко предыдущего, и цикл операций начинается сначала. Все рабочие органы (инструменты) приводятся в движение системой рычагов и рядом кулачков на распределительном валу. Часовые Ц. (фиг. 1, б) изготавливаются на автоматах, работа которых происходит след. образом. Выправленная в роликовом приспособлении проволока наматывается на оправку *a* (фиг. 5), имеющую в сечении форму звена. На оправке сделана спиральная канавка шага  $t=2,5 d$  ( $d$ —диаметр проволоки) глубиной  $0,5 d$ , которая направляет проволоку при навивке. Оправка вращается во втулке *б*, из которой выходит конец наматываемой спирали. Оправка *a* имеет прерывистое вращательное движение. Во время вращении оправки на 1 оборот один виток спирали сходит с оправки и входит в готовое звено Ц. Затем вращение оправки останавливается, виток обрывается ножом, сжимается вожимом до нормальной формы и устанавливается в положение предыдущего звена Ц. Зажим и нож при этом возвращаются в исходное положение, и цикл

операций начинается снова. На подобных автоматах производят Ц. из проволоки  $d$  до 1,5 мм. Общий вид автомата схематически представлен на фиг. 6.

Кольцевые цепи состоят из овальных звеньев, взаимно связанных между собой и имеющих относительно свободу движения в трех плоскостях. По форме и характеру обработки звеньев кольцевые Ц. разделяются на: 1) простые Ц. (фиг. 2, А) DIN 670, называемые также длиннозвеньными, или немецкими. 2) Некалиброванные Ц. для подъемных машин (фиг. 2, Б) DIN 672. 3) Калиброванные Ц. для подъемных машин (фиг. 2, В) DIN 671. Цепи DIN 671 и 672 называются также короткозвеньными, или английскими. 4) Ц. с распорками (фиг. 2, В), называемые также якорными, или корабельными (ОСТ 1409—1414). Эти Ц. характеризуются следующими данными. Простые Ц. (DIN 670): внутренняя длина звена  $l=3,5d$ , где  $d$  обозначает диаметр цепного



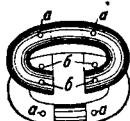
Фиг. 6.



железа, внутренняя ширина звена  $b=1,5d$ , собственный вес  $q$  в кг/н.м при  $d$ , выраженном в см,  $q \approx 2,1 d^2$ . Подъемные Ц. для кранов (DIN 672):  $l=2,8d$ ;  $b=1,5d$ ;  $q=2,2d^2$  кг/н.м. То же (DIN 671):  $l=3,5d$ ;  $b=1,5d$ ;  $q=2 d^2$  кг/н.м для ручных Ц. и  $l=2,8d$ ;  $b=1,5d$ ;  $q=2,25 d^2$  кг/н.м для грузовых Ц. Якорная Ц.:  $l=4d$ ;  $b=1,6d$ ;  $q=2,15 d^2$  кг/н.м. По нормам DIN 672 и 671 Ц. должны испытываться пробной нагрузкой, равной удвоенной рабочей нагрузке. Разрывающая нагрузка должна превышать рабочую не меньше, чем в 4 раза. Звенья Ц. рассчитываются на разрыв по ф-ле  $Q = 2 \frac{nd^2}{4kb}$ , где  $k_b$  — допускаемое на-

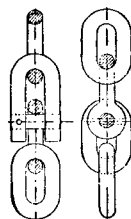
пряжение на разрыв — выбирается в зависимости от условий работы Ц. Для некалиброванных Ц.  $k_b = 400 \div 600$  кг/см<sup>2</sup>, для калиброванных Ц.  $k_b = 375 \div 450$  кг/см<sup>2</sup>. Столь низкое напряжение принимается вследствие того, что при навивке на барабан или огибании блока в звеньях Ц. имеет место изгиб, который приводит к напряжению в наружных слоях звена до 4,1  $k_b$ . Более низкое  $k_b$  для калиброванных Ц. выбирают во избежание

деформации звеньев, т. к. применение этих Ц. в сравнительно точных механизмах не допускает изменения размеров. Материалом для изготовления кольцевых Ц. служит обычно мартен сталей мартеповская сталь (цепное железо ОСТ 1600), удовлетворяющая следующим условиям. Сопротивление разрыву  $\sigma_b$  от 3 700 до 4 300 кг/см<sup>2</sup>, удлинение (для норм. образца)  $\delta$  не менее 24% (для  $\delta$  свыше 35 мм допускается  $\delta = 22\%$ ). Сопротивление разрыву образца после сварки д. б. не меньше 80% сопротивления целого образца. Образец должен выдержать без трещин загиб на 180° вокруг оправки диаметром  $d_1 = 0,5 d$  образца. Строительные размеры звеньев выполняются с допусками по длине и ширине: для калиброванных Ц. не более  $\pm 0,05 d$ , для некалиброванных Ц. не более  $\pm 0,1 d$ . Короткозвенные Ц. применяются в грузоподъемных



Фиг. 7.

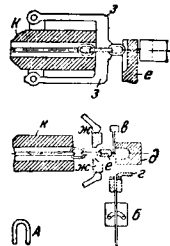
механизмах с малыми скоростями движения Ц. (до 6 м/мин, гл. обр. ручные тали) как рабочий орган для подъема груза. Мелкие Ц. ( $\delta$  5 и 6 мм) применяются лишь для вращения руками высокорасположенных тяговых колес механизмов, причем скорость движения ручных Ц. доходит до 1 м/сек. Диаметр огибаемого блока или барабана грузовой Ц. должен быть не менее 20  $d$ . Этот минимальный диаметр рабочего барабана принят при расчете вышеприведенных допускаемых напряжений. Длиннозвенные Ц. вследствие меньшей подвижности как активный рабочий орган в подъемных механизмах почти не применяются и служат гл. обр. для крепления (подвески) разных съемных деталей в машинах и станках, гарнитуры котлов, домен и других грузов, цепных дорог, транспортеров, сцепления повозок, приваив животных (собак, лошадей) и т. д. Простые Ц. выполняются из цепного железа  $d$  3 ÷ 50 мм, крановые цепи  $d$  5 ÷ 50 мм. Ц. с распорками применяются гл. обр. в качестве якорных канатов. Наличие распорки предохраняет эти Ц. от скручивания и спутывания и кроме того повышает жесткость звеньев, увеличивая этим грузоподъемность цепей на 12—20%. Ц. с распорками выполняются из цепного железа  $\delta$  20 ÷ 100 мм, а в отдельных случаях для якорей очень крупных судов до 140 мм. Для соединения отдельных смычек Ц., а также для быстрого соединения частей Ц. в случае ее разрыва употребляются соединительные звенья (фиг. 7) или цепные замки (фиг. 8). После того как обе половины соединительного звена введены в Ц. и сложены вместе, шпешки  $a$  входят в отверстия  $b$  и  $m$ . б. расклепаны. Изготовление кольцевых Ц. производится следующими основными способами. 1) Автоматич. штамповка, сборка и электросварка. 2) Электросварка предварительно заготовленных и собранных звеньев. 3) Горнопая (кузнечная) сварка заготовленных звеньев. 4) Поковка и штамповка звеньев из целого материала. 5) Литье.



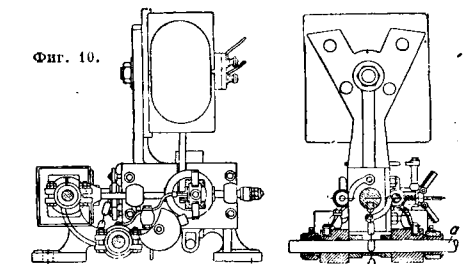
Фиг. 8.

Автоматическое изготовление кольцевых сварных Ц. производят на автомате, схема действия к-рого представлена на фиг. 9. Проволока выправляется в роликовом механизме  $a$  и подается периодически движком  $b$  в направляющее отверстие аппарата до упора  $e$ . Нож  $e$  отрезает мерный конец проволоки и штам  $d$

огibaет его вокруг подвижной оправки  $e$ , придавая проволоке форму, представленную на фиг. 9. А. Зажимы  $ж$ , соединенные со вторичной обмоткой сварочного трансформатора, придают звену окончательную форму, вводя при этом концы в предыдущее звено Ц., и сваривают их. Предыдущее и следующее за ним звено удерживаются во время этой операции клещами  $з$ . После сварки звена оправка  $e$  уходит вниз, освобождая изготовленное звено. Гильза  $к$ , в к-рую проходит готовый Ц., поворачивается на 90°, клещи  $з$  расходятся и Ц. продвигается вдоль гильзы на 1 шаг. В следующий момент гильза занимает исходное положение, клещи  $з$  схватывают последнее звено, и весь процесс начинается сначала. Весь описанный цикл оборота вала  $a$  (фиг. 10) машины, на котором

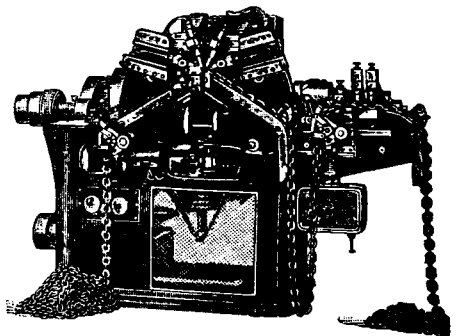


Фиг. 9.



Фиг. 10.

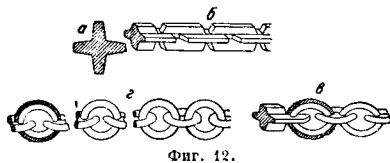
управляющие через систему рычагов рабочими органами машины. Такого рода автоматы применяются для изготовления Ц. из проволоки  $\delta$  до 10 мм, причем конструкция их деталей изменяется в зависимости от размеров Ц.; так напр., при  $\delta$  проволоки свыше 6 мм требуются значительные



Фиг. 11.

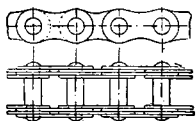
усилия, и вышеописанные конструкции штампа и зажимов заменяются гидравлич. устройствами. Электросварка звеньев производится на аппарате, общий вид которого представлен на фиг. 11. Поддача звеньев под зажимы и сварка происходит автоматически. Такого

рода автоматы сваривают звенья  $\varnothing$  до 13 мм. Изготовление звеньев методом горновой сварки весьма просто, но требует тщательного выполнения. Весь процесс распадается на следующие операции: 1) Отрезка заготовки. Прутковое железо разрезается на мерные заготовки на приводных ножницах или прессах до 40 мм диаметром в холодном состоянии, а выше—в нагретом состоянии. 2) Высадка обоих концов заготовки для сварки внахлестку. Для мелких размеров эту операцию выполняют вручную на наковальне, для крупных размеров—подмеханическим или паровым молотом. 3) Загибка звена. При этой операции заготовке придают форму U. Загибку производят на оправке или в специальной матрице под молотком. Для диам. до 25 мм эта операция производится в холодном состоянии, для больших—с нагревом до 800—850° (вишнево-красное налечение). 4) Сварка звена. Эта операция производится след. образом. U-образную заготовку нагревают т. о., чтобы

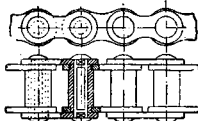


Фиг. 12.

концы ее достигали сварочного жара, после чего продевают ее в предыдущее звено Ц., загибают концы и сваривают внахлестку. Сварку производят под молотом в закрытых фасонных матрицах, удерживающих металл от растекания на месте сварки. После сварки, используя тот же нагрев, звену придают окончательную форму и калибруют. Производство якорных Ц. отличается от описанного тем, что после сварки на внутренней стороне звена высаживают углубление для распоров, вставляют распорку, нагревают собранное звено до сварочного жара и,



Фиг. 13.

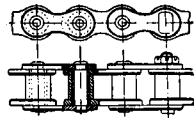


Фиг. 14.

осаживая звено вдоль малой оси, заваривают распорку. Заварка распорки так же, как и сварка звена, производится в фасонном штампе одним ударом молота. Поковка и штамповка звеньев из целого материала. Железо крестообразного сечения (фиг. 12, а) штампуют под молотом, образуя ряд секций (фиг. 12, б), из которых путем последовательных штамповок и проковок (фиг. 12, в) получают взаимно связанные звенья Ц. (фиг. 12, а). Этот способ изготовления исключает элемент случайности в сварке, но значительно дороже, что препятствует его широкому распространению. Лишь в т. е. При этом способе половина звеньев формируется и отливается отдельно и затем укладывается в сложную опоку, где отливаются соединительные звенья.

Шарнирные Ц. состоят из звеньев, шарнирно связанных между собой, относительная свобода движения к-рых ограничена вращением в одной плоскости. Шарнирные Ц. при-

меняются для подъема грузов в грузоподъемных механизмах и для передачи движения в трансмиссиях. Различают следующие основные конструкции шарнирных Ц.: Ц. Галля (фиг. 13), Ц. втулочные Цобеля (фиг. 14), Ц. роликовые (фиг. 15), Ц. бесшумные Ренольда (фиг. 16), блочные (элеваторные), Ц. пластинчатые, Ц. разборные, Ц. с литыми звеньями. На Ц. Галля выработан общесоюзный стандарт, на Ц. втулочные и бесшумные стандарт в настоящее время разрабатывается; остальные виды цепей еще не нормализованы. Пластинчатый шарнирный Ц. Галля (фиг. 13) называется ряд звеньев, каждое из которых состоит из четного количества пластин, шарнирно соединенных валиком. Конструкция Ц. Галля изменяется в зависимости от шага, как видно из приводимой спецификации.

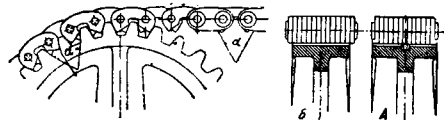


Фиг. 15.

Спецификация цепей Галля по ОСТ.

Конструкция Ц.	ОСТ НКТП	Шаг в мм
С расклепкой без шайбы . . . . .	7190 491	15—45
С расклепкой на шайбе . . . . .	7191 492	50—80
На шпильках . . . . .	7192 493	90—140

Рабочая нагрузка этих Ц. равна номинальной грузоподъемности по данным ОСТ, что соответствует примерно пятикратному запасу прочности при стали № 5. Длина отдельных кусков Ц. равна 12 м. ОСТ на Ц. Галля объявлен в СССР с 1/XII 1934 г. Строительные размеры при изготовлении Ц. Галля выдерживаются по 4-му классу точности; допуска в деталях—по 3-му классу точности. Большое уд. давление, возникающее при работе Ц. Галля между цапфами валика и пластинами, не допускает больших скоростей движения Ц. (не более 12 м/мин) и ограничивает область применения этого вида Ц. грузоподъемными машинами. Во втулочных Ц. Цобеля (фиг. 14) этот недостаток устранен, что позволяет применять эти Ц. в трансмиссиях для передачи движения при скорости Ц. до 3 м/сек. Как видно из фиг. 14, в Ц. Цобеля имеется втулка—деталь, отсутствующая в Ц. Галля; имеющиеся на втулке лыски запрессованы во внутренние пластины Ц., образуя т. о. внутреннее звено.



Фиг. 16.

Наружные пластины закреплены намертво на валике, причем благодаря наличию лыски на валике и соответствующему отверстию в наружных пластинах исключена возможность вращения наружных пластин на цапфе валика. Благодаря такой конструкции при повороте звена, неизбежном в момент изгиба Ц. при набегании ее на колесо, валик вращается не на поверхности

втулка, а во втулке, как в подшипнике; уд. давление на вращающиеся поверхности сильно уменьшается, и условия работы Ц. облегчены. Для смазки втулки имеют раззенкованные отверстия, а валик — неглубокую лыску по всей длине. При работе Ц. Цобеля требуют хорошей смазки и предохранения от грязи. Ц. роликовые (фиг. 15) благодаря ролику, свободно вращающемуся на втулке (чем они и отличаются от Ц. Цобеля), исключают трение скольжения между звеньями Ц. и зубцами звездочки. Роликовые Ц. служат для передачи движения со скоростями до 5,5 м/сек; они широко применяются в автомобилях (гл. обр. грузовых), мотоциклах и велосипедах, откуда и получили названия в зависимости от размера: Ц. автомобильные, Ц. мотоциклетные и Ц. велосипедные (см. *Велосипедное производство*), а также в с.-х. машинах (комбайны, сноповязалки и т. п.). Роликовые Ц. и втулочные Ц., работающие при больших нагрузках, б. или м. скоро, в зависимости от качества материала и выполнения, вытягиваются и теряют свой первоначальный размер (шаг). Вытягивание Ц. происходит вследствие изнашивания отверстий пластины, принимающих при вносе форму эллипса. Шаг изношенной Ц. не совпадает т. о. с шагом звездочки, на к-рой она работает, благодаря чему возникают толчки при работе Ц., сопровождающиеся шумом (стук) и ведущие к обрыву Ц. Расчет описанных Ц. (Галля, Цобеля и роликовых) ведут обычно: а) на разрыв пластины в опасном сечении, ослабленной отверстием для цапфы валика или втулки, по ф-ле

$$Q = (b - d) i \cdot s \cdot \sigma_b,$$

где  $\sigma_b$  — временное сопротивление на разрыв материала пластины,  $Q$  — разрывная нагрузка в кг,  $b$  — ширина пластины в опасном сечении,  $d$  — диам. отверстия,  $s$  — толщина пластины,  $i$  — число пластин звена. Рабочую нагрузку следует назначать с запасом прочности не менее 5. Рабочая нагрузка принимается равной окружному усилию на ведущей звездочке; б) на уд. давление  $p$  между цапфы валика и пластинами по ф-ле

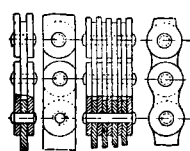
$$p = \frac{Q}{dsi}$$

и с) на срез валика по ф-ле

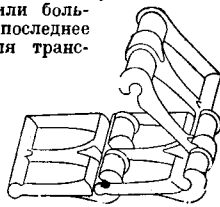
$$\sigma_z = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot 2} = \frac{2Q}{\pi d^2},$$

где  $\sigma_z$  — временное сопротивление срезыванию материала валика. Бесшумные Ц. Ренольда (фиг. 16) по конструкции и принципу работы несколько отличаются от Ц. Галля и подобных им. В бесшумных Ц. рабочее усилие передается от звездочки на зубцы Ц., к-рая работает, как рейка, в зацеплении с цилиндрической шестерней. При растягивании Ц., когда шаг ее увеличивается, работа цепи продолжает оставаться спокойной, т. к. зубцы Ц. касаются колеса по всей его окружности, а разница в шаге компенсируется увеличением радиуса зацепления зубцов цепи с зубцами шестерни. Ц. Ренольда выполняются из нескольких звеньев в ряд по ширине в зависимости от нагрузки и применения и имеют достаточно большую поверхность соприкосновения с зубцами. Износ в шарнирных соединениях здесь не велик благодаря запрессованным в отверстия звеньев стальным закаленным втулкам. Слизание Ц. с колеса предупреждается введением сплошных звеньев а особой формы, к-рые входят в канавку посредине колеса или захватывают колесо снаружи (фиг. 16; А и Б). Бесшумные Ц.

должны обязательно обильно смазываться и защищаться от грязи. При этих условиях возможна передача движения при скорости до 6,5 м/сек. При работе бесшумных Ц. в масляной ванне при хорошем выполнении их возможно допустить скорость до 8 м/сек, а для мелких Ц. — до 9 м/сек. Ц. блочные (ленточные) (фиг. 3) и Ц. пластинчатые (фиг. 17) б. ч. тяжелого типа, конструкция которых понятна из фигуры, применяются для элеваторов, транспортеров, экскаваторов и т. п. Работают на малых скоростях, рассчитываются так же, как и Ц. Галля, но с большим запасом прочности и весьма просты в эксплуатации. Смазкой для них служит солидол. Цепи разборные получили большое распространение за последнее время за границей для транс-

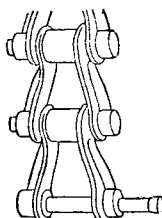


Фиг. 17.

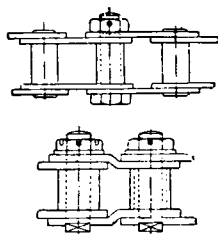


Фиг. 18

миссий в строительных и с.-х. машинах, конвейерах и многих других механизмах. Конструкция их весьма разнообразна. Одна из них представлена на фиг. 18. Выполняются разборные Ц. литыми из стали или ковкого чугуна. Размеры звена (шаг) 20 ÷ 150 мм. Передаваемое усилие от 150 до 1 600 кг. Достоинства разборных Ц. — дешевизна, удобство ремонта (замена звена), большая поверхность соприкосновения шарниров. Недостатки — малая степень надежности, загрязнение открытых шарниров. Цепи неразборные с литыми звеньями (фиг. 19) выполняются из стали или ковкого чугуна, соединительные стержни — стальные. Выполняются размером (шаг) 30 ÷ 200 мм. Передаваемое усилие 150 ÷ 2 000 кг. Работают на малых скоростях. Все трансмиссионные цепи работают, охватывая два или больше колеса или звездочки. Крайние звенья цепи соединяются нормальными пластинами или специально конструируемыми соединительными пластинами (фиг. 20), образуя



Фиг. 19.



Фиг. 20.

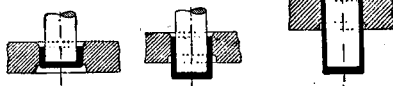
т. о. бесконечную Ц. При работе трансмиссионных Ц. усилие передается не трением, как это имеет место в ременной или канатной передаче, а сцеплением с зубцами колес, т. о. трение в цепной передаче является вредным моментом. Кпд цепной передачи при хорошем выполнении достигает  $\eta = 0,94 - 0,98$ . При работе Ц. нагружена только ведущая ветвь; обратная ветвь движется без натяжения. Дополнительное давление на опоры валов при цепной передаче равно окружному усилию на ведущем колесе.

Производство шарнирных Ц. Наиболее типичным (т. к. оно охватывает все процессы) производством является производство роликовых Ц. 1) Заготовка деталей: а) пластины штампуются на эксцентриковом прессе из углеродистой стали № 4, 5 и 6. Пластины для Ц. штампуются прогрессивным (последовательным) штампом, выполняющим одновременно две операции — пробивка отверстий и выработка контура. Схема такого штампа представлена на фиг. 21. Работа его происходит след. обр.: полоса подается в штампы до временного упора  $a$ , и прессу дается ход. При этом пунсоны  $b$  пробивают оба отверстия. После того как пунсоны вышли из пробитых им отверстий, полоса продвигается до постоянного упора  $a$  и прессу дается ход. При этом ловители  $e$  пунсона  $e$  входят в пробитые отверстия и обеспечивают этим правильное расположение отверстий по отношению к контуру пластины. Пунсон  $e$  вырубает контур пластины. Одновременно с этим пунсоны  $b$  пробивают отверстия для следующей пластины. Так. обр. за каждый ход пресс пробивает отверстия и вырубает контур, давая в итоге одну готовую пластину. Пластины мелких Ц. по технич. условиям должны иметь с одной стороны фаску. Фаска выполняется путем чеканки в матрице на эксцентриковом прессе. Если при этом пластина имеет прорубленное отверстие, то последнее деформируется, принимая овальную форму. Этот недостаток устраняется двумя способами: 1) рассверловкой пробитого отверстия после чеканки фаски и 2) пробивкой отверстия в пластине после того, как чеканка фаски уже выполнена. В последнем случае вырубка контура и пробивка отверстий ведутся простыми вырубными штампами. Усилие штамповки  $P$  и мощность пресса  $P_1$  определяются по ф-ле

$$\eta P_1 = P = \Omega s \sigma,$$

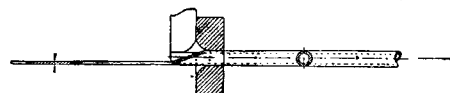
где  $\Omega$  — периметр штамповки в мм,  $s$  — толщина материала в мм,  $\sigma$  — сопротивление срезу для пластины  $45 \div 80$  кг/мм<sup>2</sup>,  $\eta$  — кпд прессы. После штамповки пластины поступают в гальванический барабан для очистки и снятия заусенцев. Очищенные пластины поступают в термообработку. Для некоторых Ц. требуется закалка пластин. Закалка производится в газовых или нефтяных печах с обязательным отпуском. Режим закалки зависит от химич. анализа стали и требований, предъявляемых к механическим свойствам пластины. Отпуск производится в соляной ванне при  $t^\circ 300-315^\circ$  с охлаждением в воде. Металл пластины при этом принимает цвет побежалости (синий). После термообработки пластины поступают в сборку. Валики для Ц. мелких размеров изготавливаются из мягкой стали № 3. Калиброванная проволока разрезается на куски длиной, равной длине готового валика + некоторый припуск для зачистки концов. Нарезанные концы поступают для токарной обработки на револьверный станок, где двумя резами попереч-

ного супорта производится обточка цапфы и подрезка торца поочередно с обеих концов. После этого валик подвергается цементации (см.) и закалке. После закалки концы валика надо отжечь, чтобы обеспечить возможность расклепки. Отжиг концов производится на электросварочном аппарате (точечном). Валик зажимается концами между электродами, после чего включается ток (устройство электросварочных аппаратов обеспечивает автоматическое включение тока после достаточно сильного зажима электродов). После того как концы валика нагрелись до требуемой температуры, ток выключается и валик снимается с аппарата. Эта операция очень



Фиг. 22.

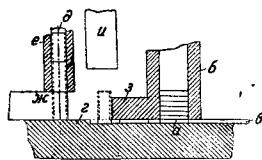
непродолжительна. Ролик и втулка м. б. изготовлены двумя способами: 1) токарной обработкой из пруткового материала на револьверном автомате или на специальном станке, 2) вытяжкой из листового материала с последующей отрезкой дна выштампованного цилиндра и подрезкой шероховатой верхней кромки на токарном станке. Цилиндр требуемой формы  $H = 1,5 \div 2d$  получается в результате ряда последовательных вытяжек (фиг. 22) с промежуточным отжигом для уничтожения внутренних



Фиг. 23.

напряжений и наклепа. Для средних и мелких размеров роликовых Ц. втулка изготавливается либо путем штамповки (загибка) из листа на прессе (см. *Велосипедное производство*) либо путем вальцевания на вальцовальном станке через протяжное кольцо (фильбер). Процесс вальцевания понятен из фиг. 23. Свальцованную трубку разрезают на автомате на мерные концы. Материалом для изготовления роликов и втулок служит мягкая сталь (сталь № 3).

Сборку Ц. производят вручную с применением различных приспособлений. Некоторые операции (сборка звеньев) при массовом производстве выполняются на автоматических станках. Схема действия такого автомата представлена на фиг. 24. Пластина  $a$  из магазина  $b$  движком  $e$  подается до уступа  $e$ , фиксирующего положение пластины. Втулка  $d$  из магазина  $e$  подается движком  $ж$  до упора  $z$ . После этого ударом пластины  $a$  и втулки запрессовывается в отверстия пластины. Собранное т. о. полузвено выбрасывается движком (на фиг. 24 не указан) в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа. Вторая пластина внутреннего звена собирается аналогичным способом с той лишь разницей, что в магазин (конструкция которого в данном случае изменяется) взамен втулок загружаются



Фиг. 24.

полушвя. Совершенно аналогичным способом происходит сборка наружного полушвя. Расклепка концов валика производится механич. или пневматич. клепальными молотками. Собранные Ц. подвергают обкатке (см. *Велосипедное производство*) и на выдержку до 5% от каждой партии испытанию на разрыв на разрывной машине. Прочие шарнирные Ц. (кроме разборных и литых) изготовляются аналогичным способом, причем процесс варьируется в зависимости от количества деталей в звене. Производство шарнирных Ц. до последнего времени было сосредоточено на в-дах, производящих механизмы, где эти Ц. применяются. Лишь последние 10—50 лет ряд в-дов специализировался на производстве Ц. Германия—Цобель, Нейберг и Ко, СССР—в-д «Красный металлист» в Ленинграде, завод «Красная звезда» в Москве.

Лит.: В а х К., Детали машин, т. 1, 2 изд., пер. с нем., Л.—М., 1932; В е т а и П., Грузоподъемные машины, пер. с нем., 3 изд., М.—Л., 1933; Н е й м а й е р К., Холодная и горячая штамповка, 2 изд., 1934; К о д р о н К., Горячая обработка металлов, пер. с франц., т. 1, М., 1929; Р е т ш е р Ф., Детали машин, т. 2, пер. с нем., М.—Л., 1933; ОСТ 7189/490; 7190/491; 7192/493; 7193/494. Е. Любимов.

**ЦИРКУЛЯЦИЯ**, интеграл по замкнутому контуру от скалярного произведения векторного поля на дифференциал дуги контура. Ц. обозначают символом «Г»:

$$\Gamma = \oint_C F d\mathbf{s} = \oint_C F \cdot d\mathbf{r} = \oint_C (X dx + Y dy + Z dz).$$

Здесь символ  $\oint_C$  означает интеграл по замкнутому контуру  $C$ ;  $F = iX + jY + kZ$  — вектор, имеющий в каждой точке пространства (поля) свое определенное значение;  $i, j$  и  $k$  — орты по осям координат (см. *Векторный анализ*);  $iX, jY, kZ$  — компоненты вектора  $F$ ;  $d\mathbf{r} = i dx + j dy + k dz$  — дифференциал радиуса вектора  $\mathbf{r}$ , описывающего рассматриваемый контур;  $d\mathbf{s}$  — элемент дуги контура как вектор или элемент касательной к контуру;  $x, y, z$  — координаты соответствующей точки контура. Выражение

$$A = \int_a^b F d\mathbf{s} = \int_a^b (X dx + Y dy + Z dz)$$

м. б. названо течением вектора  $F$  по контуру  $\mathcal{S}$  от точки  $a$  до  $b$ . В частном случае, когда вектор есть сила, выражение  $A$  представляет собой работу силы  $F$  на пути  $\mathcal{S}$  от  $a$  до  $b$ . Течение, или работа, по замкнутому контуру есть Ц. Если векторное поле  $F$  имеет потенциал  $F = \text{grad } \varphi$  или

$$X = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad Y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad Z = \frac{\partial \varphi}{\partial z},$$

где  $\varphi$  — потенциальная ф-ия, то течение, или работа, вектора выразится так:

$$\begin{aligned} A &= \int_a^b F d\mathbf{s} = \int_a^b \text{grad } \varphi \cdot d\mathbf{s} = \\ &= \int_a^b d\varphi = \varphi_b - \varphi_a, \end{aligned}$$

т. е. будет равна разности потенциалов для конечной и начальной точек. Ц. по замкнутому контуру для потенциального поля равна нулю:

$$\oint_C F d\mathbf{s} = \oint_C \text{grad } \varphi \cdot d\mathbf{s} = \varphi_b - \varphi_a = 0,$$

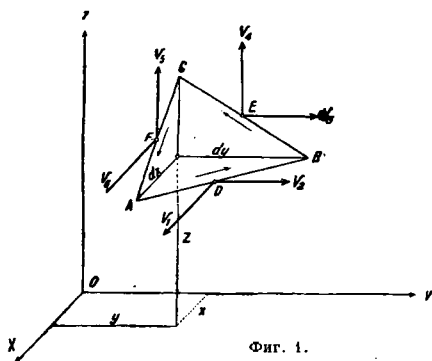
ибо в этом случае  $\varphi_b = \varphi_a$ .

При рассмотрении вопросов, связанных с Ц. по контуру в векторном поле, большое значение

имеет связь Ц. с потоком вихря поля через поверхность, ограниченную данным замкнутым контуром. Эта связь дается теоремой Стокса

$$\oint_C \mathbf{v} \cdot d\mathbf{s} = \int_S \text{rot } \mathbf{v} \cdot d\mathbf{S} = 2 \int_S \boldsymbol{\omega} \cdot d\mathbf{S}$$

и гласит: Ц. вектора  $\mathbf{v}$  по замкнутому контуру  $C$  равна потоку вихрей этого вектора, произв. в. оных произвольную поверхность  $S$ , ограниченную контуром  $C$ . Доказывается эта теорема непосредственным вычислением Ц. по замкнутому контуру. Возьмем элементарный контур  $ABC$ , построенный близ произвольной точки  $N$ , взятой в поле вектора  $\mathbf{v}$ , в форме периметра наклонной грани тетраэдра, ребрами которого являются приращения координат в поле вектора  $\mathbf{v}$  (фиг. 1). Если  $v_x, v_y$  и  $v_z$  — компоненты век-



Фиг. 1.

тора в точке  $N$ , то с точностью до бесконечно малых первого порядка значения вектора  $\mathbf{v}$ , имея в виду элементарно малую область  $ABC$ , в точках  $D, E$  и  $F$  будут следующие:

$$\begin{aligned} v_1 &= v_x + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} dx + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} dy; \\ v_2 &= v_y + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} dy + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} dx; \\ v_3 &= v_y + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} dy + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_y}{\partial z} dz; \\ v_4 &= v_z + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} dz + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial y} dy; \\ v_5 &= v_z + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} dz + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_z}{\partial x} dx; \\ v_6 &= v_x + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} dx + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial z} dz. \end{aligned}$$

Элементарная Ц. по контуру  $ABC$  вычисляется так:

$$\begin{aligned} d\Gamma &= (v_b - v_1) dx + (v_2 - v_3) dy + (v_4 - v_5) dz = \\ &= + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) \cdot dy dz + \\ &+ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) dx dz + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_y}{\partial x} - \right. \\ &- \left. \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) \cdot dx dy = \left[ \left( \frac{\partial v_z}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) \cdot \cos \alpha + \right. \\ &+ \left. \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) \cdot \cos \beta + \left( \frac{\partial v_y}{\partial x} - \right. \right. \\ &- \left. \left. \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) \cos \gamma \right] \cdot dS = 2 (\boldsymbol{\omega}_x + j\boldsymbol{\omega}_y + k\boldsymbol{\omega}_z) \cdot d\mathbf{S} = \\ &= \text{rot } \mathbf{v} \cdot d\mathbf{S}; \end{aligned}$$

здесь  $\alpha, \beta$  и  $\gamma$  — углы, составляемые нормалью к площади  $ABC$  с осями координат;  $dS$  — площадь  $\Delta ABC$ ;  $\boldsymbol{\omega} = \boldsymbol{\omega}_x + j\boldsymbol{\omega}_y + k\boldsymbol{\omega}_z$  — угловая скорость вращения частицы жидкой материи в

точке  $A$ , если векторное поле  $\mathbf{v}$  есть поле скоростей.

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_z}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial z} \right); \quad \omega_y = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial x} \right); \quad \omega_z = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \right).$$

Вихрь вектора  $\mathbf{v}$  в точке  $A$  есть:

$$\text{rot } \mathbf{v} = 2\omega = i \left( \frac{\partial v_z}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) + j \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) + k \left( \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} \right).$$

Вычисляя  $\Omega$ , для произвольного конечного контура  $S$ , получим такую сумму суммированием по элементарным контурам, к-рые можно провести на поверхности  $S$  (фиг. 2):

$$\Gamma = \oint_C \mathbf{v} d\mathbf{s} = \oint_C (v_x dx + v_y dy + v_z dz) = \iint_S \text{rot } \mathbf{v} \cdot d\mathbf{S} = 2 \iint_S \omega \cdot d\mathbf{S}.$$

Теорема Стокса позволяет преобразовывать интеграл по кривой в поверхностный интеграл.

Если рассматриваемое векторное поле есть поле скоростей внутри жидкости, сплошь заполняющей пространство и перемещающейся в нем, то понятие  $\Omega$  имеет особое значение для исследования движения жидкости. Здесь наряду с теоремой Стокса имеет значение теорема Томсона, а также ряд теорем Гельмгольца, касающихся вихревого поля, имеющего место в поле скоростей, и составляющих основу вихревой теории (см. *Вихревая теория*). Теорема Томсона говорит, что движение совершенной жидкости, бывшее в некоторое мгновение времени безвихревым, остается и в дальнейшем безвихревым, если на частицы жидкости действуют те же объемные силы, что и в первоначальный момент времени, и притом имеющие потенциал. Рассматривая изменение  $\Omega$  по некоторой кривой, проведенной внутри жидкости, в зависимости от времени имеем:

$$\frac{d}{dt} \oint_C \mathbf{v} \cdot d\mathbf{s} = \oint_C \frac{d}{dt} (\mathbf{v} d\mathbf{s}) = \oint_C \left[ \frac{d\mathbf{v}}{dt} \cdot d\mathbf{s} + \mathbf{v} \frac{d}{dt} (d\mathbf{s}) \right].$$

Согласно ур-ию Эйлера (см. *Гидродинамика*)

$$\frac{1}{\rho} \text{grad } p = K - \frac{d\mathbf{v}}{dt},$$

где  $K = iX + jY + kZ$  — ускорение действующей объемной силы;  $\rho$  — плотность жидкости;  $p$  — гидромеханич. давление;  $\frac{d\mathbf{v}}{dt}$  — действительное ускорение движения материальной жидкой частицы. Т. к. объемная сила имеет потенциал, то  $K = \text{grad } U$ , где  $U$  — потенциальная ф-ия;

$$\text{grad } p = i \frac{\partial p}{\partial x} + j \frac{\partial p}{\partial y} + k \frac{\partial p}{\partial z}$$

$$\text{grad } U = i \frac{\partial U}{\partial x} + j \frac{\partial U}{\partial y} + k \frac{\partial U}{\partial z}$$

(понятие о градиенте — см. *Векторный анализ*).

Имеем:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} \cdot d\mathbf{s} = K \cdot d\mathbf{s} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p \cdot d\mathbf{s} = \text{grad } U \cdot d\mathbf{s} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p \cdot d\mathbf{s}.$$

Выражение

$$\frac{d}{dt} (d\mathbf{s}) = d \left( \frac{d\mathbf{s}}{dt} \right) = d\mathbf{v}.$$

Тогда для изменения  $\Omega$  имеем

$$\frac{d}{dt} (\mathbf{v} d\mathbf{s}) = \text{grad } U \cdot d\mathbf{s} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p \cdot d\mathbf{s} + \mathbf{v} d\mathbf{v}.$$

Интегрируя, получаем

$$\frac{d}{dt} \oint_C \mathbf{v} d\mathbf{s} = \oint_C \text{grad } U d\mathbf{s} - \oint_C \frac{1}{\rho} \text{grad } p \cdot d\mathbf{s} + \oint_C d \left( \frac{v^2}{2} \right) = \left[ U - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \right]_A^B,$$

т. к.  $\text{grad } p d\mathbf{s} = dp$  и  $\text{grad } U d\mathbf{s} = dU$ . Выражение, стоящее в правой части ур-ия, для замкнутой кривой равно нулю; значит

$$\frac{d}{dt} \oint_C \mathbf{v} d\mathbf{s} = 0$$

или при наличии силового потенциала  $\Omega$ , по любому замкнутому контуру с течением времени не изменяется; это и есть выражение теоремы Томсона. Исследование лобового сопротивления движения жидкости в каналах и трубах и другие важные вопросы гидродинамики получают более четкое освещение при помощи понятия о  $\Omega$  скорости

Лит.: Физикова С., Векторный анализ, 2 изд. М.—Л., 1932; Александров В., Технический гидродинамик, М., 1932; Förgelheim R., Hydroaulik, В., 1930; Kaufmann W., Angewandte Hydro-mechanik, В., 1931; Prandtl L. u. Tietjens O., Hydro- und Aeromechanik, В. 1, В., 1929, В. 2, В., 1931; Prášil F., Technische Hydrodynamik, 2 Aufl., Berlin, 1926; Lamb H., Lehrbuch d. Hydrodynamik, Berlin, 1931.

**ШИРОКОВЕЩАНИЕ**, см. *Радиовещание*.

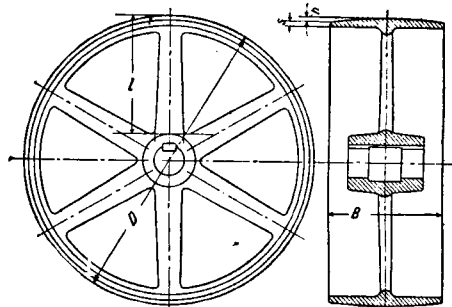
**ШКИВЫ**, детали, служащие для передачи работы от ремня или каната к валу (ведомый Ш.) или от вала к ремню или канату (ведущий Ш.). По назначению все Ш. разделяются на две основные группы: на Ш. для ременной передачи и Ш. для канатной передачи. По материалу, из которого изготовлен Ш., различают Ш. деревянные, чугунные и железные, реже выполняются Ш. из легких сплавов.

Конструкция Ш. должна удовлетворять следующим требованиям. Ш. должен безопасно передавать работу и в то же время быть легким, выбалансированным до закрепления на валу; Ш. должен оставаться балансированным и после закрепления; коэф. трения ремня о рабочую поверхность Ш. должен быть значительным; поверхность обода Ш. при его работе не должна портить ремень, кроме того желательно, чтобы конструкция Ш. позволяла легко надевать его на вал, снимать с места и вал и переносить вдоль вала, не трогая с места ни вала ни соседних Ш.

Обод Ш. помощью спиц, реже при помощи дисков, соединен со втулкой. Обод Ш. для ременной передачи по наружной рабочей поверхности выполняется строго цилиндрическим, значительно реже профиль обода имеет пологое криволинейное очертание. Нужно помнить, что криволинейный профиль обода Ш. наносит при работе вред ремню, значительно сильнее вытягивая среднюю часть ремня по сравнению с его кромками. Применение ременных Ш. с криволинейным профилем может быть допустимо в том случае, когда по тем или иным причинам может

иметь место равенства параллельности осей валов. Если оси валов при работе передачи становятся не вполне параллельны, то ремень при работе на цилиндрчик Ш. будет непременно сползать на сторону; при работе же на Ш. с выпуклым профилем ремень сползает не будет, т. к. ремень стремится набегать в сторону более широкого основания; поэтому обе половины ремня по его ширине будут стремиться набегать по направлению средней плоскости вращения Ш. и ремень будет лучше удерживаться на ободе Ш. Если приходится применять Ш. с выпуклым профилем, то величину стрелы выпуклости во всяком случае не следует брать более 2% от ширины обода Ш.

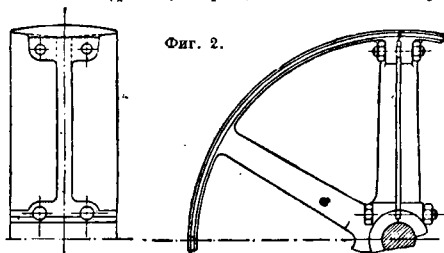
Чугунные Ш. находят наибольшее применение и только при больших окружных скоростях, больших 30 м/сек, когда чугунный Ш. будет испытывать опасные напряжения, следует применять Ш. железные. Обод Ш. соединен со втулкой спицами. Нормальная форма Ш. дана на фиг. 1. Обод цилиндрический или же с выпуклостью, внутренняя поверхность обода с уклоном на обе стороны от 1:50 до 1:30, облегчающими формовку; при машинной формовке внутренняя поверхность обода м. б. выполнена также цилиндрической. Спицы имеют эллиптическое сечение с отношением полуосей 2:1, суживающееся по направлению к ободу, ось спиц перпендикулярна. При ширине обода более 300 мм чугунные Ш. для большей жесткости соединения обода



Фиг. 1.

со спицами иногда выполняют с двумя рядами спиц. При ширине обода  $B$  более 500 мм два ряда спиц, отстоящих один от другого на расстоянии  $\frac{B}{2}$ , являются необходимыми. Число спиц  $i$  в одном ряду определяют из уравнения  $i = \frac{1}{7} \sqrt{DB}$ , где  $D$  — диаметр Ш. в мм. Обычно число спиц берут равным четырем, шести или восьми. Крестообразная и двутавровая форма спиц в настоящее время почти не применяется и ее можно встретить только в тех случаях, когда можно ожидать нагиба спицы по направлению, перпендикулярному к плоскости вращения Ш., напр. при широком ободе Ш. и одном ряде спиц. В шкивах небольшого  $\varnothing$  взамен спиц выполняют диск, к-рый и соединяет обод со втулкой. Шкивы с  $\varnothing$  до 100 мм иногда выполняют без спиц и без диска, при этом обод сливается со втулкой. Обод Ш. для лучшей работы ремня целесообразно выполнять не только с хорошо отбеченной, но и с полированной поверхностью. Для удобства надевания Ш. на вал и при больших размерах Ш. его выполняют с в е р т н ы м

(разъемным). Разделение швертного шкива на две половины наиболее целесообразно производить по средней плоскости двух диаметрально противоположных спиц. Ш. отливают цельным, но при формовке обеих половинок их соединяют между собой не по всей поверхности разъема, а лишь в нескольких местах при помощи узких полосок. После отливки разлом производят по этим тонким местам, причем сперва разбивают втулку, так как иначе спицы могут сломаться, после чего обе половинки при монтаже плотно подходят друг к другу без всякой обработки мест стыка (фиг. 2). При  $\varnothing$  Ш. более 6 м про-



Фиг. 2.

изводят отливку каждой половины Ш. отдельно и затем места стыка обрабатывают. Основные размеры Ш. стандартизованы в СССР—ОСТ 1655, 1656. В табл. 1—3 даны размеры по DIN 111 и числа оборотов трансмиссий по DIN 112.

Табл. 1.—Стандартные размеры ремennых Ш. для трансмиссий (в мм).

$D^*$	До-пуск	$D^*$	До-пуск	$D^*$	До-пуск	$D^*$	До-пуск
50	± 1	225	± 3	800	± 5	2 800	± 10
63		250		900		3 200	
		280		1 000		3 600	
		320				4 000	
80	± 2	360	± 5	1 120	± 7	4 500	± 15
90		400		1 250		5 000	
100		450		1 400		5 600	
112		500		1 600		6 300	
125				1 800			
140				2 000			
160	± 3	560	± 5	2 250	± 10	7 100	± 20
180		630		2 500		8 000	
200		710				9 000	
						10 000	

\* Номинальный размер наружного диаметра. У выпуклых Ш.  $D$  обозначает наибольший диаметр, измеряемый в средней плоскости Ш.

Табл. 2.—Размеры ремennых выпуклых Ш. (в мм).

Ширина обода $B^*$	Допуск	Стрела выпуклости $h$	Ширина ремня $b$	Ширина обода $B^*$	Допуск	Стрела выпуклости $h$	Ширина ремня $b$
40	-2	1	80	200	-6	2	170
50			40	230			200
60			50	300			260
70			60	350			300
85	-4	1,5	70	260	-8	2,5	230
100			85	300			260
120			100	350			300
140			120	450			400
170	-6		140	500	-10	4	450
				600			550

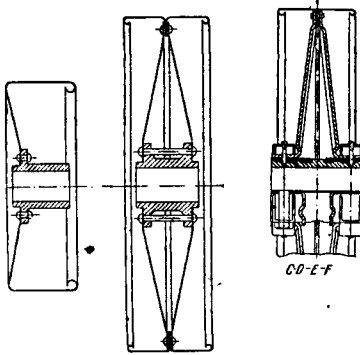
\* Номинальный размер.



Табл. 3.—Число об/м. для трансмиссий (по DIN 112).

25	45	80	140	260	450	800	1400
28	50	90	160	280	500	900	1600
32	56	100	180	320	560	1 000	
36	63	115	200	360	630	1 120	
40	71	125	225	400	710	1 250	

Приведенные значения ширины  $B$  обода Ш. для перекрестных и полуперекрестных передач нужно увеличить вследствие неизбежных колебаний рем-



Фиг. 3.

Фиг. 4.

ня при его работе. В этих случаях ширина  $B$  обода берется от  $(1,4b + 1 \text{ см})$  до  $2b$ . Толщина  $s$  обода у края берется равной:

$$s = \frac{D}{200} + 0,3 \text{ мм.}$$

Втулку шкива по длине выполняют равной  $1,5 \div 2,5 \varnothing$  вала. Толщина  $\delta$  стенки втулки определяется из ур-ия

$$\delta = 0,4d + 1 \text{ см,}$$

где  $d$  — диаметр вала.

Если диаметр вала по размеру больше размера, необходимого для передачи имеющего места крутящего момента, то толщина  $\delta$  втулки устанавливается по ур-ию

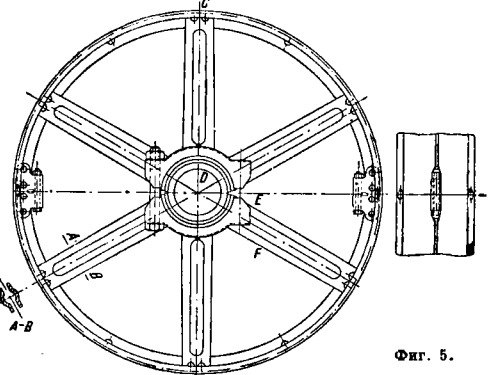
$$\delta = \left( \frac{1}{5} \div \frac{1}{4} \right) \left( d_1 + \frac{d}{2} \right) + 1 \text{ см,}$$

где  $d$  — диам. отверстия втулки,  $d_1$  — диам. вала, получаемый по расчету вала на передаваемый крутящий момент  $P \cdot R$ . по ф-ле

$$\frac{1}{5} \sigma_{кр} (d_1)^3 = P \cdot R.$$

Железные Ш. небольших размеров выполняют штампованными из листовой стали. Изготавливают их в трех основных вариантах: штампуют из одного листа цельный диск с ободом и приклепывают диск к чугунной втулке (фиг. 3) или штампуют два конич. диска, которые имеют на внешней окружности цилиндрич. ободы, склепывают их у обода и приклепывают к втулке (фиг. 4), или штампуют спицы отдельно и обод отдельно (фиг. 5). Для прочности и жесткости обода его края закатывают внутрь. При больших диаметрах выполняют Ш. из двух плоских дисков, усиленных угловым железом, в которых при помощи угловых колец приклепывают обод, также выполненный из листового железа. На фиг. 6 дана свертная конструкция такого Ш. со стальной втулкой для окружной скорости  $\sim 60 \text{ м/сек}$ . Железные Ш. выполняют также и со спицами из круглого железа, заливаемыми во втулку и расклепываемыми в обode (фиг. 7).

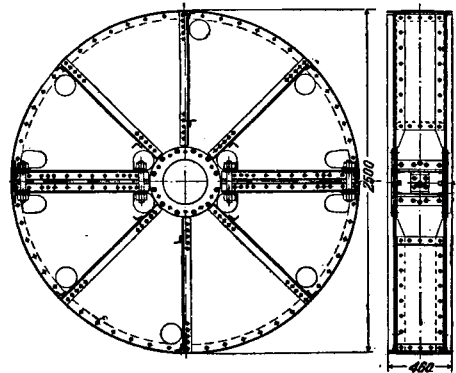
Деревянные Ш., особенно пригодные для небольших диаметров, выполняются свертными сплошными, т. е. обод слит с втулкой (фиг. 8), или же свертными с ободом и со спицами (фиг. 9). Деревянные Ш. склеиваются в несколько слоев из отдельных кусков дерева, смещенных по стыкам один относительно другого. Преимуществом является их легкость и значительное трение при работе на рабочей поверхности. Недостатком деревянных Ш. следует считать их возмож-



Фиг. 5.

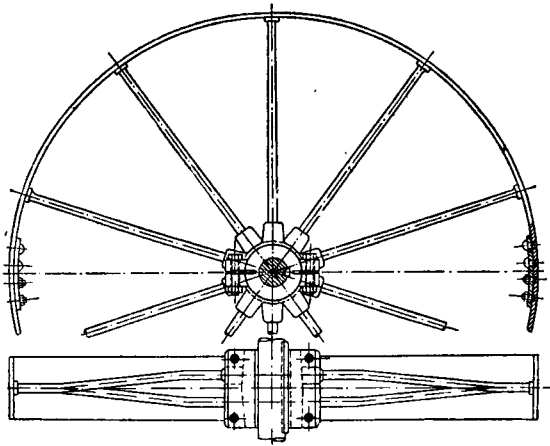
ную деформацию от сырости и от жары. Деревянные Ш. обычно сажаются на вал без шпонки и скрепляются с валом только затяжкою болтов, свертывающих втулку.

Канатные Ш. чаще всего выполняют чугунными, отливают как одно целое или выполняют свертными из двух или многих частей. Профиль обода ведущего и ведомого Ш. для круглого каната выполняется с клиновидным ручьем с углом в  $45^\circ$ , этот же профиль дает

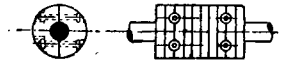


Фиг. 6.

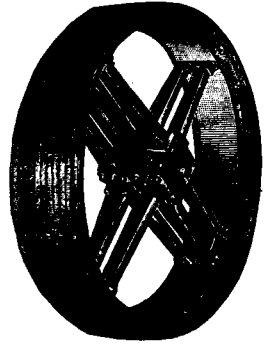
хорошие условия работы и для трапециевидного каната (фиг. 10 и 11). Дно ручья выполняют или цилиндрическим или же с профилем, очерченным по дуге окружности (фиг. 12). Для квадратных канатов угол профиля нужно иметь в  $75^\circ$  (фиг. 13), так как при угле клиновидного профиля в  $45^\circ$  квадратный канат будет хорошо прилегать только к одному боку ручья, как это изображено на фиг. 10, вследствие чего канат будет касаться также и вертикальной



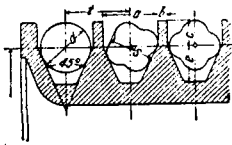
Фиг. 7.



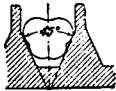
Фиг. 8.



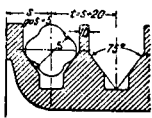
Фиг. 9.



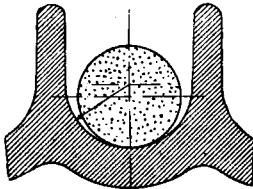
Фиг. 10.



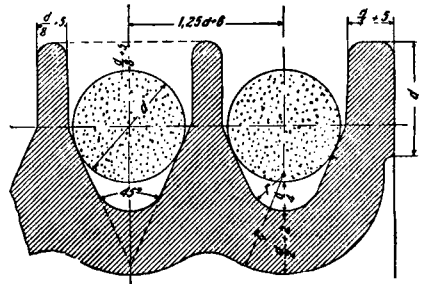
Фиг. 11.



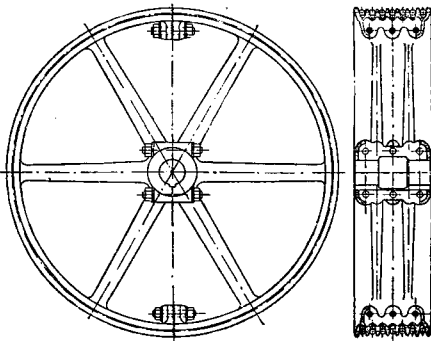
Фиг. 13.



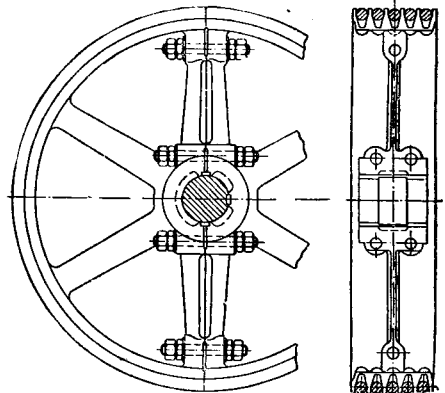
Фиг. 14.



Фиг. 12.



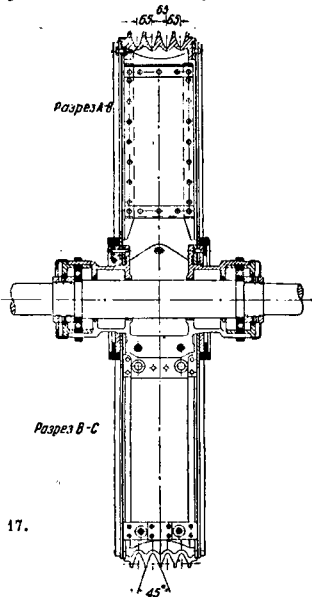
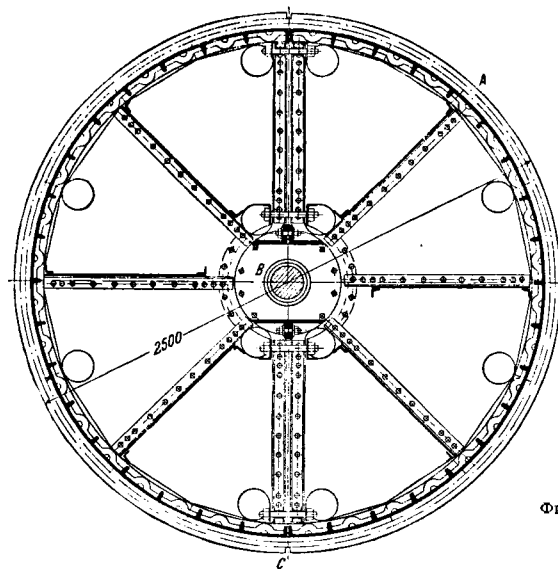
Фиг. 15.



Фиг. 16.

стенки, разделяющей ручки, и будет тереться об нее при набегании на Ш. и сбеге с него; это приведет к увеличению износа и к уменьшению КПД всей передачи. Ручьи поддерживающих и направляющих Ш. выполняют с профилем, очерченным по кругу (фиг. 14). Все ручьи Ш. должны быть выполнены настолько точно, чтобы все канаты ложились по одному диам., т. е. были одинаково глубоко погружены, в противном случае передаточные числа для каждого ручья будут

также и крестообразной форме сечения спиц последние закрывают листовым железом для уменьшения сопротивления воздуха при вращении Ш. Применяют также полые спицы с чечевицеобразным профилем, внешнее очертание которого составляют две пересекающиеся дуги круга, а внутреннее — одна окружность. Канатные Ш. сравнительно с ременными чаще выполняют разъемными между спицами, что при сравнительно небольших скоростях и большей прочности обода



Фиг. 17.

различны, часть канатов будет скользить и следовательно сильнее изнашиваться, что понизит КПД. Относительные размеры ручья даны на фиг. 12. В табл. 4 даны размеры ручья для канатов разных диаметров (фиг. 10 и 13).

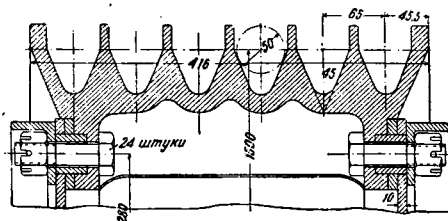
Табл. 4.—Размеры ручьев Ш. для пеньковых канатов (в мм).

Диаметр круглого каната d	Толщина насаженного каната в	Расстояние между ручьями г	Толщина стенки между ручьями б	Размеры ручьев		
				а	с	е
25	23	36	8	28	12,5	21
30	27	41	8	33	15	25
35	32	47	8	39	17,5	30
40	36	54	10	44	20	34
45	40	60	10	50	22,5	38
50	45	65	10	55	25	42
55	50	73	12	61	27,5	46

Внутренняя поверхность обода выполняется или цилиндрической (фиг. 10) или же в целях облегчения веса волнистой (фиг. 12) применительно к форме дна ручья.

Размеры спиц канатного Ш. по сравнению с размерами спиц ременного Ш. выполняют большими, учитывая большую нагрузку от предварительной натяжки канатов и большего в этом смысле влияния влажности на канат. Спицы кроме эллиптической формы выполняют также круглого и двутаврового профиля. При двутавровой, а

является допустимым. Ш. с большим числом ручьев выполняются в виде двух Ш., которые затем соединяют болтами. Конструктивное оформление свертных Ш. дано на фиг. 15 и 16. Конструкция Ш. для скорости до 40 м/сек дана на фиг. 17 и 18. Этот Ш. имеет разъемную стальную втулку и разъемный обод. Обе половины обода скрепляются, как обычно, болтами и кроме того



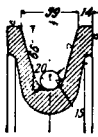
Фиг. 18.

двумя стальными кольцами; обод со втулкой соединяют плоскими стенками и двумя железными дисками из листового железа; обод с дисками соединяют болтами, которые от поперечной силы разгружены стальными пригнанными втулками.

Для Ш. проволочных канатов профиль ручьев выполняют т. о., чтобы канат ложился на дно профиля. Если канат работает непосредственно по чугунному ручью, то профиль выполняют

с таким расчетом, чтобы сечение каната по одной трети его окружности соприкасалось с профилем ручки (фиг. 19). Значительно лучше работает проволочный канат и значительно меньше изнашивается, если ручки Ш. выложены кожей. На фиг. 20 дана конструкция Ш. Генеля. В этой конструкции отдельные куски кожи укладываются в ручье наизапятными на проволоку, концы к-рой прикрепляют к спицам Ш. В конструкции, изображенной на фиг. 21, кусочки кожи вставляются в ручьи сбоку через боковое отверстие. Некоторые фирмы производят обкладку ручки деревом, к-рое пропитывают олифой и вставляют в жолобок с сечением в виде ласточкиного хвоста, волокна дерева располагают в плоскости Ш. Ручей в одном месте имеет уширение, через к-рое закладывают куски дерева; последний кусок закрепляют клиньями или приклеивают.

Расчет Ш. При вращении Ш. его обод под влиянием центробежной силы деформируется и диаметр обода увеличивается. Если бы обод не был связан со спицами, то, деформируясь, он



Фиг. 19.

оставался бы очерченным по окружности и его радиус увеличился бы на величину  $\Delta r$ . Наличие спиц, в каждой из которых под влиянием центробежных сил возникает осевая сила  $X_c$ , препятствует свободной деформации обода, благодаря чему при вращении Ш. обод, деформируясь, изгибается волнообразно. Следовательно в месте соединения обода со спицей обод прогнется внутрь на некоторую величину  $\delta$ . На фиг. 22 пунктирной линией обозначена деформация свободного обода и тонкой линией — деформация обода, связанного со спицами. Обозначая через  $\lambda_x$  удлинение спицы при деформации под действием силы  $X_c$  и через  $\lambda_c$  удлинение спицы при деформации под действием собственной центробежной силы, мы можем написать ур-ие:

$$\Delta r = \delta + \lambda_x + \lambda_c.$$

Под влиянием центробежной силы обод будет испытывать напряжение на растяжение  $\sigma = \frac{v^2}{g}$ , где  $v$  — вес единицы объема обода,  $v$  — окружная скорость и  $g$  — ускорение притяжения земли. Окружность обода при этом увеличится на величину  $\lambda_0 = \frac{1}{E_0} \sigma 2\pi R$ , где  $R$  — средний радиус обода,  $E_0$  — модуль упругости 1-го рода для материала обода. Удлинению окружности обода на величину  $\lambda_0$  соответствует увеличение его радиуса на величину  $\Delta r = \frac{1}{E_0} \sigma R = \frac{1}{E_0} \frac{v^2}{g} R$ . Величину удлинения спицы под действием собственной центробежной силы легко определить следующим графоаналитич. способом (фиг. 23). Если на расстоянии  $x$  от втулки сечение спицы будет равно

$\frac{v}{2} dx$  вызовет при вращении Ш. элементарную центробежную силу  $dZ = \frac{v}{g} \frac{dx}{g} \cdot \omega^2 R_x$ , где  $\omega$  — угловая скорость,  $R_x$  — расстояние взятого сечения от оси вращения. На участке спицы длиной  $x$ , центробежная сила  $dZ$  вызовет удлинение  $d\lambda_c = \frac{1}{E_c} \frac{dZ}{f_c} \cdot x$ , где  $E_c$  — модуль упругости 1-го рода для материала спицы и  $f_c$  — величина площади сечения спицы на расстоянии  $\frac{x}{2}$ . Следовательно удлинение всей спицы

$$\lambda_c = \frac{1}{E_c} \int \frac{dZ}{f_c} \cdot x = \frac{1}{E_c} \cdot \frac{v\omega^2}{g} \int \frac{f_x}{f_c} R_x \cdot dx.$$

Откладывая расстояния  $R_c$  по абсциссе и величины  $\frac{f_x}{f_c} R_x$  по ординате, получим (при обычном сужении спицы от 3:4 до 4:5) на диаграмме площадь  $F$ , близкую по своему очертанию к трапеции. Одна из ее крайних ординат будет равна  $R_b$  — радиусу втулки, а другая ордината будет равна

$R_c \cdot \frac{2f_0}{f_b + f_0}$ , где  $R_c$  — радиус спицы у обода,  $f_0$  — сечение спицы у обода,  $f_b$  — сечение спицы у втулки. Произведение  $\frac{f_x}{f_c} R_x dx$  дает статич. момент элементарной полоски полученной площадью, а интеграл  $\int \frac{f_x}{f_c} R_x dx$  — статич. момент всей площади диаграммы. Следовательно удлинение спицы под действием собственной центробежной силы определится из ур-ия

$$\lambda_c = \frac{1}{E_c} \cdot \frac{v\omega^2}{g} \cdot F \cdot \xi,$$

где  $\xi$  — расстояние с. т. площади диаграммы. На диаграмме фиг. 23 пунктирной линией изображено точное очертание площади  $F$ , к-рую приближенно можно принять за трапецию. Для получения значения величины деформации  $\lambda_x$  и  $\delta$  строим диаграмму тр-ков деформации из следующих соображений:

$$\Delta r - \lambda_c = \lambda_x + \delta.$$

Если бы разность деформации  $\Delta r - \lambda_c$  получалась только за счет удлинения спицы длиной  $l$ , то к спице нужно было бы приложить силу

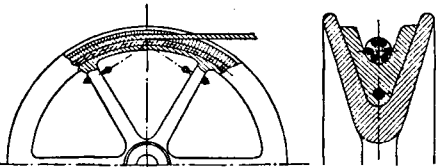
$$X_1 = \frac{(\Delta r - \lambda_c) \cdot J \cdot E_0}{l}$$

Если бы спица была совершенно жесткой и не деформировалась, то для смещения обода на величину  $\Delta r - \lambda_c$  необходимо согласно теории Рейнгагарда приложить силу

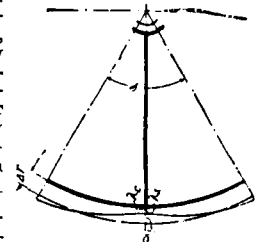
$$X_2 = \frac{(\Delta r - \lambda_c) \cdot J \cdot E_0}{R_3^3 \cdot C}$$

где  $C = \frac{1}{8} \frac{v}{\sin^2 \frac{\varphi}{2}} + \frac{1}{4} \text{ctg} \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{\varphi}$  есть коэф.

зависящий от угла  $\varphi$  между спицами,  $J$  — момент инерции сечения обода,  $R_3$  — средний радиус обода. Берем отрезок  $AB = (\Delta r - \lambda_c)$  и откладываем на перпендикулярах, восстановленных



Фиг. 20.



Фиг. 22.



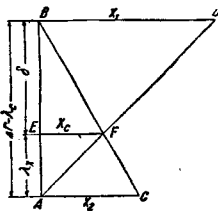
Фиг. 21.

из точек  $A$  и  $B$  (фиг. 24), силы  $X_1$  и  $X_2$ ; из тр-ков деформации, опуская перпендикуляр  $FE$  из точки пересечения отрезков  $AD$  и  $BC$ , мы определим величину силы  $X_c$ , к-рая, с одной стороны, даст спице удлинение  $\lambda_s$  и переместит обод в радиальном направлении на величину  $\delta$ . Возникающие под действием силы  $X_c$  дополнительные напряжения обода на изгиб и спицы на растяжения складываются с напряжениями от центробежной силы. Под действием силы  $X_c$  обод в месте соединения со спицей будет нагружен дополнительным моментом  $M_1 = -\frac{X_c R \varphi}{12}$  и посредине между спицами — моментом  $M_2 = +\frac{X_c R \varphi}{24}$ . Момент  $M_1$  на внутренней окружности обода дает дополнительное напряжение растяжения

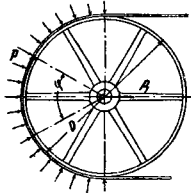
$$\sigma_{us} = \frac{X_c R \varphi}{12 W} = \frac{X_c R \varphi}{2 B s^3},$$

где  $B$  — ширина и  $s$  — толщина обода; это напряжение повышает напряжение  $\sigma$  обода от его центр. силы инерции. Под действием давления  $p$  ремня (фиг. 25) обод работает на изгиб. Посредине обода между спицами от силы давления ремня будет иметь место момент  $M_3 = -\frac{(p \cdot b \cdot R \varphi) R \varphi}{24}$ ; над спицами обод испытывает

действие момента  $M_4 = +\frac{(p \cdot b \cdot R \varphi) R \varphi}{12}$ , где  $p \cdot b \cdot R \varphi$  — сила давления ремня на часть обода, соответствующая углу  $\varphi$  между двумя смежными спицами. Положительные моменты увеличивают кривизну обода, отрицательные — умень-



Фиг. 24.



Фиг. 25.

шают ее. Наконеч обод находится еще под действием момента  $M_5$ , который возникает вследствие того, что спицы, деформируясь под действием окружного усилия, принимают в деформированном состоянии S-образную форму. Величина момента  $M_5$  м. б. определена из условия, что угол наклона упругой линии обода к упругой линии спицы остается неизменным и что только половина из всех спиц воспринимает окружное усилие. При этих предположениях величина момента  $M_5$  определится из у-рия

$$\frac{2}{J \cdot E_0} \cdot M_5 \cdot R \cdot \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{J_c \cdot E_0} \left( \frac{P \cdot y \cdot l}{4} - M_5 l \right);$$

если спица и обод изготовлены из одного и того же материала, то  $E_0 = E_c$  и

$$M_5 = \frac{\varphi \cdot P \cdot y \cdot l \cdot J}{2\pi (R \cdot \varphi \cdot J_c + J)},$$

где  $P$  — окружное усилие,  $y$  — расстояние от точки приложения силы  $P$  до основания спицы,  $i = \frac{2\pi}{\varphi}$  — число спиц,  $l$  — длина спицы,  $J_c$  — момент инерции среднего сечения спицы,  $J$  — момент инерции сечения обода. Если Ш. разъемный и место стыка расположено между спицами, то от действия центробежной силы фланцев, а также благодаря тому, что болты, соединяющие обод, расположены не в центре его сечения, возникают дополнительные напряжения, к-рые, как показывает анализ происходящих при работе обода явлений, могут достигнуть опасных значений. Поэтому стыков обода между спицами следует избегать.

Спицы Ш. воспринимают действие от окружного усилия  $P$ , собственной центробежной силы  $Z$ , от центробежных сил, развиваемых ободом, и от силы давления ремня. Под действием окружного усилия  $P$ , к-рое воспринимается по крайней мере половиной всего числа спиц, каждая спица будет изгибаться под действием момента  $M_{изг} = -P y$ , и спица будет испытывать напряжение изгиба  $\sigma = \frac{2 P y}{i W}$ , где  $i$  — число спиц. При эллиптическом сечении спицы с отношением длины полуосей  $a : b = 2 : 1$  будем иметь:

$$W = \frac{\pi a^3 \cdot b}{4} = \frac{\pi a^3}{8},$$

следовательно большая полуось сечения, расположенная в плоскости вращения, определится из уравнения

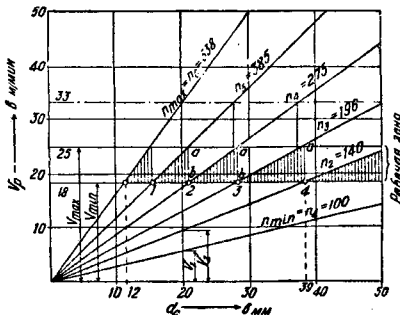
$$a = \sqrt[3]{\frac{5,09 \cdot P \cdot y}{\sigma}}.$$

При свертном Ш. с разъемом по средней плоскости спиц, при сечении спиц в виде полуэллипса полуоси должны равняться:

$$a_1 = 1,27a \text{ и } b_1 = 1,27b;$$

при этих размерах полуосей сечение каждой половины спиц будет иметь момент сопротивления  $W_{\frac{1}{2}} = \frac{W}{2}$ . Для чугунных спиц напряжение  $\sigma$  берут равным  $100 \div 150 \text{ кг/см}^2$ .

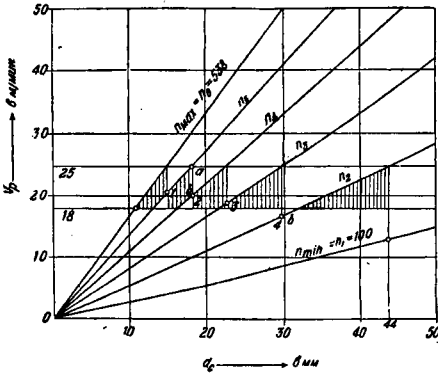
Ступенчатые шкивы служат для осуществления передачи станочного привода с переменным числом оборотов. Необходимость иметь передачу с различными числами оборотов вызывается



Фиг. 26.

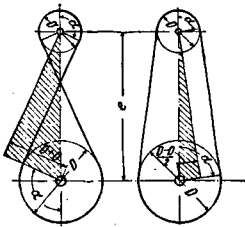
различными размерами обрабатываемых деталей, различными размерами инструмента и наконец выбирается в зависимости от материала как самой обрабатываемой детали, так и инструмента. Ряд промежуточных чисел оборотов между  $n_{max}$

и  $n_{min}$  выбирается не произвольно, а в определенной зависимости по геометрич. прогрессии. На диаграмме (фиг. 26) дана зависимость между диам. сверла  $d_s$  и скоростью резания  $v_p$  для разных чисел оборотов  $n_1 \div n_8$ , вятых по геометрич.



Фиг. 27.

прогрессии. На фиг. 27 дана эта зависимость для чисел оборотов, вятых по арифметич. прогрессии. Рассмотрение этих диаграмм показывает, что распределение промежуточных чисел оборотов по геометрич. прогрессии является не только более равномерным, но и целесообразным, т. к. падение скорости с переходом от одного числа оборотов к другому, изображенное отрезком  $ab$ , в первом случае является постоянной величиной, и точки  $1 \div 4$  диаграммы (фиг. 26) расположены на прямой, параллельной оси абсцисс. При промежуточных числах оборотов, вятых по арифметической прогрессии, эта равномерность отсутствует (фиг. 27), из-за чего имеет место



Фиг. 28.

уплотнение возможных чисел оборотов к  $n_{max}$ , что невыгодно, так как с увеличением диаметра сверла, напр. свыше 30 мм, мы имеем согласно диаграмме только одно экономически выгодное число оборотов  $n_4$ , а для диаметра свыше 44 мм экономически выгодных чисел оборотов при этой системе разбавки вообще не будет. Из сказанного следует, что только геометрический ряд для промежуточных чисел оборотов является рациональным, и в соответствии с ним подбираются диаметры ступеней шкива. Диаграмма (фиг. 26) дает возможность судить о том, какие инструменты могут быть применены и каковы рациональные пределы работ (рабочие зоны) для каждого из чисел оборотов в зависимости от заданных рациональных скоростей для инструмента.

Ступенчатые Ш. во избежание их большой длины выполняют с незначительным числом ступеней, обычно с четырьмя ступенями. Для увеличения числа возможных передач применяют ступенчатые приводы с двух-, трех- и четырехкратной переменной чисел оборотов контрпривода. Так как перемена скоростей осуществляется путем передвижения ремня, то диам. ступеней кроме

вышеизложенных соображений д. б. подобраны так, чтобы одна и та же длина ремня соответствовала каждой из ступеней. При перекрестном ремне (фиг. 28) длина ремня

$$L = 2 \left( e \sin \alpha + \frac{D + D'}{2} \alpha \right);$$

т. к.

$$\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha = \frac{D + D'}{2e},$$

то

$$L = 2e \left[ \sin \alpha + \alpha(-\cos \alpha) \right]$$

и будет Const в том случае, если при переходе с одной ступени на другую угол  $\alpha$  останется без изменения, что будет иметь место в том случае, если  $D + D' = -2e \cos \alpha = \text{Const}$ . При открытой передаче, обычно имеющей место для ступенчатых Ш., длина ремня  $L$  согласно фиг. 28 определится из ур-ня

$$L = 2 \left[ e \sin \alpha + \frac{D' \alpha}{2} + \frac{D(\pi - \alpha)}{2} \right];$$

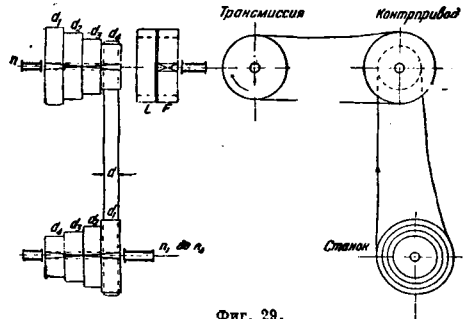
т. к.

$$\cos \alpha = \frac{D - D'}{2e},$$

то

$$L = 2e(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha) + D\pi.$$

Это трансцендентное ур-не м. б. решено только приближенно; для простоты в дальнейшем мы будем считать, что длина  $L$  ремня будет оста-



Фиг. 29.

ваться неизменной, так же как и в первом случае при  $D + D' = \text{Const}$ .

На фиг. 29 приведена схема ступенчатой передачи без перемены чисел оборотов контрпривода. Оба ступенчатых Ш. в этом примере имеют равные диаметры ступеней. Обозначая количество ступеней через  $z$  и знаменатель геометрич. прогрессии ряда чисел оборотов через  $\zeta$ , получим следующие числа оборотов передачи:

$$\begin{aligned} n_1 &= n_{min} \\ n_2 &= \zeta n_1 \\ n_3 &= \zeta^2 n_1 \\ &\dots \\ n_z &= \zeta^{z-1} n_1 = n_{max} \end{aligned}$$

откуда

$$\zeta = \sqrt[z-1]{\frac{n_{max}}{n_{min}}}$$

При перемещении ремня справа налево и при числе оборотов  $n$  контрпривода имеем следующие соотношения:

$$d \cdot n = d_1 n_1; \quad d_2 n = d_2 n_2; \quad d_3 n = d_3 n_3$$

$$d_1 n = d_1 n_1,$$

следовательно:

$$n_1 = n \frac{d_4}{d_1} = n_{min},$$

$$n_2 = n \frac{d_6}{d_3} = \zeta n_1,$$

$$n_3 = n \frac{d_4}{d_5} = \zeta^2 n_1,$$

$$n_4 = n \frac{d_1}{d_4} = \zeta^3 n_1 = n_{max}.$$

Число оборотов контрпривода определится из ур-ий:

$$d_1 n = d_1 n_1$$

и

$$d_1 n = d_4 n_4,$$

откуда

$$n = \sqrt{n_1 n_4} = n_1 \zeta \sqrt{\zeta} = n_2 \sqrt{\zeta}.$$

Диам. Ш. определяются из ур-ий:

$$d_4 + d_1 = d_3 + d_2 = d_2 + d_5 = d_1 + d_4,$$

т. к.

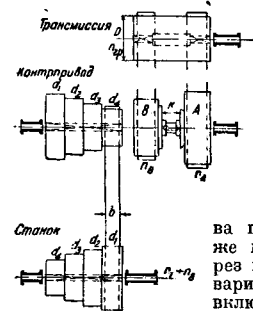
$$d_1 n = d_1 n_1 \quad \text{и} \quad d_3 n = d_2 n_2,$$

то

$$\frac{d_4}{d_1} = \frac{d_{max}}{d_{min}} = \frac{n_1}{n} = \frac{n_1}{n_1 \zeta \sqrt{\zeta}} = \frac{n_1}{n_1 \zeta^{\frac{3}{2}}} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^3}},$$

$$\frac{d_3}{d_2} = \frac{n_2}{n} = \sqrt{\frac{1}{\zeta}}.$$

При ступенчатом приводе с двойной переменной чисел оборотов контрпривода, к-рое достигается помощью двух приводных шкивов А и В (фиг. 30), возможны два варианта перемены скоростей.



Фиг. 30.

При первом варианте последовательное включение Ш. А и В осуществляют, выключив шкив А, меняют числа оборотов, переводя ремень последовательно через все четыре ступени, затем выключают приводной шкив В, включают шкив А, включают ремень в той же последовательности через все ступени. Во втором варианте при попеременном включении Ш. А и В ставят ремень на первую ступень, включают сперва Ш.

А для получения следующей скорости, оставляя ремень на той же ступени, выключают Ш. А и включают Ш. В; затем снова включают Ш. А и переводят ремень на вторую ступень и т. д. Следовательно при первом варианте для получения всех возможных скоростей требуется ремень переводить 8 раз и 2 раза переключать муфту шкивов А и В, при втором варианте ремень нужно перевести только 4 раза и 3 раза переключить муфту Ш. А и В. Второй вариант более рационален, так как переключать муфту более удобно, чем переводить ремень; кроме того Ш. при первом варианте значительно разнятся по диаметрам.

При последовательном включении Ш. А и В (1-й вариант) разбивку ряда чисел оборотов и положение ремня производят по схеме:

Группа А . . . . .	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$
Группа В . . . . .	$n_5$	$n_6$	$n_7$	$n_8$
Ремень на ступенях шкива	$\frac{d_4}{d_1}$	$\frac{d_3}{d_2}$	$\frac{d_2}{d_5}$	$\frac{d_1}{d_4}$

Число оборотов  $n_A$  контрпривода при включении шкива А согласно вышеизложенному определяют из ур-ия

$$n_A = \sqrt{n_1 \cdot n_4} = n_2 \sqrt{\zeta}.$$

Число оборотов  $n_B$  контрпривода при включении Ш. В определяют из ур-ия

$$n_B = \sqrt{n_6 \cdot n_8} = n_1 \zeta^{\frac{5}{2}} \sqrt{\zeta} = n_5 \sqrt{\zeta}.$$

Следовательно

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{n_2 \sqrt{\zeta}}{n_5 \sqrt{\zeta}} = \frac{1}{\zeta^4}.$$

Диаметры  $D_A$  и  $D_B$  шкива А и В определяют из ур-ия

$$D_A n_A = D n_{tr}, \quad \text{и} \quad D_B n_B = D n_{tr},$$

где  $n_{tr}$  — число оборотов трансмиссии. Следовательно

$$\frac{D_A}{D_B} = \frac{n_B}{n_A} = \zeta^4.$$

Отношение диаметров ступенчатого Ш.  $d_{min} : d_{max}$  определяют из соотношений:

$$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_4}{d_1} = \frac{n_1}{n_A} = \frac{n_5}{n_B} = \frac{n_1}{n_2 \sqrt{\zeta}} = \frac{n_5}{n_6 \sqrt{\zeta}} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^3}}.$$

При попеременном включении Ш. А и В контрпривода, т. е. при втором варианте, разбивку чисел оборотов производят по схеме:

Группа А . . . . .	$n_1$	$n_3$	$n_5$	$n_7$
Группа В . . . . .	$n_2$	$n_4$	$n_6$	$n_8$
Ремень на ступенях шкива	$\frac{d_4}{d_1}$	$\frac{d_3}{d_2}$	$\frac{d_2}{d_5}$	$\frac{d_1}{d_4}$

Число оборотов контрпривода:

$$n_A = \sqrt{n_1 \cdot n_7} = n_1 \zeta^3 = n_4,$$

$$n_B = \sqrt{n_2 \cdot n_8} = n_1 \zeta^4 = n_5.$$

Диаметры  $D_A$  и  $D_B$  определяются из соотношения

$$\frac{D_A}{D_B} = \frac{n_B}{n_A} = \zeta.$$

Диаметры ступеней  $d_{min}$  и  $d_{max}$  связаны зависимостью

$$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_4}{d_1} = \frac{n_1}{n_A} = \frac{n_2}{n_B} = \frac{n_1}{n_4} = \frac{n_2}{n_5} = \frac{1}{\zeta^3} = \sqrt{\frac{1}{(\zeta^2)^3}}.$$

Следовательно при этом варианте групповой переход равняется  $\zeta^2$ .

При ступенчатых приводах с трехкратной переменной чисел оборотов контрпривода групповой переход равен  $\zeta^3$  и разбивку чисел оборотов производят по схеме:

Группа А . . . . .	$n_1$	$n_4$	$n_7$	$n_{10}$
Группа В . . . . .	$n_2$	$n_5$	$n_8$	$n_{11}$
Группа С . . . . .	$n_3$	$n_6$	$n_9$	$n_{12}$
Ремень на ступенях шкива .	$\frac{d_4}{d_1}$	$\frac{d_3}{d_2}$	$\frac{d_2}{d_5}$	$\frac{d_1}{d_4}$

Число оборотов контрпривода

$$n_A = \sqrt{n_1 \cdot n_{10}} = \sqrt{n_1 \cdot n_1 \zeta^9} = n_1 \zeta^4 \sqrt{\zeta} = n_5 \sqrt{\zeta},$$

$$n_B = \sqrt{n_2 \cdot n_{11}} = \sqrt{n_1 \zeta \cdot n_1 \zeta^{10}} = n_1 \zeta^5 \sqrt{\zeta} = n_6 \sqrt{\zeta},$$

$$n_C = \sqrt{n_3 \cdot n_{12}} = \sqrt{n_1 \zeta^2 \cdot n_1 \zeta^{11}} = n_1 \zeta^6 \sqrt{\zeta} = n_7 \sqrt{\zeta}.$$

Табл. 5.—Характеристика передачи ступенчатыми Ш. при контрприводе без перемены скоростей.

Характеристика передачи	Число ступеней шкива	
	3 ступени	4 ступени
Соотношение между диаметрами ступеней . . . . .	$\frac{d_3}{d_1} = \frac{1}{\zeta}; \frac{d_2}{d_2} = 1; \frac{d_1}{d_3} = \zeta$	$\frac{d_4}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^3}}; \frac{d_3}{d_2} = \sqrt{\frac{1}{\zeta}}; \frac{d_2}{d_3} = \sqrt{\zeta}; \frac{d_1}{d_4} = \sqrt{\zeta^3}$
Отношение $\frac{d_{min}}{d_{max}} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^2-1}}$	$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_3}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^2}} = \frac{1}{\zeta}$	$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_4}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^3}}$
Характеристика передачи	Число ступеней шкива	
	5 ступеней	6 ступеней
Соотношение между диаметрами ступеней . . . . .	$\frac{d_6}{d_1} = \frac{1}{\zeta^3}; \frac{d_4}{d_2} = \frac{1}{\zeta}; \frac{d_3}{d_3} = 1; \frac{d_2}{d_4} = \zeta; \frac{d_1}{d_5} = \zeta^2$	$\frac{d_6}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^5}}; \frac{d_5}{d_2} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^3}}; \frac{d_4}{d_3} = \sqrt{\frac{1}{\zeta}}; \frac{d_3}{d_4} = \sqrt{\zeta}; \frac{d_2}{d_6} = \sqrt{\zeta^3}; \frac{d_1}{d_5} = \sqrt{\zeta^5}$
Отношение $\frac{d_{min}}{d_{max}} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^2-1}}$	$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_5}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^4}} = \frac{1}{\zeta^2}$	$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_6}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{\zeta^5}}$

Следовательно

$$n_A : n_B : n_C = n_5 \sqrt{\zeta} : n_6 \sqrt{\zeta} : n_7 \sqrt{\zeta} = 1 : \zeta : \zeta^2,$$

$$D_A : D_B : D_C = \frac{1}{n_A} : \frac{1}{n_B} : \frac{1}{n_C} = 1 : \frac{1}{\zeta} : \frac{1}{\zeta^2},$$

$$n_A = \frac{n_{сп. D}}{D_A}; \quad n_B = \frac{n_{сп. D}}{D_B}; \quad n_C = \frac{n_{сп. D}}{D_C},$$

$$d_{4nA} = d_1 n_1; \quad d_{4nB} = d_1 n_2; \quad d_{4nC} = d_1 n_3,$$

$$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_4}{d_1} = \frac{n_1}{n_A} = \frac{n_2}{n_B} =$$

$$= \frac{n_3}{n_C} = \frac{1}{\zeta^4 \sqrt{\zeta}} = \sqrt{\frac{1}{(\zeta^3)^5}}.$$

Для всех вышеописанных типов передач отношение  $\frac{d_{min}}{d_{max}}$  берут  $\geq \frac{1}{2}$ .

Табл. 6.—Характеристика передачи ступенчатыми Ш. при контрприводе с двойной переменной скоростей.

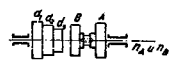

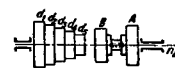
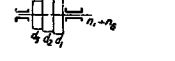
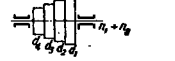
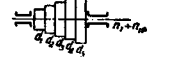
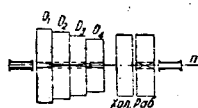
Контрпривод . . . . .			
Привод станка . . . . .			
Разбивка чисел оборотов посредством шкива А . . . . .	$n_1 \quad n_3 \quad n_5$	$n_1 \quad n_3 \quad n_5 \quad n_7$	$n_1 \quad n_3 \quad n_5 \quad n_7 \quad n_9$
Разбивка чисел оборотов посредством шкива В . . . . .	$n_2 \quad n_4 \quad n_6$	$n_2 \quad n_4 \quad n_6 \quad n_8$	$n_2 \quad n_4 \quad n_6 \quad n_8 \quad n_{10}$
Положение ремня . . . . .	$\frac{d_3}{d_1} \quad \frac{d_2}{d_2} \quad \frac{d_1}{d_3}$	$\frac{d_4}{d_1} \quad \frac{d_3}{d_2} \quad \frac{d_2}{d_3} \quad \frac{d_1}{d_4}$	$\frac{d_5}{d_1} \quad \frac{d_4}{d_2} \quad \frac{d_3}{d_3} \quad \frac{d_2}{d_4} \quad \frac{d_1}{d_5}$
Число оборотов $n_A$ . . . . .	$n_A = \sqrt{n_1 \cdot n_5} = \sqrt{n_1 n_1 \zeta^4} = n_3$	$n_A = \sqrt{n_1 \cdot n_7} = \sqrt{n_1 n_1 \zeta^6} = n_4$	$n_A = \sqrt{n_1 \cdot n_9} = \sqrt{n_1 n_1 \zeta^8} = n_5$
Число оборотов $n_B$ . . . . .	$n_B = \sqrt{n_2 \cdot n_6} = \sqrt{n_2 \zeta \cdot n_2 \zeta^5} = n_4$	$n_B = \sqrt{n_2 \cdot n_8} = \sqrt{n_2 \zeta \cdot n_2 \zeta^7} = n_5$	$n_B = \sqrt{n_2 \cdot n_{10}} = \sqrt{n_2 \zeta \cdot n_2 \zeta^9} = n_6$
Соотношение между диаметрами ступеней . . . . .	$\frac{d_3}{d_1} = \frac{1}{\zeta^2}; \frac{d_2}{d_2} = 1; \frac{d_1}{d_3} = \zeta^2$	$\frac{d_4}{d_1} = \frac{1}{\zeta^3}; \frac{d_3}{d_2} = \frac{1}{\zeta}; \frac{d_2}{d_3} = \zeta; \frac{d_1}{d_4} = \zeta^3$	$\frac{d_5}{d_1} = \frac{1}{\zeta^4}; \frac{d_4}{d_2} = \frac{1}{\zeta^2}; \frac{d_3}{d_3} = 1; \frac{d_2}{d_4} = \zeta^2; \frac{d_1}{d_5} = \zeta^4$
Отношение $\frac{d_{min}}{d_{max}} = \sqrt{\frac{1}{(\zeta^2)^2-1}}$	$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_3}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{(\zeta^2)^2}} = \frac{1}{\zeta^2}$	$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_4}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{(\zeta^3)^2}} = \frac{1}{\zeta^3}$	$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_5}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{(\zeta^4)^2}} = \frac{1}{\zeta^4}$



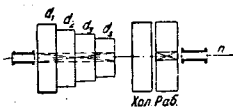
Табл. 7.—Характеристика передачи ступенчатыми Ш. при контрприводе с тройной переменной скоростью.

Контрпривод . . . . .			
Станок . . . . .			
Разбивка чисел оборотов посредством шкива А . . . . .	$n_1 \quad n_4 \quad n_7$	$n_1 \quad n_4 \quad n_7 \quad n_{10}$	$n_1 \quad n_4 \quad n_7 \quad n_{10} \quad n_{13}$
Разбивка чисел оборотов посредством шкива В . . . . .	$n_2 \quad n_5 \quad n_8$	$n_2 \quad n_5 \quad n_8 \quad n_{11}$	$n_2 \quad n_5 \quad n_8 \quad n_{11} \quad n_{14}$
Разбивка чисел оборотов посредством шкива С . . . . .	$n_3 \quad n_6 \quad n_9$	$n_3 \quad n_6 \quad n_9 \quad n_{12}$	$n_3 \quad n_6 \quad n_9 \quad n_{12} \quad n_{15}$
Положение ремня . . . . .	$\frac{d_3}{d_1} \quad \frac{d_2}{d_2} \quad \frac{d_1}{d_3}$	$\frac{d_4}{d_1} \quad \frac{d_3}{d_2} \quad \frac{d_2}{d_3} \quad \frac{d_1}{d_4}$	$\frac{d_5}{d_1} \quad \frac{d_4}{d_2} \quad \frac{d_3}{d_3} \quad \frac{d_2}{d_4} \quad \frac{d_1}{d_5}$
Число оборотов $n_A$ . . . . .	$n_A = \sqrt{n_1 n_7} = \sqrt{n_1 n_1 c^6} = n_4$	$n_A = \sqrt{n_1 n_{10}} = \sqrt{n_1 n_1 c^9} = n_5 \sqrt{c}$	$n_A = \sqrt{n_1 n_{13}} = \sqrt{n_1 \cdot n_1 c^{12}} = n_7$
Число оборотов $n_B$ . . . . .	$n_B = \sqrt{n_2 n_8} = \sqrt{n_1 c^2 n_1 c^7} = n_5$	$n_B = \sqrt{n_2 n_{11}} = \sqrt{n_1 c^3 \cdot n_1 c^{10}} = n_6 \sqrt{c}$	$n_B = \sqrt{n_2 n_{14}} = \sqrt{n_1 c^4 \cdot n_1 c^{13}} = n_8$
Число оборотов $n_C$ . . . . .	$n_C = \sqrt{n_3 n_9} = \sqrt{n_1 c^4 \cdot n_1 c^8} = n_6$	$n_C = \sqrt{n_3 n_{12}} = \sqrt{n_1 c^5 \cdot n_1 c^{11}} = n_7 \sqrt{c}$	$n_C = \sqrt{n_3 n_{15}} = \sqrt{n_1 c^6 \cdot n_1 c^{14}} = n_9$
Соотношение между диаметрами ступеней . . . . .	$\frac{d_3}{d_1} = \frac{1}{c^3}; \frac{d_2}{d_2} = 1; \frac{d_1}{d_3} = c^3$	$\frac{d_4}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{c^3}}; \frac{d_3}{d_3} = \sqrt{\frac{1}{c^3}}; \frac{d_2}{d_3} = \sqrt{c^3}; \frac{d_1}{d_4} = \sqrt{c^3}$	$\frac{d_5}{d_1} = \frac{1}{c^6}; \frac{d_4}{d_2} = \frac{1}{c^3}; \frac{d_3}{d_3} = 1; \frac{d_2}{d_4} = c^3; \frac{d_1}{d_5} = c^6$
Отношение $\frac{d_{min}}{d_{max}} = \sqrt{\frac{1}{(c^3)^2 - 1}}$	$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_3}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{(c^3)^2}} = \frac{1}{c^3}$	$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_4}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{(c^3)^3}}$	$\frac{d_{min}}{d_{max}} = \frac{d_5}{d_1} = \sqrt{\frac{1}{(c^3)^4}} = \frac{1}{c^6}$

Кроме рассмотренных конструкций находят применение также и ступенчатые приводы с неравными ступенями (фиг. 31 и 32). На фиг. 31 дана схема ступенчатой передачи на ускоренный ход. Этот тип



Фиг. 31.



Фиг. 32.

передачи применяют в тех случаях, когда требуется иметь большое число оборотов при относительно малых крутящих моментах. В этом типе ступенчатой передачи отношение

$$\frac{D_4}{d_1} = x \gg 1$$

числа оборотов на разных ступенях определяется из ур-ий:

$$n_1 = n \frac{D_4}{d_1} = xn, \quad n_3 = n \frac{D_2}{d_3} = xn c^2, \\ n_2 = n \frac{D_2}{d_2} = xn c^2, \quad n_4 = n \frac{D_1}{d_4} = xn c^3.$$

Диаметры ступеней определяют, пользуясь соотношениями:

$$\frac{D_4}{d_1} = x; \quad \frac{D_3}{d_2} = x c^2; \quad \frac{D_2}{d_3} = x c^4; \quad \frac{D_1}{d_4} = x c^6.$$

Если число ступеней будет  $z$ , то вообще

$$\frac{D_1}{d_z} = x c^{2z-1}.$$

Передача на замедленный ход (фиг. 32) при любом положении ремня будет осуществлена, если будет соблюдено отношение

$$\frac{d_1}{D_4} = \frac{1}{x},$$

где  $x \gg 1$ . При этом на различных ступенях будут иметь место следующие числа оборотов:

$$n_4 = n \frac{d_1}{D_4} = \frac{n}{x}; \quad n_3 = n \frac{d_2}{D_3} = \frac{n}{x c^2}; \\ n_2 = n \frac{d_3}{D_2} = \frac{n}{x c^4}; \quad n_1 = n \frac{d_4}{D_1} = \frac{n}{x c^6}.$$

Отношение диам. ступеней Ш. должно удовлетворять следующим равенствам:

$$\frac{d_1}{D_4} = \frac{1}{x}; \quad \frac{d_2}{D_3} = \frac{1}{x c^2}; \quad \frac{d_3}{D_2} = \frac{1}{x c^4}; \quad \frac{d_4}{D_1} = \frac{1}{x c^6};$$

при числе ступеней, равном  $z$ , имеем:

$$\frac{d_z}{D_1} = \frac{1}{x c^{2z-1}}.$$

В табл. 5, 6 и 7 даны характеристики различных передач со ступенчатыми Ш. Б. Шарнин.

**ШЛИФОВКА**, шлифование — процесс резания, производимый с применением абразивных материалов (шлифовальный камень, алмаз). Особой разновидностью Ш. является полирование. Для изготовления шлифовального камня *абразивный материал* (см.) дробится, размалывается и сортируется по крупности зерна просеиванием сквозь специальные сита или процессом отмучивания. В первом случае номер зерна (зернистость) определяется либо числом отверстий в одном погонном дюйме (напр. у Нортон) либо условными номерами (напр. германские номера); сравнение обоих способов приведено в табл. 1. Во втором случае — числом минут отстаивания порошка после взбалтывания его с водой или для особо мелких порошков — с маслом (1-, 5-, 10-, 15-, 30-, 60-минутники).

Табл. 1.—Обозначения зернистости абразивных материалов.

Сорта	Обозначения	
	по Нортону и э-ду Ильича	германские
Весьма крупнозернистые . . . . .	10, 12, 14, 16, 18	13, 12, 11, 10
Крупнозернистые . . . . .	20, 22, 24, 30, 36	9, 8, 7, 6
Среднезернистые . . . . .	38, 40, 45, 50, 60, 70	5, 4, 3, 2
Мелкозернистые . . . . .	80, 90, 100, 120	1, 01, 0
Весьма мелкозернистые . . . . .	150, 180, 200, 220	00, 000, 0000

Сортированные зерна соединяются между собой посредством связующего вещества («цемента»), формируются в виде камня требуемого размера и формы и подвергаются в зависимости от связи специальной обработке, обеспечивающей прочность камня. Связующие вещества употребляются: 1) керамические — огнеупорная глина с примесью шпата, каолина, талька (плавни); 2) минеральные, подразделяемые на силикатовые (жидкое стекло с прибавлением окиси олова) и магнетитовые (магнетит и хлористый магний), и 3) растительные, подразделяемые на шеллачные, олеонитовые (масло), вулканические (резина, каучук) и бакелитовые. Камни с керамической связкой обладают пористостью и нечувствительностью к сырости (благодаря обжигу), вследствие чего употребляются для мокрого шлифования, но они очень чувствительны к ударам. Камни с растительной связкой имеют обратные свойства — они упруги, нечувствительны к ударам, но не выносят охлаждения, употребляются для точки инструментов (олеонитовые) и для прорезных работ (вулканические). Круги с минеральной связкой дают хороший глянec, но мало производительны, употребляются для очистки литья. **Изнашивание** шлифовального камня заключается: 1) в постепенном затуплении зерна, вызывающем соответствующее увеличение усилий при резании, 2) в выламывании затупившихся зерен в тот момент, когда усилие достигнет достаточной для этого величины, и 3) в освобождении для работы никележащих зерен (самозатачивание камня). Момент выламывания затупившихся зерен зависит от твердости камня, т. е. от прочности связующего вещества. При данном режиме Ш. и данном материале твердость камня должна выбираться так, чтобы камень своевременно самозатачивался. При большей твердости камень засаливается, т. е. перестает резать, и впадины между зернами забиваются соскабливаемыми частицами металла, при меньшей твердости камень осыпается, т. е. преждевременно изнашивается.

Сравнение различных шкал твердости шлифовальных кругов приведено в табл. 2.

Табл. 2.—Обозначения твердости кругов.

Твердость камня	Обозначения		
	по Нортону	по э-ду Ильича	по международному проценту
Чрезвычайно мягкие . . . . .	Е	СМ	1
Весьма мягкие . . . . .	F-G	ВМ	2-3
Мягкие . . . . .	H-J	С	4-6
Среднемягкие . . . . .	K-L	СМ	7-8
Средние . . . . .	M-N	С	9-10
Среднетвердые . . . . .	O-Q	СТ	11-13
Твердые . . . . .	R-S	Т	14-15
Весьма твердые . . . . .	T-U	ВТ	16-17
Чрезвычайно твердые . . . . .	V-Z	ЧТ	18 и выше

**Выбор камня.** Для грубой Ш. (обдирки) выбирают крупнозернистые камни, для точной — мелкозернистые и более мягкие. Для Ш. чугуна — преимущественно карборундовые (из зерен карбида кремния), для Ш. стали — корундовые (из зерен окиси алюминия); для мягких сортов чугуна и стали — более твердые, для твердых сортов чугуна и стали, в особенности для меди, латуни, свинца — более мягкие круги. С увеличением скорости камня твердость последнего берется меньше, так же как и при более мелкозернистом камне, при увеличении дуги касания камня и изделия, при увеличении подачи, при работе кольцевыми и горшкообразными кругами, при бесцентровой и фасонной Ш., при сухой Ш. Круги большой плотности (т. е. при более тесном расположении зерен) употребляются лишь при грубой Ш., пористые круги — при легких работах и при Ш. торцовыми кругами. Шлезингер рекомендует для разных материалов следующие круги (табл. 3).

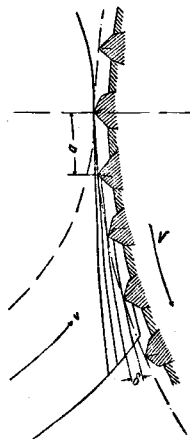
**Теория Ш.** имеет задачей установить наилучший режим Ш., который, как при всяком вообще резании, прежде всего связан с толщиной снимаемой стружки, в данном случае с наибольшей толщиной стружки, снимаемой каждым зерном камня. Процесс резания шлифовальным кругом изображен на фиг. 1.

**Формула Алдена** (Alden). Пусть (фиг. 2)  $t$  — глубина резания в мм,  $U$  и  $v$  — скорости камня в м/сек и изделия в м/мин,  $D$  и  $d$  — их диаметры в мм,  $R$  и  $r$  — их радиусы в мм,  $\delta = EC$  — наибольшая толщина стружки в мм,  $L = FC$  — длина стружки в мм,  $a$  — расстояние в мм между центрами режущих зерен на окружности круга. Тогда длина дуги на окружности предмета между двумя последовательно режущими зернами

$$FC = \frac{a \cdot v}{60V}$$

Из треугольника  $JHC$  имеем:

$$JH = HC \cdot \sin(\alpha + \beta).$$



Фиг. 1.

Табл. 3.— Рекомендуемые сорта шлифовальных кругов для различных работ (по Шлезингеру).

Материал изделия	Род абразива	Круглая Ш.		Внутренняя Ш.		Окружная скорость камня, м/сек
		зернистость	твердость	зернистость	твердость	
Чугун	Карболит Карборунд Кристаллон	40—46	K—M L—M L—M	36—40	K P K	38—36
Легированная сталь	Алунд Корунд Алоксит	24 комбин. с 40	L L J	46 46 50	J J M	24—30
Мартеновская сталь	Алунд Корунд Алоксит	24 комбин. с 36	L—M L—M N—O	46 46 50	J J M	18—24
Сталь закаленная	Алунд Корунд Алоксит	46 46 86	K K P	46 46 50	K K M	24—33
Латунь, бронза	Карболит Карборунд Кристаллон	24—30	M—N L—M P	—	—	—
Алюминий	Алунд Корунд Алоксит	—	—	36—46 46—58 46—50	K K Q	39—45
Алюминий	Карболит Карборунд Кристаллон	—	—	45—50 50 36	2 1/2 E P 2 1/2 E	45—54

В виду ничтожных обычно величин углов  $\alpha$  и  $\beta$  можем принять

$$HC \cong FC, \quad \delta = GF \cong JH.$$

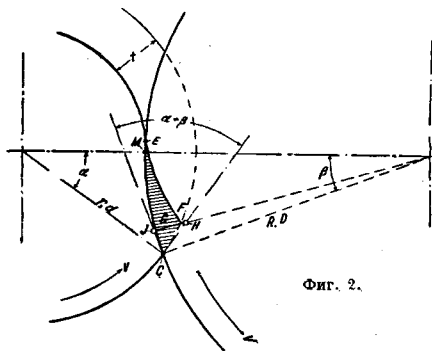
Тогда

$$\delta = HC \cdot \sin(\alpha + \beta) = FC \cdot \sin(\alpha + \beta),$$

окончательно

$$\delta = \frac{a \cdot v}{60V} \sin(\alpha + \beta). \quad (1)$$

Это и есть ф-ла Альдена.



Фиг. 2.

Ф-ла Гофмана является дальнейшим преобразованием ф-лы Альдена. По тем же соображениям незначительности  $\alpha$  и  $\beta$  он принимает

$$\sin(\alpha + \beta) \cong \sin \alpha + \sin \beta;$$

$$\sin \beta \cong \sqrt{\frac{2rt}{R(r+R)}};$$

$$\sin \alpha = \frac{R}{r} \sin \beta = \frac{R}{r} \sqrt{\frac{2rt}{R(r+R)}}.$$

Тогда

$$\sin(\alpha + \beta) = \frac{R}{r} \sqrt{\frac{2rt}{R(r+R)}} + \sqrt{\frac{2rt}{R(r+R)}}$$

или по преобразовании

$$\sin(\alpha + \beta) = 2\sqrt{t} \sqrt{\frac{1}{D} + \frac{1}{d}}. \quad (2)$$

Следовательно по (1) и (2)

$$\delta = \frac{a \cdot v}{30V} \sqrt{t} \sqrt{\frac{1}{D} + \frac{1}{d}}. \quad (3)$$

Знак (—) относится к внутренней Ш. Для плоской Ш.  $d = \infty$  и

$$\delta = \frac{a \cdot v}{30V} \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (3a)$$

Изменение толщины стружки — в зависимости от  $d$  и  $D$  в график. форме изображено на фиг. 3. Ф-ла (3) показывает, что толщина стружки  $\delta$ : 1) пропорциональна скорости изделия  $v$  и корню квадратному из глубины резания  $t$ , 2) обратно пропорциональна скорости камня  $V$  и 3) находится в обратной зависимости от  $\varphi$  камня  $D$  и изделия  $d$  (для внутренней Ш. — в прямой зависимости от  $d$ ).

Выбор режима Ш. Общий принцип: режим должен обеспечить своевременное самозатачивание камня. При камне данной твердости и зернистости для нормального изнашивания камня толщина стружки  $\delta$  должна иметь некую зависящую от обрабатываемого материала нормальную величину, к-рая м. б. установлена специальными экспериментами. Зная эту нормальную величину  $\delta$ , нетрудно по ф-ле

(3) подобрать соответствующий режим. Скорость камня  $V$  при круглой Ш. берется 25—35 м/сек, при чистовой Ш. 40—45 м/сек, при полировке 45—50 м/сек, при внутренней Ш. 12—15 м/сек, при заточке инструментов 18—25 м/сек. Увеличение  $V$  против нормальной не ведет к увеличению производительности и лишь повышает центробежную силу при некотором понижении износа камня. Уменьшение  $V$  против нормальной вызывает повышенный износ камня без повышения производительности и без экономии энергии. Скорость изделия  $v$

смесь мыла, соды, свиного сала и воды. Дуга касания  $L=CM$  (фиг. 2) определяется Ф-лой

$$L = \sqrt{\frac{2t}{\frac{1}{R} \pm \frac{1}{r}}} = \sqrt{\frac{t}{\frac{1}{D} + \frac{1}{d}}}$$

[знак (—) берется для внутренней шлифовки]. С увеличением  $L$  уменьшается нагрузка на одно зерно, увеличивается нагревание предмета и расход энергии; поэтому следует брать более мягкие и крупнозернистые круги и меньшую  $t$ . Наиболее невыгодна обработка плоскостей горшкообразными кругами, а также работа внутренней Ш. Правка круга производится периодически алмазным правилом. Перед употреблением круга необходимо произвести испытание его на разрыв при удвоенной  $V$ . Усилие при Ш. Радиальная сила в среднем превышает тангенциальную в 1,5—2 раза (опыты Куррейна); это отношение увеличивается с  $t$ . По Кодруну (1902 г.) оно доходит до 4, в среднем 2—3; наибольшая величина отношения — для твердого крупнозернистого камня, для чугуна больше, чем для стали. По опытам ЦНИИМАШ (1934 г.) для круга зернистости 45 и твердости  $K$  при круглой продольной Ш. при  $V = 30$  м/сек закаленной инструментальной стали  $P$  выразилось Ф-лой

$$P = 8,4 v^{0,4} s^{0,37} p^{0,4}$$

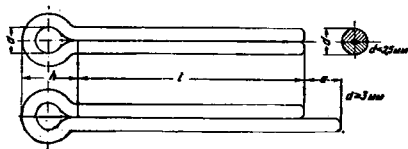
Для поперечной Ш. при тех же условиях ( $b$  — ширина камня в мм)

$$P = 2,22 b \cdot t \cdot v^{0,18}$$

По опытам Куррейна с затуплением зерен  $P$  возрастает и по мере самозатачивания камня периодически колеблется. Более твердый круг дает большую амплитуду колебания  $P$ . При данном режиме  $P$  дает минимум для круга определенной зернистости.

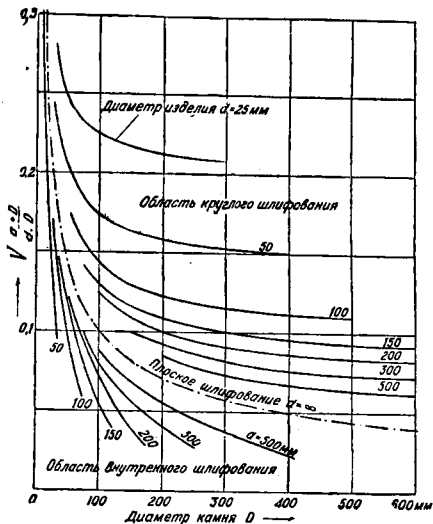
Лит.: Schlesinger G., Wirtschaftliches Schleifen, B., 1921; Woxen, Wear in Cylindrical Grinding, Stockholm, 1933; Krug C., Form und Fertigkeit von Einzelschleifkörpern bei rasch umlaufenden Schleifwerkzeugen, «Maschinenbau», B., 1930, H. 6; Krug C., Über d. Spannungszustand d. Schleifscheiben, ibid., 1926, H. 23; Krug C., Beiträge zur Kenntnis des Schleifens, ibid., 1925, B., p. 879; Hoffmann A., Zur Geometrie d. Zerspaltung beim Schleifen, ibid., 1933, H. 2; Krug C., Abnutzungsverhältnisse einer Schleifscheibe, «Werkstattstechnik», 1926, B., 10; Kurrein M., Die Messung d. Schleifkraft, ibid., 1927, 20—21; Schlesinger P., Versuche über die Leistung von Schmirgelscheiben, «Forschungsarbeit», 1907, B., H. 43; Kurrein M., Untersuchung d. Schleifscheibenhärte. Mitteilungen aus dem Versuchsfeld für Werkzeugmaschinen, «Werkstattstechnik», B., 1928, H. 10, p. 293; Wilda, Zur Theorie d. Schleifens, «Werkzeugmaschinen», 1919, B., p. 471; Krug C., Zur Theorie des Schleifens, «Z. d. VDI», 1927; Coenen, Schleifwiderstandsversuche, «Maschinenbau», 1932, B., p. 450; Rosenberg, Das Springen keramischer Schleifscheiben; Herstellungs- u. Behandlungsschüler als Ursache, ibid., 1933, p. 247, 9/10. С. Редков.

**ШПЛИНТЫ**, согнутые вдвое отрезки проволоки полукруглого сечения (фиг. 1). Ш. применяются в машиностроении как одно из средств против самоотвинчивания гаек болтовых соедине-



Фиг. 1.

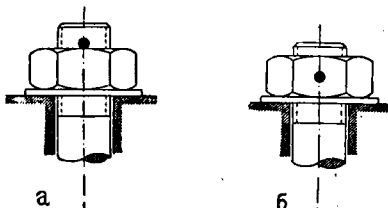
ний и для закрепления на месте деталей против небольших и случайных усилий. Шплинтовый замок болтовых соединений в виду простоты и надежности его в работе в настоящее время находит применение во всех отраслях машиностроения,



Фиг. 3.

при грубой Ш. 10—15 м/мин, при точной — фирма Нортон рекомендует понижение до 3—8 м/мин, Шлезингер, наоборот, скорее — повышение, особенно при Ш. стали. Уменьшение и увеличение  $v$  против нормальной ведет к засаливанию камня, в первом случае вследствие уменьшения  $\delta$ , а с ней и усилия, во втором — вследствие вдавливания стружки в поры камня. Глубина резания  $t$  зависит от зернистости и не должна превышать  $1/6$  размера зерна. При грубой Ш. зерном № 24 при Ш. стали  $t=10 \div 40 \mu$ , чугуна — до 50  $\mu$ , при плоской Ш. — 10—70  $\mu$ , при тонкой окончательной Ш. — 2—5  $\mu$ . Излишняя  $t$  только бесполезно изнашивает круг, не давая повышения производительности. Недостаточная  $t$  не использует мощности станка и уменьшает  $\delta$ . Продольная подача  $s$  измеряется в долях ширины камня. При грубой Ш.  $s = 0,75-0,85$  для стали и  $0,85-1,0$  для чугуна, для точной Ш. — меньше, для очень точной — до  $0,25-0,33$ . Охлаждение применяется для устранения перегрева изделия и удаления пыли; берется раствор 3—5% кальцинированной соды в воде, 14—20 л/мин, на станках высокой мощности даже до 150 л/мин в зависимости от размеров изделия, ширины и скорости круга. При чистовой Ш. прибавляется немного масла. Для закаленной стали охлаждение усиливается в целях избежания отпуска. При Ш. алюминия применяется смесь керосина и веретенного масла для облегчения удаления стружки и устранения засаливания. При фигурной Ш. —

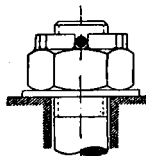
не исключая и таких ответственных, как авто- и авиастроение. При употреблении в болтовых соединениях простых гаек для образования шплинтового замка сверлят в стержне болта у



Фиг. 2.

Фиг. 3.

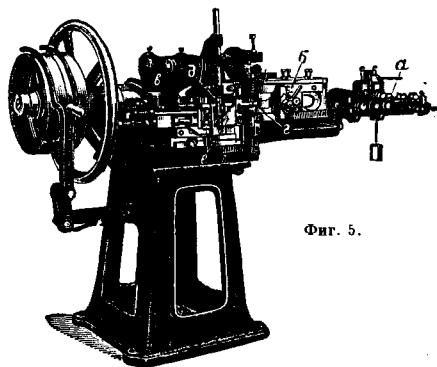
самой гайки отверстие перпендикулярно оси болта и пропускают через него шплинты соответствующего диаметра и длины, после чего свободные концы Ш. разводят (фиг. 2). Реже Ш. пропускают через болт и гайку одновременно (фиг. 3). Последний вид шплинтования в практике вызывается обычно случайным отсутствием болтов длины, достаточной для выполнения шплинтового замка по фиг. 2.



Фиг. 4.

Для регулирования натяга болтовых соединений при ослаблении их, вызываемом растяжением болтов в работе, употребляют одновременно со Ш. корончатые гайки (фиг. 4). В этом случае отпадает необходимость сверления отверстия в болте во время сборки после установки на место болта и гайки. Широкое применение Ш. вызвало их стандартизацию в странах с развитым машиностроением. В 1927 г. Комитетом по стандартизации при СТО был утвержден ОСТ 150 «Шплинты разводные проволочные» как обязательный с 1 января 1929 г. (последняя редакция 1931 г.). В стандарте условно принято считать диаметр Ш. — диаметр отверстия под него в болте,

цами равной длины для удобства разводки (фиг. 1). Позднее, в 1930 г. Комитетом по стандартизации при СТО были выпущены ОСТ 1750—1755, «корончатые гайки», разработанные в соответствии с ОСТ 150 на Ш. В ОСТ на корончатые гайки помещены данные о соответствующих размерах Ш. Этими данными надлежит пользоваться и при шплинтовке по фиг. 2 и 3. Примерами, характеризующими применение Ш. как фиксирующих приспособлений, может служить фиксация положения гладких болтов (пальцев), пропускаемых в уши коренных листов рессор в паровозо-вагоностроении, гладких болтов и валиков, служащих для соединения элементов рычажных систем, и гибких лент тормозов грузоподъемных механизмов и т. п. В случаях, когда на Ш. могут действовать значительные поперечные усилия, от постановки его следует отказаться и заменить штиф-



Фиг. 5.

том. При постановке шплинтов на гладких болтах и валиках диаметры их следует намечать, руководствуясь соотношением  $0,15d + (0,5 \div 1) \text{ мм}$ , где  $d$  — диаметр валика.

Производство Ш. для производства Ш. употребляется железная или латунная проволока специального сечения — полукруг с закругленными углами. Получается она путем протяжки через волоочильную доску или путем пlying проволоки кругового поперечного сечения в открытом ручье холоднопрокатного стана. Производство шплинтов, являясь массовым, ведется с применением специальных станков-автоматов (фиг. 5). Эти станки, затягивая проволоку из бунтов, расположенных подле них на специальных вращающихся фигурных, рихтуях (правят)  $\bar{e}$  с помощью рихтapparатов  $\alpha$ , состоящих из 5—7

Основные данные об автоматических шплинтовых станках фирмы Кайзер.

Модель	Производительность			Необходимая площадь, м	Вес, кг	Потребная мощность, л. с.	Шнивы для приводного ремня		
	число Ш. в мин.	наб. длина Ш., мм	толщина Ш., мм				диам., мм	ширина, мм	число об/м.
W	120	50	1,0—3,0	1,3×0,8	450	1/2	300	60	120
WA	95	75	1,5—5,0	1,8×1,0	825	1	400	80	95
WB	70	110	3,0—8,0	2,0×1,5	1 650	2	600	100	70
WC	50	150	6,0—13,0	2,5×1,8	2 800	4	600	90	155

что дает возможность применять сверла с округленными значениями диаметров. Действительное значение диаметров Ш. ниже номинальных на 0,2—0,5 мм. Длины Ш. в ОСТ 150 приняты на 7—12 мм больше размера «под ключ». При диам. 3 мм и выше Ш. надлежит изготовлять с кон-

роликов, расположенных в плоскости гибки Ш., или двух систем роликов, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Выпрямленная проволока подающим механизмом  $\bar{e}$  дожимается до специального упора  $\bar{e}$  и затем ножом  $\bar{e}$  от нее отрезаются куски длиной, потребной

для образования Ш. Устанавливается эта длина во время настройки станка путем изменения величин подачи, положения упора и ножа. Отрезанный кусок проволоки гибочным штифтом  $\delta$  при движении вниз затягивается в пространство между формирующими щеками е. Когда штифт займет нижнее положение, формирующие щеки сойдется и Ш. получает окончательную форму. По окончании формовки Ш, гибочный штифт выходит из ушка Ш., двигаясь вначале по направлению своей оси, а затем вверх в исходное положение. Во время последнего перемещения штифта формирующие щеки расходятся, и готовый Ш., освобождаясь, падает под станок в тару для готовой продукции. Выполняются шплинтовые автоматы вертикальными и горизонтальными. Первые производят гибку Ш. в вертикальной плоскости, а вторые — в горизонтальной. Особых преимуществ ни у той ни у другой системы нет, если не считать небольшой экономии в занимаемой площади пола при установке вертикальных автоматов. Для изготовления Ш., находящихся применение в машиностроении (диам. 1—12 мм), шплинтовые автоматы строят трех или четырех моделей (см. таблицу).

Лит.: Берлов М., Детали машин, вып. 1, Болтовые и клиновые соединения, М., 1929; Саверин М., Стандарты крепежных изделий, М., 1933; ГОСТ 150, 1750—1755, 2073—2074; DIN 94. С. Ветошкинов.

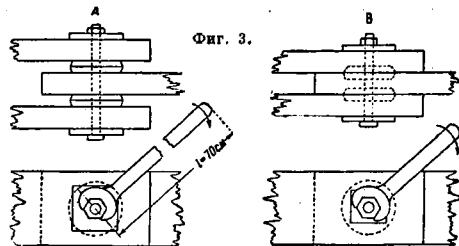
**ШПОНКА РОМБИЧЕСКИ-КОЛЬЦЕВАЯ** является новым типом сопряжения элементов деревянных конструкций, которое предложено инж.

Ю. М. Ивановым. В отличие от известных до сего времени сопряжений оно соединяет в себе качества плотного, вдвливаемого в древесину и в то же время сборно-разборного сопряжения. Ш. р.-к. представляет незамкнутое железное кольцо (фиг. 1) специального ромбовидного сечения (фиг. 2), вдвливаемое в древесину соединяемых элементов. Равная глубина вдвливания кольца в соединяемые элементы обеспечивается ребром, выступающим симметрично с обеих сторон посредине ширины кольца. Размеры сечений колец (в мм) следующие:

d . . . . .	220	180	140
a . . . . .	200	160	120
b . . . . .	40	35	28
б . . . . .	6	5	4

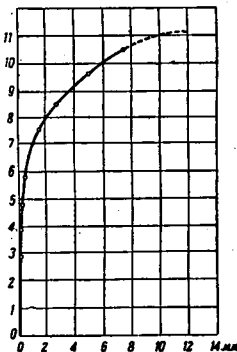
Полосы ромбовидного профиля прокатываются из круглых или квадратных прутков. Для заготовки колец полосу разрезают на куски длиной около 3 м на месте работ или при заводском изготовлении колец на заводе. Гнутье кольца производится на механизированном или ручном станке, подобном применяемому для гнутья кольцевых шпонок, лишь с тем отличием, что прижимной ролик и болванка или прижимные валки должны быть снабжены канавками для ребер полосы ромбического профиля. Запрессовка соединения Ш. р.-к. разделяется на собственно запрессовку, при которой происходит вдвливание колец в древеси-

ну с образованием гнезд, производимую более мощным и длинным болтом с большими шайбами (фиг. 3, А) или же специальным сжимом, и стяжку соединения после его запрессовки при помощи болта проектных размеров (фиг. 3, Б). Замена болта производится с полным освобождением запрессованных элементов от обжатия, что возможно осуществить благодаря почти полному отсутствию распирающего действия колец. В этом заключается одна из особенностей Ш. р.-к., при запрессовке которой получаются лишь остаточные деформации древесины. Соединение на

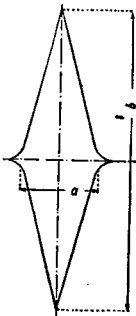


Ш. р.-к. является разборным, так как запрессованные элементы м. б. легко разъединены и вновь собраны с последующей стяжкой проектным болтом. По сравнению с кольцевой шпонкой Тухшерера (см. Тухшерера кольцо) за счет некоторого усложнения заводской заготовки полосы достигается упрощение операций на месте производства работ благодаря устранению отдельных операций, напр. точной разметки и сверления кольцевых дорожек, и менее строгим требованиям к точности выполнения при сборке.

Работа соединения на Ш. р.-к. вдоль волокон характеризуется весьма незначительными деформациями в пределах ок. 150% усилия (фиг. 4), рассчитанного по ф-ле разрывного кольца при допусковом напряжении  $80 \text{ кг/см}^2$ , т. е. как для кольцевой шпонки. При этом возникают чисто упругие деформации, которые полностью возвращаются при снятии нагрузки. Такие же результаты получены и при испытаниях с вторичным нагружением образцов до расчетной нагрузки (10—50 циклов) и общей продолжительности их 1—3 часа, при к-рых в пределах точности измерений приращения деформаций не обнаружено. Ш. р.-к. создает при вдвливании напряженное состояние в прилегающих частях древесины, благодаря чему при нагружении соединение выступает в работу без первичных неупругих сдвигов. Вторая стадия работы соединения (АВ на фиг. 5) соответствует появлению пластич. деформаций. Эта стадия является основной областью работы на дополнительные усилия, к-рые неизбежно возникают при работе конструкции, как следствие неравномерного распределения усилий

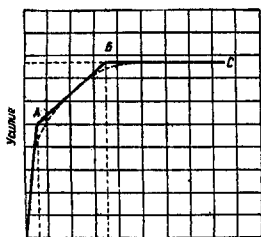


Фиг. 4.



Фиг. 2.

в составных стержнях и воздействия изгибающих моментов. Третий участок кривой (BC на фиг. 6) указывает на значительное нарастание пластич. деформаций, переходящее в пластич. течение, соответствующее величине разрушающего усилия. С точки зрения работы целой конструкции с соединениями элементов на Ш. р.-к. указанные особенности диаграммы этого сопряжения д. б. расценены как наиболее благоприятные. Отсутствие начальных смещений при приложении усилия обеспечивает немедленное вступление в работу всех элементов конструкции при приложении нагрузки без остаточного прогиба, вызывающего дополнительный изгиб элементов. Наличие же пластич. деформаций при возрастании усилия сверх 150% расчетного обеспечивает выравнивание усилий при перегрузках отдельных соединений или элементов и тем способствует более надежной работе конструкции. Разрушение соединения вследствие постепенного нарастания пластич. деформаций обеспечивает конструкцию от внезапного обрушения. При разных углах наклона волокон и различной влажности древесины сохраняется описанный выше характерный вид диаграммы. Из опытов автора, результаты которых даны в таблице, Ш. р.-к. дает относительно меньшие деформации по сравнению с кольцевой шпонкой Тухшерера. В таблице даны усилия в долях от расчетного усилия для кольцевой шпонки. Ромбически-кольцевая шпонка обозначена Шрк, а кольцевая шпонка Тухшерера — Шк; воздушно-сухая древесина — А, мокрая древесина — Б.

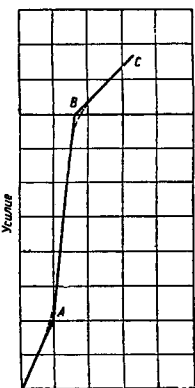


Деформация  
Фиг. 5.

Деформации соединений в мм.

Усилия	А*1		Б*1		А*2		Б*2	
	Шрк	Шк	Шрк	Шк	Шрк	Шк	Шрк	Шк
0,5	0,15	0,70	0,10	0,70	0,05	0,45	0,15	0,30
1,0	0,30	1,70	0,20 0,40	1,50	0,15	0,75	0,25	0,40 0,60
1,5	0,65	2,10	0,60	2,30	0,25	1,00	0,40	0,80 1,20
2,0	—	—	—	—	0,40	1,20	0,60	1,20 2,5

\*1 Сжатие вдоль волокон. \*2 Сжатие поперек волокон.



Деформация  
Фиг. 6.

Величина расчетного усилия для Ш. р.-к. при работе вдоль волокон приблизительно равна допустимому усилию для кольцевой шпонки тех же размеров (при  $\lambda_0 = 80 \text{ кг/см}^2$ ). При работе же под углом расчетное усилие для Ш. р.-к. получается путем небольшого снижения по сравнению с работой вдоль волокон, при наибольшем снижении ориентировочно около 15% для 90°. Т. о. работа Ш. р.-к. под углом весьма благоприятна по сравнению с кольцевой шпонкой Тухшерера, что происходит благодаря уплотнению волокон в прилегающих частях древесины при сдавливании Ш. р.-к.

Лит.: Стрелецкий Н., Обзор научно-исследовательской работы ЦНИПС, М., 1934, стр. 32; Иванова Ю. Опытное исследование соединений элементов деревянных конструкций на ромбически-кольцевой шпонке. «Труды ЦНИПС», 1935. Ю. Иванова.

**ШПУНТОВЫЕ СТЕНКИ**, стенки, состоящие из ряда отдельных частей (свай), называемых шпунтинами и соединенных между собой водонепроницаемым способом при посредстве шпунтов. Шпунтины имеют с одной стороны гребень, а с другой стороны паз, которые и служат для плотного соединения шпунтин между собой. Шпунтины загоняют на большую или меньшую глубину в грунт, следя при этом за их плотным сопряжением. При небольшой глубине забивки и мягкозернистом грунте шпунтины заготовляют из дерева или железобетона. При крупнозернистом грунте и большой глубине забивки прибегают к стальным шпунтинам.

Деревянные Ш. с. делают б. ч. с квадратными (фиг. 1) или, что лучше, с клинообразными шпунтинами (фиг. 2). При большом объеме работ гребень и паз шпунтин выде-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

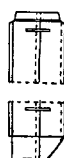


Фиг. 3.



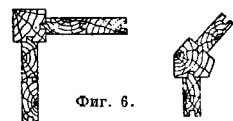
Фиг. 4.

ляют на деревообделочных машинах. Применяют иногда также составные шпунтины (фиг. 3), а при малой толщине несоставных шпунтин их соединяют между собой треугольными шпунтинами или полшпунтами (фиг. 4). В отношении выполнения треугольная форма шпунта легче, но в отношении водонепроницаемости более надежной является прямоугольная форма. Квадратные (прямоугольные) шпунты могут быть применены при шпунтинах толщиной не менее 10 см. При толстых стенках гребни м. б. сделаны короче, чем  $\frac{1}{3}$  толщины стенки ( $s < \frac{d}{3}$ ). Чтобы получить особенно плотное соединение, можно при влажном дереве (в деле) делать гребни несколько длиннее, чем глубина паза, а паз — несколько шире, чем гребень. При примыкании во время забивки одной шпунтины к другой сжатый гребень расширится и заполнит весь паз. Более слабые гребни применяют и при клинообразных шпунтах. Форма клинообразных шпунтов (фиг. 2) по видимому наиболее рациональная. При одинаковой толщине шпунтин клинообразные гребень и паз получаются



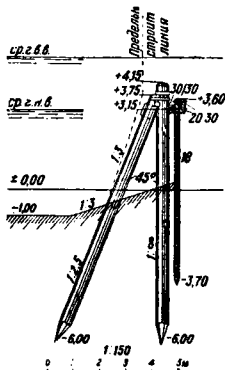
Фиг. 5.

более сильными, чем квадратные. Соединение в первом случае (клинообразные шпунты) получается более плотное. Шпунтинги имеют ширину 0,20—0,40 м и толщину 0,10 м при длине шпунтин 3 м с надбавкой 0,040—0,020 м, в среднем 0,045 м на 1 м сверх этой длины. Наибольшая толщина деревянных шпунтин ~ 0,30 м, а наибольшая длина ~ 18 м. Чтобы шпунтина успешнее погружалась в грунт, нижнему концу ее придают заострение в форме лезвия. Оконечность такого лезвия должна лежать на продольной оси поперечного сечения шпунтины. Длина лезвия зависит от свойства грунта, в к-рый загоняются шпунтины, причем лезвие должно быть тем тупее, чем тверже грунт. Лезвие снашивают вдоль оси с подъемом в сторону последовательного примыкания шпунтин для более плотного примыкания одной шпунтины к другой. Правильное направление шпунтин при их забивке получают посредством особых направляющих рам, причем забивку ведут или пазом вперед (нем. способ) для большей сохранности гребня или гребнем вперед (русский способ) для большей сохранности паза. Направляющие рамы представляют собой парные схватки (сжимы), прикрепленные к забитым для этой цели отдельным сваям или к готовой части Ш. с. на расстоянии между брусками схватки, равном толщине шпунтин. При забивке особенное внимание обращают на сохранность гребней и пазов и на плотное соприкосновение шпунтин друг с другом. Шпунтины забивают обычно парно, стягивая каждую пару скобами (фиг. 5). Спаривание производится с целью увеличения ударной площади для копровой бабы. На головы одной пары соединенных между собой шпунтин надевают в горячем виде стальное кольцо (бугель). Для более крупных шпунтин кольца делают высотой 100 мм и толщиной 30 мм. Применение стальных башмаков на нижних концах деревьев шпунтин не рекомендуется из опасности, что башмак согнется в сторону, не преодолев препятствия и отнимет всякую возможность дальнейшей забивки. В местах поворота располагают связанные шпунтины, сделанные из более крупного леса и имеющие два паза со стороны примыкаемых шпунтин (фиг. 6). На прямых участках не следует располагать таких связанных шпунтин (как это раньше часто делалось), имея в виду, что они только удорожают сооружение, не принося особой пользы.



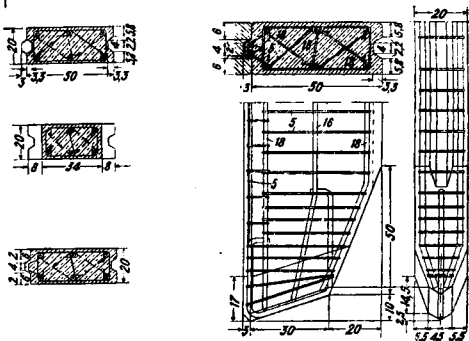
Фиг. 6.

В твердых грунтах целесообразно через определенное число шпунтин загонять одну шпунтину глубже. С другой стороны, при слабых грунтах такое мероприятие недопустимо. По окончании забивки шпунтовые стенки срезают на равной высоте и головы шпунтин стягивают при помощи болтов парными схватками. При неустойчивом положении Ш. с. их подпирают распорными сваями козлами (фиг. 7) или притягивают ан-



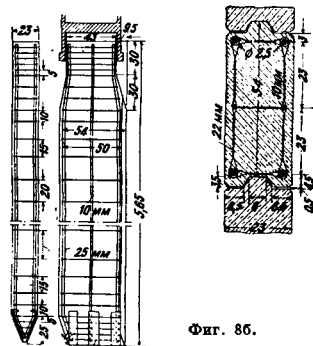
Фиг. 7.

керами к анкерным сваям. В тяжелых, плотно слежавшихся грунтах и в грунтах, содержащих препятствия на пути забивки шпунтин, деревянные Ш. с. трудно поддаются забивке и не всегда образуют водонепроницаемую преграду. Если в каменистых или в слишком плотных слежавшихся грунтах забивать деревянные шпунтины насильно при помощи тяжелых копровых баб, то такие шпунтины большей частью рвутся на определенной глубине без того, чтобы это было обнаружено при их забивке. Как перемычки в котлованах деревянные Ш. с. сравнительно слабо сопротивляются давлению земли и воды и требуют укрепления, как указано выше. Для более продолжительной работы нецелесообразно применять деревянные Ш. с. в тех случаях, когда им угрожают животные паразиты дерева. Вообще деревянные Ш. с. надлежит забивать лишь в грунтах, в к-рых они не м. б. повреждены, в особенности если они имеют постоянный характер. Для постоянного службы деревянные Ш. с. пригодны лишь в том случае, если они будут постоянно находиться под водой. Перед забивкой шпунтины не д. б. высушены, так как в этом случае



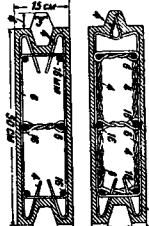
Фиг. 8а.

В тяжелых, плотно слежавшихся грунтах и в грунтах, содержащих препятствия на пути забивки шпунтин, деревянные Ш. с. трудно поддаются забивке и не всегда образуют водонепроницаемую преграду. Если в каменистых или в слишком плотных слежавшихся грунтах забивать деревянные шпунтины насильно при помощи тяжелых копровых баб, то такие шпунтины большей частью рвутся на определенной глубине без того, чтобы это было обнаружено при их забивке. Как перемычки в котлованах деревянные Ш. с. сравнительно слабо сопротивляются давлению земли и воды и требуют укрепления, как указано выше. Для более продолжительной работы нецелесообразно применять деревянные Ш. с. в тех случаях, когда им угрожают животные паразиты дерева. Вообще деревянные Ш. с. надлежит забивать лишь в грунтах, в к-рых они не м. б. повреждены, в особенности если они имеют постоянный характер. Для постоянного службы деревянные Ш. с. пригодны лишь в том случае, если они будут постоянно находиться под водой. Перед забивкой шпунтины не д. б. высушены, так как в этом случае



Фиг. 8б.

В твердых грунтах целесообразно через определенное число шпунтин загонять одну шпунтину глубже. С другой стороны, при слабых грунтах такое мероприятие недопустимо. По окончании забивки шпунтовые стенки срезают на равной высоте и головы шпунтин стягивают при помощи болтов парными схватками. При неустойчивом положении Ш. с. их подпирают распорными сваями козлами (фиг. 7) или притягивают ан-

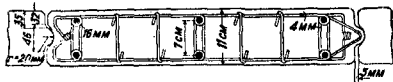


Фиг. 8б.

В твердых грунтах целесообразно через определенное число шпунтин загонять одну шпунтину глубже. С другой стороны, при слабых грунтах такое мероприятие недопустимо. По окончании забивки шпунтовые стенки срезают на равной высоте и головы шпунтин стягивают при помощи болтов парными схватками. При неустойчивом положении Ш. с. их подпирают распорными сваями козлами (фиг. 7) или притягивают ан-



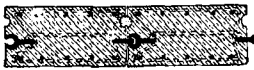
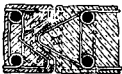
после забивки они разбухают в воде, вследствие чего Ш. с. при большой длине приобретают волнистую поверхность. В тех случаях, когда де-



Фиг. 8.

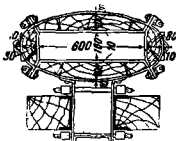
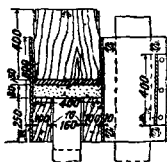
ревянные Ш. с. негодны для данного грунта или если Ш. с. не могут постоянно находиться под водой, прибегают к устройству железобетонных Ш. с.

Железобетонные Ш. с. состоит из шпунтин,



Фиг. 9.

форма которых большей частью схожа с формой деревянных шпунтин. Продольная арматура же-

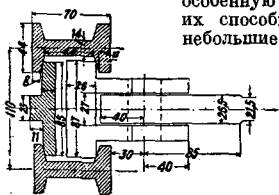


Фиг. 10.

лезобетонных шпунтин состоит из отдельных круглых стержней, продолженных в теле шпунтин вдоль обеих продольных сторон. Поперечная арматура состоит большей частью из стальных бугелей круглого или прямоугольного сечения. Особенную тщательность следует проявлять в отношении распределения арматуры гребня и паза.

Нижней оконечности железобетонных шпунтин целесообразно придавать заострение на подобие такового деревянных шпунтин. При твердых грунтах нижняя оконечность снабжается стальным башмаком, связанным с арматурой. На фиг. 8а—г приведены типичные формы железобетонных шпунтин. Чтобы придать Ш. с. особенную плотность и сделать их способными воспринимать небольшие растягивающие усилия вдоль стены, иногда втапливают в железобетонные шпунтины стальные соединительные части для образования гребня и паза (фиг. 9); эти стальные части

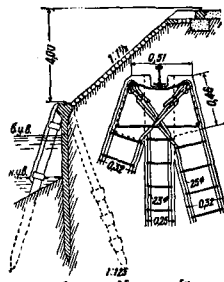
связываются с арматурой и дают соединения, подобные соединениям стальных шпунтин. Железобетонные шпунтины заготавливаются в горизонтальных формах. При забивке железобетон-



Фиг. 11.

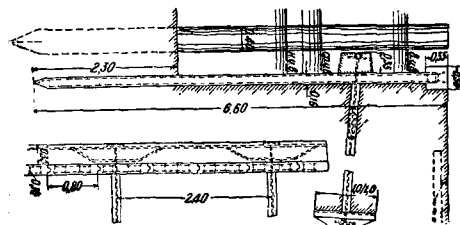
связываются с арматурой и дают соединения, подобные соединениям стальных шпунтин. Железобетонные шпунтины заготавливаются в горизонтальных формах. При забивке железобетон-

ных шпунтин на их головы надевают наголовники (фиг. 10) для предохранения от разбивания. Наголовники удерживаются в надлежащем положении в стрелах копра. После забивки всех шпунтин щели между ними заливают цементным раствором. В особых случаях для увеличения момента сопротивления железобетонные шпунтины изготовляют таврового или двутаврового сечения (фиг. 11 и 12). В случае необходимости железобетонные Ш. с. усиливают распорными и растяжными сваями (фиг. 13) или закрепляют в грунте посредством анкеров (фиг. 14 и 15).



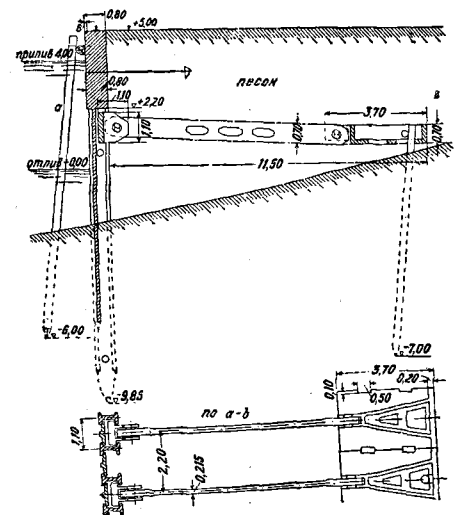
Фиг. 13.

Стальные Ш. с. отличаются по сравнению с деревянными легкой вбиваемостью их, большой водонепроницаемостью, большим моментом со-



Фиг. 14.

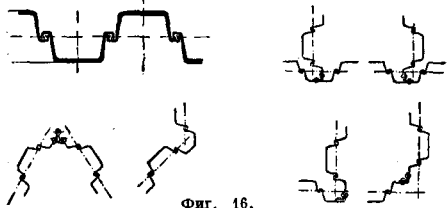
противления шпунтин при малом расходе материала. Для стальных шпунтин применяют по-



Фиг. 15.

ти исключительно специальные профили материала. Попытки применить обыкновенные строительные профили не привели к желаемым ре-

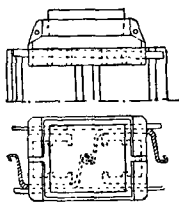
зультатам, т. е. это повлекло за собой большой расход материала. Наибольшая длина стальных шпунтин, достигаемая прокаткой, равна 18 м. Металлич. Ш. с. обладают особой долговечностью, если они сделаны из стали, содержащей примесь меди. Шпунтины из медистой стали обходятся немногим дороже обыкновенных стальных. Из



Фиг. 16.

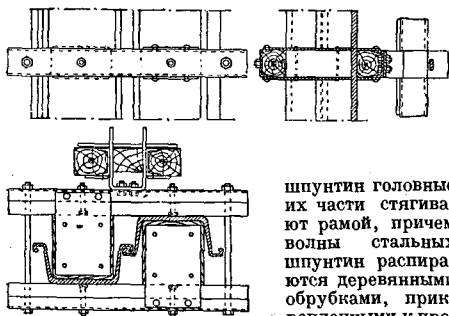
целого ряда изготовленных профилей наиболее целесообразным оказался профиль Ларсена (фиг. 16). Шпунтины Ларсена изготавливаются шести профилей. Различным сочетанием шпунтин можно образовать любые углы. Шпунтины Ларсена за-

бивают всегда попарно, соединяя их предварительно между собой. Наверх надевается общий для обеих шпунтин наголовник (фиг. 17). Стальные шпунтины требуют в редких случаях заострения их концов, т. е. в виду малого поперечного сечения этих шпунтин они мало сопротивляются проникновению в грунт. Обычно одновременно устанавливаются несколько парных шпунтин (элементов), причем последующая пара загоняется несколько глубже, чем предыдущая, после чего переходят к первой паре, последовательно загоняя элементы один за другим до требуемой глубины. При забивке используются направляющая рама (фиг. 18), в особенности при большой длине шпунтин; после соединения двух



Фиг. 17.

шпунтин головные их части стягивают рамой, причем волны стальных шпунтин распираются деревянными обрубками, прикрепленными к продольным брускам направляющей рамы

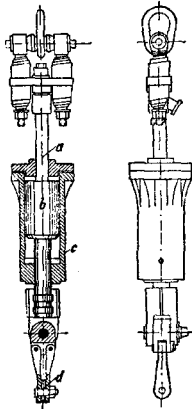


Фиг. 18.

шпунтин головные их части стягивают рамой, причем волны стальных шпунтин распираются деревянными обрубками, прикрепленными к продольным брускам направляющей рамы

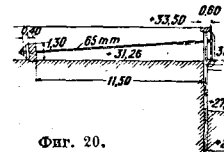
средством накладок из листовой стали. Продольные бруска усиливают швеллерной сталью. К раме прикреплена с одной стороны U-образная стальная скоба, передвигающаяся между стрелами копра и замыкаемая чекой позади стрел. Стальные шпунтины можно с успехом забивать в пещенистые грунты; они проходят также сквозь находящиеся в земле стволы деревьев, старые

деревянные ростверки и тому подобные препятствия. В мягкой скале, плотной глине и мергеле стальные шпунтины обыкновенно м. б. настолько загнаны, чтобы получилось плотное примыкание стенок к грунту. При забивке стальных шпунтин необходимо иметь в виду, что при больших препятствиях, напр. при встрече каменной глыбы твердой породы, они выскакивают из паза, нарушая тем самым водонепроницаемость Ш. с. Легкость забивки стальных шпунтин по сравнению с деревянными и железобетонными шпунтинами является особенно ценным свойством тогда, когда приходится устраивать Ш. с. вблизи существующих построек, где необходимо производить возможно меньшее сотрясение грунта. По окончании работ стальные шпунтины при временной их установке можно выдернуть из земли и использовать в другом месте. Выдергивать стальные шпунтины можно при помощи треноги и лебедки



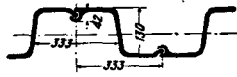
Фиг. 19.

или специально для того сконструированными приборами, а лучше всего посредством пневматич. выдергивателя свай (фиг. 19), при помощи которого даже длинные шпунтины м. б. выдернуты



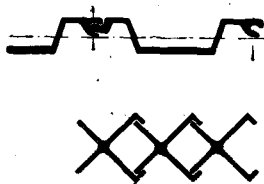
Фиг. 20.

в несколько мин. Выдергиватель состоит из поршневой штанги *a* с наглухо приделанным к ней поршнем *b* и из подвижного цилиндра *c*, играющего роль копровой бабы. При помощи сжатого воздуха в 6 атм или пара в 8 атм цилиндр подбрасывается вверх и ударами о поршень вытягивает сваю или шпунтину из грунта. На фиг. 19 цилиндр находится в наименьшем своем положении. Число ударов в мин. равно 150—200. Верхней своей частью сваевыдергиватель подвешивается к лебедке, после чего он нижней своей



Фиг. 21а.

частью *d* закрепляется непосредственно к шпунтине при помощи болтов. Целесообразность применения выдергивателя оправдалась практикой. По окончании забивки в тех случаях, когда Ш. с. сооружают для постоянной службы,

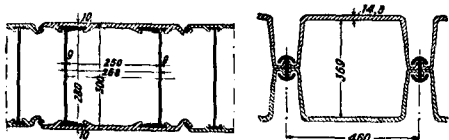


Фиг. 21б.

шпунтины стягивают сверху схватками из U-образной стали. На фиг. 20 показана стальная Ш. с. из шпунтин Ларсена с анкерным закреплением. Помимо шпунтин Ларсена имеются еще другие профили стальных шпунтин, из которых нек-рые

приведены на фиг. 21а и 21б. Полые шпунтины (фиг. 22а и 22б) м. б. заполнены бетоном, и таким образом м. б. повышен момент сопротивления их поперечного сечения.

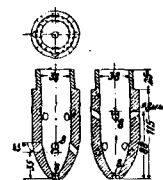
Способы производства работ зависят в значительной степени от свойств грунта. В твердых, каменных, не поддающихся размыву



Фиг. 22а.

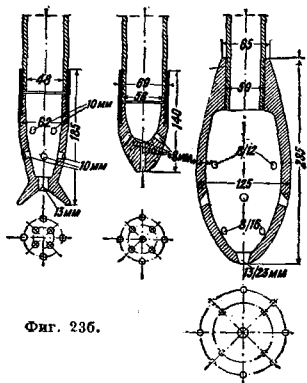
Фиг. 22б.

грунтах Ш. с. забиваются в грунт посредством копров разных систем. В песчаных и вообще размываемых грунтах загонка Ш. с. в грунт м. б. облегчена разрыхлением его напорной водой, причем грунт в этом случае размывается перед концом шпунтины, вбиваемой или опускаемой посредством нагрузки.



Фиг. 23а.

Вода нагнетается по особой трубе, располагаемой внутри шпунтин или перед ними. Эта труба имеет нормальный цилиндрический конец или снабжается особым наконечником (фиг. 23а и 23б). Среди разных наконечников оказались наиболее выгодными наконечники с отверстиями, направленными с подъемом наружу. Не следует сплющивать конец цилиндрич. трубы. При нагнетании воды в грунт последний разрыхляется сбоку размывочной трубы, вследствие чего здесь давление земли уменьшается, причем конец шпунтины имеет стремление двигаться в сторону размывочной трубы.

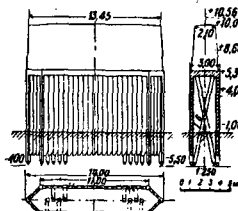


Фиг. 23б.

Это обстоятельство надо всегда иметь в виду при размывке грунта, чтобы придать правильное направление шпунтинам. Расход воды  $\sim 1 \text{ м}^3/\text{мин.}$ , а давление  $3-4 \text{ атм.}$  В тяжелых случаях, в особенности при большой глубине забивки, расход воды доходил до  $3,5 \text{ м}^3/\text{мин.}$ , а давление до  $8 \text{ атм.}$  Способ размывания грунта напорной водой оказался особенно пригодным в тех случаях, когда приходится иметь дело с сильно уплотненным речным песком, когда грунт сильно уплотнен

сваями, когда нельзя пользоваться тяжелыми копрами (например вблизи зданий) и в подобных случаях. В грунтах, в которых уплотнение постепенно рассеивается, целесообразными являются копры с медленной последовательностью ударов и большой силой их. В грунтах же, быстро уплотняющихся вокруг забиваемой шпунтины, применимы копры с быстрой последовательностью ударов, т. е. при редких ударах в этом случае существует опасность, что шпунтина крепко всадит между двумя последовательными ударами. Для загонки в грунт более легких шпунтин малой длины достаточными являются ручные копры. Более тяжелые шпунтины большой длины требуют применения машинных копров.

Применение Ш. с. имеет место во всех случаях, когда приходится сооружать водонепроницаемые переборы или перегородки, причем эти стенки м. б. приспособлены для восприятия вертикальных усилий. В последнем случае сооружения со Ш. с. могут успешно конкурировать с опускными колодцами, а при известных обстоятельствах и с кессонами. На фиг. 24

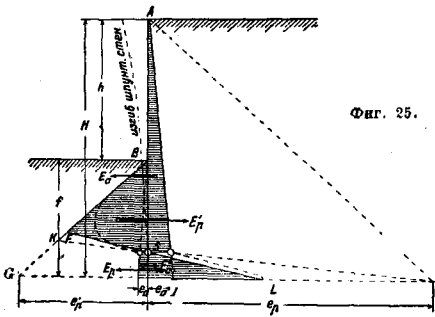


Фиг. 24.

показана мостовая опора, основание которой состоит из Ш. с., расположенной по периметру опоры в виде ящика, заполненного бетоном; шпунтины железобетонные; внутри ящика—распорные сваи; грунт (чистый песок), заключенный в образованном Ш. с. ящике, был разрыхлен водой и высосан, после чего опорожненное пространство было заполнено тощим бетоном состава 1 : 12; поверху Ш. с. и распорные сваи был уложен железобетонный ростверк, на к-ром и была основана мостовая опора.

Расчет Ш. с. сводится к определению их устойчивости и прочности, причем надо иметь в виду следующие силы: давление земли, давление воды, силы трения, усилие от анкерной тяги (при наличии анкерного закрепления), давление распорных свайных козел или распорных и растяжных свай (при наличии таковых), нагрузку на головы шпунтин (когда Ш. с. входит в состав несущей конструкции или сама является несущей конструкцией). Для равновесия необходимо, чтобы сумма всех действующих на Ш. с. сил была равна нулю и сумма моментов для любой точки стены была также равна нулю. Расчет д. б. приоровлен как и действующим на Ш. с. силам, так и к условиям, при к-рых эти силы действуют. Когда на Ш. с. поддерживающую земляную массу по высоте  $h$ , действующую лишь давления земли, то при однородном грунте эпюры давлений выразятся указанными на фиг. 25 заштрихованными площадями. При наличии же избыточного давления грунта с одной стороны Ш. с. будет иметь смещение, вращаясь вокруг некоторой точки  $S$ , лежащей в пределах высоты заделки  $f$ . В таком случае Ш. с. будет находиться под действием следующих сил: с задней стороны стенки на протяжении  $AS$  ел. высоты действует активное давление земли  $E_a$ , стремящееся опрокинуть стенку вперед; этому давлению на протяжении  $BS$  высоты стенки противодействует пассивное давление земли  $E_p$ . Ниже точки  $S$  с передней стороны стенки действует активное давление земли  $E_a$ , к-рому противодействует с задней

стороны стенки пассивное давление земли  $E_p$ . Пассивные давления земли нигде не должны превосходить своего предельного значения, характеризуемого линиями  $BG$  (в отношении передней



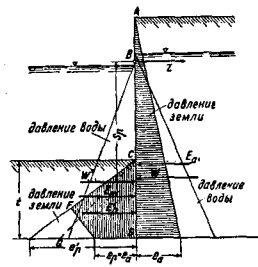
Фиг. 25.

стороны стенки) и  $AI$  (в отношении задней стороны стенки). Для равновесия необходимо, чтобы

$$E_a + E_p = E'_a + E'_p, \quad (1)$$

$$M_a + M_p - M'_a - M'_p = 0, \quad (2)$$

где  $M_a$ ,  $M_p$  представляют собой соответствующие моменты. Направление всех сил принято нормальное к стенке.



Фиг. 26.

передвигают по высоте стенки до тех пор, пока получат равновесие всех сил, действующих на Ш. с. В виду невозможности точно определить кривую пассивного давления земли, в целях упрощения принимают, что граничными линиями являются линии  $FS$  и  $LS$  и что эти линии представляют собой одну прямую. При расчете берутся наимыгоднейшие условия работы Ш. с. Допущено до предела упругости. Максимальный момент для Ш. с. получается в том месте, где сумма поперечных сил равна нулю. Величина напряжения в Ш. с. определяется по обычной ф-ле на изгиб

$$\sigma = M : W,$$

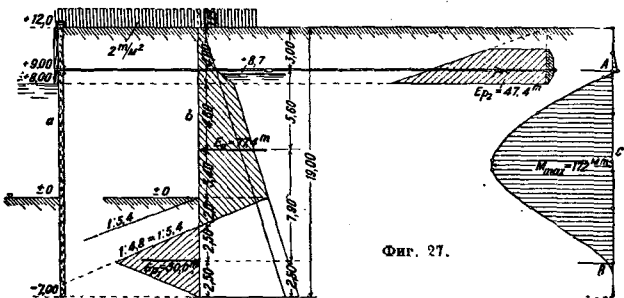
где  $\sigma$  — напряжение, к-рое не должно превосходить допускаемое,  $M$  — наибольший изгибающий момент,  $W$  — модуль (момент) сопротивления. Для первого приближения можно воспользоваться эмпирич. правилом, что при обыкновенных условиях свободная высота  $h$  Ш. с. равна глубине ее погружения  $f$ .

Если на Ш. с. помимо давления земли действуют еще давление воды и сила анкерной тяги (или распорных свайных козел), то возможны две точки вращения (фиг. 26). Верхняя точка вращения лежит в точке приложения  $B$  анкерной тяги, а нижняя — на протяжении  $CD$  высоты стенки или ниже  $D$ . Принимая последнее положение нижней точки вращения, получим такое распределение сил, как показано на фиг. 26. Ш. с. при этом д. б. так сконструирована, чтобы она не могла сломаться, чтобы пассивное давление земли было достаточной величины для противодействия ее активному давлению и чтобы анкерная плита не могла податься вперед. Эти требования обуславливают наличие прочной стенки, забитой на надлежащую глубину и имеющей устойчивое анкерное закрепление. Намечая пассивное сопротивление земли  $E'_p$ , следует иметь в виду, чтобы его противодействующая часть была значительно меньше величины  $E_p$ . Предположительно можно взять  $e_p = e_a$ . Давление  $E_p$  можно принять приложенным в середине между точками  $C$  и  $D$  стенки. Все давления земли принимают направленными нормально к стенке. Величина  $E_a$  известна. Для первого пробного расчета имеем ур-ия

$$Z = E_a - E_p + W_a - W_p, \quad (3)$$

$$E_p s_p = \Sigma M_a + \Sigma M_w. \quad (4)$$

В этих ур-ях  $Z$  — растягивающее усилие в анкерной связи,  $W_a$  и  $W_p$  — силы давления воды,  $\Sigma M_a$  — сумма моментов сил активных давлений земли,  $\Sigma M_w$  — сумма моментов сил давления воды,  $s$  — расстояние между точками приложения сил  $Z$  и  $E_p$ . Определив  $E_a$  из ур-ия (3), легко получить  $Z$  из ур-ия (4).  $E_p$  д. б. приблизительно равно  $\mu E_p$ , где  $\mu = 1/2$  или  $\mu = 2/3$ . Если  $E_p > \mu E_p$ , то глубину заделки Ш. с. увеличивают последовательно до тех пор, пока получится  $E_p = \mu E_p$ . Заштрихованная с передней стороны стенки площадь представляет собой опору давления, определяющую силу давления земли  $E_p$ , причем эта опора является более вероятной, нежели опора в виде тр-ка  $CDG$ . Давления воды принимаются действующими до подошвы Ш. с. Для крупнозернистого грунта уровень воды позади Ш. с. может быть принят выше уровня воды перед Ш. с. приблизительно на 20—30 см. В мелкозернистых грунтах при быстром падении воды перед Ш. с. и большим бассейне грун-

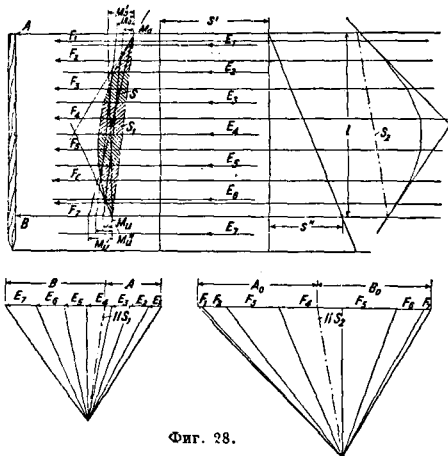


Фиг. 27.

товых вод разниа уровней воды перед и позади Ш. с. может достигнуть и большей величины, напр. до 1 м. Анкерная плита д. б. так расположена, чтобы плоскости скольжения от пассивного давления земли на анкерную плиту не

заходили за плоскости скольжения активных давлений земли на Ш. с. При расчете следует учитывать трение, принимая соответствующий местным условиям угол трения, чтобы получить более экономичное решение.

Когда все внешние действующие на шпунтовую стенку силы выявлены, производят расчет на прочность, рассматривая стенку как балку на двух опорах, из которых одна опора находится в точке В (точка прикрепления анкерной туги к Ш. с.), а другая опора находится на высоте ц. п. пассивного давления земли. Напряжение в Ш. с. проверяется по месту наибольшего момента, которое определяется условием  $\frac{dM}{dx} = Q = 0$ . Величина напряжения в Ш. с. получается из уравнения  $\sigma = M : W$ . Анкерную плиту рассчитывают аналогичным способом. При определении размеров прокладочных шайб под анкерные гайки следует иметь в виду, что прочность дерева под водой в два с лишним раза меньше прочности сухого дерева.



Фиг. 28.

На фиг. 27 приведен пример расчета Ш. с. с анкерным закреплением; на фигуре показаны поперечный разрез стенки  $a$ , эпюры давлений  $b$  и эпюры моментов  $c$ . При этом расчете угол трения  $\delta$  принят равным нулю, в виду чего глубина погружения Ш. с. получается излишне большой; можно принять  $\delta = \frac{e}{3}$  ( $e$  — угол естественного откоса земли), тогда глубина значительно сократится. Стенка рассчитана на прочность, как балка на двух опорах (при расчете на изгиб не следует принимать, что стенка заделана внизу).

Когла Ш. с. представляет собой несущую конструкцию, то при определении напряжений необходимо учитывать также действующее при этом на нее осевое усилие. На фиг. 28 приведен график расчет деревянной Ш. с., наверху опортой. Стенку рассчитывают, как балку на двух опорах  $A$  и  $B$ , загруженную активным давлением земли  $E_1, E_2, E_3, \dots$  Построением ми-ка сил и веревочного ми-ка для этой загрузки и приведением замыкающей линии  $S_1$  в последнем и ей параллельной линии в первом определяют моментную площадь и опорные реакции  $A$  и  $B$ . Ш. с. считают загруженной моментной площадью  $F_1, F_2, F_3, \dots$  Делают затем построение вторых ми-ка сил и веревочного ми-ка для последней загрузки

ки, проводят замыкающую линию  $S_2$  и определяют путем проведения параллельной ей линии в ми-ке сил моментные опорные силы  $A_0$  и  $B_0$ . Если рассчитать моменты заделки, то, считая Ш. с. полузаделанной сверху и внизу, получим верхний момента заделки равным

$$M_0 = \frac{1}{2} \left( \frac{M'_0 + M''_0}{2} \right),$$

где  $M'_0$  — верхний момент заделки при полной заделке сверху и свободном расположении внизу, а  $M''_0$  — верхний момент заделки при полной заделке сверху и внизу;  $\frac{M'_0 + M''_0}{2}$  — верхний момент заделки при полной заделке сверху и полузаделке внизу. Нижний момент заделки при полузаделанной сверху и внизу стенке получится соответственно равным

$$M_u = \frac{1}{2} \left( \frac{M'_u + M''_u}{2} \right),$$

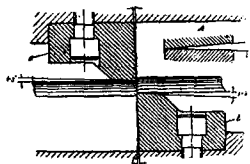
где  $M'_u$  — нижний момент заделки при полной заделке внизу и свободном расположении сверху;  $M''_u$  — нижний момент заделки при полной заделке сверху и внизу;  $\frac{M'_u + M''_u}{2}$  — нижний момент заделки при полной заделке внизу и полузаделке сверху. По найденным  $M_0$  и  $M_u$  проводят в первом веревочном ми-ке замыкающую линию  $S$ , дающую наибольший пролетный момент для пролета  $l$  при рассмотренных условиях заделки концов Ш. с.

Лит.: Прокофьев И., Теория сооружений, т. 1, вып. 2, М.—Л., 1932; Дмоховский В., Курс оснований и фундаментов, М.—Л., 1927; Franzl u. O., Der Grundbau, B., 1927; Schocklitsch A., Der Grundbau, W., 1932; Handbuch f. Eisenbeton, hrsg. v. F. Emperger, B. 3, Grund- u. Mauerwerkbau, 3 Aufl., B., 1922; Dörr H., Die Standsicherheit von Masten u. Wänden im Erdreich, B., 1922; Bernhardt K., Belastung von Spundwänden aus Larsens-Eisen, Ztbl. d. Bauverwaltung, B., 1913; Heusen, Erfahrungen mit eisernen Spundwänden beim Bau d. neuen Seeschleuse in Imuiden, ibid., 1928; Schreck, Eine neue Form f. eiserne Spundbohlen, ibid., 1915; N. N., Erfahrungen mit eisernen Spundwänden im See- u. Hafenanbau, ibid., 1920; Freund G., Die Verwendung eiserner Spundwände, ibid., 1921; Püsch, Erfahrungen mit eisernen Spundwänden im See- u. Hafenanbau, ibid., 1920; Freund G., Die Verwendung eiserner Spundwände, ibid., 1921; Lohmeyer E., Versuche über das Widerstandsmoment eiserner Spundbohlen Bauart Larsen, «Bautechnik», B., 1927; Lohmeyer E., Besondere Formen von Eisenbetonspundwänden, ibid., 1927, H. 18; Lohmeyer E., Eisenbetonspundwand Bauart Ravier, ibid., 1926, H. 41; Lohmeyer E., Die Larsensspundwand mit wechselweise stehenden, im Schloß Doppelbohlen, ibid., 1928, Hefte 21 u. 24; Popken, Verwendung von netlosen Spundwänden Bauart Larsen beim Bau des Hunte-Ems-Kanals, ibid., 1928, H. 35; Ranke, Beitrag zur Berechnung von Spundwänden, «Bauingenieur», B., 1928, H. 43; Schreck, Ueber die Formen d. Spundwändeisen, «Bautechnik», B., 1925; Briske E., Der Tarma-Tunnel bei Atami in Japan, «B. u. E.», 1925, M a u d r i c h, Erfahrungen mit eisernen Fangedämmen am Main beim Bau d. Wehranlage Mainkur, «Bautechnik», B., 1926, H. 21/24; Meyer, Ueber das Einrammen von I-Trägern, ibid., 1925, S. Erylting.

**ШТАМПЫ**, инструменты для холодной обработки металлов (железо, сталь, медь, латунь, алюминий и т. д.) и неметаллич. материалов (бумага, картон, кожа, фибра, фанера, игольчатая пластина и т. п.) под прессами путем использования пластич. деформации материала. Ш. служат для массового производства отдельных деталей автомобилей и автомобильных принадлежностей, тракторов, многочисленных деталей общего ма-

шиностроения и изделий электротехнич. промышленности, частей часовых механизмов, пишущих и счетных машин, а также для громадного числа предметов широкого потребления, домашнего хозяйства, пром-сти и торговли.

А. Вырубная штамповка (нем. Stanzen). Под этим названием в собственном смысле подразумеваются лишь такие рабочие процессы, к-рые имеют целью разделение материала и основываются на технологич. процессе срезывания (см. Резание); к этому роду обработки относятся: резание на ножницах, колка отверстий и вырубка. В расширенном значении слова к штамповке вообще относятся все рабочие процессы холодной обработки, основанные на изменении формы изделия без снятия стружки при одновременном перемещении материала или без него, к-рые осуществляются при посредстве Ш. под прессами (вытяжка, давящие работы, изгибание, чеканка и т. п.). Штамповочные работы могут производиться над материалом, находящимся как в холодном, так и в раскаленном состоянии; последний род Ш. относится к ковочным работам, дальше же рассматривается только холодная штамповка. Первая основная группа штамповочных работ м. б. выполнена посредством двух родов Ш.: 1) Ш., работающих путем срезывания, т. е. состоящих из пуансона (пуансона) и матрицы и применяемых для штамповки металлов, и 2) Ш., работающих



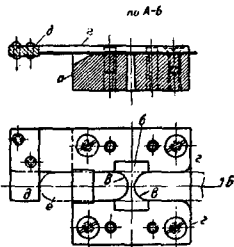
Фиг. 1.

путем разрезания, состоящих из одного резака и применяемых для штамповки кожи, картона и других нетвердых материалов. Вторая группа штамповочных работ, к-рая охватывает вытяжку, выдавливание, сгибание, чеканку и т. д., также распадается на две категории, а именно: 1) изменение формы, сопровождаемое перемещением (течением) части материала; к этому типу относятся: вытяжка, давление, чеканка; 2) изменение формы, не сопровождающееся течением материала; к этому типу относятся гл. обр. различные виды гибочных работ. Штамповочные работы с разделением материала (вырубка) производятся двумя различными способами. По первому способу резание происходит аналогично тому, как это имеет место в ножницах (см.), т. е. последовательно по периферии разреза. Второй способ — в вырубке в собственном смысле — производится срезыванием материала по всей длине среза одновременно. Первый из способов представляет ту выгоду, что при нем можно обойтись более слабыми прессами в виду меньших усилий срезывания, однако этот способ не всегда применим. На фиг. 1 изображены режущие части в вырубного Ш., к-рый в целом м. б. выполнен как по первому, так и по второму типу. Если срезыванию подлежит относительно толстый материал, то выгоднее делать Ш. по принципу ножниц; при тонком материале лучше применять плоский вырубной Ш., у которого режущая кромка пуансона а параллельна кромке матрицы б; при резании по способу ножниц (фиг. 1, А) режущая кромка пуансона должна составлять с кромкой матрицы угол  $\varphi = 3 \div 5^\circ$ , причем снос должен быть перенесен целиком на верхнюю кромку для того, чтобы материал можно было подводить к Ш. в горизонтальном положении. Вертикальные режущие

границы должны иметь снос в  $1^\circ$ , а горизонтальные —  $1-3^\circ$ .

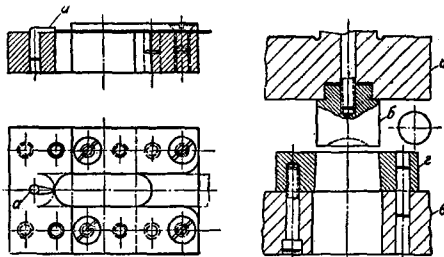
В двухконечный Ш. применяется в том случае, когда желательно из полосового материала получить детали с прямыми или фасонными концами. Двухконечный Ш. для вырубki внешне с полукруглыми концами изображен на фиг. 2.

Матрица а имеет в середине вырез б для прохода пуансона, к-рый снабжен 2 полукруглыми режущими кромками в. Материал подается между двумя направляющими планками г до упора д и в этом положении перерезается пуансоном, имеющим то же сечение, что и вырез б; вырезанная деталь е падает вниз, после чего полоса м. б. продвинута дальше. Этот же Ш. может быть применен в качестве Ш. последовательного действия, для чего предварительно пробивают необходимые отверстия, а затем производят отрезку детали. В виду необходимости придания пуансону

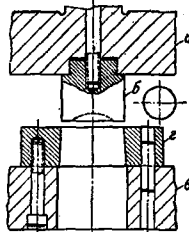


Фиг. 2.

деталь е падает вниз, после чего полоса м. б. продвинута дальше. Этот же Ш. может быть применен в качестве Ш. последовательного действия, для чего предварительно пробивают необходимые отверстия, а затем производят отрезку детали. В виду необходимости придания пуансону

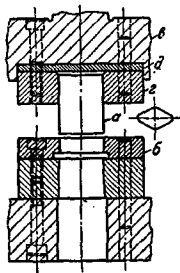


Фиг. 3.



Фиг. 4.

б. или м. значительной толщины этот Ш. работает довольно неэкономично, т. к. значительные куски материала идут в отход. Ш., изображенный на фиг. 3 и предназначенный для производства аналогичных деталей, работает почти без потерь; он м. б. равным образом сконструирован как Ш. последовательного действия. С целью уменьшения отходов упор а должен лежать возможно близко к задней режущей кромке матрицы. Наиболее простым типом вырубного Ш. является открытый круглый вырубной Ш., изображенный на фиг. 4. Ш. состоит из верхника а, пуансона б, нижника в и матрицы г. Материал кладется на матрицу, и деталь вырубается пуансоном при его опускании; вырубленная деталь проваливается через отверстие

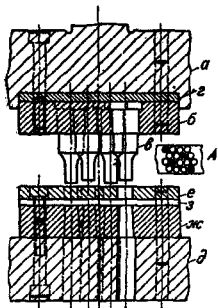


Фиг. 5.

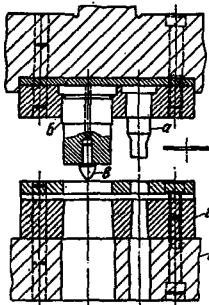
в матрице и нижнике, таким образом на этом Ш. с каждым ходом пуансона получается одна готовая деталь. Недостатком открытых Ш. является то обстоятельство, что неизбежная игра в направляющих пресса сильно отзывается на точности его работы. Поэтому для точной

работы пунсон направляют при помощи особой направляющей планки; такие Ш. называются закрытыми. Закрытый Ш. изображен на фиг. 5. Пунсон *a* проходит через точно пригнанный по нему прорез направляющей планки *b*, чем обуславливается точное направление пунсона; одновременно направляющая планка служит съемником для надевающегося после вырубки на пунсон материала. Пунсон укрепляется либо непосредственно в верхнике *e* либо к последнему прикрепляется винтами особая снабженная вырезами пластина *г*, называемая крышкой, к-рая и удерживает на месте пунсон или пунсоны. При пунсонах малых размеров для предотвращения вдавливания их в сравнительно мягкий материал верхника между последним и пунсонами ставят стальную прокладку *д* толщиной 5—8 мм.

Многokrатные Ш. применяются с выгодой при штамповке из полосы мелких несложных изделий. Изображенный на фиг. 6 Ш. состоит из верхника *a*, крышки *б*, ряда пунсонов *e*, прокладок *г*, нижника *д*, направляющей планки *e* и матрицы *жс*. Между матрицей *жс* и направляющей планкой *e* помещается рамка *з*, служащая для придания материалу правильного положения в Ш. Пунсоны располагаются т. о., что они вырубят одновременно несколько деталей, расположенных в разных рядах уступами (заштрихованные участки на фиг. 6, *A*) с тем, чтобы после продвижения полосы на один шаг вырубки возможно плотно занимали всю поверхность материала. В многократных Ш. выгодно для уменьшения максимального усилия штамповки располагать режущие кромки пунсонов не на одной высоте, а, как показано на фиг. 6, уступами, причем величина уступа делается равной или немного меньше толщины материала. Для уменьшения опасности перекоса Ш. полезно делать пунсоны парно одинаковой высоты и располагать эти парные пунсоны т. о., чтобы ц. т. контуров режущих кромок приходился для каждой пары приблизительно в одной точке в центре Ш. При штамповке более сложных деталей, требующих последовательного применения нескольких Ш., можно их объединить в один сложный т. н. Ш. последовательного действия; т. о. сберегается время, уменьшается затрата мощности и расход на инструмент. На фиг. 7 изображен простой Ш. последовательного действия для вырубки шайбы. Дырочный пунсон *a* пробивает отверстие шайбы, после чего материал продвигают под главный пунсон *б*; ловитель *в*, попадая в предварительно вырубленное отверстие, устанавли-



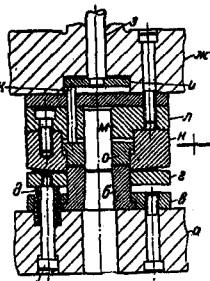
Фиг. 6.



Фиг. 7.

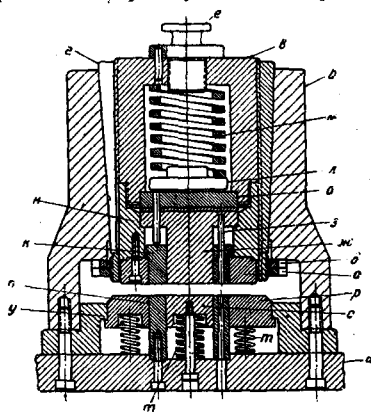
вает его точно в середине главного пунсона, который, опускаясь, вырубает шайбу, проваливающуюся сквозь отверстие в матрице *e* и нижнике *д*. Ясно, что при последующих ходах пресса обе операции—давление отверстия и вырубка шайбы—происходят одновременно и т. о. при каждом ходе пресса производится одна готовая деталь. Принцип последовательности операций, осуществляемый описанным Ш., не позволяет достигнуть большой точности изделий; в том случае, когда точность необходима, применяют т. н. комбинированные вырубные Ш., в которых несколько вырубных операций производится одновременно набором пунсонов.

Открытый комбинированный вырубной Ш. изображен на фиг. 8. Ш. состоит из нижника *a*, к-ром матрица *б* укреплена посредством нажимного кольца *в*; снаружи матрицу охватывает стемник *г*, который одновременно является платформой для подводного материала. Подъем стемника после штамповки осуществляется тремя или более пружинами *д*, высота же подъема ограничивается винтами *e*. Верхняя половина Ш. состоит из верхника *жс*, через к-рый проходит стержень *к* и нажимающий на стержни *к*. К верхнику на винтах прикреплена



Фиг. 8.

крышка *л*, в к-рой укреплен пунсон *м* и к к-рой привычно вырубное кольцо *н*; между вырубным кольцом и пунсоном может перемещаться нижняя часть выбрасывателя—выталкиватель *о*. Рабочие части верхней половины Ш. прикрепляются и центрируются к верхнику тремя или более винтами с цилиндрич. головкой и двумя установленными штифтами. Работа этого Ш. протекает следующим образом: при поднятой верхней части полосу материала продвигают по стемнику и устанавливают в требуемом положении, после чего опускают ползу пресса, вследствие чего пунсон *м* прорезает среднее отверстие, а вырубное кольцо *н* вырезает наружный контур изделия.



Фиг. 9.

к-рой привычно вырубное кольцо *н*; между вырубным кольцом и пунсоном может перемещаться нижняя часть выбрасывателя—выталкиватель *о*. Рабочие части верхней половины Ш. прикрепляются и центрируются к верхнику тремя или более винтами с цилиндрич. головкой и двумя установленными штифтами. Работа этого Ш. протекает следующим образом: при поднятой верхней части полосу материала продвигают по стемнику и устанавливают в требуемом положении, после чего опускают ползу пресса, вследствие чего пунсон *м* прорезает среднее отверстие, а вырубное кольцо *н* вырезает наружный контур изделия.

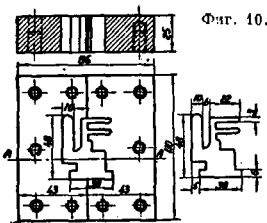
При подъеме верхней части съемник *г* под действием пружин *д* снимает с матрицы остаток материала, тогда как выбрасыватель *з* посредством выталкивателя *а* выбрасывает готовую деталь из верхней части Ш. Выбрасыватель приводится в действие механизмом пресса при движении полуавтона вверх, чем обеспечивается бесперебойная поточная работа Ш.

Закр<sup>т</sup>ый комбинированный Ш. (фиг. 9) отличается от открытого гл. обр. тем, что его верхняя часть ходит в связанных с нижником *а* направляющих *б*. Устройство режущих частей в основном то же, что и в открытом Ш. При вырубке деталей некруглой формы весьма важно, чтобы верхник *в* не мог поворачиваться относительно нижника, т. к. в противном случае пунсоны не попадут в соответствующие вырезы и поломка Ш. будет неизбежной. Для этого обычно верхник снабжают рядом продольных канавок, в которые входят соответствующие выступы вкладыша *г* направляющих. Выполнение самого вкладыша весьма разнообразно, обычно он крепится винтами к направляющим. В изобретенной на фиг. 9 конструкции вкладыш вы-

полнен в виде конической разрезной втулки, к-рую можно затягивать посредством гайки *д* с контргайкой; этим способом можно уничтожить игру, возникшую в результате работы Ш., не нарушая центровки обеих половин. Конические втулки выполняют как из твердой стали, так и из бронзы. Укрепление направляющих на нижнике производят либо при помощи винтов либо нижник снабжается по окружности нарезкой и направляющие прикрепляют к нему кольцевой гайкой с буртиком. Последний способ укрепления особенно удобен для весьма малых Ш. Кроме описанных выше на фиг. 9 изображены следующие части: *е*—хвостовик верхника, *ж*—средний пунсон, *з*—малые дыропробивные пунсоны, *к*—выталкиватель, *л*—тарелка выталкивателя, *м*—пружина выталкивателя, *н*—крышка верхника с вырубным кольцом, *о*—подкладная плита, *п*—матрица, *р*—наружное кольцо съемника, *с*—внутренний выбрасыватель, *т*—пружина съемника, *у*—цоколь матрицы. Составные матрицы (фиг. 10) называют матрицы, составленные из двух или более кусков; применяют их либо в том случае, когда матрица имеет слишком большие размеры, либо при большой сложности контура вырубаемой части. Комбинированный Ш. (фиг. 11) совершает одновременно две вырубные операции и выпрямляет фланец обрабатываемой детали. До применения этого Ш. для производства этих операций требовались три отдельных Ш. и три прессы. Пунсон *а* совместно с нижней матрицей *б* вырезает дно предварительно выгнутого стакана; одновременно с этим вырубное кольцо *в* и верхняя матрица *г* обрезают излишки фланца; помещенные рядом с матрицей ножи *д* разрезают получающийся отход кольцевой формы на несколько частей для более удобного удаления. Выталкиватель *е*, к-рый установлен на плотное соприкосновение с крышкой *ж* при наименьшем положении Ш., выпрямляет фланец изделия. По окончании подъема Ш. выталкива-

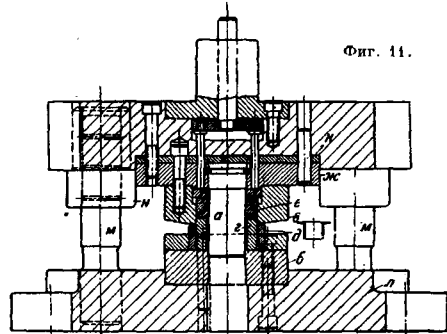
тель *е* выбрасывает готовое изделие. Обрабатываемая деталь штампуются из холоднокатаной жести толщиной 1,6 мм;  $\varnothing$  корпуса 25,4 мм, глубина корпуса 25,4 мм и  $\varnothing$  фланца 38,1 мм. Вырубное кольцо *в*, матрицы *б* и *г*, выталкиватель *е* и пунсон *а* изготовлены из инструментальной стали «Парагон», закаленной в масле. Ножи *д* изготовлены из быстрорежущей стали 3А. Этот Ш. обладает весьма высокой производительностью, напр. после штамповки 200 000 штук он еще безупорочно работает. Для придания верхнику *к* правильного положения относительно нижника последний снабжен двумя колоннами

по А-А



Фиг. 10.

м, м, к-рые ходят в закаленных стальных втулках *н*, укрепленных в верхнике. Подобными колоннами могут вообще снабжаться Ш., когда от них требуется особо точная работа. Вырубка днаш всевозможных предварительно вытянутых изделий *м. б.* произведена на Ш., аналогичном изображенному на фиг. 12. Пунсон *а* укрепляется в плите нижника *б*. На пунсоне может перемещаться центровочное кольцо *в*, к-рое является одновременно выталкивателем готового изделия, поднимаясь под действием пружин *г*; вырубное кольцо *д* в Ш. малого размера является одновременно верхником; в более крупных Ш. однако их изготовляют из отдельных частей. Выбрасыватель *е*, приводимый в движение стержнем *ж*, выбрасывает из вырубного кольца застревающие в нем дюны. Для вырезания изделий из мягких материалов применяются ножевые вырубные Ш. без матриц. Действие этих Ш. основывается на разрезании материала клиновидно заостренным ножевым лезвием инструмента произвольной формы. У Ш. этого типа различают три основные формы: 1) Ш. для прорезания отверстий, 2) Ш. для вырубки по окружности и 3) комбинированные Ш. Ножевые вырубные Ш. применяются исключительно для разрезания мягких материалов, как то: бумага, картон, кожа, фанера, фибра и металл. фольга из мягких металлов. Угол *а* (фиг. 13 и 14) ножа равеа по Элеру (Oehler) для кожи 15–20°, для целлюлозы, твердого картона и металла. фольги 10°, для роговой резины по Качмарку 8–12°, причем разрезание производится в нагретом состоянии. Необходимо отметить, что для вырезания толстого войлока удобнее пользоваться нормальными вырубными

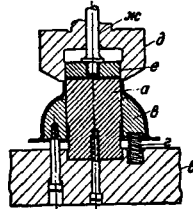


Фиг. 11.

м, м, к-рые ходят в закаленных стальных втулках *н*, укрепленных в верхнике. Подобными колоннами могут вообще снабжаться Ш., когда от них требуется особо точная работа.

Вырубка днаш всевозможных предварительно вытянутых изделий *м. б.* произведена на Ш., аналогичном изображенному на фиг. 12. Пунсон *а* укрепляется в плите нижника *б*. На пунсоне может перемещаться центровочное кольцо *в*, к-рое является одновременно выталкивателем готового изделия, поднимаясь под действием пружин *г*; вырубное кольцо *д* в Ш. малого размера является одновременно верхником; в более крупных Ш. однако их изготовляют из отдельных частей. Выбрасыватель *е*, приводимый в движение стержнем *ж*, выбрасывает из вырубного кольца застревающие в нем дюны.

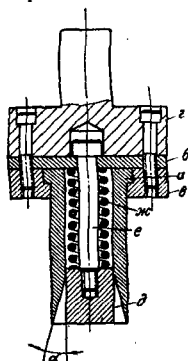
Для вырезания изделий из мягких материалов применяются ножевые вырубные Ш. без матриц. Действие этих Ш. основывается на разрезании материала клиновидно заостренным ножевым лезвием инструмента произвольной формы. У Ш. этого типа различают три основные формы: 1) Ш. для прорезания отверстий, 2) Ш. для вырубки по окружности и 3) комбинированные Ш. Ножевые вырубные Ш. применяются исключительно для разрезания мягких материалов, как то: бумага, картон, кожа, фанера, фибра и металл. фольга из мягких металлов. Угол *а* (фиг. 13 и 14) ножа равеа по Элеру (Oehler) для кожи 15–20°, для целлюлозы, твердого картона и металла. фольги 10°, для роговой резины по Качмарку 8–12°, причем разрезание производится в нагретом состоянии. Необходимо отметить, что для вырезания толстого войлока удобнее пользоваться нормальными вырубными



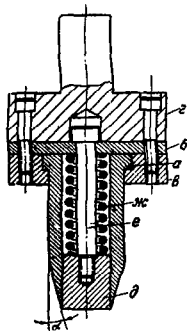
Фиг. 12.



Ш., положив войлок между тонкими металлическими листами и вырубая все вместе. Ножевой Ш. для вырезания отверстий изображен на фиг. 13. Нож *a* опирается на прокладку *б* и удерживается крышкой *в*, прикрепленной тремя или четырьмя винтами *г* к верхнику *д*. Выбрасыватель *ж*



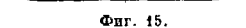
Фиг. 13.



Фиг. 14.

удерживается винтом *е*, свободно проходящим через прокладку, и отжимается пружиной *ж*, обеспечивающей выбрасывание вырезанных кусков. В ножах, предназначенных для вырубания отверстий, весь скос лежит с внутренней стороны, как изображено на фиг. 13, наружная же сторона остается цилиндрической.

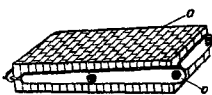
Ножевой Ш., предназначенный для вырезания блишек, изображен на фиг. 14; он совершенно подобен предыдущему с той лишь разницей, что скос ножа лежит снаружи, внутреннее же отверстие делается цилиндрическим в соответствии с тем, что для этого Ш. основной задачей является вырезание блишки с ровными краями, качество же остающегося отверстия безразлично. Обозначения отдельных деталей те же, что и на фиг. 13.



Фиг. 15.

На фиг. 15 изображен ножевой Ш. для вырезания заготовок для конвертов. Фасонный нож *a* вырезает одновременно целую стопку заготовок из подложечной пачки бумаги; после гуммирования специальной машиной и складывания конверт приобретает форму, изображенную штрихпунктирной линией в середине Ш. Нож *a* прикрепляется с помощью восьми угольников *б* винтами к верхнику *в*; каждый угольник прикрепляется к ножу двумя заклепками. Ребра *г* и *д* служат для удержания ножа на месте.

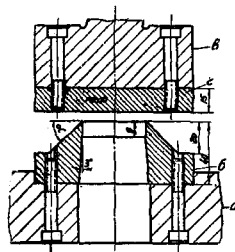
В качестве выбрасывателя применяется губчатая резина, которой заполняют пространство внутри ножа. В качестве подкладки для ножевых Ш. применяют толстые листы плотного картона, фибры или деревянные колоды (фиг. 16), склеенные из большого числа поставленных на торец деревянных кубиков *а*, стянутых на болтах рам-



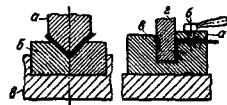
Фиг. 16.

ной *б*. Испортившаяся вследствие работы поверхность колоды *м. б.* легко выстрогана и выравнена. Для вырезания блишек из толстых фибровых листов необходимо употреблять специальные Ш., образцы которых изображены на фиг. 17. Ш. состоит из нижника *а*, ножа *б*, верхника *в* и нажимной плиты *г*, изготовленной из латуни толщиной 12—15 мм. Угол *а* ножа равен обычно 45°, цилиндрическая часть ножа *г* делается приблизительно равной 1/3 высоты матрицы; дальше отверстие расширяется на конус с углом стенок ок. 3°. При резке толстой фибры последняя *д. б.* подогрета до 160°.

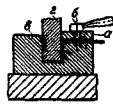
**Б. Гибочные Ш.** В том случае, когда детали, изготавливаемые из полосового, листового, полукруглого или круглого материала, в процессе обработки изменяют свою форму без того однако, чтобы происходило разделение материала на части или весь материал в целом подвергался пластич. деформациям, пользуются гибочными или формовочными Ш. Различие между гибом и формовкой заключается в том, что пунсон и матрица гибочного Ш. не обязательно в точности воспроизводят окончательную форму изделия, тогда как в формовочных Ш. полость, остающаяся между пунсоном и матрицей, в точности соответствует форме обрабатываемой детали. Необходимо отметить, что несмотря на эти отличия в основе обоих методов работы лежит явление изгиба, т. е. более или менее локализованная двухмерная пластическая деформация металла. При конструировании гибочных штампов необходимо учитывать два следующих важных фактора: 1) угол обратного пружинения материала, зависящий от внутреннего радиуса кривизны изгиба, рода и толщины изгибаемого материала (сталь, железо, латунь и т. д.); 2) нежелательность изгиба полосового материала в направлении, перпендикулярном расположению волокон материала. Плоскость изгиба не должна отклоняться от направления волокон более чем на 60°, т. к. иначе в месте изгиба могут возникнуть трещины или даже полный излом. Максимальные значения углов обратного пружинения для загибов под прямым углом были вычислены Элером [1]; они указаны также в сборнике конструкторских нормалей для Ш. холодной штамповки, изданном Гос. институтом проектирования Всесоюзного автотракторного объединения. Рабочие поверхности гибочных и формовых Ш. должны быть весьма твердыми и тщательно отполированными в направлении изгиба для того, чтобы обрабатываемый материал мог изгибаться легко и с минимальным трением. Простые гибочные Ш. изображены на фиг. 18 и 19. Простой угловой гибочный Ш. изображен на фиг. 18. Он состоит из пунсона *а*, составной матрицы *б* и нижника *в*. Матрица сделана состоящей из двух кусков с тем, чтобы предохранить ее от излома, каковой происходит обычно посередине,



Фиг. 17.



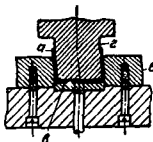
Фиг. 18.



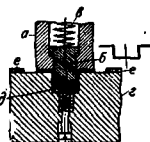
Фиг. 19.

Фиг. 18. Фиг. 19.

где она ослаблена вырезной. Матрица углублена в нижник и удерживается им на месте. На фиг. 19 изображен гибочный Ш., применяемый обычно для загиба длинного полосового материала. Изгибаемый материал подводится под прижимную планку *a* и зажимается винтом *b*. Задняя сторона матрицы *c* делается примерно на удвоенную толщину изгибаемого материала выше пунсона



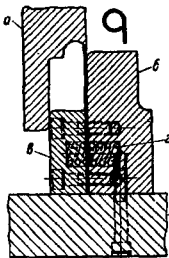
Фиг. 20.



Фиг. 21.

редней стороны. Полученный уступ служит упором для продвигаемого материала и кроме того также направляющей для пунсона *e*, воспринимающей боковое давление изгиба. Двойной угловой Ш. изображен на фиг. 20; он производит двойной угловой загиб материала. Заготовка *a* кладется на матрицу *b*, вровень с которой находится выбрасыватель *e*; опускающийся вниз пунсон *e* толкает вниз заготовку вместе с выталкивателем, производя загиб первой, пока выталкиватель не ударится о нижник. При движении пунсона вверх одновременно перемещается выталкиватель, находящийся под действием неизображенного на фиг. 20 воздушного буфера, и удаляет т. о. изделие из матрицы. При подобных гибочных работах рекомендуется боковые поверхности пунсона скашивать внутрь под углом 1—2° для того, чтобы материал изгибался с возможно малым трением.

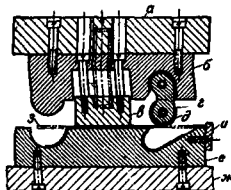
На фиг. 21 изображен многократный и гибочный Ш., служащий для производства за один раз нескольких загибов одной детали. Ш. состоит из пунсонов *a* и *b*, пружины *e*, прижимающей внутренний пунсон, нижника *e* и выбрасывателя *d*. Заготовку кладут между упорами *e* на матрицу; идущий вниз пунсон *b* изгибает сначала заготовку в виде буквы U. Как скоро пунсон достигнет дна углубления матрицы, пружина *e* начинает сжиматься, и наружный пунсон *a* отгибает внешние края изделия под прямым углом, прижимая их к матрице. При подъеме пунсонов приходит в действие выбрасыватель, который выталкивает готовое изделие из матрицы. Пружина *e* должна быть сделана достаточно сильной для того, чтобы внутренний пунсон мог совершить первый U-образный загиб.



Фиг. 22.

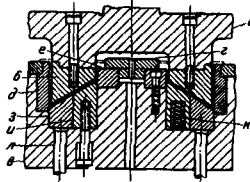
Ш. для закатки, изображенный на фиг. 22, служит для закатывания краев листового материала. Ш. состоит из пунсона *a*, матрицы *b*, прижимной планки *e*, пружины *e* и нижника *d*. Для безукоризненной работы Ш. необходимо, чтобы край листа был предварительно слегка отогнут. Изделие вкладывается между зажимной планкой *e* и матрицей *b*. Опускающийся пунсон своим выступом прижимает планку, сжимая пружину *e*, и держит т. о. крепко изделие, верхний край которого заворачивается при дальнейшем опускании пунсона. При подъеме

пунсона пружина *e* отжимает прижимную планку, освобождая т. о. изделие, которое м. б. вынута из Ш. Гибочный Ш. с подвижным плечом, изображенный на фиг. 23, служит для производства более сложных загибочных операций, которые иначе потребовали бы последовательного применения нескольких простых Ш. Этот Ш. состоит из верхника *a*, пунсона *b*, прижима *e*, подвижного плеча *g*, загибочного ролика *d*, матрицы *e* и нижника *ж*. Заготовка *a* кладется на матрицу и продвигается до упора *u*, при опускании пунсона сначала прижим *e* прижимает и удерживает заготовку на матрице до конца загибочной операции. При дальнейшем опускании пунсона выступает в действие плечо *g*, к-рое сначала изгибает заготовку вниз до тех пор, пока ролик *d* не придет в соприкосновение с наклонной плоскостью матрицы *e*, которая заставляет все плечо повернуться налево и закончить т. о. загиб правой части изделия. Одновременно с этим левая часть заготовки изгибается полукруглым выступом пунсона. После подъема пунсона сверху прижим освобождает готовое изделие, которое м. б. вынута из матрицы. Несмотря на то что Ш. этого типа значительно сложнее предыдущих, они оказываются более выгодными, т. к. сберегают время, силу и даже иногда оказываются дешевле, чем заменяемый ими ряд простых Ш.



Фиг. 23.

Формовочный Ш. изображен на фиг. 24. С помощью подобных Ш. могут быть легко решены зачастую весьма сложные задачи; так, изображенный Ш. служит для изготовления детали, напоминающей абакур, у которой д. б. отогнуты наружная и внутренняя кромки, а средней части придана конич. форма. Ш. состоит из верхника *a*, к которому прикреплен верхний формовочный пунсон *b*, из нижника *e*, в который вделаны



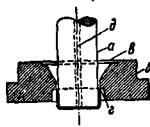
Фиг. 24.

ловитель *g*, наружная кольцевая матрица *d* и внутренняя кольцевая матрица *e*. На дне кольцевой выемки нижника лежит оба нижних формовочных кольца *g* и *u*, служащих одновременно выталкивателем; внутреннее формовочное кольцо *u* лежит на пружине *k*, тогда как наружное *g* посредством штифтов *л* связано с пневматическим буфером. Заготовка, представляющая собой круглый диск с отверстием в середине, укладывается на матрицу отверстием в середине, лопаткой. При опускании верхника пунсон наружным краем сначала отгибает внешнюю кромку заготовки, при дальнейшем движении вниз, постепенно прижимая кольца *g* и *u*, пунсон придает коническую форму средней части заготовки, и наконец внутреннее кольцо матрицы *e* совершает загиб внутренней кромки изделия. При наименьшем положении пунсона оба кольца с жестким ударом садятся на нижник, чем обеспечивается правильная форма изделия. При подъеме пунсона вверх кольца *g* и *u* выталкивают готовое изделие из матрицы.

В Рабочие процессы, сопряженные с течением материала. Основным процессом штамповки, использующим явление течения материала, является вытяжка, которая представляет особые трудности, лежащие главным образом в природе и свойствах обрабатываемого материала. Последний при вытяжке изменяет свою форму вследствие течения металла, сопряженного со взаимным перемещением материальных частиц. Основной задачей техники вытяжки является обеспечение возможности течения материала в холодном состоянии. В том случае, если эта задача является разрешенной для данной вытяжной работы, мы можем с уверенностью рассчитывать на благоприятный результат. Основными условиями для успешной работы вытяжки являются следующие:

1) выбор подходящего материала (жест для вытяжки, жест для глубокой вытяжки, полостной материал); 2) правильно выбранный вытяжной пресс с пневматическими или пружинными буферами с длинным ходом; 3) целесообразно сконструированный и тщательно построенный вытяжной штамп; 4) удачно выбранная смазка (жидкая и не клейкая). Предназначенный для вытяжки материал д. б. обязательно чистым и свободным от ржавчины и иметь по всей длине одинаковую толщину. Для глубокой вытяжки обязательно применение специального материала. Скорость движения ползуна прессы д. б. выбрана т. о., чтобы материал имел достаточно времени для деформации. Практика показала, что даже при безукоризненно выполненных Ш. нельзя достигнуть удачных результатов, как только скорость ползуна становится слишком большой. Вытяжные Ш. должны быть построены весьма тщательно; как штемпель, так и матрица д. б. сделаны из углеродистой стали высшего качества, закалены и зеркально отполированы в направлении вытяжки. От этого правила можно отступить лишь при крупных вытяжных работах, не требующих особой точности, в каком случае штемпель м. б. изготовлен даже из чугуна или железа. Все эти условия в соединении с правильно выбранным радиусом закругления вытяжных кромок Ш. обеспечивают легкое течение материала, что является одним из решающих условий успеха. Радиусы  $r$  вытяжных кромок штемпеля и вытяжного кольца (матрицы) д. б. сделаны одинаковыми; отклонение от этого правила м. б. допущено при отделочных операциях — правке и калибровке. Величина  $r$  при тонком материале (до 1 мм) не д. б. меньше десятикратной толщины материала, уменьшаясь при трехмиллиметровом материале до шестикратной толщины его. При конструировании вытяжных Ш. необходимо обращать внимание на то, чтобы вытяжные кромки как штемпеля, так и вытяжного кольца не оставляли никаких отпечатков на изделии, так как они оказывают вредное влияние при последующих вытяжных операциях. Точно также важно оставление зазора между вытяжным штемпелем и кольцом соответственно толщине обрабатываемого материала; этот зазор должен равняться около 1,1 толщины материала. Необходимо отметить, что при недостаточной величине зазора материал либо разрывается либо вытягивается и становится тоньше, с другой стороны, при слишком широком зазоре на вытягиваемом изделии образуются весьма нежелательные складки. Вытяжной штемпель д. б. снабжен отверстием для прохода воздуха, так как в противном случае, в особенности при глубокой вытяжке, часто бывает невозможно

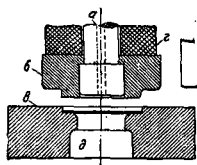
снять со штемпеля готовое изделие, не испортив его. При многократной вытяжке необходимо после каждой третьей операции подвергать изделие отжигу, т. к. иначе (в особенности при более твердых материалах) деталь может получить разрывы и трещины у дна или фланцев по причине приобретения материалом хрупкости вследствие повторных деформаций на холоду. Весьма важным вопросом является расчет формы и размеров заготовки (бланкета) для вытягивания детали, в особенности в случае частей, снабженных фланцами, и предметов овальной или прямоугольной формы. По этому вопросу имеется обширный материал в трудах Качмарена (Kaczmarek), Селлина (Sellin), Куррейна (Kurrein) и Джонса (Johnes). Вопрос о форме заготовки м. б. решен также весьма просто на практике путем производства пробных штамповок данного объекта; обычно уже при третьем-четвертом опыте удается найти правильную форму заготовки. При расчете заготовки исходят из того правила, что поверхность бланкета должна стоять



Фиг. 25.

в известном отношении к поверхности готового изделия. Для постройки рабочих частей вытяжных штампов (вытяжной штемпель, вытяжные кольца) рекомендуется применение высококордных углеродистых сталей, например EU-9, так как эти сорта сталей после закалки остаются внутри более мягкими, чем быстрорежущая сталь, и вследствие этого менее подвержены излому.

Простой вытяжной Ш. без придержника, изображенный на фиг. 25, представляет собой простейший тип вытяжного Ш.; он состоит из вытяжного штемпеля  $a$  и кольца  $b$ , снабженного выточкой  $e$ , служащей гнездом для предварительно вырубленной заготовки. Верхняя часть отверстия вытяжного кольца сделана на конус с углом при вершине  $60^\circ$ . Прилегающая к конической короткая цилиндрическая часть снабжена внизу выточкой  $g$ , острая кромка которой служит сбрасывателем при движении штемпеля вверх. Последний снабжен в середине отверсти-



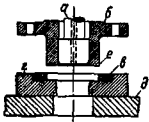
Фиг. 26.

ем  $d$  для прохода воздуха. Простой вытяжной Ш. с придержником изображен на фиг. 26; он состоит из вытяжного штемпеля  $a$ , придержника  $b$ , матрицы (кольца)  $e$  и резинового буфера  $g$ . Преимуществом этого Ш. в сравнении с предыдущим является отсутствие образования складок вследствие наличия придержника. При работе Ш. заготовка вкладывается в углубление матрицы, а затем при опускании ползуна прессы придержник, прижимая при посредстве резинового буфера заготовку к матрице, после чего вытяжной штемпель протягивает заготовку через отверстие последней. В течение этого времени резиновый буфер сжимается все больше, и т. о. придержник оказывает на обрабатываемую деталь непрерывно возрастающее давление. При следующем затем движении штемпеля вверх изделие снимается острым кантом  $d$  выточки матрицы.

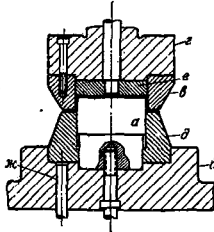
Комбинированный Ш. для прессов двойного действия изображен на фиг. 27; он состоит из вытяжного штемпеля  $a$ , вырубного пунсона  $b$ , являющегося одновременно придерж-

ником, вырубной матрицы *е*, вытяжного кольца *в* и нижника *д*. Этот Ш. работает непосредственно из полосы листового материала, которую подводят под вырубной пунсон. Последний, опускаясь, вырубает своей наружной режущей кромкой *е* заготовку, которую затем прижимает к вытяжному кольцу *в*, после чего вытяжной штемпель *а*, укрепленный на втором ползуне пресса, протягивает заготовку сквозь отверстие кольца *в*. При движении ползуна вверх готовое изделие снимается с штемделя острым краем выточки вытяжного кольца.

Простой Ш. для деталей с фланцем, изображенный на фиг. 28, является до известной степени обращением предыдущих инструментов, т. е. вытяжной штемпель *а* у него прикреплен к нижнику *б*, тогда как вытяжное кольцо *в* — к верх-

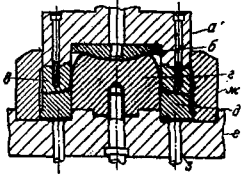


Фиг. 27.



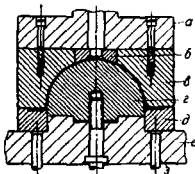
Фиг. 28.

нику *г*. Кроме упомянутых частей Ш. состоит из придержника *д* и выбрасывателя *е*. При работе заготовка кладут на придержник *д*, к-рый при поднятом ползуне лежит ровно со штемпелем *а*. При опускании ползуна вытяжное кольцо *в* прижимает заготовку к придержнику *д*, связанному тягами *ж* с пневматич. буфером. При дальнейшем опускании ползуна вытяжное кольцо *в* отжимает придержник *д* книзу и вытягивает среднюю часть заготовки, пока придержник не ударится о нижник *б*. При движении ползуна вверх поднимающийся под действием буфера придержник снимает изделие со штемделя, тогда как выбрасыватель *е* выталкивает готовую деталь из вытяжного кольца. Ш. этого типа весьма удобны в работе.



Фиг. 29.

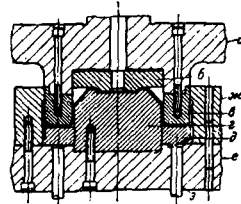
Ш. для полусферич. частей, изготавливаемых в две операции, изображены на фиг. 29 и 30. Детали, которые должны иметь точно полушаровидную форму, изготавливаются в две или более операции, причем изделие при первой операции придается приблизительно полушаровидная форма, тогда как при последней операции детали придается окончательная точная форма. В Ш. этого типа необходимо следить за тем, чтобы по всей окружности вытяжных колец было обеспечено достаточно плавное закругление во избежание образования складок. Главными составными частями Ш. для первой операции являются: верхник *а*, выбрасыватель *б*, вытяжное кольцо *в*, вытяжной штемпель *г*, придержник *д*, нижник



Фиг. 30.

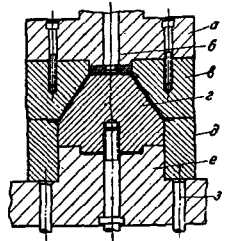
и вырубная матрица *ж*. При поднятом ползуне пресса придержник *д*, соединенный тягами *а* с пневматич. буфером, лежит ровным с верхней поверхностью вырубной матрицы *ж*. При опускании ползуна вытяжное кольцо *в* своим наружным острым краем вырубает из подложной полосы листового материала заготовку, которая затем прижимается к придержнику *д* и при дальнейшем опускании ползуна вытягивается вытяжным

штемпелем *г*. При движении ползуна вверх придержник *д* и выбрасыватель *б* снимают готовое изделие с Ш. Штамп для второй операции, изображенный на фиг. 30, построен по тому же принципу (обозначения, как на фиг. 29). Ш. для вытягивания конич. деталей в две операции изображены на фиг. 31, 32 (обозначения, как на фиг. 29). Эти Ш. в отношении системы и принципа работы вполне аналогичны описанным выше. Вдавление в две заготовки при первой вытяжной операции (фиг. 31) необходимо для того, чтобы имелось достаточно материала для образования конич. дна при второй операции. Необходимо следить за тем, чтобы материал был свободен от складок, т. е. только при этом условии изделие после второй операции будет иметь чистую и гладкую поверхность.



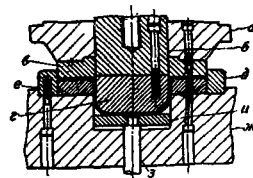
Фиг. 31.

Комбинированные вырубные и вытяжные Ш. для пресов двойного действия изображены на фиг. 33 и 34. Ш., изображенный на фиг. 33, состоит из верхника *а*, вытяжного штем-



Фиг. 32.

пель *б* из мягкой стали, вырубного пунсона *в*, являющегося одновременно придержником, рабочей части *г* вытяжного штемделя из инструментальной стали (закаленной и шлифованной), вырубной матрицы *д*, нижника *ж* и выбрасывателя *з* — *и*. Этот Ш. предназначен для вырубания и подготовительной вытяжки деталей, к-рые *д*, *б* вытягиваются без уменьшения  $\varnothing$  фланца. Действие Ш. вполне аналогично описанному выше Ш. для пресов двойного действия (фиг. 27) с той лишь разницей, что здесь выбрасывание осуществляется придержником *е* и выбрасывателем *и*. Ш. для вторичной вытяжки изображен на фиг. 34; он состоит из верхника *а*,



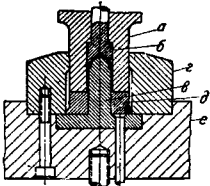
Фиг. 33.

Фиг. 34: Cross-sectional diagram of a secondary drawing tool. It shows a punch (a) and a die (e) with a lower die (d). A workpiece is being formed between the dies.

Фиг. 34.

Фиг. 34: Cross-sectional diagram of a secondary drawing tool. It shows a punch (a) and a die (e) with a lower die (d). A workpiece is being formed between the dies.

штемпель *б*, нижника *в*, придержника *е*, вытяжного кольца *д* и выбрасывателя *ж*. Способ действия штампа ясен из фиг. 34; его отличительной чертой является конструкция придержника *е*, рабочая часть которого имеет в точности форму, соответствующую форме предварительно вытянутой заготовки, поэтому при последующей вытяжке верхняя часть заготовки совершенно не изменяет своей формы. Для достижения этого придержник должен прижимать заготовку настолько сильно, чтобы верхняя часть ее не могла сдвинуться под действием усилия вытяжки. Комбинированный вырубной и вытяжной Ш., изображенный на фиг. 35, относится к категории Ш. для глубокой вытяжки, у которых вся обработка заканчивается в одну операцию. Ш. состоит из вырубного пулона *а*, служащего одновременно вытяжным кольцом, выбрасывателя *б*, установленного на жесткий удар и служащего одновременно формовочной матрицей для дна изделия, вытяжного штемделя *в*, вырубной матрицы *г*, прижимника *д* и нижника *е*. Способ действия этого штампа аналогичен описанному выше с той разницей, что выбрасыватель и вытяжной штемпель работают на жесткий удар с целью получения точной остроугольной формы перехода стенок детали в сферич. днище. У вытяжных Ш. все рабочие части *д*, *б*, весьма точно и тщательно обработаны и свободны от закалочных трещин, т. к. зачастую незначительная трещина на рабочей поверхности вытяжного кольца имеет следствием непригодность Ш. или брак изделия.



Фиг. 35.

Лит.: 1) Oehler G., Taschenbuch f. Schnitt- u. Stanzwerkzeuge, В., 1933.—Казмарек Е., Die moderne Stanzerei, 3 Aufl., В., 1928; Göhre E., Schritte u. Stanzen, В. 1 u. 2, Lpz., 1927—30; Неймайер К., Холодная и горячая штамповка, т. 1, 2, М.—Л., 1934; Камарек Е., Современное штамповочное производство, М., 1927; Хасин А., Холодная штамповка листового материала, М.—Л., 1934; Гере Е., Вырезные и вытяжные штампы, М.—Л., 1931; Обдорский Н., Холодная штамповка, Москва—Ленинград, 1933.

Э. Грюверт.

**ШУНТ**, вспомогательная цепь, включенная параллельно главной цепи. В электроизмерительных приборах под Ш. понимают сопротивление, включаемое параллельно рабочей цепи прибора, служит для расширения пределов шкалы амперметров и токовых катушек ваттметров и счетчиков. Беря обозначения по фиг. 1, получаем

$$I = I_a + I_{ш},$$

$$I_a R_a = I_{ш} R_{ш},$$

откуда

$$I = I_a \left( 1 + \frac{R_a}{R_{ш}} \right).$$

Величина  $1 + \frac{R_a}{R_{ш}}$  называется шунтовым множителем. При измерениях тока, в *n* раз превосходящего пределы шкалы прибора, необходим Ш. сопротивлением

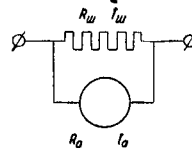
$$R_{ш} = \frac{R_a}{n-1}.$$

Ш. подразделяются на 1) индивидуальные и Ш., пригодные только для данного прибора при одном пределе измерения, 2) взаимозаменяемые Ш., пригодные только для определенного прибора и могущие быть поставлены один на место другого без ущерба для точности показаний данного прибора, и 3) ка-

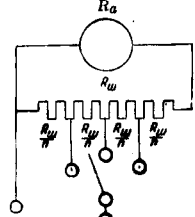
либрованные Ш. (шунты на строго определенное падение напряжения, пригодные для разных измерителей). В лабораторных приборах употребляют также универсальные Ш. (фиг. 2). Для этого устройства имеем равенство

$$I = I_a \left( 1 + \frac{R_a}{R_{ш}} \right) n.$$

Для данного прибора и данного Ш. величина  $1 + \frac{R_a}{R_{ш}}$  остается постоянной, так что показания прибора зависят только от *n*, т. е. от того деления, на которое поставлен движок Ш. При за-



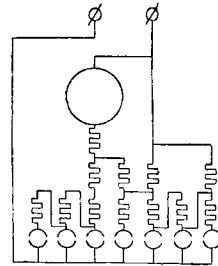
Фиг. 1.



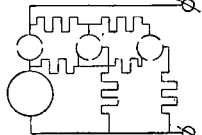
Фиг. 2.

мене одного прибора другим изменяется только величина выражения внутри скобок, соотношения же между пределами измерения остаются без изменения. Часто применяются универсальные шунты, позволяющие использовать прибор в качестве амперметра и вольтметра. На фиг. 3

показано такое включение, применяемое фирмой Сименс и Гальске. Если желательно, чтобы общее сопротивление прибора и Ш. не изменялось



Фиг. 3.



Фиг. 4.

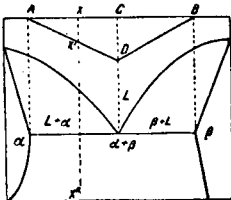
при переключениях последнего, то применяют включение по фиг. 4. Ш. могут применяться ко всем приборам постоянного тока. Из приборов переменного тока с Ш. употребляются только тепловые приборы. Материалом для Ш. служат сплавы с небольшим темп-ным кэф-том (манганин). Ш. изготавливаются на следующие номинальные силы тока (по ОСТ 1595): 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 750, 1 000, 1 500, 2 000, 3 000, 4 000 и 5 000 А. Магнитный Ш. — приспособление в магнитоэлектрических приборах для шунтирования воздушного зазора в магнитной цепи прибора. Служит для подрегулирования магнитного потока, проходящего через рамку прибора, и тем самым для точной регулировки прибора.

Лит.: Конструкция электроизмерительных приборов, под редакцией Н. Н. Пономарева, Ленинград—Москва, 1935; СЭТ. Справочная книга для электротехников, т. 1, отд. 3, § 21, 103, Л., 1928; Вазилевич В., Электротехнические измерения и приборы, т. 1, стр. 146, Л., 1929; Гер у И. К., Электротехнические измерительные приборы, пер. с нем., стр. 29, 28, 35, 49, М.—Л., 1927; Личинер А., Электротехнические измерения, пер. с нем., стр. 2, 7, М., 1927; Шателен М., Пособие к лабораторным занятиям по электрическим и магнитным измерениям, стр. 25, 30, М.—Л., 1931; Черданцева В. З., Электрические измерения, стр. 23, 22 изд., М.—Л., 1934; ОСТ 1595; ОСТ 3504; ОСТ 5236. Дюковский.

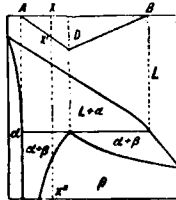
**ЭВТЕКТИКА** (Eutecticum, eutectic), неинвариантное превращение (распадение) жидкой фазы  $L$  на две кристаллич. фазы ( $\alpha, \beta$ ), выражаемое ф-лой:  $L$  (жидкость) =  $\alpha_{кр.} + \beta_{кр.}$  (см. *Металлография*). Это двойная  $\Delta$ ; при наличии в жидкости 3 компонентов может образоваться тройная  $\Delta$ :  $L$  (жидк.) =  $\alpha_{кр.} + \beta_{кр.} + \gamma_{кр.}$ .  $\Delta$  кристаллизуется (плавится) при более низкой  $t^\circ$ , чем составляющие ее кристаллич. фазы в отдельности. Несмотря на то что  $\Delta$  представляет собой механич. смесь двух фаз, концентрация сплава точно фиксирована, напр. для  $Pb-Ag$ : 2,5%  $Ag$ , 97,5%  $Pb$  и  $t_{м.л.}^\circ$  304°. У тройной  $\Delta$   $t_{м.л.}^\circ$  ниже, чем у двойных ( $Pb-Bi-t_{м.л.}^\circ$  125°,  $Pb-Sn=183^\circ$ ,  $Sn-Bi=140^\circ$ ,  $Pb-Bi-Sn=96^\circ$ ). Эти два условия (точная фиксация  $t_{м.л.}^\circ$  и концентраций) и составляют неинвариантность системы. Имеются сплавы, в которых неинвариантное превращение происходит при  $t^\circ$  ниже  $t_{м.л.}^\circ$  одной фазы и выше  $t_{м.л.}^\circ$  другой фазы, т. е. превращение совершается по ф-ле  $L + \alpha_{кр.} = \beta_{кр.}$ . Такое превращение называется перитектикой (Peritektikum, transition). Перехода двух жидких фаз в одну твердую при  $t^\circ$  выше  $t_{м.л.}^\circ$  каждой фазы в отдельности не наблюдалось. На диаграмме состояний в двухкомпонентной системе эвтектической и перитектической превращения выразятся, как указано на фиг. 1, где на фиг. 1а—эвтектика (или

концентрации  $x''$  имеем, что длина  $\frac{xx'}{CD} \cdot 100$  равна количеству  $\Delta$  в % в сплаве. К. Грачев.

Процесс эвтектической кристаллизации. Однородный эвтектич. раствор распадается во время кристаллизации на смесь двух фаз. Этот процесс распада является по существу диффузионным процессом собирания атомов вещества  $A$  к одним, а атомов вещества  $B$  к другим кристаллизационным центрам. Исследование самого хода эвтектич. кристаллизации непосредственно под микроскопом показывает, что при очень малых переохлаждениях, т. е. при очень малых скоростях охлаждения в отдельных местах эвтектической жидкости поровну зарождаются и растут кристаллы обеих фаз. Даже после соприкосновения двух кристаллов разных фаз продолжается рост этих кристаллов без какого бы то ни было изменения. Этот процесс продолжается до полного исчезновения жидкости, и в результате мы получаем грубые гранитоподобные конгломераты, в к-рых никак нельзя распознать типичной эвтектической структуры (вкл. л., 1 и 2). Повидимому минеральные эвтектики в подавляющем большинстве образовывались в подобных условиях, и потому мы так редко встречаем в природе типичные эвтектич. структуры, хотя по составу многие горные изверженные породы должны бы быть эвтектиками. При несколько больших переохлаждениях процесс идет так же, но структура делается уже тоньше и м. б. названа типично эвтектической (вкл. л., 3). При средних переохлаждениях также сначала возникают отдельные кристаллики обеих фаз, но их нормальный рост продолжается только до того момента, пока они не соприкоснутся друг с другом. Как только два кристаллика разных фаз соприкоснутся, с места соприкосновения начинается и притом с гораздо большей скоростью, тем что, с которой росли отдельные кристаллики, одновременный рост массы мельчайших кристалликов обеих фаз в форме типичной  $\Delta$ . На вкл. л., 4, 5, 6 и 7 показано одно и то же место сплава сначала до момента соприкосновения кристалликов двух фаз, затем в самый момент соприкосновения и через некоторое время после этого момента. Видно, как с места соприкосновения начала разрастаться  $\Delta$ . Сама  $\Delta$  в этих условиях растет в форме разветвленных псевдокристаллов, сохраняющих внешнюю форму какого-нибудь из тех кристалликов, от к-рых она начала расти. При очень сильных переохлаждениях форма, в к-рой выделяется  $\Delta$ , начинает меняться. Отдельные частицы  $\Delta$  становятся на-



Фиг. 1а.



Фиг. 1б.

дистектика, если  $L$  — твердый раствор), на фиг. 1б—перитектика (или метатектика, если  $L$ —твердый раствор).

Для определения количества фаз для каждой концентрации служит «треугольник Таммана». Построение его производится след. обр. (фиг. 1а, 1б): приняв какую-нибудь абсциссу  $AB$  за основание, в точке  $C$ , соответствующей эвтектической (перитектической) точке, проводим ординату  $CD$  и эту прямую произвольно соединим с  $A$  и  $B$ —точками насыщения растворов (где количество  $\Delta$  равно нулю); тогда для любой

столько мелкими, что их не удается рассмотреть даже при сильных увеличениях, а внешняя форма делается все более и более похожей на сферолит (вкл. л., 8, 9 и 10) и наконец делается почти шаровой. Изучая форму эвтектик. образований в металлах, мы должны признать, что силы металлов кристаллизуются при средних или сильных (для этого рода веществ) переохлаждениях. Второй период роста (с момента соприкосновения кристалликов) различен в зависимости от степени переохлаждения: при слабых переохлаждениях рост кристаллов каждой из фаз идет независимо от роста кристаллов другой фазы; при сильных переохлаждениях с момента соприкосновения начинается ускоренное образование собственно эвтектической массы. Причиной этого ускоренного одновременного роста обеих фаз с поверхности соприкосновения видимому является облегчение диффузионного разделения жидкости на два вида атомов около двух готовых центров кристаллизации, канювыми и являющиеся соприкоснувшиеся кристаллики. Все сказанное заставляет нас считать, что прежние взгляды на кристаллизацию Э., согласно которым фазы Э. выделяются или попеременно или одновременно, но с разной скоростью, д. б. отброшены, а к теории одновременной кристаллизации д. б. внесен весьма существенный корректив в отношении понятия о начале эвтектической кристаллизации.

А. Бочвар.

Как видно из вышесказанного, в зависимости от переохлаждения сплава можно получить или грубозернистую эвтектику («гранитоподобную» по выражению проф. А. А. Бочвара) или очень мелкую. Поэтому при нагреве грубозернистая потребует большего времени для перехода в раствор, чем мелкая, и даже потребует более высокую  $t_c$ , чем та, которая соответствует  $t_{c, \text{н.}}$  Э. Кристаллы, выделившиеся в виде Э. или образовавшие структурно свободные фазы, что соответствует крупнокристаллич. состоянию, различно деформируются, напр. эвтектичный цементит при нек-ром механич. напряжении деформируется (вкл. л., 11), тогда как структурно свободный цементит при этом напряжении разрушается (вкл. л., 12). Следует заметить, что в Э. стали перлит наблюдается в виде полоски цементита и феррита только на плоскости шлифа; на самом деле здесь имеют место чередующиеся слои перлита и феррита в пространстве, и в зависимости от того, под каким углом прошла плоскость шлифа через этот объем, расстояние между полосками будет больше или меньше. На это обстоятельство было указано металлургом Н. Т. Беляевым еще в 1920 г. Эвтектическими сплавами пользуются для получения легкоплавких сплавов. В таких случаях применяются тройные и даже четверные Э., напр. сплавы 50% Bi; 12,5% Cd; 25% Pb; 12,5% Sn;  $t_{c, \text{н.}}$  65°. Также имеются сплавы солей гл. обр. для термобработки, напр.:

$\text{BaCl}_2$  22,25% +  $\text{NaCl}$  77,75%;  $t_{c, \text{н.}}$  635°.

$\text{KNO}_3$  50,5% +  $\text{NaNO}_3$  49,5%;  $t_{c, \text{н.}}$  218°.

$\text{KNO}_3$  64% +  $\text{LiNO}_3$  36%;  $t_{c, \text{н.}}$  132°.

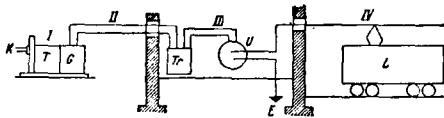
$\text{AlF}_3$  60,2% +  $\text{CaF}_2$  6,2% +  $\text{NaF}$  33,6%;  $t_{c, \text{н.}}$  675°.

Лит.: Guentler W., Metallographie, B. 1, 6, 1909—1912, B. 2, 1913—26; Guillet L. et Portevin A., Précis de métallographie et de macrographie, P., 1924; Guillet L., Trempe, recuit, revenu, t. 1, Théorie, P., 1927; Guillet G., Métallie Alloys, 5 ed., L., 1933; Botschwar A., Ueber den Mechanismus der eutektischen Kristallisation, «Ztschr. f. ang. u. allgem. Chemie», B. 222, H. 3, 1934.

К. Грачев.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ.** Под Э. ж. д. подразумеваются только те ли-

нии, на к-рых локомотивы приводятся в движение с помощью электроэнергии, получаемой от центральных электрич. станций. Все прочие случаи, когда электрич. энергия, служащая для питания тяговых двигателей, производится непосредственно на локомотиве (дизель-электровоз, тепловоз и т. п.), в понятие Э. ж. д. не входят. Передача электроэнергии подвижному составу производится с помощью линий передач, следующих вдоль ж. д. (фиг. 1), от которых и происходит питание электрического контактного провода. На фиг. 1: I—электрич. станция, II—линии передачи, III—тяговая станция, IV—контактная сеть, K—котел, T—турбина, G—генератор, Tr—трансформатор, U—преобразователь, E—земля (рельс), L—локомотив. Необходимость применения электротяги на ж. д. вызывается или чисто техническими причинами, или экономическими соображениями, или теми и другими вместе.



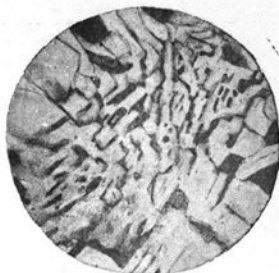
Фиг. 1.

При массовом движении поездов на трамвайных линиях или линиях метрополитена необходимые максимальные пропускные способности достигаются только при условии наличия электрич. тяги. На ширококолейных и близких к ним по типу ж. д. введение электротяги может вызываться наряду с техническими также и экономич. соображениями. Электрич. нагрузки электрифицированных ж. д. достигают в среднем 300 000 kWh/1 км двухколейного пути. В виду этого решение вопроса о применении электрической тяги должно основываться на базе экономич. расчетов, учитывающих как строительные, так и эксплуатационные затраты. Наличие дешевых природных источников энергии, как то: гидроэнергии, близких залежей угля и торфяников, или большие лесные богатства облегчают условия электрификации. Параллельно с этим и на магистральных сильно загруженных жел. дор. может конечно выдвинуться вопрос о провозной способности. Электротяги, обеспечивая высокие скорости, возможность работать тяжелыми поездами (напр. ж. д. Норфольк-Западная в США), позволяет на таких сильно перегруженных участках надолго отказаться от сооружения третьих и четвертых путей. На участках с длинными туннелями (напр. туннель Джови в Сев. Италии) выбор электрической тяги может быть продиктован соображениями пожарной безопасности и отсутствия дыма.

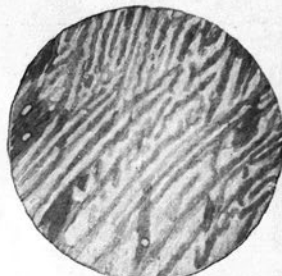
**История развития Э. ж. д.** совпадает с моментом решения вопроса о способе производства энергии высокого напряжения. Попытки применить электротягу на базе получения тока от гальванич. элементов или магнитно-электрич. источников не могли быть жизнеспособными. В 1867 году Вернер Сименс изобрел динамомашину, открывшую возможность получения сильного тока, что тогда же внушило ему мысль применить последний в электротяге. Но первый электровоз он построил лишь 12 лет спустя для рудников Верхней Силезии. Этот электровоз был выставлен фирмой Сименс и Гальске в 1879 г. на промышленной выставке в Берлине. В 1881 г. в Лихтерфельде близ Берлина был построен первый в мире трамвай. Но дальнейшее развитие этого типа



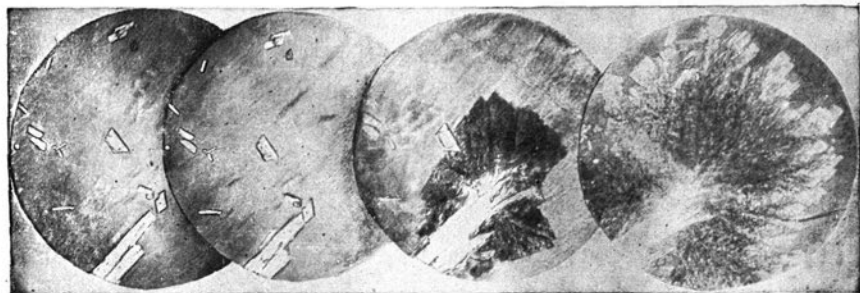
1



2



3



4

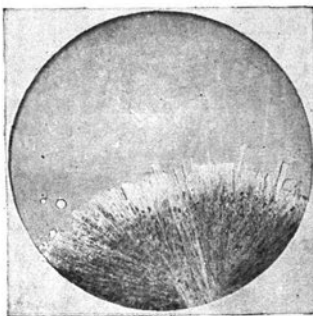
5

6

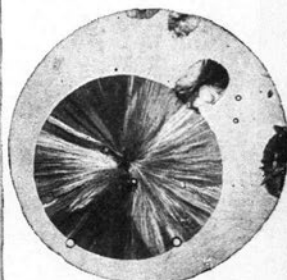
7



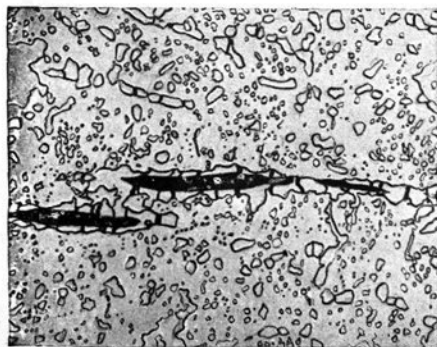
8



9



10



11



12



дорог последовало только в период времени с 1886 г. по 1890 г. в США благодаря инициативе Спрега, Томсона и др. В 1891 и 1892 г. Всеобщая электрич. компания в Берлине перенесла сист. Спрега, а Союз электрич. об-в (Union Elektrizitäts-Gesellschaft) — сист. Томсона-Густона в Европу, где после этого возникла оживленная деятельность по постройке трамваев. Теперь трамваи за небольшим исключением всюду на электрич. тяге. Для метрополитенов электроэнергия оказалась особенно пригодной. Сначала перевели на электротягу отдельные паровые надземно-подземные жел. дор. (Лондон, Нью Йорк), а потом основные городские ж.-д. магистрали в больших городах строились уже прямо на электрич. тяге. Первый электрич. метрополитен (City and South London Railway) был построен в 1890 г. После него была сооружена надземная ж. д. в Нью Йорке и другие. Магистральные ж. д. с высоко развитой паровой тягой труднее переключались на электротягу. Главным препятствием являлся вопрос экономики. Правда, уже в 1894 г. на электротягу перешли ж. д. Балтимора—Огайо и некие другие, обладающие длинными туннелями: Great Northern на участке Cascade-туннеля, Нью Йорк-Центральная и Пенсильванская в Нью Йорке. Основными причинами перехода на электрич. тягу на этих линиях являлось стремление освободиться от сажи и дыма в туннелях. Ряд головных участков жел. дор. был электрифицирован в связи с необходимостью устранить дым, отравлявший городские районы, прилегающие к крупным жел.-дор. станциям, а также в виду невозможности обеспечить необходимое при паровой тяге дальнейшее развитие станций. Однако электрификации собственно магистральных дорог пришлось ждать еще долго. Преимущество электротяги, очень медленно приобретавшее признание, состоят в следующем: 1) подача энергии непосредственно на поезд от внешнего источника (на жел. дор. с электросетью она не ограничена); 2) возможность использования дешевых источников энергии; 3) большая скорость движения в соединении с более высокой пропускной способностью дороги; 4) делимость поездов, возможность повысить частоту движения поездов; 5) ограничение мертвого веса поездов; 6) бездымность и чистота; 7) технические преимущества при эксплуатации, простота в устройстве станций и в составлении поездов, короткие остановки на станциях, отсутствие нужды в водоснабжении и угльных складах. Т. к. по мощности электрической тяга превосходит паровую, в первую очередь были электрифицированы горные линии. Так возникли Э. ж. д. в Италии, Швейцарии, США, Германии и других странах, особенно там, где имелись дешевые источники энергии (горные реки или дешевые сорта угля).

**Системы тока.** Установив, что введение электротяги достаточно обосновано, приступают к выбору такой технической системы, к-рая обеспечила бы требующуюся пропускную способность, экономичность и наивысшую безопасность при эксплуатации. Система Э. ж. д. определяется родом тока, системой питания, оборудованием подвижного состава, составом поездов и подачей электроэнергии к участку. Самым важным критерием системы является род тока.

а) **Снабжение током.** Первоначально предполагалось, что каждая Э. ж. д. для снабжения энергией нуждается в собственной электростанции и. Теперь Э. ж. д. присоединяют к районным сетям. Основной причиной этого являются

лучшая обеспеченность снабжения энергией, сравнительная дешевизна последней (энергия, потребляемая ж. д., составляет максимум 15% общего ее потребления района) и наконец более высокий коэф. использования центральных электрич. станций и электросети. Единичные исключения из этого, как напр. силовые установки в Швейцарии, составляющие собственность ж. д., отнюдь не доказывают их хозяйственной целесообразности. В настоящее время снабжение энергией тяговых подстанций производится везде трехфазным током, имеющим напряжение в 50—220 kV и частоту 25—60 Hz. Тяговая подстанция этот ток преобразует в такой, какой принят на железных дорогах.

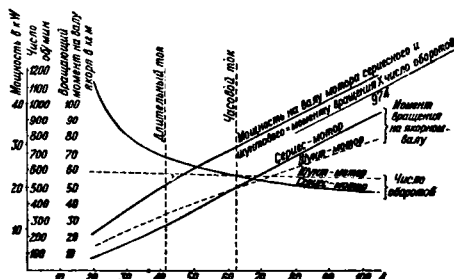
б) **Железнодорожные моторы.** На всех дорогах, работающих постоянным током, наибольшее применение нашел мотор с последовательным возбуждением (сервис-двигатель). Способ его работы выражается следующими ур-нями

$$M = \text{const} \cdot i \cdot \Phi,$$

$$e = E + iR,$$

$$E = \text{const} \cdot \Phi \cdot n,$$

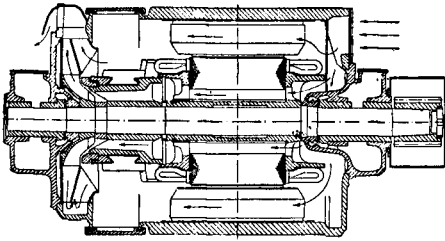
где  $M$ —момент вращения,  $e$ —напряжение у жазимов,  $E$ —обратная эдс электромотора,  $i$ —сила тока в якоре,  $R$ —сопротивление мотора,



Фиг. 2.

$\Phi$  — магнитный поток и  $n$  — число оборотов. Из этого вытекают ценные для тяги свойства сервис-двигателя, а именно: независимость момента вращения  $M$  от подведенного к мотору напряжения  $e$  (громоздкое падение напряжения в проводах не влияет следовательно на тяговое усилие мотора); обратная пропорциональность между тяговым усилием и скоростью (т. е. при разгоне и на подъемах мотор дает большое тяговое усилие, не перегружая чрезмерно коллектора); незначительность размеров мотора и надежность его в работе в виду малого числа витков обмотки возбуждения, наконец приближительная равномерность распределения нагрузки на моторы вагона. Характеристика ж.-д. мотора постоянного тока как с последовательным, так и с шунтовым возбуждением показана на фиг. 2. Регулировка скорости движения производится всегда посредством последовательно-параллельного включения моторов или моторных групп. На больших скоростях к этим ступеням регулировки присоединяют еще несколько ступеней ослабления (шунтирования) магнитного поля. Последнее стало применяться со времени появления в 1906 году добавочных полюсов. Раньше по амер. образцу моторы делались разъемными по середине для того, чтобы был доступ к внутренним частям; теперь двигатели, предназначенные для дорог постоянного тока, делают цельнокорпусными. Такие двигатели дешевле и для

воды непроницаемы. Якоря при этом вынимаются только после снятия моторов. В настоящее время моторы строятся всегда с вентиляцией или

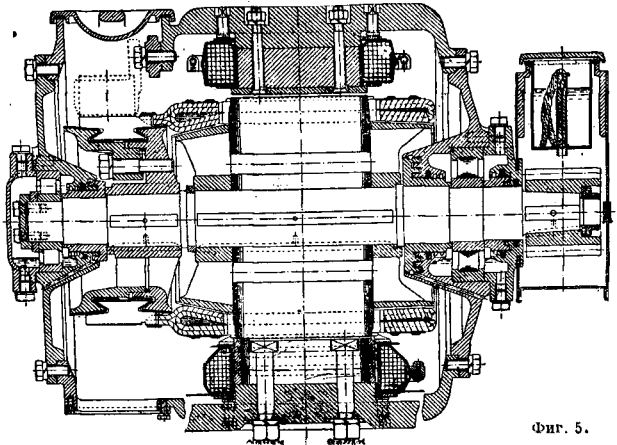


Фиг. 3.

собственной (самовентилирующийся тип) или от особых вентиляторов (независимая вентиляция). Их мощность повышается от этого на 25—40%. На фиг. 3 показан разрез вентилируемого мотора (с собственной вентиляцией), на фиг. 4 и 5—разрез современного ж. д. мотора постоянного тока 3-д. Сешерон. Передача от оси мотора к ведущей оси производится или системой зубчатых колес (передачи 1 : 3 ÷ 1 : 5) или же для больших скоростей путем непосредственной посадки якоря двигателя на ведущую ось. Первоначальное напряжение мотора везде составляло 500 В, но когда появились дороги с переменным током высокого напряжения в рабочем проводе, напряжение мотора стало постепенно повышаться до 800, 1 000, 1 200 и 2 000 В. При непрерывном последовательном включении двух моторов это давало в рабочем проводе максимальное напряжение в 1 500—4 000 В. Главные из современных ж. д. моторов постоянного тока работают при напряжении

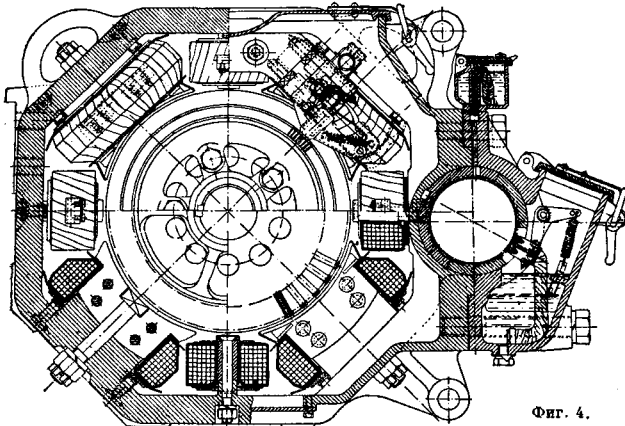
еще более высокое напряжение—4 000 В. Система трех проводов, при которой напряжение между наружными проводами достигает при постоянном последовательном включении двух моторов 5 000—8 000 В, совершенно не привилась.

Шунтовые моторы постоянного тока имеют напряжение приблизительно постоянное и следовательно работают с приблизительно постоянным числом оборотов; но при больших тяговых усилиях поглощаемая ими сила тока несоизмеримо велика, коммутация вследствие сильной реакции якорей несмотря на добавочные полюсы хуже, а конструкция в виду большого объема катушек возбуждения труднее. В виду более легкого переключения на обратный ход они себя оправдывают только на горных железных дорогах, а на равнинных Э. ж. д. применения совсем не находят. Компаундный мотор д. б. поставлен между моторами с последовательным возбуждением и шунтовым; смотря по возбуждению магнитного поля он стоит ближе то к одному



Фиг. 5.

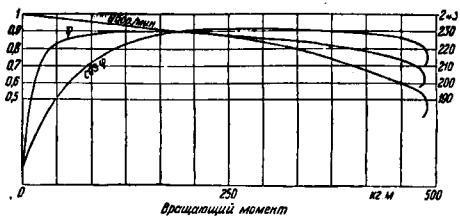
то к другому типу. В последнее время на городских ж. д. пытались при помощи компаундных и шунтовых моторов разрешить задачу электрич. торможения и рекуперации (Бакерисс, Париж), но даже и в этом отношении оба упомянутых типа моторов распространения не нашли. Когда еще не умели строить моторы постоянного тока для высокого напряжения, все внимание направлялось на эксплуатацию переменного тока, при к-ром и провода обходились дешевле и проводка была легче. Первые опыты производились с трехфазными моторами. По характеристике (фиг. 6) мотор трехфазного тока похож на шунтовой постоянного тока, т. е. работает с приблизительно постоянным числом об/м.  $n = \frac{60 \cdot \nu}{P}$  или  $n = k \cdot \nu$ , где  $k = \frac{60}{P} = \text{const}$ , т. е. число оборотов мотора пропорционально частоте то в сети. Поэтому мотор на подемах поглощает от силовой станции большой ток. На уклонах же,



Фиг. 4.

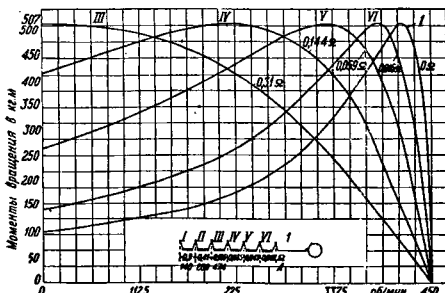
рабочего провода в 1 500 В (Франция) до 3 000 В (США). На одной местной ж. д. в Италии принято

наоборот, когда число оборотов начинает превышать синхронное, он автоматически начинает отдавать энергию обратно в сеть, чем итальянские дороги давно уже стали пользоваться. Эта обратная работа, при которой ротор и статор меняются ролями, служит на уклоне одновременно и для регулирования скорости. Т. к. поле и ток зависят от напряжения рабочего провода, то момент враща-



Фиг. 6.

щения мотора трехфазного тока пропорционален квадрату напряжения. Напряжение же меняется незначительно, так как расчет проводов контактной сети производится в предположении небольшой величины падения напряжения. Регулирование числа оборотов моторов трехфазного тока можно производить след. обр. 1) изменением сопротивления включенного в цепь ротора (фиг. 7); однако этот способ, вызывающий значительные потери энергии, применяется только при разбеге, когда необходимо получить максимальное значение момента вращения; 2) изменением числа полюсов (в обратном отношении к числу оборотов); 3) путем каскадного включения моторов; 4) посредством регулировки подводимого напряжения при моторах с короткозамкнутым якорем. Трехфазный мотор превосходит все другие ж.-д. двигатели простотой и надежностью конструкции и дешевой. В целях улучшения сцеп с межжелезнодорожное пространство делают в этих машинах насколько возможно малым (ок. 3 мм). Недостатком дорог, работающих на трехфазном токе, является двухполюсная контактная сеть (третья фаза — рельсы). В виду трудности скрещивания проводов на воздушных тrestках напряжение рабочих проводов обычно берется порядка 3 500 В. Именно этот тип двигателя был применен на опытной

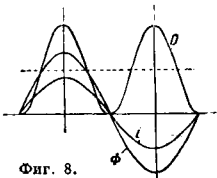


Фиг. 7.

ж. д. Мариенфельд — Цоссен близ Берлина в 1903 году, где скорость движения поездов достигла 210 км/ч.

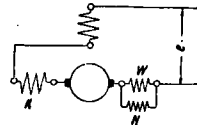
В 1903 году Лааме впервые сконструировал мотор однофазного тока, нашедший себе широкое применение на Э. ж. д. Этот двигатель имеет

сходство с серий-мотором постоянного тока, т. к. обмотки статора и ротора у него включены последовательно. Поэтому у-рия, характеризующие работу мотора постоянного тока с последовательной обмоткой, действительны также и для этого двигателя. Как показывает фиг. 8, момент вращения  $D$  является всегда величиной положительной. Т. к. в однофазных двигателях действующей является только средняя величина тока и магнитного потока, то однофазный мотор получается конструктивно тяжелее мотора постоянного тока. При обычной частоте дорог переменного тока максимальная и нулевая величины момента вращения так быстро друг друга сменяют, что получается некая равномерно действующая средняя сила тяги. В результате опытов, произведенных над различными способами включения мотора, а также на основании опыта, приобретенного при эксплуатации ж. д., чистая форма последовательных двигателей признана наилучшей.



Фиг. 8.

Однофазный мотор с последовательной обмоткой по своим свойствам похож на мотор постоянного тока. Но от последнего он в некоторых отношениях существенно отличается. Так например, обмотки магнита и якоря обладают значительным коэффициентом самоиндукции. Магнитное поле реакции якоря парализуется компенсационной обмоткой  $K$  (фиг. 9, где  $e$  — напряжение на зажимах 350—450 В), если же последней не имеется, то и напряжение между смежными коммутаторными пластинами коллектора берется  $> 2,5$  В. Магнитное же поле возбуждения мотора д. б. сохранено, причем его индуктивность понижается тем, что обмотка ротора получает малое число витков сравнительно с обмоткой статора. Т. к. в железе полюсов под влиянием переменного магнитного поля образуются большие потери от токов Фуко и гистерезиса, полюса обычно собираются из отдельных листов подобно сердечнику якоря. Сверх того в коммутаторных витках якоря кроме индуктивного падения напряжения,  $k$ -рое (как и у мотора постоянного тока) парализуется полем добавочных полюсов, возникает еще одна эдс, т. наз. трансформаторная эдс (подобно трансформатору). Эта эдс сменяется в фазе в направлении индуктивного падения напряжения на  $90^\circ$ . У мотора, который не работает или только начинает работать, устранить ее нельзя, но, беря для каждой секции обмотки якоря малое число витков, а в сети низкую частоту тока, можно ее сильно ослабить. Создаваемый этой эдс ток д. б. по возможности слабым; этого достигают обычно путем включения сопротивлений между якорем и коллектором. У работающего мотора вредное действие трансформаторной эдс уничтожается тем (предложено Оэрликоном), что короткозамкнутую катушку заставляют вращаться в поперечном магнитном поле, напряженность и фаза которого м. б. установлены при помощи катушки  $W$  с параллельным сопротивлением  $N$ . Существуют и другие способы включения, служащие той же цели, но предложение, данное Оэрликоном (фиг. 9), оказалось наилучшим. Современные ж.-д. мо-



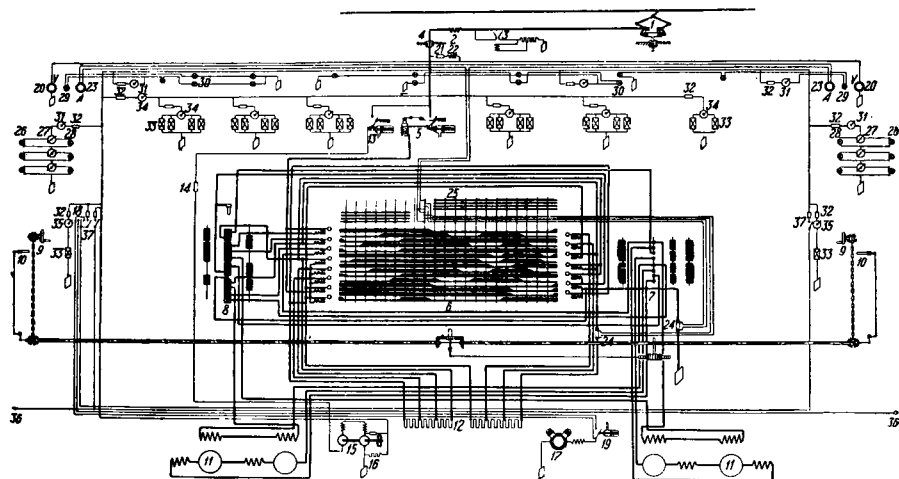
Фиг. 9.

ж. д. Мариенфельд — Цоссен близ Берлина в 1903 году, где скорость движения поездов достигла 210 км/ч.

торы однофазного тока в работе вполне надежны. У зажимов мотора напряжение составляет 350 В, так что напряжение рабочего провода в 10—15 кВ, имеющееся на пантографе электровоза, д.б. снижено посредством трансформатора. Частота в большинстве случаев составляет  $16\frac{2}{3}$  Hz, т. е. 50 : 3, а напряжение у компенсационной обмотки 3,5—5 В. Этот мотор примерно на 25% тяжелее и дороже мотора постоянного тока. Однофазные моторы регулируются изменением подводимого к ним напряжения, что достигается с помощью вышеупомянутого трансформатора. Благодаря наличию последнего имеется возможность регулировать скорость движения поезда с большой точностью. Однако во избежание чрезмерного усложнения схемы обычно ограничиваются лишь небольшим количеством ступеней включения. Преимуществом однофазной системы это конечно не является.

в) Управление моторами отдельных вагонов производится след. образом: концы обмоток якорей и возбуждения, а также кабели,

с вентилятором для охлаждения пусковых и тормозных сопротивлений (12), 16 — сопротивление мотор-генератора, 17 — мотор-компрессор, 18 — переключатель для мотор-компрессора, 19 — регулятор давления для мотор-компрессора, 20 — вольтметр, 21 — предохранители для вольтметра, 22 — добавочное сопротивление для вольтметров, 23 — амперметр, 24 — шунт для амперметров, 25 — приспособление для переключения к шунтам для рабочего и тормозного тока, 26 — сигнальный фонарь, 27 — переключатель для сигнального фонаря, 28 — лампочка в качестве сопротивления, 29 — лампочка над прибором, 0 — внутренняя лампочка, 31 — выключатель освещения, 32 — предохранитель, 33 — электрич. печи, 34 — выключатель электрич. печей, 35 — то же для кабины машиниста, 36 — соединение цепей освещения и отопления, 37 — однополюсные выключатели. В случае наличия в поезде нескольких электровозов или при тяжелых локомотивах применяется прямое т. н. контакторное управление (Multiple Unit System). При

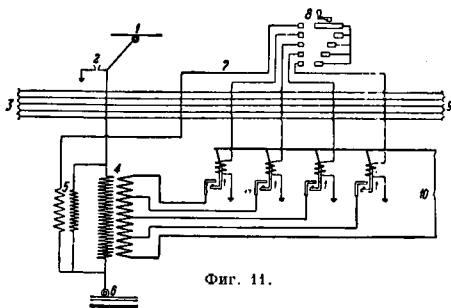


Фиг. 10.

идущие к сопротивлениям или трансформатору и т. д., подводят к помещающимся в кабине машиниста выключателям (контроллер машиниста), где соответствующим образом (напр. посредством валика) соединяют друг с другом и с отдельными ступенями реостата. Фиг. 10 изображает непосредственное управление электровозными моторами постоянного тока высокого напряжения для обыкновенного последовательно-параллельного включения обоих моторов: 1 — пантограф, 2 — дроссельная катушка, 3 — роговой разрядник — аппарат для защиты от молнии с магнитным искрогашением и добавочным сопротивлением, 4 — вводный изолятор для проводов высокого напряжения, 5 — главный автоматич. выключатель с пневматич. действием, 6 — главный контроллер для езды и торможения, 7 — реверсор, 8 — отключатель группы моторов, 9 — привод для главного контроллера, 10 — привод для реверсора, 11 — ж.-д. мотор, 12 — сопротивление для пуска и торможения, 13 — выключатель высокого напряжения с пневматическим приводом, 14 — предохранитель высокого напряжения, 15 — мотор-генератор (слева — мотор)

этом способе концы отдельных проводов соединяются не в кабине посредством контроллера, а на электровозе при помощи отдельных контакторов. Последние работают или сжатым воздухом или от электромагнитов. Вспомогательные провода управления проходят через весь поезд и включают или выключаются любым контроллером одного из электровозов, т. е. все параллельно выключенные контакторы вступают в действие во всех вагонах одновременно (фиг. 11 — схема управления электропоездом, где 1 — подвод тока, 2 — предохранитель от молнии — разрядник, 3 — соединение вспомогательных проводов, 4 — главный трансформатор, 5 — вспомогательный трансформатор, 6 — рельс, 7 — подвод вспомогательного тока, 8 — контроллер машиниста, 9 — то же, что 3, 10 — подвод к двигателю). При этом способе по сравнению с непосредственной системой управление тяжелыми локомотивами легче, и кроме того он позволяет вводить в состав поезда электровозы и электровагоны в любом количестве. Конструкции систем управления равнообразны. Фиг. 12 (M — электромagnet, B — рычаг контактора, K — губка

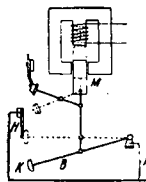
контактора,  $H$  — пружинящий контакт,  $Mst$  — силовой ток) показывает индивидуальный электромагнитный контактор, число которых в электровагоме м. б. значительно. Такие контакторы обычно располагаются или в один ряд а нижней части рамы электровагона или же правильными рядами, параллельными и расположенными друг над другом внутри локомотива. Главный (мастер)



Фиг. 11.

контроллер устроен здесь так же, как у трамвая, но он меньшего размера, так как переключает лишь слабые токи возбуждения электромагнитов. Индивидуальные контакторы приводятся в действие иногда сжатым воздухом, к-рым управляют посредством электромагнитов. Благодаря этому они становятся легче, а нажим контакта увеличивается.

г) Составление поездов на Э. ж. д. На самостоятельных электрифицированных участках местного пассажирского сообщения наиболее целесообразно и экономически выгодно применять тягу моторными вагонами, к которым присоединяются один или несколько прицепных: число таких секций, отправляемых в единицу времени (час), м. б. приоровлено к условиям текущего момента. Благодаря этому мертвый груз поездов сводится к минимуму. При высоких скоростях сообщения эти поезда составляют только из моторных вагонов. Товарные поезда пускаются обычно всегда с электровагонами, товарные же электровагоны применяются в ограниченном количестве. Эксплуатация на междугородных и городских ж. д. скорого сообщения должна всегда производиться составами из моторных вагонов. Состав поездов на дорогах влияет на выбор системы тока: например однофазный мотор является менее пригодным для моторных вагонов, чем мотор постоянного тока, т. к. он тяжел и его электрооборудование громоздко (в каждом мотор-вагоне должен находиться трансформатор). Поэтому моторные вагоны переменного тока применяются только на дорогах,

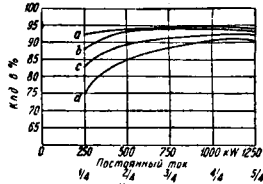


Фиг. 12.

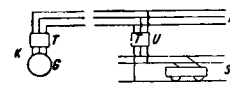
электрифицированных на однофазном токе по другим причинам.

д) Снабжение электроэнергией. Для снижения происходящих при передаче потерь электроэнергии, а также для экономии меди желательно применять ток небольшой силы, но высокого напряжения. Сечение проводов при заданной мощности передачи обратно пропорционально квадрату напряжения, а дальность передачи растет прямо пропорционально квадрату напряжения. Поэтому на железных дорогах постоянного тока, вынужденных довольствоваться

сравнительно низким напряжением в рабочей сети, пользуются для передачи энергии от ЦЭС к тяговым подстанциям. (на дальнее расстояние) трехфазным током высокого напряжения. Тяговая подстанция может преобразовать ток или вращающимися машинами (мотор-генераторами, одноякорными преобразователями) или ртутными выпрямителями. Фиг. 13 показывает соотношение кпд этих преобразователей ( $a$  — выпрямитель и преобразователь,  $b$  — одноякорный преобразователь с трансформатором,  $c$  — каскадный преобразователь,  $d$  — мотор-генератор). Помимо высокого кпд преимуществом выпрямителя является также дешевизна установки, меньший объем (1:2) и легкость в обслуживании. Поэтому он постепенно вытесняет вращающиеся преобразователи. Можно ожидать, что посредством выпрямителей будут одновременно трансформировать не только ток переменный в постоянный, но и переменный высокой частоты в такой же низкой частоты, а также постоянный ток низкого напряжения в такой же высокого напряжения и обрат-

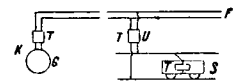


Фиг. 13.

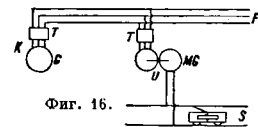


Фиг. 14.

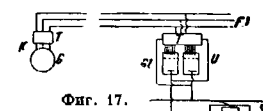
но (см. Тиратрон, Выпрямитель, Ионный преобразователь, Вентилярный двигатель). Низкое напряжение удешевляет подвижной состав, но зато увеличивает стоимость подстанций и контактной сети. Из опыта известно, что повышение напряжения рабочего провода с 1500 на 3000 V уменьшает общие расходы на 10—20%. Но так как в большинстве случаев первичный ток (ток линии передачи) по своей частоте и напряжению не может быть непосредственно использован в рабочем проваде, то и тогда, когда дороги работают на трех- и однофазном токе, все же необходимо преобразование первичного тока на тяговых подстанциях. На фиг. 14 показано, как на подстанциях трансформаторы перерабатывают трехфазный ток высокого напряжения в трехфазный ток 3000 V напряжения рабочего провада (Вальтеллисская жел. дор. в Италии); на фиг. 15 однофазный ток высокого напряжения трансформируется так, чтобы получился напряжение рабочего провада в 15 kV; наконец на фиг. 16 трехфазный ток стандартной частоты преобразуется посредством вращающегося преобразователя в однофазный ток низкой частоты. Последнее становится необходимым также и тогда, когда трехфазные дороги низкой частоты включаются в общую электрическую сеть. На фиг. 14, 15,



Фиг. 15.



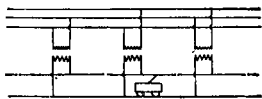
Фиг. 16.



Фиг. 17.

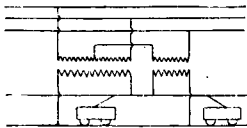
завождение первичного тока на тяговых подстанциях. На фиг. 14 показано, как на подстанциях трансформаторы перерабатывают трехфазный ток высокого напряжения в трехфазный ток 3000 V напряжения рабочего провада (Вальтеллисская жел. дор. в Италии); на фиг. 15 однофазный ток высокого напряжения трансформируется так, чтобы получился напряжение рабочего провада в 15 kV; наконец на фиг. 16 трехфазный ток стандартной частоты преобразуется посредством вращающегося преобразователя в однофазный ток низкой частоты. Последнее становится необходимым также и тогда, когда трехфазные дороги низкой частоты включаются в общую электрическую сеть. На фиг. 14, 15,

16:  $K$  — силовая станция,  $U$  — подстанция,  $T$  — трансформатор,  $G$  — генератор,  $MG$  — мотор-генератор,  $F$  — линия передачи электрической энергии,  $S$  — участок пути. В настоящее время при включении однофазных ж. д. ( $16\frac{2}{3}$  Hz) в общую сеть (трехфазный ток 50 Hz) можно преобразовать частоты заменять



Фиг. 18.

управляемым ртутным выпрямителем  $GI$  (фиг. 17). Когда частоты первичного трехфазного и однофазного тока равны (в США это бывает при 25 Hz), нужно применять схему, представленную на фиг. 18 и 19, т. е. распределять однофазную железнодорожную сеть по возможности равномерно между тремя фазами первичного тока и одновременно трансформировать соответствующим образом напряжение. Для полноты упомянем еще о предложенной (в Штутгарте) системе двойной частоты, служащей для включения одно-



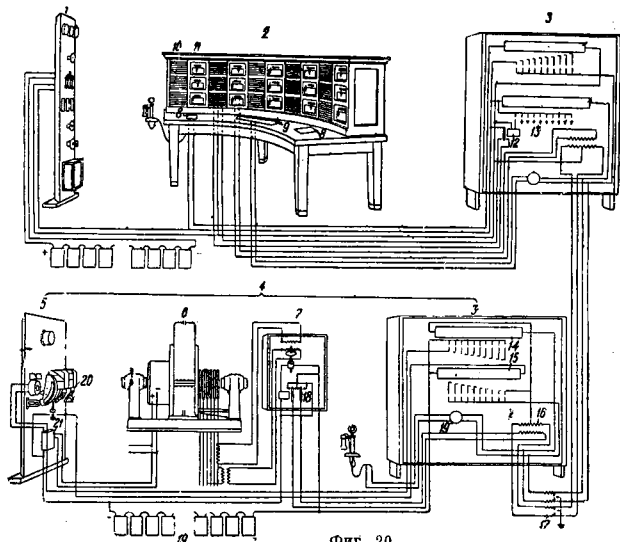
Фиг. 19.

фазных дорог в трехфазную сеть. Пока она нигде еще не применялась. Разнообразие систем передачи очень велико.

Как системы двигателей в электровозах, так и системы ж. д. различаются по току постоян-

ному трехфазному и однофазному. Во всех трех случаях первичные провода получают трехфазный ток от общей сети. Но наряду с этим нашли распространение и смешанные системы, а именно: с однофазным переменным током в рабочем проводе и постоянным, или трехфазным, током в электровозе. Статистика относит обычно эти так называемые комбинированные системы к однофазным дорогам, но очевидно, что если моторы не однофазны, то это неправильно. Важнейшими представительницами этой системы являются государственные ж. д. Венгрии (Кандо) и Виргинские железные дороги в США. Современные подстанции строятся обычно автоматическими. Фиг. 20 показывает устройство такой никем не обслуживаемой подстанции: 1 — распределительный щит (контрольный), 2 — распределительный пульт, 3 — ячея распределительного пульта, 4 — подстанция, 5 — главный распределительный щит, 6 — одноякорный преобразователь, 7 — указатель нагрузки, 8 — группа ключей (клавишей), 9 — телефонные присоединения, 10 — лампы, 11 — инструменты, 12 — катушка, 13 — ламповое реле, 14 — реле передачи, 15 — реле приема, 16 — выравнивающий трансформатор, 17 — громоотвод, 18 — реле управления, 19 — батареи, 20 — главный выключатель, 21 — подобное реле. По мере возрастания в рабочем проводе напряжения увеличивают и расстояние между подстанциями; но расстояния берутся как правило одинаковыми как для ж. д. переменного тока, так и для линий постоянного тока, т. е.

с расстоянием увеличиваются и шансы на неисправность телеграфа. На магистральных линиях принимают между подстанциями расстояние 25—30 км. Расчет ж.-д. проводов обычно ведут, исходя из допущения определенной величины падения напряжения. Если оказывается, что падение больше, чем это допустимо (10%), то поперечное сечение провода увеличивают. Если же сечение рабочего провода оказывается на основании электрического расчета малым и его приходится выбирать лишь на основании требований механической прочности, то это значит, что подстанции расположены чаще, чем это необходимо. Расчеты по ф-ле Томсона имеют только теоретическое значение, т. к. уравнение содержит слишком много переменных, часть которых математически неопределима. При системе переменного тока большой процент экономии в меди, достигаемый благодаря высокому напряжению, теряется, с одной стороны, вследствие само- и взаимоиндукции контактных проводов, фидеров и рельсовых ниток, а также и вследствие скин-эффекта. Ордината на фиг. 21 показывает потерю напряжения, происходящую на 1 км проводки при однофазном токе (проводка состоит из воздушных проводов и рельсового пути). На фиг. 21: 1 — потеря напряжения на 1 км на однопутной линии постоянного тока, 2 — то же для переменного тока на двухпутных участках при  $16\frac{2}{3}$  Hz, 4 — двухпутные линии при 50 Hz, 3 — одноколейные участки при  $16\frac{2}{3}$  Hz и 5 — при 50 Hz. Т. е. расстояние между воздушными проводами и рельсами бывает большим, то индуктивное па-



Фиг. 20.

дение напряжения как при равное, так и на подъемах и длинных участках пути может выражаться в очень крупных цифрах.

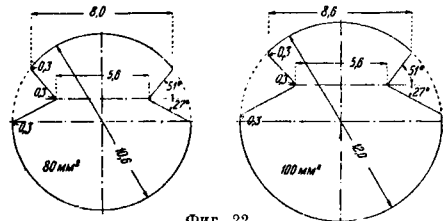
е) Сравнение систем. При постоянном токе потребное количество меди для контактной сети изменяется обратно пропорционально квадрату напряжения, при переменном же токе низкой частоты падение напряжения увеличивается по сравнению с системой постоянного тока за счет индуктивности линии и скин-эффекта. Полный коэффициент мощности  $\cos \phi$  однофаз-

ной дороги составляет только 0,4—0,6, часто даже только 0,3. Тяговые подстанции необходимы при всех системах. На них устанавливаются или вращающиеся преобразователи или ртутные выпрямители. На дорогах с переменным током расстояния между подстанциями вследствие более сильного индуктивного влияния, сказывающегося на увеличении падения напряжения, делаются меньше, чем это требовалось бы более высоким напряжением рабочего провода. На дорогах переменного тока, особенно если эти дороги имеют вращающиеся преобразователи, расходы на постоянные устройства вследствие необходимости защиты проводов слабого тока будут больше, чем на дорогах с постоянным током. Однофазные моторы тяжелее и дороже, чем моторы постоянного тока. К этому прибавляются тяжелые и дорогие стоящие трансформаторы, особенно при 16 $\frac{2}{3}$  Нз. Это оказывает особенно сильное влияние при густом движении, при большом числе поездов на линии. Существующая у всех трех систем возможность регулирования скорости движения удовлетворяет всем условиям эксплуатации. Рекуперация при трехфазном токе наиболее проста и выгодна; затем следует постоянный и только на третьем месте находится однофазный ток, при котором осуществление рекуперации представляет большие трудности при низком кпд этого режима. Комбинированные системы (однофазно-постоянные или однофазно-трехфазные) соединяют простую однополюсную сеть и высокое напряжение рабочего провода с надежной конструкцией моторных вагонов.

ж) Распределение систем токов по странам. Решением выбрать ту или иную жел.-дор. систему в разных странах руководили первоначально случайные точки зрения. Только новейшим электрификациям, как напр. во Франции, Испании, Бразилии и т. д., предшествовала исчерпывающая проработка вопроса для выбора определенной системы. В настоящее время распределение систем токов для Э. ж. д. по странам таково: постоянный ток — Франция (исключительно), Англия (почти исключительно), Канада (почти исключительно), Испания (почти исключительно), Италия (приблизительно с 20% приращения), Чехо-Словакия (почти исключительно), США (с 67%), Южная Америка (исключительно) (Коста-Рика имеет однофазный ток), Африка (исключительно), Индия (исключительно), Япония (исключительно), Китай (исключительно), Нидерландская Индия (исключительно); трехфазный ток — Италия (приблизительно 80%); однофазный ток — Швейцария (92%), Швеция, Норвегия (почти исключительно), Германия, Австрия (приблизительно 80%), США (25%); комбинированные системы: однофазно-постоянный ток, однофазно-трехфазный ток — США (8%), Венгрия (почти исключительно).

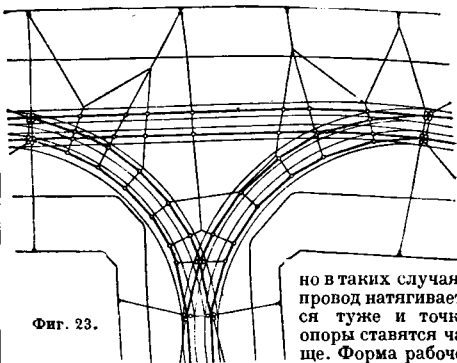
**Контактная сеть.** Систему подвески проводов вдоль линии мы можем рассмотреть самостоятельно, так как на нее, вообще говоря, род тока не влияет. В основном контактная сеть бывает двух типов: а) воздушный провод и б) третий рельс. Подъемные проводки целевой системы или типа контакторных в виду дороговизны и

частых аварий теперь не применяются. Подвеска воздушного провода делается простой (трамвайный тип) или же на несущих тросах (цепная подвеска). а) Воздушная сеть с простой трамвайной подвеской контактного провода употребляется только там, где скорость хода поездов незначительна,



Фиг. 22.

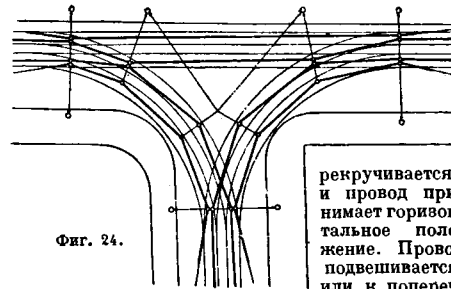
т. е. преимущественно на трамваях, т. к. при ней не удается подвесить провод вполне горизонтально. Тем не менее с простой подвеской построены даже и некоторые магистральные линии, на которых скорость движения достигает 60—70 км/ч (напр. Вальтеллинская жел. дор. в Сев. Италии),



Фиг. 23.

но в таких случаях провод натягивается туго и точки опоры ставятся чаще. Форма рабочего провода показана на фиг. 22 (для сечения 80 и 100 мм<sup>2</sup>); зажимы входят в сделанные на нем выемки. Форма восьмерки оказалась непригодной, т. к. между двумя точками, в которых подвешен провод, последний пе-

на на фиг. 22 (для сечения 80 и 100 мм<sup>2</sup>); зажимы входят в сделанные на нем выемки. Форма восьмерки оказалась непригодной, т. к. между двумя точками, в которых подвешен провод, последний пе-



Фиг. 24.

рекручивается, и провод принимает горизонтальное положение. Провод подвешивается или к поперечным тросам между мачтами, или на кронштейнах, или же на тросерах, но всегда так, чтобы в вертикальном направлении он имел эластичность. Топоприемник тоже должен пружинить, чтобы контакт с проводом не нарушался и при движении не

рекручивается, и провод принимает горизонтальное положение. Провод подвешивается или к поперечным тросам между мачтами, или на кронштейнах, или же на тросерах, но всегда так, чтобы в вертикальном направлении он имел эластичность. Топоприемник тоже должен пружинить, чтобы контакт с проводом не нарушался и при движении не

появлялось искр. На фиг. 23 и 24 показан тип подвески для различных конструкций токоприемника. Фиг. 23 дает конструкции для роликового токоприемника и фиг. 24 — для бугеля (дуга). При дуговом токоприемнике идет меньше материала, и кроме того система имеет лучший вид. Для того чтобы во время движения дуга по ширине (ок. 1,2 м) ровнее снашивалась, контактный провод подвешивается зигагообразно. На поворотах контактный провод оттягивается в сторону в форме мн-ка. На поворотах, а также на стрелках с особенной ясностью выявляется, что при пользовании дугой форма сети получается проще, чем при роликах. Кроме того дуга имеет еще то преимущество, что она меньше портит контактный провод и с него не соскальзывает. Стрела провеса провода  $f$  в м определяется по ф-ле

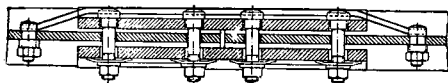
$$f = \frac{a^2 \cdot G}{8P},$$

где  $a$  — расстояние между опорами в м;  $P$  — натяжение провода в кг;  $G$  — вес рабочего провода в кг/м. При  $-15^\circ P$  должно все еще давать трехкратное обеспечение сопротивления против разрыва. Расстояние между мачтами составляет 30—40 м. На магистральных ж. д., напр. на Вальтеллинской ж. д. при трамвайной подвеске, натяжение  $P$  взято увеличенным, для того чтобы и при больших скоростях токоприемник скользил по проводу спокойно, не создавая ударов. Для контактного провода и оттяжек следует руководствоваться данными, приведенными в табл. 1.

Табл. 1. — Данные для контактного провода и оттяжек.

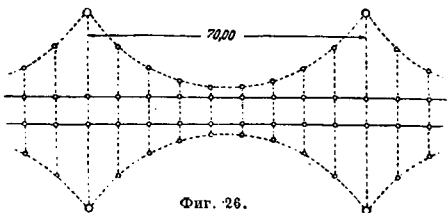
Материал	Сопротивление на разрыв, кг/см <sup>2</sup>	Предел пропорциональности, кг/см <sup>2</sup>	Уд. сопротивление, $\Omega$ мм <sup>2</sup> /м
Провод твердоточной меди . . . .	4 000	1 300	0,0175
Феноэлектрик . . . .	5 700	3 250	0,0333
Стальной трос . . . .	6 500	5 200	0,1500

На фиг. 25 представлен нормальный тип электрического соединения на рельсовых стыках для



Фиг. 25.

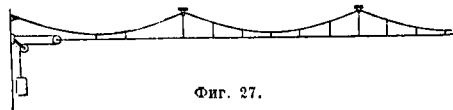
обеспечения обратной цепи тока. Для измерения сопротивления стыков пользуются переносными мостиками. Чтобы уменьшить количество мачт, можно применить систему оттяжек, показанную на фиг. 26.



Фиг. 26.

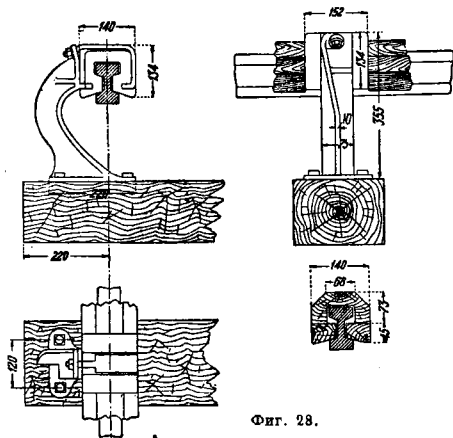
б) Воздушная сеть с цепной подвеской контактного провода. При больших скоростях (80—130 км/ч)

пользуются цепной подвеской контактного провода; расположение несущего троса и провода для этого случая изображено на фиг. 27. Цепная подвеска обеспечивает спокойное скольжение по проводу токоприемника и в случае разрыва провода обеспечивает большую безопасность. Чтобы компенсировать прогиб контактного провода, образующийся от колебаний  $t^\circ$  воздуха,



Фиг. 27.

устанавливают компенсаторы из грузов, подвешиваемых в расстоянии 1—1,4 км друг от друга (фиг. 27). Опыт показывает, что устройство компенсации натяжения одновременно на контактный провод и несущем тросе является из-



Фиг. 28.

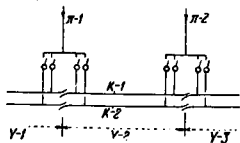
лишим. Расстояние между точками, в которых контактный провод подвешивается к несущему тросу, составляет  $> 12,5$  м. Расстояние между мачтами зависит от натяжения в контактом проводе и в несущем тросе, а также и от отклонений под действием ветра. Оно составляет

$$l = 2 \sqrt{\frac{Z}{W} (W + \sqrt{W^2 - z^2})},$$

где  $l$  — расстояние между мачтами в м,  $Z$  — натяжение вместе взятых контактного провода и несущего троса в кг,  $W$  — давление ветра на 1 л. м цепной подвески в кг/м,  $z$  — половинная величина зигзагов в м и  $w$  — наибольшее ветровое отклонение (0,75 м);  $l$  составляет при обычной величине остальных значений 60—75,0 м. В настоящее время для оттяжки контактного провода употребляется даже при 15 кВ напряжения не двойная, а ordinaria изоляция. Т. н. косая цепная подвеска препятствует отклонениям под действием ветра. Так как ветровая устойчивость косой подвески бывает больше, чем вертикальной, то при первой расстоянии между мачтами допускается на 7% больше, чем при второй, а при полукосой приблизительно на 5%. При очень сильных токах параллельно протягиваются два рабочих провода и с помощью маленького мостика подвешиваются вместе к одному общему несущему тросу.



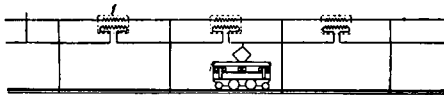
в) Контактный (третий) рельс. На ж. д. со средним напряжением постоянно тока 600—1500 В на собственном полотне применяется третий, так наз. контактный рельс. Фиг. 28 изображает рельс с нижним контактом. При верхнем или боковом контакте работа рельсов страдает от снеговых заносов. При надлежащей изоляции третий рельс допустимо применять и при напряжениях в 3000 В. Впервые контактный



Фиг. 29.

рельс был применен в США на ж. д. «Нью Йорк — Централ». Химический состав материала примененного там контактного рельса следующий: углерод 0,1; марганец 0,4; кремний 0,05; фосфор 0,10; сера 0,08%. Контактная сеть делится обычно на отдельные секции (фиг. 29): П-1, П-2 — место питания; К-1, К-2 — колес; У-1, У-2, У-3 — участки; этим облегчается локализация случающихся на участке аварий. Нормально участковые выключатели бывают всегда включены; это дает наименьшее сопротивление проводов. Выключаются они только в случаях аварий в сети и притом в последовательности, указываемой диспетчером с наблюдательного поста.

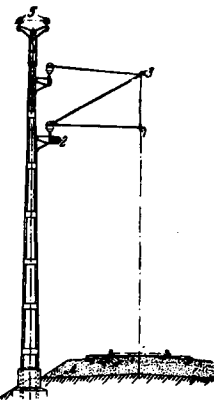
**Нарушения, обусловленные влиянием контактной сети.** а) Влияние на провода связи (слабого тока). Электрический ток, проходящий по контактному проводу и рельсовому пути, создает электрические и магнитные поля. Последние на железных дорогах переменного тока оказывают индуктивное влияние на находящиеся в сфере их действия всякого рода слаботочные провода (телефон, телеграф и пр.). Уже первые из дорог этого типа создавали в почтовых и жел.-дор. телеграфных, телефонных и блокировочных проводах значительные нарушения работы. Возможность с достаточной экономичностью электрифицировать жел.-дор. магистрали однофазным током появилась не раньше,



Фиг. 30.

чем были найдены средства для борьбы с этими нарушениями. Средства эти разнообразны. Для ослабления индуктивного влияния применяются окрашивание поля контактного провода, калибрование слаботочных линий, компенсация поля, напр. с помощью троса, уложенного вдоль контактного провода, причем напряжение в том и в другом одинаковое, но сдвинутое по фазе на 180°. Однако самыми лучшими средствами являются удаление проводов связи на возможно большее расстояние от полотна жел. дор. или укладка их в кабель. Компенсационным влиянием соседних проводников, как например рельсов, индуктированные напряжения м. б. понижены. Опыт показывает, что прокладка проводов связи дальнего расстояния, если они заложены в жел.-дор. насыпь в виде кабеля, имеет громадное значение. Воздушные провода, находящиеся от жел. дор. на расстоянии 100 или более м, желательной гарантии не дают. Мешающие напряжения хорошо компенсируются отсасывающими трансформаторами, применяемыми одновременно с

изолированной обратной проводкой (фиг. 30, 1). Для достижения наилучших результатов обратные провода прокладываются в таком расчете, чтобы индуктивное влияние токов контактного и обратного провода, оказываемого на рельсы, было бы одинаковым; такой случай изображен на фиг. 31, где 1 — контактный провод, 2 — обратный провод, 3 — несущий трос, 4 — телефонный кабель, 5 — провода освещения. Чтобы воспрепятствовать дальнейшему развитию индуктивных токов в рельсовых цепях, сопротивление последних д. б. возможно бóльшим, а поэтому медные соединения стыков недопустимы. На Э. ж. д. Стокгольм—Гетеборг например рабочая проводка состоит из контактного провода с несущим тросом в 80 мм<sup>2</sup> и из обратного провода в 130 мм<sup>2</sup>, причем все сделано из меди. Общее сопротивление сети, включая и отсасывающие трансформаторы, составляет 0,4 Ом/км. При нормальной рабочей силе тока можно индуктивное напряжение снизить до 0,02 В/100



Фиг. 31.

А-км. При 18000 А-км соответствующее получается 3,6 В, что много ниже допустимого предела в 15 В. Трехфазный ток, преобразованный в выпрямителях, состоит из части постоянного тока, к-рая сама по себе нарушения не вызывает, но на него накладываются пульсации (высшие гармоники) выпрямленного тока, оказывающие чрезвычайно вредное влияние. Токи, подаваемые выпрямителями с сеточным управлением, порождают также чрезвычайно сильные высшие гармоники и представляют опасность для проводов связи. Для борьбы с возникающими вследствие этого нарушениями слаботочных линий применяются установки, сглаживающие пульсации, так наз. фильтры с дросселем; стоимость установки последних дешевле, чем мероприятий, требующихся на однофазных дорогах. Применение защитных устройств на самих проводах связи обходится дороже, чем установка фильтров с дросселем, и потому обычно не осуществляется.

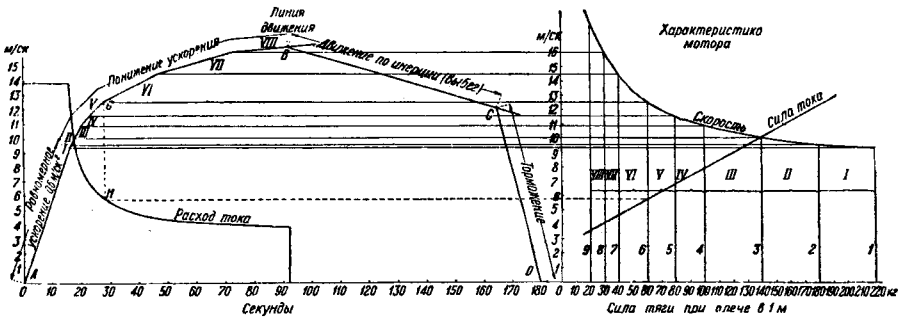
б) Электролитические влияния. Блуждающие токи, ответвляющиеся от рельсов, способные электролитически разъедать проложенные в земле трубопроводы, кабели и т. п. Это происходит в тех случаях, когда трубы или кабели прокладываются слишком близко к ж.-д. полотну, что случается в большинстве случаев в городах, но иногда и на магистральных ж. д. Для борьбы с этим явлением оказываются полезными следующие мероприятия: напряжение между рельсами и почвой по возможности снижается, проводимость же рельсов (рельсовых соединений), а также переходное сопротивление между рельсами и почвой устанавливаются возможно высокими (см. Токи блуждающие).

в) Нарушения в магнитных областях, происходящие под влиянием Э. ж. д., вследствие тонкости производимых здесь измерений начинают замечаться уже на расстояниях 2—5 км от ж. д. Особенно ощутимы бывают они в тех случаях, когда ж. д. огибает

по дуге то место, где производится измерения, когда же она проходит по прямой линии, то упомянутые нарушения бывают слабее. Мерами борьбы против этих нарушений являются изоляция прямой и обратной ж.-д. сети, перемещение жел. дор. или наблюдатели для увеличения расстояния между ними. Мероприятия самой обсерватории должны состоять в устройстве хорошего заземления, в улавливании токов, проходящих в земле, и перенесении их на воздушные провода, пользование при применении нулевых методов инструментами большой чувствительности, астаивировании инструментов, применении для измерений тока гальванометров д'Арсоналя.

**Городские и пригородные Э. ж. д. скорого сообщения** представляют собой особый тип жел. дор. Это — надземно-подземные дороги больших го-

с кривой скорость — время (фиг. 32). Оно определяется по диаграмме (фиг. 33) и зависит следовательно от количества времени, необходимого поезду для прохождения перегона. При этом учитываются длина поезда, ускорение при разгоне, замедление при торможении, длительность остановки и расстановки сигналов. К этому прибавляют около 25% на факультативы. Пока в зависимости от устройств сигнализации удалось пускать не более 35—42 поездов в час. Так как расстояния между остановками очень коротки (ок. 0,40—1,5 км), то поезд не может при соответствующем ускорении 0,5—0,75 м/сек<sup>2</sup> сохранять максимальную достигнутую им скорость. Наоборот, для экономии энергии ему дают перед торможением двигаться нек-рое время по инерции (фиг. 32). Коммерческую скорость можно вычислить по фиг. 33. В Нью Йорке например

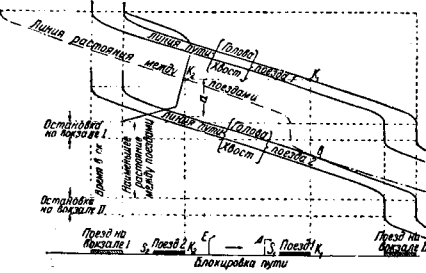


Фиг. 32.

родов и примыкающие к ним пригородные линии. Их можно эксплуатировать исключительно электричеством, так как электрические дороги 1) по сравнению с другими, особенно паровой тягой, обладают наибольшей пропускной способностью; 2) по быстроте передвижения больше соответствуют нуждам большого города; 3) в эксплуата-

она равна 18,50 км/ч, в Берлине — 24,80, в Лондоне — 24,50. Уплотненность расписания движения поездов и скорость передвижения увеличивают район, подпадающий под влияние ж.-д. линии, в одинаковой мере и имеют следовательно большое экономич. значение. При прокладывании новых ж. д., когда уплотняют расписание движения поездов, то пока еще максимального сближения в порядке следования последних не руководствуются. Однако опыт показывает, что это делается необходимым в ближайшем будущем, особенно в тех случаях, когда от главной линии отходит ветки. Сигнализация теперь ведется производством автоматическим, т. к. при частом следовании поездов только в этом случае и можно гарантировать безопасность движения.

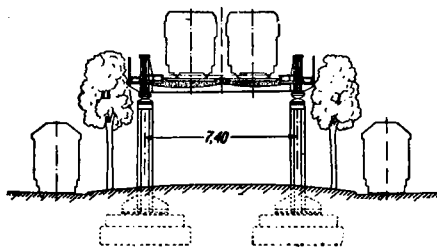
Городские Э. ж. д. скорого сообщения бывают выгодны только в условиях очень большого движения. При этом необходимо всецело избежать дорого стоящей прокладки линии под землей. Стоимость постройки эстакадных линий обходится приблизительно в 5—10 раз дешевле стоимости подземных дорог. Эстакады Э. ж. д. делаются всегда из железа. Наряду с эстакадными Э. ж. д. прекрасно также зарекомендовала себя одноколесная подвесная дорога Бармен—Эберфельд, построенная в 1901 г. Она относится к числу тех немногих городских дорог скорого сообщения, к-рые вследствие дешевизны постройки действительно окупаются. Для того чтобы быть рентабельными, подземные ж. д. требуют громадного движения. На фиг. 34 и 35 показаны эстакады с двумя и с одним рядом опор. Когда жел.-дор. турнелл строится под мостовой, то на широких улицах он прокладывается открытым способом, а в узких—под временным путепро-



Фиг. 33.

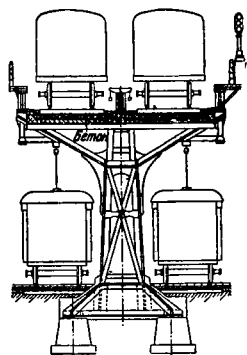
ции чище и не создают большого шума. Провозная способность есть величина, равная произведению емкости одного поезда на количество поездов, проходящих через определенную точку пути в сутки. Если какой-нибудь город нуждается в нескольких линиях, то и постройка и эксплуатация каждой линии должны вестись по возможности самостоятельно; пользование общими участками создает при эксплуатации помехи и понижает провозную способность отдельной линии. Предстоящее в будущем развитие движения должно учитываться уже заранее. Следование поездов устанавливают, сообразуясь

водом. Когда уровень грунтовых вод слишком высок, то бывает необходимо его искусственно понизить. Если грунтовые воды оказываются снизу на туннель давление, то основанию туннеля придается форма опрокинутого свода. Для того



Фиг. 34.

чтобы воспрепятствовать прониканию в туннель воды, кладку делают из сильно обожженных кирпичей или бетона, покрывая ее тройным слоем асфальта. Туннели (см.) бывают или массивные



Фиг. 35.

железобетонные или же каркасные с железобетонной обкладкой. Как двух-, так и четырехколейные участки пути помещаются в одном общем туннеле. Когда имеются четыре колеи, то две из них отводятся под поезд местного сообщения с остановками на всех станциях, а остальные две обслуживают скорое сообщение, при котором поезд останавливается только на каждой 4-й или 5-й станции (Нью Йорк). Постройка ж. д. глубоко под землей производится 1) при помощи щита, продвигаемого вперед силой сжатого воздуха, 2) посредством железного кожуха, разделенного на концентрич. окружности и секторы. Каждая колея прокладывается в отдельном трубообразном туннеле. Постройка подвальных туннелей непосредственно под дном реки обходится дешевле, если она производится открытым способом (Берлин) после осушки русла посредством или отвода воды или устройства шпунтовой перемычки. В настоящее время пассажирские платформы на вокзалах городских дорог скорого сообщения строятся всегда по середине. При таком расположении эксплуатация обходится дешевле, хотя самую постройку линии это несколько и удорожает. Вход на платформы устраивается всегда по сторонам улиц, но не с середины (фиг. 36). Вокзалы глубоких подземных дорог д. б. обязательно снабжены электрич. лифтами и запасными лестницами. Они неудобны для пассажиров, а устройство и эксплуатация их дороги. Экономич. сторона эксплуатации трамваев зависит гл. обр. от интенсивности движения. На магистральных эффект м. б. различный в зависимости от того, переведена ли дорога на электрич. тягу или же

сразу для нее построена. Первые случаи встречаются чаще. Сравнивая стоимость электрич. и паровой тяги на одной из современных магистралей (Стокгольм—Гетеборг), проходящей по равнинной местности, получаем следующие цифры:

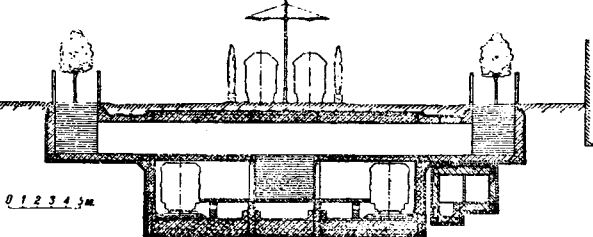
Статьи	Убытки, кроны	Прибыли, кроны
Персонал:		
локомотивные бригады . . .	—	1 440 000
кондукторские бригады . . .	—	140 000
Ремонт и содержание подвижного состава . . . . .	—	460 000
Разные расходы по обслуживанию электровозов . . . . .	—	165 000
Стоимость энергии . . . . .	—	80 000
Содержание и возобновление оборудования для передачи энергии . . . . .	680 000	—
Возобновление подвижного состава . . . . .	60 000	—
% на капитал:		
электровозы . . . . .	150 000	—
стационарные установки . . . . .	1 280 000	—
Итого . . . . .	2 170 000	2 285 000

Экономичность всецело зависит от стоимости стационарных сооружений, тарифа на энергию и от расхода на ремонт и содержание. При современной дороговизне (в Германии) проводов и электровозов добиться прибыльности дороги бывает трудно. Использование же материалов низкого качества создает дополнительные эксплуатационные расходы, которые оказываются больше, чем годовые проценты с сумм, сэкономленных на устройстве. При тарифе на энергию в 1—1½ коп./1 kWh можно рассчитывать на доходность дороги, но более высокая цена делает последнюю сомнительной. Энергия от собственных станций обходится дороже, чем получаемая от общей районной сети. С. Zehme.

Сведения, характеризующие протяжение электрифицированных ж. д. мировой сети по странам, даны в табл. 2 на ст. 1031—1032.

Цифры, приведенные в таблице, дают картину распространения Э. ж. д. на земном шаре по данным за 1934 г. А. Галазов.

Электрификация железных дорог в Союзе ССР. а) История развития электрической тяги в Союзе ССР. Появление электрич. тяги в СССР относится к очень раннему периоду. В 1893 г. в Киеве был построен первый в СССР трамвай, положивший начало эпохе электричества как двигательной силе на нашем транспорте. Однако эта установка оставалась



Фиг. 36.

единственной в СССР до 1900 г., с этого времени и другие города приступили к введению у себя электрической тяги на городском транспорте. Несмотря на то что к периоду империалистич. войны в царской России насчитывалось уже несколько десятков трамвайных установок, применение электрич. тяги на пригородных и магистральных линиях в то время не получило никакого развития. Правда, имелось несколько раз-

Табл. 2. — Протяжение в км электрифицированных ж. д. мировой сети на 1 января 1935 г. (эксплуатационная длина) [1\*].

Наименование страны	Основные системы								Прочие системы	Всего
	Постоянный ток		Однофазный ток					Трехфаз. ток		
	500—1 500 V	2 400—4 000 V	15 000—16 000 V	6 000 V	11 000—16 000 V		3 000—6 600 V	3 600 V		
			15 Hz	16 $\frac{2}{3}$ Hz	16 $\frac{2}{3}$ Hz	25 Hz	25 Hz	16 $\frac{2}{3}$ Hz		
Австралия	420	—	—	—	—	—	—	—	—	420
Австрия	27	—	—	—	—	—	—	—	—	1 039
Англия	1 000	—	—	204 [6]	—	829	91	92	—	1 219
Алжир	—	165	—	—	—	—	—	—	—	165 [2,7]
Аргентина	105	—	—	—	—	—	—	—	—	105
Бельгия	57	—	—	—	—	—	—	—	—	57
Бразилия	74	330	—	—	—	—	—	—	—	404
Венгрия	106	—	—	—	49	—	—	—	121*1	276
Венесуэла	37	—	—	—	—	—	—	—	—	37
Гватемала	44	—	—	—	—	—	—	—	—	44 [6]
Германия	277	—	49	—	1 573	—	34	—	20*2	1 953
Голландия	205	—	—	—	—	—	—	—	—	205
Греция	9	—	—	—	—	—	—	—	—	9 [8]
Дания	38	—	—	—	—	—	—	—	—	88
Египет	15	—	—	—	—	—	—	—	—	15 [8]
Индия (Британская)	840	—	—	—	—	—	—	—	—	340
Индия (Голландская)	120	—	—	—	—	—	—	—	—	120
Испания	521 [3]	63	—	60 [8]	—	—	—	—	21*3	665
Италия	186	949	—	—	19	158	41	1 540	210*4	3 098 [5]
Канада	—	152 [9]	—	—	—	—	7	—	—	159 [8]
Китай	127	—	—	—	—	—	—	—	—	127
Коста-Рика	—	—	—	—	—	—	—	—	148*5	148
Куба	250	—	—	—	—	—	—	—	—	250 [2]
Новая Зеландия	24	—	—	—	—	—	—	—	—	24
Манчжурия	127	—	—	—	—	—	—	—	—	127
Марокко	—	388	—	—	—	—	—	—	—	388
Мексика	24	103	—	—	—	—	—	—	—	127
Норвегия	—	—	568	—	212	—	24	—	—	604
Перу	45	—	—	—	—	—	—	—	—	45 [8]
Польша	221	—	—	—	—	—	—	—	—	221
США	1 054	1 270	—	—	—	1 370	6	—	—	3 700
СССР*4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Франция	2 316	—	—	—	47	—	—	—	—	2 363
Чехо-Словакия	78	—	—	—	—	—	—	—	—	78 [2]
Чили	64	291	—	—	—	—	—	—	—	355
Швейцария	108	—	—	—	2 550	—	—	60	63*7	2 781
Швеция	—	—	551	—	1 185	235	—	—	—	1 971
Эстония	16	—	—	—	—	—	—	—	—	16
Южная Африка	60	354	—	—	—	—	—	—	—	414 [7]
Япония	4 175	—	—	—	—	—	—	—	—	4 175
Всего	12 504	4 460	1 168	264	6 464	1 758	218	1 692	583	29 111
В %	42,9	15,4	4,0	0,9	22,1	6,1	0,8	5,8	2,0	100

\*1 Однофазный, 15 kV, 50 Hz. \*2 Однофазный, 6 kV, 50 Hz. \*3 Трехфазный, 5,5 kV, 25 Hz. \*4 Трехфазный, 10 kV, 45 Hz—173 км и трехфазный, 3,3 kV, 15 Hz—37 км. \*5 Однофазный, 10 kV, 20 Hz. \*6 См. сведения на ст. 1040—41. \*7 Трехфазный, 750 V, 40 Hz.

рабочанных проектов: Южнокамской жел. дор., Минераловодской ветви Северокавказской ж. д., линии Ленинград — Ораниенбаум и нек-рых других. Но ни один из этих проектов не получил осуществления за исключением Ораниенбаумской линии, к строительству которой было приступлено в 1914 г. Однако в связи с начавшейся войной работы на ней были остановлены. Период 1914—20 гг. естественно не мог обесценить никаких сдвигов в вопросе развития у нас электрич. тяги, и, только начиная с момента утверждения плана ГОЭЛРО, вопрос электрификации ж. д. Союза был поставлен как одна из важнейших задач плана социалистического строительства. Тем не менее и после утверждения плана ГОЭЛРО (декрет СНК СССР 1921 г.) потребовалось около пяти лет напряженной восстановительной работы на ж.-д. транспорте прежде, нежели было мыслимо начать работы по электрификации. Это произошло по двум причинам. Главнейшей из них бесспорно явилась необходимость прежде всего и ранее всего все усилия направить на воссоздание разрушенного войной и революцией основного ж.-д. костяка Союза, без которого не могло конечно развиваться его народное хозяйство. Второй причиной несомненно явилось отсутствие в Союзе в этот период сколько-нибудь значительной электр. базы, на к-рую возможно было бы опереть работу электрифицированного транспорта. В 1925 г. по постановлению Правительства вопрос был сдвинут с мертвой точки, и на ряде дорог было приступлено к разработке проектов перехода на электр. тягу (Сев. ж. д., М.-Курская, М.-В.-Б., Октябрьская, Сев.-Западная, Северокавказская). Однако и в этот период вопрос был поставлен лишь в плоскости электрификации пригородного движения. В 1926 г. в СССР была открыта эксплуатация первой электр. железной дороги Баку — Сабунчи — Сурахан протяжением 20 км, связующей г. Баку с нефтепромыслами. Для этой линии был выбран постоянный ток 1 200 В в контактом проводе. Подстанции были оборудованы мотор-генераторами, сохранившимися с 1914 г. и предначинавшимися в свое время для линии Ленинград — Ораниенбаум. В качестве поездной единицы на этой линии была принята 2-вагонная секция весом 66,8 т (38,5 т — моторный вагон и 28,3 т — прицепной). Линия эта имеет собственное полотно, является вполне типичной пригородной дорогой и находится в ведении Бакинского городского совета. Что касается НКПС, то реализация работ по электрификации жел. дор. была начата только в 1926 г. Работы развернулись крайне медленно как в силу отсутствия у нас пока что ни было опыта в этом деле, так и благодаря сильному сопротивлению против дела электрификации со стороны определенных групп тогдашних работников НКПС.

Первым электрифицированным участком жел. дор., сданным в эксплуатацию, был участок Москва — Мытищи Сев. ж. д. протяжением 18 км. Дальнейшие этапы электрификации этой линии следующие: к 1 марта 1930 г. был электрифицирован однопутный участок Мытищи — Болшево (6,8 км), к 1 июля 1930 г. — двухпутный участок Мытищи — Пушкино (12 км), к 1 октября 1930 г. участок Болшево — Щелково (10 км). К концу 1930 г. электрификация была доведена до ст. «Правда», к 15 мая 1931 г. — до Софрино. Участок Софрино — Загорск был сдан в эксплуатацию в 1933 г. В настоящее время Сев. ж. д. располагает 90 км электрифицированных линий по эксплуатационной длине.

Для пригородной электрификации был выбран постоянный ток напряжением 1 500 В в контактом проводе. В качестве поездной единицы принята трехвагонная секция. Вес секции в порожнем состоянии составляет 133 т. Вес пассажиров — до 30 т. Моторный вагон оборудован четырьмя самовентилирующимися двигателями часовой мощностью 204—238 л. с. каждый (первая цифра относится к ныне уже не изготовляемому двигателю ДП-150, вторая отвечает вагонам новой постройки — двигателю ДПИ-150). Почти одновременно (в 1926 г.) с началом электрификации Сев. ж. д. были начаты работы по электрификации Сурамского перевала Закавказской ж. д. Этот участок закавказской магистрали Баку — Батум обладает чрезвычайно трудным профилем и рядом туннелей. При паровой тяге он служил местом постоянных пробок движения, срывавших план перевозок. Для электрификации здесь был выбран постоянный ток напряжением 3 000 В в контактом проводе. За границей были заказаны 15 электровозов, из к-рых 8 были поставлены фирмой ГЕС (США) и 7 импортированы из Италии. Кроме того ряд электровозов был выполнен по амер. образцу з-дом «Динамо» им. т. Кирова. Этот участок протяжением в 63 км был сдан в эксплуатацию только в 1933 г. Исключительно длинный строительный период участка был в основном обусловлен теми же причинами, как и задержка электрификации пригородных ж. д. Кроме того нек-рую роль здесь сыграло и опоздание с вводом в эксплуатацию гидроэлектростанции РИОН, являющейся основной энергетической базой электрифицированного участка.

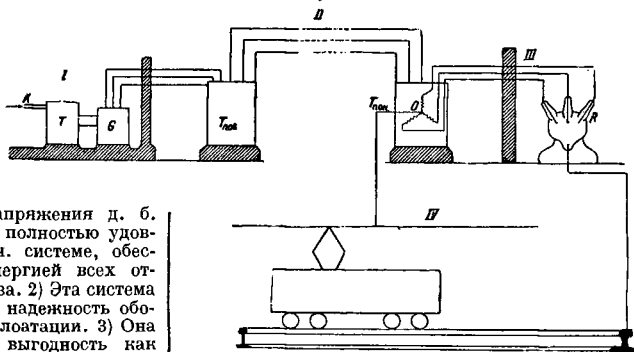
с 1930 г. была начата электрификация другого труднейшего на сети Союза участка — линии Кизел — Чусовская Пермской ж. д. Этот участок горнозаводской линии Урала является единственным выходом для кизеловских углей к промышленным центрам Урала: Н. Тагилу, Свердловску и Перми. Профиль этой линии весьма трудный (до 17,5‰), в силу чего паровая тяга ставила предел возможностям развития Кизеловского угольного бассейна и осложняла вопрос снабжения Урала топливом. Для электрификации этой линии был выбран, так же как и для Сурама, постоянный ток 3 000 В в контактом проводе. Электровозы были поставлены заводом «Динамо» (тип ВЛ — шестисосные). Весь участок, протяжением 112 км, был сдан в эксплуатацию в 1933 г. Следующими участками по времени начала работ по электрификации являются линии Ленинград — Ораниенбаум, Москва — Обираловка и Минераловодская ветвь Северокавказской жел. дор. Все последние линии являются участками чисто пассажирского движения, для обслуживания которого было решено применить мотор-вагонную тягу с использованием подвижного состава типа Сев. жел. дор. (напряжение 1 500 В в контактом проводе). Однако из последних трех перечисленных линий к настоящему времени в эксплуатацию введен только участок Ленинград — Ораниенбаум и Москва — Обираловка. На Минераловодской ветке Северокавказской ж. д. работы до сих пор не закончены в виду того, что Вахсанская гидроэлектростанция, от к-рой должна питаться указанная линия, по ряду технич. причин до настоящего времени не сдана в эксплуатацию. 1931 г. является поворотным этапом в деле электрификации жел. дор. Решением июньского пленума ЦК ВКП(б) 1931 г. и постановлением Правительства была установлена конкретная программа электрификации на 1932—34 гг., охва-

тывающая 3 690 км магистральных и пригородных линий. Установление этой программы вызвало необходимость срочного приступа к развитию промышленной базы электрификации. В связи с этим в 1931 г. были развернуты работы по реконструкции а-да «Динамо». Теперь з-д вырабатывает тяговые электродвигатели, коммутационную и защитную аппаратуру, вспомогательные машины (мотор-генераторы, моторы для компрессоров и пр.) и мелкое вспомогательное оборудование (реле, регуляторы напряжений) для магистральных, промышленных и рудничных электровозов, пригородных мотор-вагонов и вагонов метро. На 1 января 1935 г. Союз располагал всего 375 км электрифицированных линий, среди к-рых было два магистральных участка: Сурамский перевал и линия Кизел—Чусовская.

б) Состояние вопроса о системе тока и величине напряжения. Решение партии и правительства Союза о широком применении электрич. тяги на ж.-д. транспорте поставило СССР перед необходимостью решить вопрос о системе тока и величине напряжения для электрич. ж. д. В связи с этим в системе НКПС была организована специальная комиссия для рассмотрения этого вопроса, возглавленная покойным проф. С. И. Курбатовым. Результат работы этой комиссии, должный 1-й Всесоюзной конференции по электрификации ж. д. СССР, привел к принятию следующих положений по этому вопросу. 1) В качестве стандартной системы тока и напряжения д. б. выбрана такая система, которая полностью удовлетворила бы единой энергетич. системе, обеспечивающей питание электроэнергией всех отраслей народного хозяйства Союза. 2) Эта система должна обеспечить техническую надежность оборудования и конструкции в эксплуатации. 3) Она должна обеспечить экономич. выгоду как в отношении капитало- и материалозатрат и эксплуатации, так и в отношении наилучшей связи с высоковольтными линиями электропередачи СССР. 4) С точки зрения производства она д. б. быстро осваиваемая нашей промышленностью. При рассмотрении под этим углом зрения существующих на практике систем конференция пришла к выводу, что выбор д. б. сделан между системой постоянного тока 3 000 V и однофазным током стандартной частоты (50 Hz) напряжения 20 kV в контактном проводе, и отметила необходимость срочно приступить к испытанию последней системы. Что же касается текущих работ по электрификации, то конференция пришла к выводу о необходимости «впредь до опытной проверки электровозов и систем в целом, работающих на однофазном токе стандартной частоты, электрификацию магистральных ж. д. вести на постоянном токе напряжения 3 000 V». Одновременно с этим конференция признала возможным при электрификации пригородного движения временно использовать постоянный ток 1 500 V в контактном проводе с тем, чтобы попутно форсировать опыты применения здесь постоянного тока 3 000 V, что уже достигнуто на некоторых заграничных ж.-д. линиях (например Лаканаванская ж. д. в США). В порядке реализации этих решений в настоящее время промышленностью Союза приступлено к изготовлению первых опытных электровозов однофазного тока, работающих от контактного провода стандартной

частоты. К непосредственным испытаниям должно быть приступлено в ближайшее время.

в) Ближайшие перспективы электрификации ж. д. СССР. Согласно решению XVII съезда ВКП(б) и последовавшим вслед постановлениям ЦИК и СНК СССР в течение второго пятилетия (1933—1937 гг.) д. б. сдано в эксплуатацию на электрич. тяге 5 000 км ж.-д. линий; в соответствии с этим на протяжении 1935 г. введено в эксплуатацию 643 км новых Э. ж. д., в число к-рых входят участки: Тифлис—Хашури Закавказской ж. д. (что довело электрифицированную сеть Закавказья к концу 1935 г. до 183 км); Гороблагодатская—Свердловск Пермской ж. д. (протяжением 194 км); Долгицево—Запорожье Сталинской железной дороги (протяжением 190 км); Кандакашпа—Апатиты—Кировск Кировской ж. д. (протяжением 115 км) и др. Т. о. общее протяжение Э. ж. д. СССР достигло к концу 1935 г. 1 059 км (включая в это число бакинские пригородные линии). В 1936 г. введен в эксплуатацию электрифицированный участок Джугель—Самтреди Закавказской ж. д. (61 км). В этом же году намечается ввод в эксплуатацию



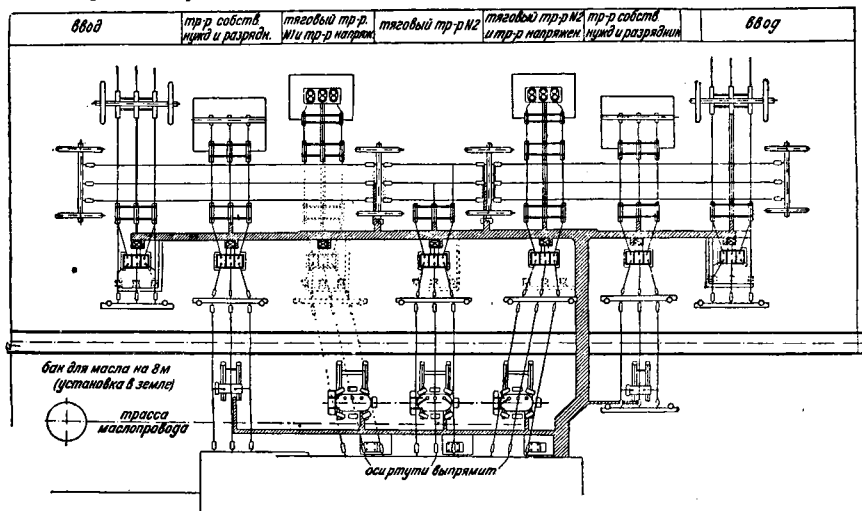
Фиг. 37.

участков Чусовская—Гороблагодатская Пермской ж. д. (183 км), Апатиты—Мурманск (184 км), Минеральные Воды—Кисловодск (70 км) и др. Наличный на 1 января 1934 г. парк составлял на сети Союза электровозов 48 единиц и электровагонов 168 единиц (без бакинских дорог). К концу 1935 г. этот парк возрос до 84 электровозов и 250 электровагонов.

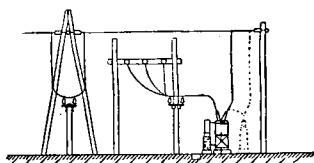
г) Характеристика энергоснабжения, тяговых подстанций и контактной сети Э. ж. д. СССР. Как уже было отмечено, Э. ж. д. в СССР снабжаются электроэнергией от общей высоковольтной сети Союза. Примерная схема питания тяговых подстанций дана на фиг. 37, где  $T_{пов.}$  — повысительный трансформатор,  $T_{кон.}$  — понизительный,  $\theta$  — нулевая точка вторичной обмотки трансформатора,  $R$  — ртутный выпрямитель (остальные буквы и цифры соответствуют фиг. 1). Величина напряжения высоковольтных распределительных сетей, подающих энергию на тяговые подстанции, колеблется от 6 до 110 kV. При этом напряжения 6–38 kV по преимуществу применяются и будут применяться в районах, где обитает в энергетич. отношении, т. е. там, где электрич. высоковольтная сеть вне зависимости от электрификации ж. д. уже получала достаточное развитие. Такими районами являются Москва, Ленинград, Донбасс, Приднепровье, частично Урал.

Во всех же тех случаях, где электрическая тяга будет иметь пионерное в энергетич. смысле значение, более целесообразно будет применение в линиях передач напряжения 110 кВ (что и

по системе цепной подвески. Несущий трос — обычно стальной. Контактный провод — медный нормального сечения 100 мм<sup>2</sup>. В большинстве случаев применяется полукompенсированная под-



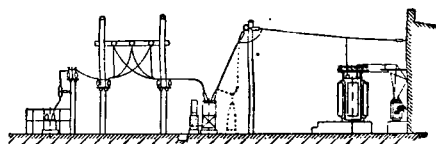
осуществляется на дорогах Закавказья, на Кировской ж. д. и частично на Пермской). Поданный на тяговые подстанции трехфазный ток преобразуется в постоянный ток 3000 или 1500 В с помощью ртутных выпрямителей, и только на тех линиях, где предусматривается рекупе-



Фиг. 39.

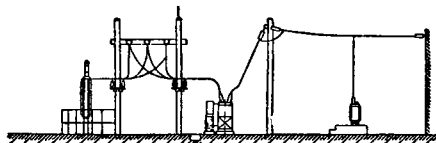
ративное торможение, устанавливаются в качестве преобразователей мотор-генераторные агрегаты, допускающие в случае отсутствия на линии потребителей рекуперируемой энергии возврат последней в первичную сеть. Из числа эксплуатируемых дорог СССР мотор-генераторами оборудованы подстанции Сурамского перевала (Хашури, Молити, Джугелы) и 5 подстанций линии Кизел — Чусовская Пермской железной дороги. Детально план и разрез тяговой подстанции на 110 кВ (со стороны переменного тока), оборудованной ртутными выпрямителями, приведен на фиг. 38—42 (фиг. 38 — план открытой части ртутновыпрямительной подстанции; фиг. 39 — разрез открытой части подстанции по вводу; фиг. 40 — разрез открытой части подстанции по тяговому трансформатору и трансформатору напряжения; фиг. 41 — разрез открытой части подстанции по трансформатору собственных нужд; фиг. 42: А — разрез закрытой части ртутновыпрямительной подстанции, В — план первого этажа закрытой части подстанции, В — план подвала закрытой части подстанции, Г — план второго этажа закрытой части подстанции). Контактная сеть Э. ж. д. Союза ССР выполняется

веска с жестко закрепленным тросом и автоматич. натяжением контактного провода. На стационарных путях подвеска выполняется согласно фиг. 43, где 1 — мачта, клепаная из углового железа, 2 — поперечные тросы, 3 — верхний поддерживающий трос, 4 и 5 — бронзовый канатик



Фиг. 40.

(струна) сечением 25 и 10 мм<sup>2</sup>, 6 — фарфоровый изолятор и продольный несущий трос, 7 — фиксатор, 8 — контактный провод. Деталь зажима и крепления струны представлена на фиг. 44. В качестве опор на перегонах в большинстве



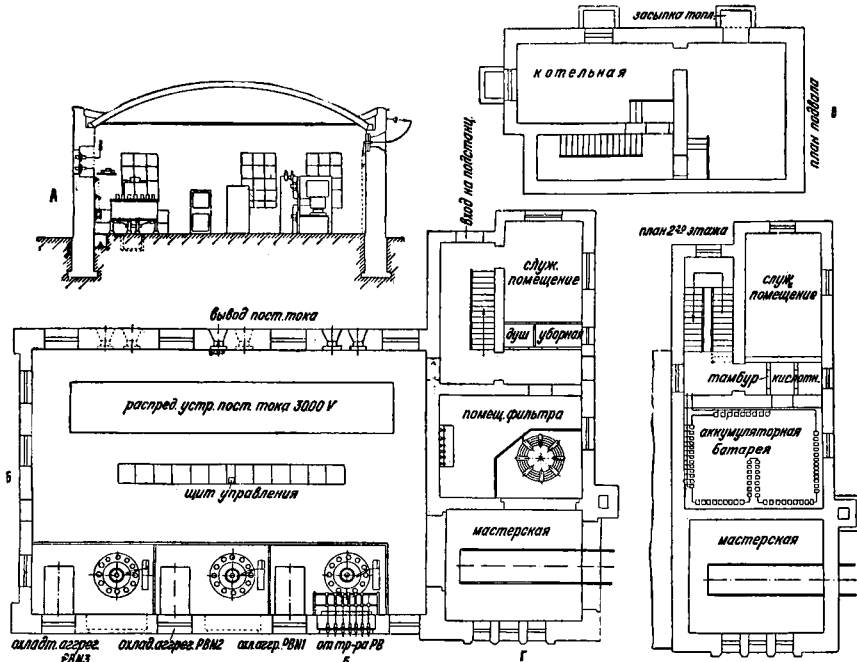
Фиг. 41.

случаев применяются деревянные пропитанные мачты, и только анкерные опоры в некоторых случаях изготавливаются металлическими. Обратной цепью тока, как и обычно, служит рельсовый путь, оборудованный электрическими стыковыми соединениями, приваренными к головке рельса с наружной стороны.

д) Промышленная база Э. ж. д. СССР. Основной промышленной базой электрификации наших ж. д. являются государственные

з-ды электропромышленности (ВЭТ), з-ды Главвагонпрома и Главмашпрома. Электровозы в настоящее время изготовляются в основном двумя

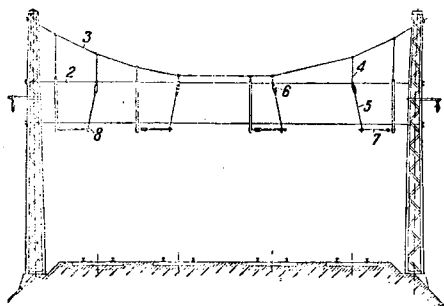
товарного электровоза (серия СК—Сергей Киров), оборудованного приспособлениями для рекуперации. Электровозы изготовляются Мытищен-



Фиг. 42.

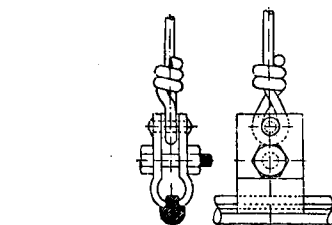
кооперированными заводами: Коломенским паровозостроительным, поставляющим их механич. части, и заводом «Динамо» им. т. Кирова, про-

ским вагоностроительным заводом, причем электрич. оборудование выполняется з-дом «Динамо». Что касается прочих элементов электрооборудования для стационарных устройств электри-



Фиг. 43.

изводящим электрич. оборудование и монтаж. На ближайшее время основной серией товарных электровозов является тип ВЛ и пассажирских — ПБ. Электровоз ВЛ имеет кузов, покоящийся на двух трехосных тележках. Каждая из шести осей несет по одному тяговому электродвигателю (тип ДПЭ-340). Электровоз ПБ имеет двойные тяговые двигатели «близнецы» и аластичный индивидуальный привод сист. ДЖИИ. В 1936 г. з-дом «Динамо» построен новый тип



Фиг. 44.

ческих железных дорог, то выпуск их осуществляют следующие з-ды: ртутные выпрямители — з-д «Электросила», трансформаторы — МОТЭЗ, мотор-генераторы — ХЭМЗ; прочая аппаратура — з-дами ВЭТ.

Б. Шарогов.

А. Линии на постоянном токе, сдаваемые в эксплуатацию

	Длина в км	Напряж. в В
Вану—Сабунчи—Сураханы . . .	32	1 200
Москва—Софрино с веткой на Шелково . . . . .	64	1 500
Софрино—Загорск . . . . .	26	1 500
Хашури—Джусулы . . . . .	63	3 000
Кизел—Чусовская . . . . .	112	3 000



Ленинград—Ораненбаум с веткой Лыгово—Красное Село . . .	53	1 500
Москва—Обьраловна с веткой на Валушки . . . . .	37	1 500
Свердловск—Гороблагодатская	194	3 000
Долгинцево—Никополь—Запорожье . . . . .	190	—
Тбилиси—Кашури . . . . .	120	3 000
Джугедаи—Самтредиа . . . . .	61	3 000
Кандалянца—Апатиты—Кировск . . . . .	115	8 003
Москва—Раменское . . . . .	45	1 500
Бутуновское опытное кольцо . . . . .	6	1 500/3 000
Всего . . . . .	1 118	—

**В. Линии, находящиеся в стадии провозводства работ по электрификации**

Гороблагодатская—Чусовская . . . . .	183	км
Акташа—Тифлис . . . . .	95	
Дебальцево—Звереве	157	
Минеральные воды—Кисловодск с веткой Бештау—Железноводск . . . . .	72	
Киевск—Белово . . . . .	141	
Днепропетровск—Пятихатка—Долгинцево . . . . .	291	
Москва—Подолянск . . . . .	48	
Апатиты—Мурманск . . . . .	184	
Всего . . . . .	875	

**В. Линии, находящиеся в стадии проектирования**

Ясиновата—Чаплино—Днепропетровск . . . . .	281	км
Запорожье—Чаплино . . . . .	116	
Дебальцево—Гордовна—Очеретино . . . . .	73	
Гуново—Лыжая—Сталинград . . . . .	400	
Киев—Соликамск . . . . .	120	
Пермь—Чусовская . . . . .	133	
Свердловск—Челябинск . . . . .	253	
Москва—Голыцино с веткой на Звенигород . . . . .	60	
Ленинград—Павловск . . . . .	27	
Велоостровское кольцо . . . . .	72	
Белореченская—Туапсе . . . . .	128	
Боржомская ветвь . . . . .	102	
Самтредиа—Вагук . . . . .	56	
Дмитров—Савелово . . . . .	105	
Кандалянца—Лоухи . . . . .	168	
Всего . . . . .	1 973	

Примечание. Сюда же можно отнести проектируемую линию с электрич. тягой Самферополь—Ялта—Симеиз, выяснил которой недавно закончен, и линию Уфа—Магнитогорск.

Лит.: 1) S a c h s K., Der Stand der elektrischen Zugförderung, «ETZ», 1934, 1 и 3; 2) Union internationale des chem. de fer, Statistique intern. de chem. de fer, Année 1933, P., 1934; 3) Railway Electrification Committee. Electrification of Steam Railways, N. Y., 1933; 4) P a r o d y H., L'électricité appliquée à la traction, «CS», 4, 1933; 5) V i t t o r i o d e M a r t i n o, La Diresissima Bologna—Firenze, «Rivista tecnica delle ferrovie italiane», 1934, 15/VI; 6) Соколов А. и Вислоух Х. Л., Классификация существующих систем тока в контактно-провод электр. ж. д., Труды НИИ электрификации ж. д. НКПС. Выбор системы тока, сб. 1, разд. II; 7) «Revue gén. de chem. de fer», 1934, IX; 8) R a l l e r t, «Elektrische Bahnen», 1929, 2 и 3; 9) В у л ь ф А., Электрическая тяга, Л., 1926; Б е р н а н к и й Л., Электрическая тяга, М., 1926; Л е б е д е в А., Расчеты элементов электрических ж. д., Л., 1930; З е е ф е л ь д е р Е., Электрическая тяга, пер. с нем., М., 1926; Д о в е р А., Электрическая тяга, пер. с англ., М., 1929; Ш е в а л и в В., Тяговые расчеты электрических ж. д. и трамваев, Л., 1931; Р ы в и н и Ю., Расчеты тяговых подстанций и контактных сетей, М., 1934; Ш р о к о г о р о в В., Основы электрической тяги, М., 1934; Ж а к о н о Ф е р р а н, Электрическая тяга в САСШ, пер. с франц., М., 1931; М е д е л ь В., Магистральные дороги постоянного тока, М., 1931; е г о же, Электрификация французских магистральных ж. д., М., 1928; Х у д а в о в А., Технико-экономические предпосылки электрификации ж. д. СССР, М., 1932; З а б р о д и н В., Первый электрифицированный участок на магистральных ж. д. путях, М., 1932; В u c h h o l d Th., Die elektr. Anlagen. Die elektrischen Ausrüstungen der Gleichstrombahnen, В., 1931; S a c h s K., Elektrische Vollbahnlokomotiven, В., 1928; V a r b i l l o n L., La traction électrique des courants continus et des courants alternatifs, P., 1923; M a r t i n E., Traction électrique, P., 1920; W e s t h a l d W., Der elektrische Zugbetrieb der Deutschen Reichsbahnen, В., 1924; R i c h e y A., Electric Railway Handbook, N. Y., 1924. А. Галазов.

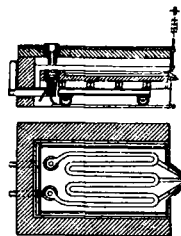
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕЧИ**, печи, в к-рых нагрев осуществляется электрич. энергией, преобразуемой в тепловую в самой печи. Э. п. применяются для диапазона  $t^\circ$  от  $100^\circ$  (сушильные печи) до  $2\ 000^\circ$  (графитизация электродов и т. п.) и даже до  $3\ 000^\circ$  (лабораторные печи). Э. п. делит на печи сопротивления и печи дуговой. В печах сопротивления тепло выделяется по закону Джоуля в особом нагревателе, к-рым иногда служит нагреваемое тело. При этом энергия подводится к нагреваемому проводнику непосредственно или посредством электромагнитной индукции. Э. п., основанные на принципе электромагнитной индукции, получили название индукционных Э. п. Они строятся с железной магнитной цепью (индукционные Э. п. с сердечником) и без нее (бессердечниковые индукционные Э. п.). Второй тип индукционных Э. п., т. е. без магнитной цепи, не совсем правильно называют Э. п. высокой частоты. Это наименование соответствует лишь очень незначительному числу Э. п. малой мощности, применяемых в лабораторной практике, работающих при нескольких десятках тысяч Нз, печи же промышленного масштаба питаются частотой в пределах  $50\text{—}2\ 000$  Нз. При дуговом нагреве тепло выделяется в небольшом объеме вольтовой дуги, причем независимо от общего количества выделяющегося тепла температура в области дуги может достигать  $4\ 000^\circ$ . Нине дается описание Э. п. в следующем порядке: 1) Э. п. сопротивления, 2) индукционные Э. п. с железным сердечником, 3) бессердечниковые индукционные Э. п. и 4) дуговые Э. п.

**Э. п. сопротивления.** В Э. п. сопротивления в отличие от дуговых и индукционных Э. п. нагрев происходит за счет выделения тепла при прохождении по проводнику электрич. тока. Количество тепла, выделяющегося при прохождении электрич. тока по проводнику, определяется законом Джоуля:

$$Q = 0,24 I^2 R t,$$

где  $Q$  — количество тепла в cal,  $I$  — сила тока в А,  $R$  — сопротивление в  $\Omega$ ,  $t$  — время в сек. Нагрев посредством Джоуля тепла осуществляется различными способами: 1) непосредственным нагреванием материала, причем последний играет роль сопротивления; 2) нагреванием футеровки Э. п. при прохождении по ней электрич. тока с передачей тепла нагреваемому материалу теплопроводностью; 3) устройством в печи особого нагревателя, причем нагревание материала осуществляется лучеиспусканием от нагревателя.

1. Э. п. с непосредственным нагревом. К этому типу Э. п. сопротивления относятся: 1) Э. п. Динна, предложенная для плавки стали, 2) Э. п. для производства карбондуги, 3) Э. п. для графитизации угольных электродов, применяющихся в дуговых Э. п. для выплавки электростали и алюминия и др. производствах. Э. п. Динна (фиг. 1), не получившая распространения в электроплавке стали, представляет собой кладку, в к-рой имеется узкий и длинный изогнутый канал, выложенный из огнеупорного материала; канал заполняется расплавлен-



Фиг. 1.

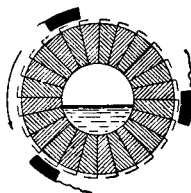
мым металлом. Недостатки этой Э. п.: 1) затруднительность регулировки вследствие значительной разницы электросопротивления железа в твердом и расплавленном состоянии, 2) неудобство ведения плавки в узких каналах, что в особенности неприемлемо для современных сортов стали, имеющих значительное количество легирующих ингредиентов (хрома, вольфрама, молибдена, ванадия и др.). Э. п. для производства карборунда (карбид кремния SiC), используемые для фабрикации абразивных материалов (шлифовальных кругов и т. п.), имеют электроды, подводящие ток к шихте, состоящей из кремнеземистых материалов и кокса с добавкой для рыхлости древесных опилок и хлористого натрия (для улетучивания различных примесей).



Фиг. 2.

растением темп-ры. Устройство этой печи аналогично конструкции Э. п. для графитирования углеродов. Э. п. для графитирования (фиг. 2) по способу Ачесона состоит из кирпичной кладки и подводящих ток электродов I. Графитируемые изделия укладываются в печь и засыпаются измельченным коксом. Регулирование напряжения производится при помощи потенциал-регулятора.

2. Э. п. с нагревом футеровки. К этому типу относится Э. п. проф. Ижевского, представляющая собой вращающийся барабан, выложенный огнеупорными кирпичами, между к-рыми проложены железные листы, служащие электродами. Электрич. ток к электродам подводится при помощи щеток (фиг. 3). Действие печи Ижевского основано на свойстве огнеупорных материалов проводить электрич. ток при высоких темп-рах. Табл. 1 показывает, что все огнеупорные материалы, являющиеся изоляторами при обычной темп-ре, становятся проводниками электрич. тока при высоких темп-рах.



Фиг. 3.

Табл. 1.— Уд. сопротивление огнеупорных материалов в 2-см.

Темп-ра в °С	Магнезит, кирпич	Динасовый кирпич	Огнеупор, глина
700	—	—	21 000
800	—	—	17 000
900	—	—	13 000
1 000	—	—	9 000
1 100	—	—	6 000
1 200	—	—	4 400
1 300	6 200	9 700	1 300
1 400	420	2 400	690
1 500	55	710	280
1 550	30	22	60
1 565	25	18	—

Вследствие сопротивления прохождению тока кирпичная кладка печи разогревается, нагревая находящийся в печи металл. Во время работы печь вращается при помощи электромотора для предохранения футеровки от охлаждения и перегрева. Вследствие ряда технических недостатков (железные листы, служащие электродами, быстро

разъедаются расплавленной сталью, плохая стойкость огнеупорных материалов и др.) печь сист. Ижевского практич. применения не получила.

3. Э. п. с нагревательными элементами и получили в технике обширное и разнообразное применение. Существенной их частью являются нагревательные элементы. Мощность  $P$ , потребляемая этой Э. п., определяется ф-лой:

$$P = \frac{\varrho I^2 l}{S},$$

где  $\varrho$ —удельное сопротивление,  $I$ —допустимая сила тока,  $l$ —длина нагревателя,  $S$ —сечение нагревателя. Допустимая плотность тока находится в зависимости от уд. сопротивления материала, его предельной рабочей  $i^0$ , рабочей  $i^1$  Э. п., условий теплового обмена между нагревательными элементами и загрузкой печи, и сечения проводника. Допустимые значения для уд. плотности тока берутся по опытным данным. В качестве нагревателей для Э. п. сопротивление применяются специальные металлические сплавы (нихром, мегалит и др.), тугоплавкие металлы (платина, молибден, вольфрам), для лабораторных печей применяют силит, уголь и графит. Выбор материала для нагревателя обуславливается темп-рой печи. *Нихром* (см.) применяется для печей с рабочей темп-рой до 1 100° в виде лент или проволоки. В США применяются сорта нихрома со следующей максимальной допустимой длительной температурой: 1) Chromel A (Nichrom IV): 20% Cr, 80% Ni,  $t^0_{max} = 1 100^\circ$ ; 2) Chromel B (Nichrom III): 15% Cr, 85% Ni,  $t^0_{max} = 1 000^\circ$ ; 3) Chromel C (Nichrom): 12% Cr, 60% Ni, 28% Fe,  $t^0_{max} = 800 - 1 000^\circ$ . Геререц (в Германии) изготовляет несколько сортов нихрома, из которых нихром состава 33% Cr, 50% Ni и 17% Fe обладает  $t^0_{max} = 1 150^\circ$ . В последнее время предложен для нагревателей сплав канталъ, имеющий допустимую рабочую темп-ру в 1 250—1 350°. Мегалит, к-рый предложен в Германии, представляет собой сплав из 65% Fe, 30% Cr и 5% Al. Его можно применять до темп-р 1 200—1 300°. Уд. сопротивление мегалита 1,4  $\Omega \cdot \text{мм}^2/\text{м}$  против 1,4 для нихрома при 0°. Продолжительность службы мегалита примерно вдвое больше, чем у обычных нихромов. В табл. 2 приведены максимальные длительные температуры для различных нагревателей.

Табл. 2.— Максимальные длительные темп-ры для различных нагревателей.

Материал	Темп-ра в °С	Примечание
Платина . . . . .	1 250—1 350	При восстановит. атмосфере
Силит . . . . .	1 200—1 400	
Вольфрам . . . . .	2 000—2 200	
Графит . . . . .	до 2 800	

Силит, предложенный герм. фирмой Сименс, изготовляется в виде палочек и стержней. Силит является обожженным при высокой темп-ре смесью карбидов кремния (карборунда) с кремнием и добавками смол и глицерина (для вязкости). Уд. сопротивление силита колеблется от 1 000 до 2 000  $\Omega \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ . Глобар, предложенный в Америке, подобно силиту представляет собой карбид кремния (применяется в виде палочек). Крпитол (предложен в Германии) применяется в виде порошка в лабораторных Э. п., представляет собой кусочки кокса с примесью карборунда. Металлические нагреватели делают в виде лент и пластин или в виде проволоки. Их конструируют открытыми (ГЕС, Hoskins), защищен-

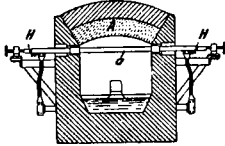
ными огнеупорными пластинами (Heavy Duty), залитыми в керамич. массу (Leeds and Northrup Co.) и T-образной формы (T-grid).

Э. п. Борхерса. Нагревателем служит угольный стержень. Нагреваемая (фиг. 4) шихта располагается вокруг стержня. Печь Борхерса применяется в лабораториях. Э. п. Штейнберга и Грамолина (фиг. 5) представляет собой видоизменение печи Борхерса. Нагревателями служат три (в случае трехфазной печи) угольных стержня *a*, расположенные под сводом печи *A* и закрепленные на охлаждаемых



Фиг. 4.

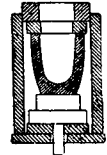
водой муфтах *H*. Применяется для плавки стали на уральских заводах (Златоуст, Пермь). Вместимость до 1 т. Недостатки: 1) повышенный сравнительно с дугowymi Э. п. расход энергии, 2) провисание, ломка и надежные угольные электроды в ванну. Э. п. Гельберга (фиг. 6) состоит из угольного или графитового тигля, к которому ток подводит-



Фиг. 5.

ся контактными угольными кольцами; применяется для плавки металлов в лабораториях. Э. п. Геруса весьма распространена в лабораториях (фиг. 7). Нагреватель состоит из спирали платиновой (для  $t^{\circ}$  до 1400°) или никромовой (для  $t^{\circ}$  до 1110°), навитой на фарфоровую трубку. Э. п. Госсинса для  $t^{\circ}$  до 1350°. Камера печи (фиг. 8) состоит из карборундового муфеля 3. Нагревателями служат угольные 1 и графитовые 2 пластины. Применяется для различных термич. процессов: закалки, отжига и т. д.

Э. п. «Northrup» (Leeds and Northrup) для получения равномерного нагрева имеет вентилятор (фиг. 9, а); применяется для термич. процессов.



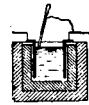
Фиг. 6.

В настоящее время широкое распространение получили Э. п. с металлическими нагревателями и (гл. обр. никромовыми). Они применяются для плавки металлов (алюминия, баббита и др.), для нагрева при термич. процессах: закалке, отжиге, отпуске, нормализации. Э. п. сопротивления для плавки алюминия, подшинниковых сплавов представляют перед дугowymi Э. п. преимущества в том отношении, что исключают окисление металла под действием вольтовой дуги и его перегрев. По этим причинам плавка алюминия в дугowych печах типа Эру и др. технически не осуществима. Э. п. сопротивления для плавки алюминия (Гауч и Бранд, Броун Бовери) работают на многих з-дах СССР. Электропечной отдел Электромобината (Москва) выдвинул Э. п. сопротивления для плавки алюминия вместимостью в 3 т. Большое распространение получили Э. п. сопротивления для светлого отжига—процесса, в котором отжигаемый материал (медные ленты, проволока и др.) совершенно не окисляется благодаря созданию в печи нейтральной или восстановительной атмосферы. Это осуществляется подачей в печь азота, смеси азота с водородом (75% водорода и 25% азота), светильного и других газов. В Э. п. для светлого отжига производится отжиг железной проволоки, медных листов, лент и проволо-



Фиг. 8.

ки, нержавеющей стали, а также спайки меди—процесс, получивший большое распространение в США и имеющий важное значение для механических конструкций. Э. п. сопротивления находят применение в процессе нитрирования стали и чугуна (для получения твердой поверхности), дигидрирования, цементации и других процессов. Легкость регулировки температуры Э. п. сопротивления делает их особо пригодными для процесса нитрирования, когда требуется  $t^{\circ}=500\pm 5^{\circ}$ . Э. п. сопротивления применяются для нагрева соляных ванн (строится з-дом «Электрик» в Ленинграде, фиг. 10) для термич. процессов. В ванну, наполненную соответствующими температурами процесса солями (хлористым барием, смесью хлористого бария и хлористого натрия и др.), опущены железные электроды. Т. к. в холодном состоянии соли являются непроводниками тока, то разжигание ванны производится железной «шпатель» путем пропалывания вольтовой дугой канавки от одного электрода к другому, после чего ванна начинает прогреться сама. Кроме перечисленных применений Э. п. сопротивления получили распространение в процессах эмальирования, сушки дерева, в керамич. производствах, типографском деле, хлебопечении, кондитерском и др. производствах. Преимущество Э. п. сопротивления: 1) легкость контроля температуры нагреваемого пространства с желаемой точностью или, наоборот, автоматич. изменения температуры печи по требованиям процесса; 2) полная однородность температуры в печи; 3) возможность осуществления в печи любой атмосферы (нейтральной, восстановительной и др.), обуславливающей широкое распространение этих печей в технике.

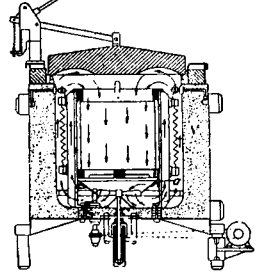


Фиг. 10.

Лит.: Григорович К., Электрометаллургия железа, ч. 1, М., 1922; Сибилев А., «Вестник мет. пром-сти», 1926, 11—12; его же, «Цветные металлы», 1931, 2; его же, Электрич. печи, М., 1934; СЭТ, Справ. кн. для электротехников, т. 4, Л., 1929; Кузнецов С., Новые методы электрич. нагрева, сварки и плавки металлов, М., 1931; Пашкин В., Электрич. промышленные печи, Харьков, 1934. И. Курнаков.

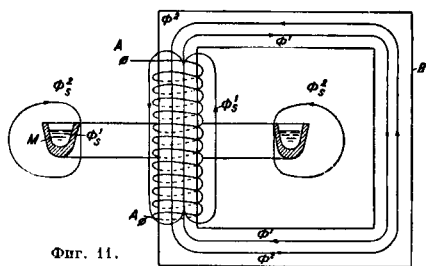
**Индукционная Э. п. с железным сердечником** впервые была предложена в 1887 г. Ферранти, но не получила практич. осуществления; лишь спустя 13 лет, когда была установлена печь Челлина, индукционный нагрев нашел себе применение в промышленности. Одним из решающих преимуществ индукционной Э. п. по сравнению с другими плавильными и нагревательными Э. п. является то, что теплота, получаемая за счет электромагнитной энергии, созданной первичной обмоткой, возникает в самом нагреваемом теле. Вследствие этого здесь обеспечивается более равномерный прогрев нагреваемого металла и м. б. совершенно исключено вредное воздействие газов на нагреваемое тело. Однако имеет место градиент  $t^{\circ}$ , обратный тому, что при других способах нагрева, т. е.  $t^{\circ}$  шлага ниже, чем  $t^{\circ}$  металла. Индукционные печи с железным сердечником имеют главное свое применение в цветной металлургии.

Принцип действия индукционной Э. п. с железным сердеч-



Фиг. 9.

и к ом. Индукционная Э. п. с железным сердечником представляет собой трансформатор, у которого вторичная цепь состоит из одного замкнутого витка, являющегося нагреваемым телом (фиг. 11, где  $A$  — первичная обмотка, через которую пропускается питающий ток переменный ток,  $B$  — замкнутый железный магнитопровод и  $M$  — вторичная обмотка, т. е. нагреваемое



Фиг. 11.

тело, помещенное в плавильное пространство — канал — из огнеупорного материала). Для того чтобы построить канал с хорошей тепловой изоляцией, б. или м. удобной для проведения металлургии. процессов формы, вмещающей садку заданного веса, приходится вторичную обмотку относить на значительное по сравнению с обыкновенным трансформатором расстояние от первичной обмотки. Это вызывает соответственное увеличение длины магнитопровода. Большой воздушный промежуток между первичной и вторичной обмотками определяет большой магнитный поток рассеяния, т. е. большое индуктивное сопротивление печи. Так как активное сопротивление вторичной цепи (расплавляемого металла) при большом сечении и незначительной длине — величина небольшая, то индуктивное сопротивление становится больше активного. Т. о. в результате больших размеров плавильного пространства — канала — коэф. мощности ( $\cos \phi$ ) индукционной Э. п. с железным сердечником получается низким. С увеличением емкости Э. п. увеличиваются размеры плавильного пространства, возрастает магнитный поток рассеяния, вследствие чего понижается  $\cos \phi$  печи. Улучшение  $\cos \phi$  печи возможно рядом способов: 1) компенсацией фаз синхронным или статич. конденсаторами (см. *Сдвиг фаз*); 2) уменьшением частоты питающего тока; 3) уменьшением — компенсацией магнитного потока рассеяния; 4) увеличением активного сопротивления вторичной обмотки при прочих неизменных параметрах печи. Первый способ — компенсация фаз конденсаторами — не нашел широкого применения, ибо при этом способе улучшается лишь степень использования источника электрич. энергии, а капитальные затраты возрастают, в частности стоимость статич. конденсаторов (см. *Электрический конденсатор*) при этом была бы чрезвычайно высока, так как конденсаторы пришлось бы готовить на низкую частоту и большую силу тока; кроме того при этом электрич. потери печи не уменьшаются. Получили применение последние три способа улучшения  $\cos \phi$ . В зависимости от способа улучшения  $\cos \phi$  все индукционные печи с железным сердечником можно разделить на три группы. 1) Простые индукционные Э. п. с открытым каналом, работающие на пониженной частоте (Э. п. сист. Челлива, Фрика, Хюрта и др.). 2) Комбинированные индукционные Э. п. с открытым каналом, работающие как

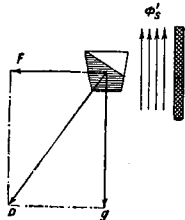
правило на нормальной частоте, но имеющие компенсационную обмотку, уменьшающую магнитный поток рассеяния (Э. п. сист. Рехлинг-Роденгаузера). 3) Индукционные печи с закрытым каналом, работающие на нормальной частоте; здесь в основном использована идея увеличения активного сопротивления вторичной цепи (Э. п. сист. Ajax-Wyatt, Русса, Сименса и др.).

Электродинамические явления в индукционных Э. п. Вследствие прохождения тока через жидкий металл, заключенный в очень узкий канал, в индукционной печи имеет место целый ряд явлений, как то: перемешивание металла, пульсация и прочие, к-рые или совершенно не наблюдаются или проявляются в очень слабой степени в неиндукционных электрических печах. Все эти явления можно разделить на две основные группы: электродинамические и тепловые. Первые вызываются циркулирующим по металлу током и магнитным полем, вторые — местным перегревом металла. Эти явления м. б. наблюдаемы как порознь, так и в комбинации их. К явлениям первого рода относятся: центробежный эффект (моторный эффект), эффект сжатия (пинч-эффект). Центробежный эффект является следствием взаимодействия магнитного потока рассеяния  $\Phi_s$  (фиг. 11), создаваемого первичной обмоткой, и электрич. тока  $I_2$ , протекающего по жидкому металлу  $M$ . В силу этого взаимодействия расплавленный металл будет испытывать на себе усилия  $F$ , направленные от первичной обмотки. Величина этого усилия может быть подсчитана по ф-ле

$$F = H^2 I_2 \frac{10^{-6}}{9,81} \text{ кг/см}^2,$$

т. е. отталкивающая сила пропорциональна напряженности магнитного поля рассеяния первичной обмотки и силе тока в расплавленном металле. Кроме этой силы на расплавленный металл действует сила тяжести  $g$ . Под влиянием результирующей силы  $P$  (фиг. 12) поверхность металла примет наклонное положение, перпендикулярное к данной силе. В результате этого взаимодействия появится циркуляция металла в плоскости сечения канала. Непрерывное движение металла в канале способствует ускорению реакций, получению более однородного по составу металла, в чем состоит одно из ценных качеств индукционной печи с железным сердечником. Очень большая циркуляция металла, зависящая от величины и направления усилия  $F$ , нежелательна, т. к. для случая печей первой группы приходится сильно увеличивать объем покрывающего металл шлака, при этом ухудшается качество готового металла по шлаковым включениям. Эффект сжатия наблюдается в результате взаимодействия между электрич. током, протекающим по жидкому проводнику, и созданным этим током магнитным полем. Это взаимодействие выражается в том, что жидкий проводник испытывает на себе сжимающие по образующей его сечения усилия. По Ф. Нортрупу сжимающая жидкий проводник сила  $P$  для круглого сечения (и с достаточной точностью для квадратного) определяется ф-лой

$$P = 1,02 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{I^2}{S} \text{ э/см}^2$$

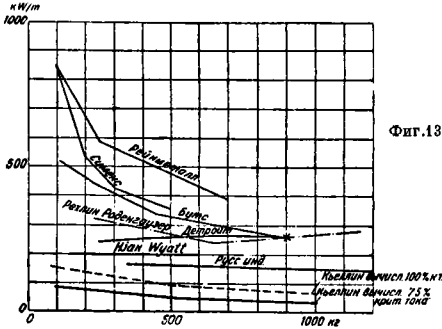


Фиг. 12.

и для прямоугольного сечения

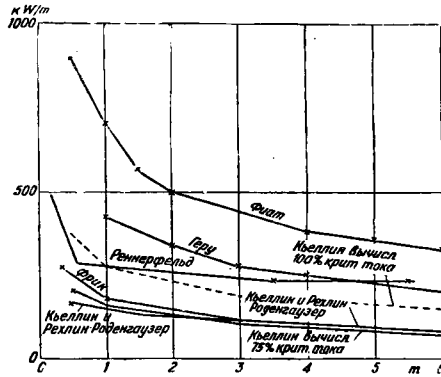
$$P = 2,04 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{I^2}{S} \text{ в/см}^2,$$

где  $I$  — сила тока в проводнике в А,  $S$  — сечение жидкого проводника в  $\text{см}^2$ . Жидкий металл, находясь под воздействием сжимающего усилия  $P$ , при определенных условиях может разорваться. Силой, противодействующей сжатию, является гидростатич. давление жидкого проводника  $p$ , поэтому разрыв проводника может наступить в случае превышения сжимающего усилия



Фиг. 13.

$P$  над гидростатич. давлением  $p$ . Сила тока, при которой происходит разрыв жидкого проводника, называется критической силой тока. Т. к. мощность, выделяемая током, пропорциональна квадрату тока и сопротивлению проводника, то следовательно предельная мощность, отвечающая критич. силе тока во вторичной це-

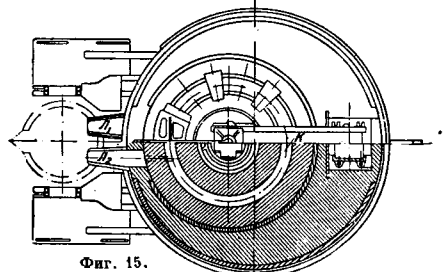
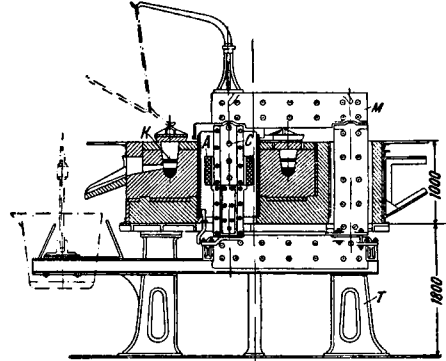


Фиг. 14.

пи, для каждого расплавляемого металла будет определяться его удельным сопротивлением и уд. в. Из рассмотрения уд. мощностей дуговых и индукционных печей (фиг. 13, 14) видно, что применяющиеся уд. мощности в индукционных печах с железным магнитопроводом ниже, чем для др. Э. п. Низкая уд. мощность, холодный шлак, неудобное плавильное пространство для проведения рафинирования и пр. определили область применения индукционных печей с железным сердечником в основном в цветной металлургии.

Э. п. системы Челлина (Kjellin) относятся к первой группе индукционных печей с открытым горизонтальным каналом (фиг. 15, где  $M$  — железный магнитопровод,  $C$  — сердечник,

проходящий через центр печи). Сердечник и одетая на нем первичная катушка  $A$  охлаждаются циркулирующей в специальном устройстве водой или воздухом. Рабочее пространство печи представляет собой кольцо  $K$ , выполненное по шаблону из магнетитового материала и накрытое сверху крышками. Все это устройство покоится на неподвижно стоящих чугунных колоннах  $T$  (Э. п. является стационарной). Для выпуска металла сделана летка  $L_1$ . Т. к. летка располагается на некоторой небольшой высоте над уровнем подины, то после каждой плавки в печи остается до 20% от всего расплавляемого металла. Последнее необходимо для облегчения последующего пуска печи на твердой садке (струж-



Фиг. 15.

ка, лом и т. д.), т. к. сопротивление вторичной цепи вследствие неправильной укладки ржавой, загрязненной шихты может оказаться очень большим, вследствие чего печь не возьмет мощности. Для полного выпуска из печи металла, необходимого в период ремонта, устраивается вторая летка  $L_2$ , располагающаяся ниже первой, на уровне пода печи. Основные показатели этого типа печей приведены в табл. 3.

Табл. 3. — Характеристики индукционных Э. п.

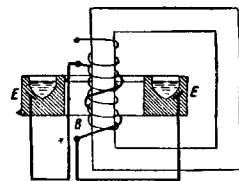
Емкость печи в т	Мощность в kW	Уд. мощность в kW/m	Частота в Hz	Расход энергии в kWh/m*
0,4	66	170	24	1 200
1,5	195	130	15	800
3,8	330	87	13	700
4,0	440	110	7	650
8,5	750	88	5	600

\* Расход энергии произведен для переплавки стали с очень укороченной рафинировкой.

Специфич. недостатки этого типа Э. п.: 1) большее пространство печи выполнено в виде узкого канала, вследствие чего чрезвычайно затруднены манипуляции с шлаком; 2) в силу закона предельных мощностей применяющиеся удельные мощности малы, а потому очень велико время расплавления, а также велик расход энергии на тонну готовой продукции; 3) необходимость тщательной укладки шихты и оставления в Э. п. жидкого металла, следствием чего приходится специализировать печи на плавку определенной марки металла. Вследствие указанных недостатков Э. п. этого типа, предназначенные гл. обр. для процессов переплава собственных отходов легированной стали, не получили широкого применения в пром-сти и сейчас работают всего лишь на 2—3 заводах.

Э. п. системы Рехлинг-Роденгаузера относится ко второй группе печей (комбинированные индукционные печи с открытым каналом), где для нагрева металла используются индукционный принцип и принцип сопротивления. Здесь на железном сердечнике (фиг. 16) помещена специальная обмотка *B*, концы которой присоединены через проводящую при высокой  $t^\circ$  футеровку *E* к нагреваемому металлу. Переменное магнитное поле, в частности магнитное поле рассеяния, индуктирует в ней эдс и следовательно ток. Таким образом в этой печи нагревание происходит за счет энергии, непосредственно возникающей в самом металле, и электроэнергии, циркулирующей по металлу, но возникающей в специальной обмотке. Эта обмотка за счет компенсации магнитного поля рассеяния повышает  $\cos \varphi$  печи, с другой стороны, создавая дополнительную возможность нагрева металла по принципу сопротивления 25—50% от всего поступающего в печь тепла, делает эту печь менее зависящей от закона предельных мощностей. Поэтому эти Э. п. строятся более мощными с применением нормальной частоты, даже для печей емкостью 3—4 м.

В отличие от ранее описанных эти печи делают одnofазными, двухфазными и трехфазными. На фиг. 17 изображена одnofазная качающаяся печь сист. Рехлинг-Роденгаузера: *M* — магнитопровод, *A* — первичная катушка, *B* — компенсационная обмотка, *C* — вторичная цепь (нагреваемый металл), *E* — железные пластины, заделанные в футеровку, к которым присоединяется компенсационная обмотка. Средняя часть печи



Фиг. 16.

Та бл. 4.—Основные показатели Э. п. системы Рехлинг-Роденгаузера для плавки стали.

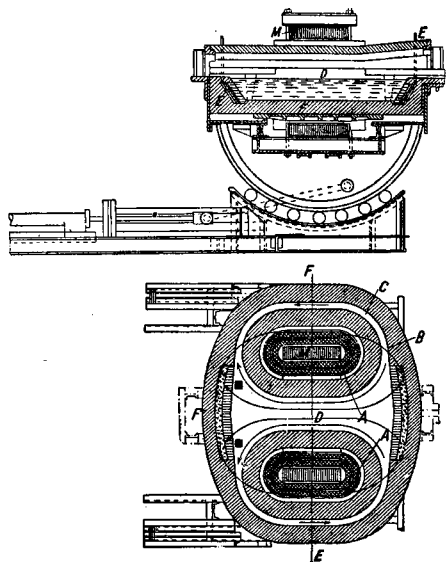
Ем-ность печи в м	Мощ-ность в kW	Уд. мощ-ность в kW/m	Частота в Hz	cos $\varphi$	Расход энергии в kW/m
0,5	100	200	50	0,85	—
1,0	175	184	50	0,70	—
3,0	350	117	50	0,60	800
5,0	550	110	25	0,65	700
7,0	750	107	25	0,60	400

*D* значительно расширена, что облегчает ведение металлургич. процесса и манипуляцию со шлаками. В табл. 4 и 5 приведены основные

Та бл. 5.—Основные показатели Э. п. сист. Рехлинг-Роденгаузера для плавки цветных металлов.

Емкость печи в м	Род тока (число фаз)	Мощность в kW	Уд. мощ-ность в kW/m	Частота в Hz	cos $\varphi$	Расход энергии в kWh/m		Угар в %
						Латунь	Бронза	
250	1	80	320	50	0,85	200—325	300—420	0,5
650	3	160	240	50	0,65	200—325	300—420	0,5
1200	3	350	290	50	0,65	200—325	300—420	0,5

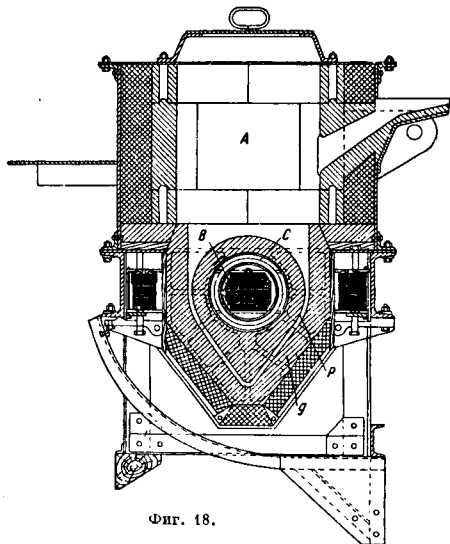
показатели Э. п. сист. Рехлинг-Роденгаузера. Недостатки этого типа Э. п. те же, что и печей сист. Челлина, поэтому хотя печи Рехлинг-Роденгаузера и применялись как в цветной, так и в черной металлургии, тем не менее из цветной металлургии их в настоящее время почти целиком вытеснили индукционные печи типа Ajax-Wyatt (Эджакс-Визтт), а из черной — дуговые.



Фиг. 17.

Э. п. сист. Эджакс-Визтт относится к третьей группе, т. е. к индукционным печам с закрытым каналом. Она состоит из двух частей (фиг. 18): шахты *A*, вмещающей до 75% всего металла, и канала *P*, соединенного в верхней своей части с шахтой и вмещающего остальную часть металла. Вследствие незначительного объема канала его делают сравнительно небольшого сечения и располагают в непосредственной близости от первичной обмотки *C*, чем сильно уменьшают магнитный поток рассеяния и увеличивают  $\cos \varphi$  печи. Металл в канале находится под гидростатич. давлением жидкого металла шихты. Вследствие этого значение критич. силы тока сильно повышается, что создает возможность для данного типа печей применять большие уд. мощности. Т. к. нагревание металла происходит за счет теплоты, выделяющейся в канале, то для ускорения передачи тепла заставляют металл

двигаться из канала в шахту и обратно. С этой целью канал устраивали трехугольной формы (фиг. 18) и помещали его симметрично в аксиальном направлении; в последнее время канал выполняют в виде кольца, несимметрично расположенного в аксиальном направлении. При таком расположении канала металл по длине последнего будет испытывать неодинаковое электродинамич. усилие, в результате чего жидкий металл придет в движение. Конструкция печи Эджакс-Визтт видна из фиг. 18: первичная обмотка *C* надета на железный сердечник *B* и помещена в отверстие подового камня *g*, в к-ром выполнен канал *P*. Подовый камень делается из



Фиг. 18.

шамота и является самым уязвимым местом установки. В настоящее время подовые камни выдерживают до 5 000 плавов. В табл. 6 и 7 даны основные показатели печей сист. Эджакс-Визтт.

Табл. 6.—Основные показатели Э. п. сист. Эджакс-Визтт.

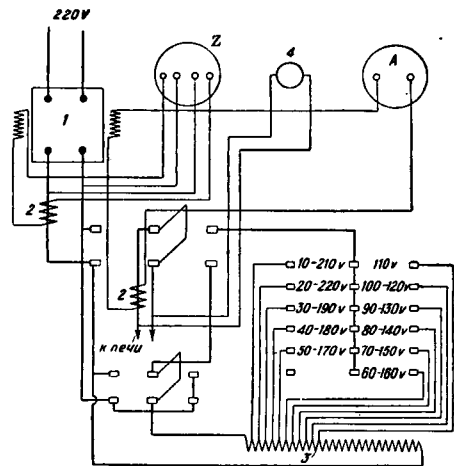
Емкость печи в кг	Мощность в kW	Удельная мощность в kW/m	cos φ	Частота в Hz
150	30	200	0,75	50
300	60	200	0,70	50
600	100	200	0,70	50
1 000	250	250	0,70	50

Табл. 7.—Расход энергии в Э. п. сист. Эджакс-Визтт.

Наименование металла	Угар в %	Расход энергии в kWh/m
Латунь (60% Cu) . . .	0,5	325
Медь . . . . .	—	400
60% Cu+40% Ni . . . .	—	675
Алюминий . . . . .	—	800
Вальбиты . . . . .	0,7	65

Схема включения печи видна из фиг. 19, где 1 — масляный выключатель, 2 — трансформатор

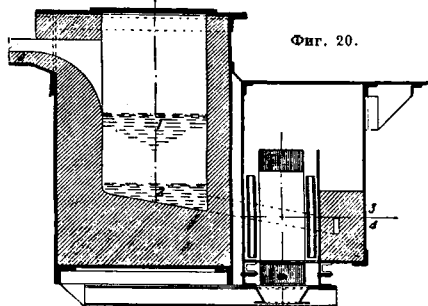
тока, 3 — автотрансформатор, 4 — сигнальная лампа, А — амперметр, Z — счетчик. Печи системы Эджакс-Визтт применялись преимущественно для латуни, однако за последнее время



Фиг. 19.

их стали применять и для плавки мельхиора, томпака, бронзы, красной меди, цинка и даже алюминия. В черной металлургии эти печи не применяются.

В настоящее время для плавки цветных металлов начали получать распространение Э. п. сист. Сименса (фиг. 20: 1 — садка 350 кг, 2 — болото. 3 — середина катушки, 4 — середина



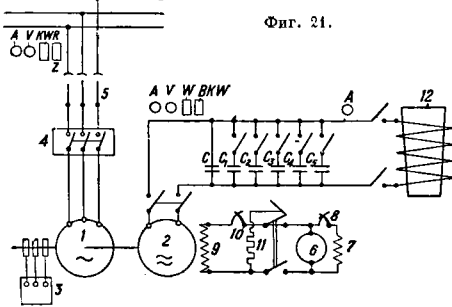
Фиг. 20.

трансформатора) с горизонтальным расположенным каналом, отличающиеся простотой конструкции и легкостью производства футеровки.

Лит.: Боярский М., Электрич. индукционные печи, М.—Л., 1932; Григорович К., Производство стали в электрич. печах, М.—Л., 1932; Фабма в С., Клобачев И., Индукционные электропечи для плавки цветных металлов и их сплавов, М.—Л.—Свердловск, 1933; Липин В., Металлургия чугуна, железа и стали, т. 3, ч. 1—Электроплавка, Л., 1926; Руссо Э., Электрич. печи для плавки цветных металлов, пер. с нем., 2 изд., М.—Л., 1932; Максименко М., Электротермия в химич. промышленности, М.—Л., 1933; Владельс К. и Аронов В., Электрич. печи для плавки металлов системы ГЭТ, «Известия ГЭТ», 1926, 12; Тама М., Der heutige Stand d. elektrischen Schmelzöfen für Nichtisenmetalle, «Ztschr. f. Metallkunde», 1926; Metzger Th., Elektroöfen in d. Metallkunde, «Ztschr. d. VDI», 1929, 11; Cambell D., Electric Furnace in Non-ferrous Metallurgy, «Journ. Inst. of Metals», 1927, 1; Cambell D., Recent Developments

In Electric Furnaces, *ibid.*, 1929, 1; Engelhardt, «St. u. Eis.», 1905, 3, 4, 5; «The Electric Review», 1913, v. 73, p. 411, Sept. 12; «ETZ», 1907, 44—47; «Electrical & Metallurgical Industry», 1904, p. 262; Hering C., «Transactions of the American Electrochemical Soc.», 1907, v. 11, p. 329; «Met. & Chem. Engin.», 1913, p. 99; «St. u. Eis.», 1904, 12—16; 1911, p. 116; 1913, p. 1871; «Iron & Coalworks Annals», 1917, 3—5. А. Шаталин.

**Бессердечниковые индукционные Э. п.** Индукционные Э. п. без магнитной цепи были предложены Дюбуа-Лоренцом в 1912/13 г. и введены в пром-сть Нортропом в 1916 г. В первые годы строились только небольшие Э. п. гл. обр. для исследовательских лабораторий. Около 1925 г. появились крупные вращающиеся генераторы повышенной частоты и усовершенствованные конденсаторы для бессердечниковых Э. п., что дало возможность повысить емкость Э. п. этого типа. Вскоре выяснились очень крупные технические и экономические преимущества новой системы Э. п. перед Э. п. других систем, и бессердечниковые Э. п. стали быстро внедряться в пром-сть. Однако перейти к мощным Э. п. удалось только после замены тиглей, обжигаемых вне Э. п., набиными, изготовляемыми в самой Э. п. В СССР инициатива по внедрению печей новой системы в пром-сть принадлежит проф. В. П. Вологдину. Под его руководством в Центральной радиолaborатории в 1931 г. был построен ряд Э. п.: сначала на 10 кг, а затем на 100 и 150 кг стали, к-рые позволили создать советскую систему бессер-



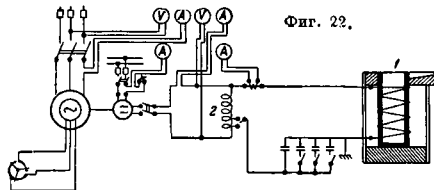
Фиг. 21.

дечниковых Э. п. Впоследствии в 1932 г. опыт, приобретенный Центральной радиолaborаторией, был передан заводу «Электрик» и Электропрому ВЭО (Ленинград). В 1933 г. при ближайшем содействии Центральной радиолaborатории установлена и пущена в ход крупнейшая в СССР установка на Ленинградском металлургич. комбинате по заказу Ленметаллургостроя. Установка состоит из 6 однотонных печей, питаемых четырьмя генераторами мощностью по 600 kW каждый.

**Принцип действия.** Бессердечниковая индукционная Э. п. состоит из тигля и окружающей его катушки, навитой из полый медной трубки. Если в тигель загрузить металл и через катушку пропустить переменный ток, то ток, наводимые в металле изменяющимся магнитным потоком, будут нагревать шихту. Т. о. здесь, как и в обыкновенном трансформаторе, электрическая энергия из первичной цепи передается во вторичную путем индукции. Но наличие значительного промежутка между катушкой и металлом обуславливает малую магнитную связь между ними, что приводит к образованию вокруг катушки большого потока рассеяния, который не участвует в переносе энергии из катушки в металл. Отсюда ясно, почему реактивная составляющая тока бессердечниковой Э. п. во много раз пре-

вышает активную его составляющую. Этим же объясняется тот факт, что неизменным спутником всякой бессердечниковой Э. п. является конденсаторная батарея, предназначенная для компенсации чересчур большой реактивной мощности Э. п. Бессердечниковая Э. п. может быть применена и для плавки непроводников, напр. стекла, кварца, если их поместить в тигель из проводящего материала, напр. графита.

**Схемы включения.** Конденсаторная батарея м. б. присоединена к генератору, питающему Э. п., или последовательно с Э. п., т. е. по схеме резонанса напряжений или параллельно с ней, т. е. по схеме резонанса токов. На практике для Э. п. средних и крупных мощностей применяется схема с параллельным включением конденсаторов, т. к. в этом случае распределительные шины и аппаратуру приходится рассчитывать только на активную составляющую тока печи. Наоборот, для малых Э. п., когда стоимость распределительных устройств не играет существенной роли, часто пользуются схемой резонанса напряжений. На фиг. 21 и 22 приведены две



Фиг. 22.

схемы включения бессердечниковых Э. п. Одна для крупных Э. п. с параллельным включением конденсаторов [фиг. 21, где 1 — двигатель, 2 — генератор повышенной частоты, 3 — пусковое устройство, 4 — главный выключатель, 5 — разъемные соединители, 6 — динамо-возбудитель, 7 — поле возбуждения динамо, 8 — регулятор поля воз-

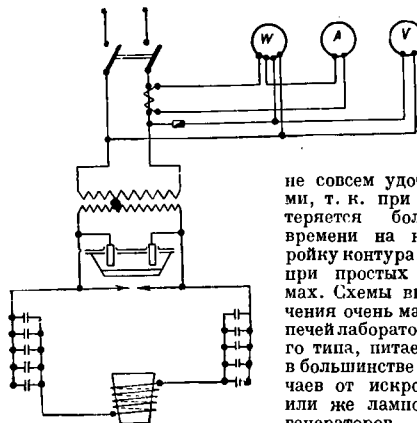


Фиг. 23.

буждения динамо, 9 — возбуждение генератора, 10 — регулятор возбуждения генератора, 11 — разгрузочное (защитное) сопротивление, 12 — Э. п., C — постоянно включенная емкость, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, ..., C<sub>6</sub> —включаемые группы конденсаторов, A — амперметр, V — вольтметр, W — ваттметр, KWR — регистрирующий ваттметр, Z — счетчик, BKW — указатель реактивной мощности для облегчения настройки контура на резонанс]. Вторая — для малых Э. п. с последовательным включением конденсаторной батареи. Схема, аналогичная изображенной на фиг. 22, применяется в СССР для однопольтовых Э. п. По этой схеме Э. п. 1 присоединяется к генератору через автотрансформатор 2, что позволяет плавить разные металлы без смены катушки путем изменения напряжения на печи. Часть конденсаторов (около половины) обычно присоединяется непосредственно к Э. п., другая же часть разбивается на группы и присоединяется при помощи выключателей. Рассмотренные схемы являются основными, наиболее распространенными, но встречаются еще несколько более сложные, комбинированные схемы, напр. изображенные на фиг. 23. Они хороши в том отношении, что дают возможность подбирать наилучший режим работы для генератора



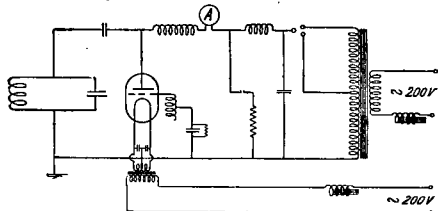
в различные периоды плавки путем изменения эквивалентного активного сопротивления контура печи. Но на практике такие схемы оказываются



Фиг. 24.

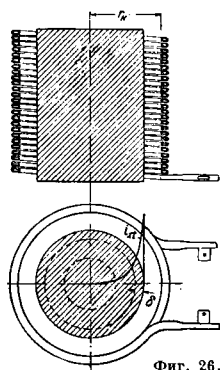
не совсем удобными, т. к. при них теряется больше времени на настройку контура, чем при простых схемах. Схемы включения очень малых печей лабораторного типа, питаемых в большинстве случаев от искровых или же ламповых генераторов, изображены на фиг. 24 и 25.

Основные соотношения. Распределение плотности токов внутри загрузки в виде сплошного



Фиг. 25.

цилиндра. Вместо раздробленной шихты с целью упрощения исследований обычно рассматривают сплошной металлический цилиндр, помещенный внутри индукционной катушки (фиг. 26).



Фиг. 26.

При пропускании через катушку переменного тока в теле цилиндра возникает магнитное и электрическое поле, симметричное относительно его оси. Силовые линии магнитного поля будут расходитьсь веерообразно у концов цилиндра, но при достаточной длине цилиндра возможно допустить, что магнитное поле будет аксиальным внутри цилиндра. Индуцированные в цилиндре токи будут очевидно циркулировать по окружностям, которые расположены в плоскостях, перпендикулярных к его оси. Вследствие явления вытеснения тока при высоких частотах амплитуда плотности токов достигает максимального значения на поверхности цилиндра  $i_{om}$  и по мере приближения к оси его уменьшается

по экспоненциальному закону. Мгновенное значение плотности тока  $i_{xt}$  в любой точке внутри цилиндра  $m$ . б. выражено ур-ием

$$i_{xt} = i_{om} \cdot e^{-kx} \cdot \sin(\omega t - kx). \quad (1)$$

Это значит, что с изменением расстояния от поверхности цилиндра  $x$  изменяется не только амплитуда, но и фаза электрич. колебаний. То же можно сказать и относительно колебаний магнитного поля. Коэф.

$$k = 2\pi \sqrt{\mu \sigma f} \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}, \quad (2)$$

где  $\mu$  — магнитная проницаемость материала загрузки,  $f$  — частота питающего тока в Гц,  $\sigma$  — проводимость материала шихты в  $\Omega^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Во многих случаях бывает полезно рассматривать вместо  $k$  величину, обратную этому коэф-ту:

$$\delta = \frac{1}{k} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\mu \sigma f} \cdot 10^{-9}} \text{ см} = \frac{5 \cdot 930}{\sqrt{\mu \sigma f}} \text{ см}; \quad (3)$$

$\delta$  носит название глубины проникновения. Она представляет собой фиктивную, не физическую, величину и имеет след. смысл: ею определяется толщина наружного слоя цилиндра, в к-ром при равномерной плотности тока, равной плотности тока на поверхности цилиндра, выделялось бы в единицу времени столько же энергии, сколько и при фактич. распределении тока в массивном цилиндре. Однако все предыдущие соотношения и только что сделанное замечание справедливы лишь до тех пор, пока величина  $\delta$ , вычисленная по предыдущей ф-ле, будет значительно меньше диаметра цилиндра. В противном случае

распределение плотности тока и напряженности магнитного поля в теле цилиндра будет изменяться по кривым, выражаемым Бесселевыми ф-ями. Уравнение высокочастотной печи при любых частотах. Зависимость между напряжением  $V_k$  на зажимах печи и током  $I_k$ , протекающим через катушку, м. б. выражена следующим ур-ием

$$V_k = I_k \{ (R_k + a\mu A) + j[\omega L_k - a(1 - \mu B)] \}, \quad (4)$$

где  $R_k$  — активное сопротивление катушки переменного тока в  $\Omega$ ;  $\omega L_k = \omega (\pi d_k n_k)^2 h_k \cdot 10^{-9} \Omega$  — индуктивное сопротивление катушки при отсутствии загрузки в тигле в  $\Omega$ ;  $\omega = 2\pi f$ ;  $a = \omega (\pi d n_k)^2 \cdot h \cdot 10^{-9}$ ;  $j = \sqrt{-1}$ ;  $\mu$  — магнитная проницаемость,  $d$  — средний диаметр ванны в см,  $d_k$  — внутренний диаметр катушки в см;  $n_k$  — число витков на 1 см длины катушки;  $h$  =  $h_k$  — высота загрузки, равная высоте катушки в см;  $A$  и  $B$  — нек-рые ф-и параметра  $u$ , равного

распределение плотности тока и напряженности магнитного поля в теле цилиндра будет изменяться по кривым, выражаемым Бесселевыми ф-ями. Уравнение высокочастотной печи при любых частотах. Зависимость между напряжением  $V_k$  на зажимах печи и током  $I_k$ , протекающим через катушку, м. б. выражена следующим ур-ием

$$u = r \sqrt{4\pi \mu \sigma \omega} \cdot 10^{-9} = \frac{d_k}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{d}{\delta} \left( r = \frac{d}{2} \right).$$

Функции  $A$  и  $B$  изображены на фиг. 27. Приближенные их значения

$$\left. \begin{aligned} & \text{для } u < 1 \quad \left. \begin{aligned} A &= \frac{u^2}{8}, \quad B = 1, \\ & \text{для } u > 8 \quad \left. \begin{aligned} A &= \frac{\sqrt{2}}{u} = \frac{\delta}{r}, \quad B = \frac{\sqrt{2}}{u} = \frac{\delta}{r} \left( r = \frac{d}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (5) \end{aligned} \right\}$$

Активное сопротивление катушки м. б. подсчитано по ф-ле

$$R_k = 2\pi^2 d_k h_k \sqrt{\frac{f}{\sigma_k \cdot 10^{-9}}} \cdot n_k^2 \cdot 10^{-9}. \quad (6)$$

Катушки бессердечниковых печей делаются обычно из меди; поэтому, полагая

$$\sigma_k = \frac{1}{\rho_k} = \frac{1}{1,8 \cdot 10^{-9}} \Omega^{-1} \text{ см}^{-1},$$

получим следующую ф-лу для расчета  $R_k$ :

$$R_k = 0,84 \cdot 10^{-6} \cdot d_k h_k \sqrt{f} \cdot n^2 \Omega. \quad (7)$$

Рассматривая уравнение (4), легко заметить, что эффект внесения загрузки в катушку выражается в увеличении ее активного сопротивления и изменении ее индуктивного сопротивления в сторону уменьшения, когда  $1 - \mu B > 0$ , или в сторону увеличения, когда  $1 - \mu B < 0$ . На практике обычно наблюдается понижение индуктивного сопротивления Э. п. после завалки раздробленной шихты. Это позволяет установить в электрическом отношении аналогию между бессердечниковой печью и воздушным трансформатором. Из ур-ня (4) легко получить выражения для расчета мощности поглощаемой шихтой  $P_a$  и реактивной составляющей мощности Э. п.  $P_b$ :

$$P_a = a \mu A I_k^2, \quad (8)$$

$$P_b = [\omega L_u - a(1 - \mu B)] \cdot I_k. \quad (9)$$

Эффективность нагрева зависит от мощности, генерируемой в единице объема нагреваемого тела, называемой удельной мощностью. Из предыдущих уравнений вытекает, что удельная мощность

$P_a = \frac{P_a}{\pi r^2}$  и равна:

$$P'_a = \text{Const } \mu f A (I_k n_k)^2$$

или для  $u < 1$

$$P'_a = \text{Const } \mu^2 f^2 d^2 \sigma (I_k n_k)^2$$

и для  $u > 8$

$$P'_a = \text{Const } \frac{1}{d} \sqrt{\frac{\mu f}{\sigma}} \cdot (I_k n_k)^2$$

Мощность, подводимая к Э. п., пропорциональна квадрату ампервитков на 1 см, т. е. пропорциональна квадрату линейной нагрузки.

По мере увеличения диаметра нагреваемого цилиндра мощность, выделяемая в каждой единице его объема, сначала возрастает очень быстро, затем проходит через максимум и начинает медленно спадать. Из кривой для  $A$  следует, что оптимальными являются те значения диаметров и те частоты, при которых параметр  $u = 2,5$ . Однако условие, при котором в загрузку в виде сплошного цилиндра передается наибольшая мощность, не совпадает с условием благоприятной электрич. отдачи печи. На фиг. 28 изображена примерная кривая изменения электрич. кпд  $\eta_s$  Э. п. в зависимости от параметра  $u$ . При значениях  $u = 8$  кпд почти достигает своего предельного значения, равного

Фиг. 28.

$$\eta_s = \frac{1}{1 + \frac{d_k}{d} \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_k}}} \quad (11)$$

и затем остается почти постоянным. Для Э. п. средних размеров  $\frac{d_k}{d} = 1,4$ . В этом случае пре-

дельные значения электрич. кпд, близкие к действительности, будут: для стали в жидком состоянии ( $\sigma = \frac{1}{160} \cdot 10^9 \Omega^{-1} \text{ см}^{-1}$ )  $\eta_s = 0,87$ , для меди в жидком состоянии ( $\sigma = \frac{1}{22} \cdot 10^9 \Omega^{-1} \text{ см}^{-1}$ )  $\eta_s = 0,71$ . При  $u = 2,5$  отдача бессердечниковых Э. п. значительно хуже. Из предыдущего вытекает, что при значениях  $u > 8$   $\eta_s$  от частоты почти не зависит. Как это ни странно на первый взгляд, но при низких частотах полезная отдача бессердечниковых Э. п. ниже, чем при высоких частотах.

Коэффициент мощности. Т. к. у бессердечниковых индукционных Э. п. активная составляющая мощности, подводимой к Э. п., во много раз меньше реактивной составляющей, то без большой погрешности можно положить, что коэф. мощности печи равен отношению активной мощности к реактивной:

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{P_b \cdot \eta_s} = \frac{\mu A}{\left[ \left( \frac{d_k}{d} \right)^2 - (1 - \mu B) \right] \eta_s}. \quad (12)$$

Для больших значений  $u$  (напр.  $u > 25$ ) и при  $\mu = 1$

$$\cos \varphi \approx \frac{\text{Const}}{\sqrt{f \sigma}},$$

т. е. при заданных размерах печи коэф. мощности изменяется обратно пропорционально корню квадратному из частоты и проводимости материала загрузки. У однотонных Э. п. для плавки стали при  $f = 500$  Hz коэф. мощности в среднем равен 0.1. Все приведенные соотношения верны при любых частотах, но при условии, что нагреваемое тело в виде массивного цилиндра помещено в достаточно длинную катушку, магнитное поле которой можно считать аксиальным и однородным. При более точных расчетах д. б. введены поправки на конечные размеры загрузки и катушки. Большие затруднения в расчете бессердечниковых Э. п. вносит также раздробленность шихты. В этом случае пользуются данными, полученными из наблюдений. Печи для стали рассчитывают обычно для  $\mu = 1$  и для нек-рого значения уд. сопротивления, лежащего в пределах от  $\rho = 100 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{см}$  до  $\rho = 160 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{см}$ .

Мощность генератора. Частота. Напряжение на печи. С увеличением мощности генератора ускоряется плавка, однако слишком увеличивать скорость нагрева нецелесообразно, так как при этом могут возникнуть затруднения с ведением плавки. Необходимо также иметь в виду экономические соображения. При большой скорости плавки затраты времени на выпуск металла, загрузку шихты, рафинировку ванны, анализы составляет значительную часть от времени полезной работы, что приводит к понижению отдачи и коэф-та использования установки. Повышение мощности генератора неблагоприятно отражается и на стоимости установки (самого генератора, конденсаторов, распределительного устройства). С другой стороны, при генераторе с уменьшенной мощностью плавка слишком затягивается, а это понижает производительность Э. п. и тем лишает ее одного из основных преимуществ по сравнению с дуговой печью. Длительная плавка сопряжена с опасностью вредного окисления ванны, но по мере увеличения емкости печи это неудобство уменьшается, так как уменьшается отношение поверхности, окисления к объему металла. Исходя из этих соображений, скорость плавки понижают по мере увеличения размеров Э. п. Если взять

для примера однотонные Э. п., то фирма Сименс (в Германии) устанавливает для их питания генераторы мощностью в 450 kW, а фирма Метро-Виккерс (в Англии) 650 kW. В первом случае

Табл. 8.—Данные высокочастотных печей завода «Электрик» для стали.

Данные	ПО-10	ПО-150	ПО-300	ПО-600
Мощность генератора, kW	10	150	300	600
Напряжение, V	220	1 500	1 500	2 000
Частота, Hz	10 000	2 000	2 000	500
Диаметр тигля (средний), мм	107	310	400	500
Диаметр катушки, мм	160	460	570	690
Высота металла в тигле, мм	160	450	560	730
Высота катушки, мм	200	503	688	906
Число витков	32	22	14	30-4
Напряжение печи, V	700-1 200	1 400	1 400	1 800
Ток в катушке, A	180-172	1 330	2 000	2 670
Реактив. мощность, kVA	127 при 750 V	2 160	4 000	4 950
Шаг витков, мм	6	23	46	27
Промежутки между витками, мм	1	3	4	4
Емкость, pF	3,6	72,3	160	400
Емкость печи, кг	8-10	250	5 000	1 000

\* Имеются в виду печи, намеченные к изготовлению. Из них к концу 1933 г. а-дом «Электрик» построены однотонные печи.

1 т стали м. б. расплавлена в 60—65 мин. во втором случае — в 50—55 мин. Для печей емкостью в 2 т и выше ориентируются на продол-

Табл. 9.—Характеристика индукционных печей системы Сименс-Шуккерг.\*

Емкость печи в кг	Мощность в kW		Напряжение генератора в V	Частота в Hz	Расход энергии в kWh/m	Продолж. плавки в мин.
	генерат.	двигат.				
100	66	90	700	10 000	Сталь 830 Медь 500 Латушь 350	60-65 40-45 25-30
250	100	130	1 800	500	Сталь 650 Медь 400 Латушь 270	80-85 50-60 35-40
500	250	300	3 000	500	Сталь 600 Медь 350 Латушь 250	60-65 40-45 30-35
1 000	450	550	3 070	500	Сталь 500	60-65
2 000	750	850	3 000	500	Сталь 500	60-70
5 000	1 500	1 650	3 000	500	Сталь 450-480	70-80

\* Данные заимствованы из коммерческих предложений фирмы, относящихся к 1931—1932 гг.

жительность плавки в 90—120 мин. В табл. 8 приведены данные для Э. п. з-да «Электрик» в Ленинграде.

Фирма Сименс устанавливает для своих Э. п. генераторы значительно меньших мощностей, как это видно из табл. 9. Что касается частоты питающего тока для различных типов Э. п., то при выборе ее приходится принимать во внимание кпд установки, материал и величину кусков заготовки, конструктивные соображения, стоимость генератора и конденсаторов, интенсивность циркуляции жидкого металла. Не вдаваясь в подробности, ограничимся приведением ориентировочной таблицы, по которой можно судить о наиболее часто применяемых в наст. время частотах при постройке бессердечниковых печей.

Назначение Э. п. Частота в Hz

Небольшие печи, гл. обр. лабораторного типа . . . . .	10 000—300 000
Печи промыш. типа для стали, 100—600 кг . . . . .	500—2 000
То же, 1 500—3 000 кг . . . . .	500—1 000

Выбор напряжения на Э. п. зависит отчасти от стоимости конденсаторов, отчасти от конструктивных соображений и соображений безопасности при обслуживании. Обычно оно выбирается в пределах 750—3 000 V. Число витков катушки при прочих равных условиях изменяется пропорционально напряжению на Э. п., что позволяет варьировать в известных пределах число и шаг витков, если это необходимо по конструктивным соображениям.

Расход энергии. Коэффициент полезного действия. Теоретич. расход энергии на выплавку 1 т стали можно считать равным 340 kWh/m или, округляя, 350 kWh/m. Практически же на расплавление 1 т стали в бессердечниковых Э. п. необходимо в среднем затратить 650 kWh. Следовательно общий кпд будет равен

$$\eta = \frac{350}{650} = 54\%.$$

Фактически кпд колеблется от 50 до 60%. Для перегрева стали на 100° необходимо еще подвести к печи 24 kWh/m. По данным J. Minssieux количество энергии, необходимое для расплавления 1 т стали с содержанием 0,8% С и с перегревом на 100°, равно 375 kWh. Для быстрорежущей стали с содержанием 18% W, 4% Cr и 1,5% V необходимая энергия при тех же условиях составляет 328 kWh/m. По данным того же автора при работе на жидкой садке перегрев ванны на 200° требует общего расхода энергии приблизительно в 110 kWh/m.

В табл. 9 приведены цифры расходов энергии на расплавление 1 т стали в Э. п. различных мощностей, в гарантируемых фирмой Сименс при стандартных испытаниях. В эксплуатационных условиях расход энергии повышается. Первые плавки в однотонных Э. п. советского производства потребовали расхода энергии в 680 kWh/m.

Чтобы дать представление о расходе энергии для плавки других металлов и сплавов, приводим данные фирмы Лоренц. Цифры относятся к небольшой эле-

ктрической печи вместимостью 30 л при частоте 1 000 Hz.

Материал	kWh/m	Материал	kWh/m
Серебро . . . . .	300-400	Сплав из 72% серебра	600
Латушь . . . . .	320	28% меди	
Бронза . . . . .	350	Никель . . . . .	700-800
Алюминий . . . . .	500	Сплав из 50% никеля	820
Медь . . . . .	600	50% железа	
Медь-никель . . . . .	600		
Низингбер . . . . .	600		
Сталь . . . . .	700-850		

При плавке в очень малых Э. п. вместимостью 1 л и меньше расход энергии может возрасти в 2—3 раза, гл. обр. из-за понижения отдачи генераторного устройства и значительных термич. потерь через стенки Э. п.

Основные элементы установок с бессердечниковыми Э. п. Наибольшего внимания заслуживают следующие составные части печной установки: а) генератор, б) конденсаторная батарея, в) Э. п. с карнасом и поворотным механизмом. Выбор типа генератора зависит от размеров Э. п. Очень малые Э. п. (емкостью до 1 л), применяемые в лабораторной практике, должны питаться током высокой частоты, порядка 10 000 Гц и выше. Для таких Э. п. выбирают или искровые генераторы высокочастотных колебаний или ламповые. Схемы включения Э. п. в том и другом случае изображены на фиг. 24 и 25. Искровой разрядник м. б. или вращающегося типа или с неподвижным искровым разрядом в ртутной ванне (система Нортроп). Первая система распространена гл. обр. во Франции, вторая — в Америке. В СССР предпочитают питать лабораторные Э. п. от ламповых генераторов. Они значительно дороже искровых, но более надежны в эксплуатации и кроме того дают возможность в широких пределах изменять частоту колебаний. Однако для их обслуживания требуется персонал более высокой квалификации, чем для искровых генераторов. Повышение мощности печных установок было достигнуто путем применения вращающихся генераторов с частотой 500—2 000 Гц, хотя строятся также небольшие вращающиеся генераторы на 10 000 Гц. Эти генераторы обычно индукторного типа, так как при изготовлении генераторов обычного типа для повышенных частот встречаются значительные затруднения. У генераторов индукторного типа ротор сделан исключительно из листов железа; он имеет впадины, но в них обмотка отсутствует. Обмотка возбуждения неподвижна и не подвергается никаким усилиям. Генераторы вращаются асинхронным мотором с фазовой обмоткой. Управление вращающимися генераторами очень простое.

Конденсаторы. Конденсаторная батарея является очень ответственной и дорогой частью всякой установки с бессердечниковыми печами. Т. к. реактивная мощность, подлежащая компенсации, в 10—20 раз превышает активную мощность, поглощаемую нагреваемым металлом, то вполне естественно, что в конденсаторах установок с бессердечниковыми Э. п. применяются строгие требования в отношении стоимости, потерь, габаритов и электрической прочности. Для Э. п. лабораторного типа, работающих при очень высоких частотах (порядка 100 000 Гц и выше), оказались пригодными сложенные конденсаторы, применявшиеся в радиотехнич. практике. Стоимость этих конденсаторов довольно высока, но они обладают большой электрич. прочностью и очень малыми потерями. Для Э. п. промышлен. типа применяются бумажно-масляные конденсаторы. Выбор бумаги обуславливается ее свойствами как диэлектрика, а именно: а) дешевизной, б) сравнительно большим диэлектрич. коэф-том, что позволяет строить конденсаторы малого объема, в) относительно высокой электрич. прочностью, г) малыми потерями. Погружение же в минеральное масло при условии его чистоты и отсутствия влаги способствует повышению электрич. прочности и улучшает теплоотдачу. Последнее обстоятельство играет важную роль, т. к. надежная работа конденсаторов обеспечивается при  $t^\circ$  масла, не превышающей 50—55°. В СССР производство бумажно-масляных конденсаторов для бессердечниковых Э. п. в промышленном масштабе налажено в мастерских Научно-исследовательского сектора Киевского энер-

гетич. ин-та, а также на заводе им. Козицкого в Ленинграде. По своему устройству конденсатор Киевского энергетич. ин-та напоминает конденсаторы америк. фирмы GE Co. Конденсатор состоит из нескольких секций, отделенных одна от другой каналами для лучшего охлаждения. Каждая секция представляет собой многопластинчатый конденсатор плоского типа, в котором слои бумаги по 6—14 листов чередуются с листами фольги. Бумага чисто льняная, очень тонкая, толщиной 0,008—0,015 мм, толщина фольги около 0,0075 мм. Секции соединяются последовательно или параллельно в зависимости от напряжения и мощности конденсатора. Секции, скрепленные в один компактный блок, помещаются в кожух из жести, наполненный маслом. На крышке кожуха укреплены фарфоровые проходные изоляторы и имеется отверстие, закрываемое пробкой, для заливки конденсатора минеральным маслом. Собранный конденсатор подвергается сушке под вакуумом и затем под вакуумом же заливается минеральным маслом, к-рое предварительно тоже просушивается и фильтруется. Тщательное выполнение указанных операций — необходимое условие для надежной работы конденсатора. Конденсаторы Сименс-Гальске по своим размерам и по емкости значительно больше конденсаторов советского производства.

Печь. Составные части Э. п. следующие: катушка, ее крепление, карнас Э. п. с поворотным механизмом, тигель. Катушка Э. п. изготовляется из красной меди. На фиг. 29 показано поперечное сечение витков катушек двух систем. Проще всего по своей конструкции катушки опытных Э. п., к-рые изготовлены Центральной радиолaborаторией (ЦРЛ) и Э. п. фирмы Лоренц (фиг. 29, а). Они имеют прямоугольное сечение и прокатываются из круглой медной трубки. Сложнее устройство витков у однотонных Э. п. завода «Электрик» и Э. п. англ. фирмы Метро-Виккерс (фиг. 29, б); у них витки состоят из массивного медного проводника профильного сечения и наложенной на них медной трубки. Только по массивному проводнику протекает ток, в трубке же циркулирует вода. Массивный проводник применен не для уменьшения сопротивления катушки, а для защиты ее от тяжелого повреждения в случае протекания металла через тигель.

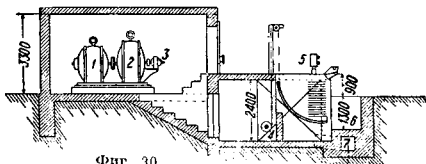
Крепление катушки. Крепление на печах, построенных Центральной радиолaborаторией, осуществлено очень просто; вместе с тем достигнута и большая прочность. В стыках из пертинакса делаются вырезы, в которые вставляются пластинки из того же материала. Толщина пластинок равна расстоянию между витками. Пластинки изолируют витки один от другого. Стойки прикрепляются при помощи латунных уголков к двум шайбам из асбестобетона, пропитанных для прочности жидким стеклом. Совершенно другая конструкция крепления у катушек фирмы Метро-Виккерс. Стойки и шайбы у этой Э. п. — из немагнитной профильной стали (никелевой), что придает особую прочность креплению катушки. Эта конструкция особенно пригодна для очень крупных Э. п., хотя у Метро-Виккерс она применяется для сравнительно небольшой Э. п. (емкостью всего  $\frac{1}{4}$  м).

Карнас Э. п. и поворотный механизм. Э. п. промышленного типа устанавливаются и закрепляются в особых карнасах, сде-



Фиг. 29.

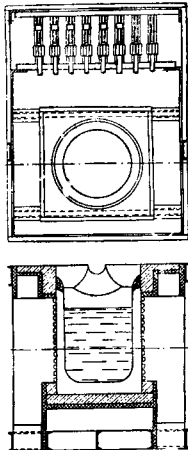
ланных из уголкового или профильного материала: латуни, железа или немагнитной стали. Каркасы из латуни чаще применяют для Э. п. небольшой мощности, вместимостью примерно до 15 т (печи ЦРЛ). Для более крупных Э. п. каркас может быть сварным из профильного обыкновенного железа, только в нек-рых местах скрепление частей каркаса производится с помощью уголков и болтов, при этом эти части электрически разведируются изоляционными прокладками. Без этого те стороны каркаса, которые образуют замкнутые контуры, пересекаемые магнитным полем катушки, нагревались бы от наводимых в них токов. Необходимо такие контуры электрически развести хотя бы в одном месте, чтобы избежать в них потерь. Железные каркасы мы встречаем в печах нем. фирм. Конструкция эта дешевая, но очень громоздкая, так как стороны каркаса приходится относить возможно дальше от катушки, чтобы избежать потерь на токи Фуко. Крупные Э. п. советского производства, так же как и Э. п. фирмы Метро-Виккерс, снабжены каркасами, изготовленными из немагнитной профильной стали. Размеры Э. п. становятся значительно меньше. Потери же от вихревых токов сравнительно невелики. Катушка в Э. п. советской системы устанавливается между двумя шамотными основаниями (нижним и верхним). С боковых же сторон кар-



Фиг. 30

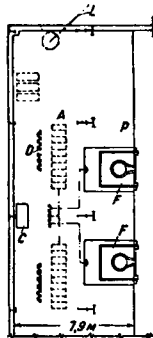
кас закрывается съемными листами из цементованного асбеста. Э. п. фирмы Сименс устанавливаются на деревянных перекрытиях, пропитанных огнеупорным составом. Каркас поддерживается цапфами, покоящимися в подшипниках, которые в свою очередь укрепляются на металлических стойках. Ось цапф должна проходить по возможности ближе к носку Э. п., чтобы при опрокидывании Э. п. для выливания металла конец носка опсывал по возможности небольшую дугу. Маленькие Э. п. могут опрокидываться вручную. Б. или м. крупные печи снабжаются или специальным опрокидывающим механизмом с электромоторным приводом или же опрокидываются при помощи крана, перемещающегося над местом расположения печи. Последний способ опрокидывания самый простой, он применяется в Америке и в СССР (одностонные Э. п. в-да «Электрик»). Если цех невелик и в нем нет электрич. крана или поточной лебедки, то опрокидывание можно производить при помощи лебедки с моторным приводом (фиг. 30, где 1 — мотор, 2 — генератор, 3 — возбудитель, 4 — лебедка, 5 — рубильник для вентилятора и мотора лебедки, 6 — литейная яма, 7 — вентиляционный канал). Такой способ применен в печах ЦРЛ. Третья система опрокидывания печи принадлежит фирме Сименс. Электродвигатель при помощи червячной передачи вращает вертикальный червяк, на к-ром надета муфта. Муфта скользит при вращении червяка по опорному швеллеру, неподвижно прикрепленному к печи, вследствие чего печь или опускается или поднимается в зависимости от направления вращения вертикального червяка. Механизм этот требует

внимательного ухода, иначе он может отказаться работать в самый критический момент во время выливания металла. Еще более сложная система опрокидывания для печей в  $\frac{1}{4}$  т разработана фирмой Метро-Виккерс. Для нее необходим электродвигатель малой мощности благодаря применению тяжелых противовесов, но подобный механизм дорог и едва ли целесообразен для крупных печей. На фиг. 31 представлен вид сверху и разрез мощной четырехтонной печи, установленной в Чикаго. Печь может давать 45—50 т металла в сутки. Она питается от генератора мощностью 1250 kVA, 1000 Hz. На фиг. 32 изображен план этой установки (А — конденсаторы, С — пульт управления, D — контакторы конденсаторов, F — четырехтонные печи, работающие попеременно, L — проводка, идущая от генератора).



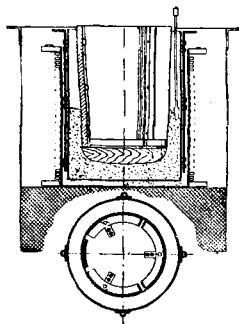
Фиг. 31.

Тигель. Способ изготовления футеровок бессердечниковых печей. Тигель — очень ответственная часть бессердечниковой печи. Его почти цилиндрическая форма с небольшим расширением сверху очень удобна для металлургов, но условия его работы довольно тяжелые гл. обр. потому, что стенки тигля в бессердечниковой печи нельзя сделать очень толстыми во избежание значительного понижения коэффициента мощности печи. Поэтому к тиглю бессердечниковой Э. п. предъявляются особые серьезные требования. Тигель должен быть механически настолько прочным, чтобы он легко мог выдерживать сотрясения при загрузке шихты и давление столба жидкого металла. Кроме того он должен хорошо противостоять химич. воздействиям шлаков и жидкого металла при высокой  $t^{\circ}$ , а также д. б. стойким при больших  $t^{\circ}$ -ных колебаниях. В начале для плавки в бессердечниковой Э. п. пользовались вставными тиглями из огнеупорной глины или графита. Тигли обжигались вне Э. п., затем вставлялись в Э. п. и окружались еще слоем теплоизолирующего материала. Верхняя часть замазывалась огнеупорной глиной. Графитовые тигли обычно футеровались цирконом или магнезией для prolongации срока их службы и для избежания науглероживания металла. Срок службы таких тиглей весьма невелик, они выдерживают примерно 6—20 плавков. Кроме того вообще они неприемлемы для крупных печей емкостью больше чем на 500 кг стали. Поэтому вставными тиглями теперь пользуются только для очень малых Э. п. В настоящее время для больших Э. п. общеприняты тигли, набиваемые и обжигаемые непосредственно в самой Э. п. Материалом для набойки может служить совершенно сухая огнеупорная масса или же слегка увлажненная масса. Проще всего выполняется набивка из сухой массы. В Э. п.



Фиг. 32.

вставляется металлический, слегка расширяющийся сверху шаблон и между ним и индукторной катушкой, предварительно обложенной асбестовыми листами (толщиной 3—5 мм), утрамбовывается очень внимательно огнеупорная сухая масса. Шаблон изготавливается из листового железа и имеет форму плавильной камеры. По окончании набивки тигель в верхней части обмазывается огнеупорной глиной, и ватем металл. шаблон током катушки нагревается до  $t^{\circ}$  красного каления для спекания наружного слоя футеровки. К огнеупорной массе прибавляют небольшие количества таких веществ, как измельченное стекло и борная кислота. Измельченное стекло добавляется в том случае, когда в тигле необходимо плавить сплавы, содержащие серебро, медь, которые в жидком состоянии легко проникают через стенки футеровки. При первой же плавке шаблон расплавляется, и футеровка окончательно спекается. Образуется компактный и вполне однородный состав, причем спекание массы происходит не по всей толщине стенки, наружный слой вблизи катушки остается порошкообразным; так. образ. образуется буферный слой, служащий тепловой изоляцией и предохраняющий катушку от повреждения в случае резких колебаний  $t^{\circ}$  (термические толчки). Такие набойки в случае тщательно подобранного состава массы и величины зерен и при условии тщательной утрамбовки очень хорошо сопротивляются химич. воздействию металла и служат продолжительное время. Метод набойки всухую распростра-



Фиг. 35.

нен во Франции, Англии, отчасти в Германии (заводы Круцца) и в СССР. Он очень прост и экономичен. Второй метод сохранился главным образом в Германии, но применяется и в СССР. В этом случае в огнеупорную массу вводится небольшой процент влаги и добавляются связующие вещества (напр. жирная земля, глина). Из этой массы набивается внутренний слой тигля (футеровка), а из такой же безводной массы набивается буферный слой между первым слоем и катушкой. При этом сначала между двумя шаблонами набивается футеровка и утрамбовывается она очень энергично пневматич. или электр. аппаратами. Буферный же слой набивается вручную при помощи трамбовки с острым башмаком. Подобный разъемный шаблон для набивки можно видеть на фиг. 33. Таким же путем из двух слоев набивается и подина. Верхняя часть тигля подмазывается той же массой, но более влажной, или огнеупорной глиной. После окончания набойки внутренний разборный шаблон вынимается и производится тщательная просушка тигля при помощи очень осторожно загруженной в тигель шихты, примерно в течение 2—4 час., смотря по влажности набойки. Мощность, подводимую к Э. п., повышают постепенно таким образом, чтобы к концу сушки и началу плавки она достигла полной нормальной величины, после чего производят плавку. Огнеупорная масса спекается при первой же плавке. Этот метод может дать экономию, так как отпадает расход на металл. шаблон для каждой новой набойки,

но одновременно нужно иметь в виду, что вследствие введения глины, напр. в кремнистую набойку, огнеупорное свойство последней и шлакоустойчивость понижаются, что ведет к сокращению срока службы тигля, а при невнимательной просушке приводит к разрушению тигля, вытеканию металла и повреждению катушки. Не так давно в практику стал входить еще один метод изготовления тиглей — из фасонных кирпичей. Этот способ уже нашел применение на некоторых заводах в Англии и Америке. Имеются в виду крупные Э. п. Кирпичи м. б. основные и кислые. Из них выкладываются отдельные слои. Кирпичи из кварцевой массы образуются кремнистым цементом. Обжиг производится при первой плавке. Кроме трех описанных основных методов существуют еще и другие методы изготовления набоек. Все методы набивки находятся еще в стадии совершенствования.

Составы огнеупорных масс для футеровки бессердечниковых Э. п. могут быть кислые, основные и нейтральные. Приводим несколько наиболее распространенных в настоящее время рецептов для набоек.

Кислые набойки. 1. Масса для изготовления футеровки всухую: кварцит с зерном 2—3 мм  $\frac{2}{3}$  ч., кварцит, размолотый в пыль,  $\frac{1}{3}$  ч., борная к-та в порошок 1,5—2%. Увлажнение не допускается. 2. Для изготовления футеровки из увлажненных материалов в Германии применяется эйзенбергский или пфальцкий песок (клебад), слегка увлажненный естественный материал. Его состав по данным Бишофа приведен в табл. 10.

Табл. 10.—Состав песка для кислых набоек Э. п. (в %).

Местонахождение	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+N <sub>2</sub> O
Пфальц	69,29	28,60	1,54	0,07	0,11	1,93
Эйзенберг	80,63	6,08	0,99	—	—	0,32

3. Вместо предыдущей массы в СССР м. б. применена масса, соответствующая ей по своему составу и термическим свойствам: молотый кварц с величиной зерен 1—2 мм — 23% (по весу); молотый кварц в пылеобразном виде — 13%; кварцевый песок (люберейки) — 37%; каолин, размолотый в пыль, — 27%. Кроме того добавляется 5—7% воды.

Основные набойки. 4. В Германии в Бохумском институте применяется магнезит, состоящий из  $\frac{1}{2}$  крупнозернистого и остального мелкозернистого. В качестве связующего вещества добавляется немного жидкого стекла и около 3% по весу глины. Буферный слой набивается немного толще, чем футерованный, т. к. в магнезитовом тигле всегда появляются трещины. 5. Состав массы для основных набоек, которая м. б. применена в СССР: магнезит саткинский с зерном 1—3 мм — 25%; то же с зерном не менее 1 мм — 40%; то же размолотый в тонкий порошок — 15%; каустич. магнезит — 20%; глина шамотная — 1,5%. Для сжигания на 100 ч. массы берется 8—10 ч. воды. Масса применяется отделом экспериментальной металлургии ВИАМ в Москве.

Нейтральная футеровка. 6. По Нортропу нейтральная футеровка м. б. изготовлена из очень чистого песка — силиката циркония. Этот материал обладает всеми положительными свойствами кварцевого песка, но превос-

ходит его в отношении огнеупорности. В Америке для нейтральных футеровок используется «там-циркон», который смешивается с 15% того же песка, смолотого в тонкий порошок.

Стойкость тиглей. Продолжительность службы футеровки в большой степени зависит от состава выплавляемой стали, от того, ведется ли плавка непрерывно или с перерывами, от  $t^\circ$  выпуска, от характера шлаков, физического состояния загрузки. Возьмем для примера нержавеющую сталь (0,35% С, 13% Cr). Кислая футеровка выдерживает 40—50 плавов при прерывной работе (в 1 или 2 смены на каждую Э. п.) и почти вдвое больше при непрерывном производстве. При производстве быстрорежущей или углеродистой стали срок службы футеровки значительно больший, в этом случае при непрерывном производстве срок службы может достигнуть до 200 плавов при условии ремонта ее после каждых 30 плавов в среднем.

Основные преимущества бессердечниковой печи следующие. 1) Большая скорость плавки и энергичное перемешивание ванны. Это способствует быстрому выгоранию примесей (например углерода), но вместе с тем выгорание ценных присадок оказывается очень незначительным, напр. имеются данные, что при переплаве скрапа быстрорежущей стали с 18% W потеря вольфрама составила 1%. То же относится к ванадию и другим ценным элементам, входящим в состав инструментальной стали. В высокохромистых сталях происходит быстрое выгорание углерода без заметного выгорания хрома. Благодаря энергичному перемешиванию ванны выпускаемые из бессердечниковой печи сплавы обладают однородностью строения, например выплавляемые в бессердечниковых Э. п. специальные сорта чугунов отличаются мелкозернистым строением и равномерным распределением графита. Временное сопротивление такого чугуна доходит до 45 кг/мм<sup>2</sup> и сохраняет хорошо механич. обрабатываемость. 2) Бессердечниковая Э. п. позволяет легко получать сплавы с постоянным и точным составом при разных плавках. Вообще по качеству сталей, выпускаемых из бессердечниковой Э. п., последняя превосходит в некоторых случаях дуговую Э. п., не говоря уже о том, что для производства сталей, практически не содержащих углерода, дуговая Э. п. непригодна. При производстве хромистых сталей в дуговой Э. п. обнаруживается время от времени образование флокенов, у сталей такого же рода, выпущенных из бессердечниковой Э. п., этого не наблюдается. 3) В бессердечниковой Э. п. легко достигнута высокая  $t^\circ$  (до 2308° по данным Нортона) и притом ее легко регулировать путем изменения подводимой к Э. п. мощности. Здесь не приходится опасаться толчков тока, как это может иметь место в дуговой Э. п. 4) Наконец следует отметить простоту управления Э. п., что позволяет быстро обучать необходимый персонал.

Область применения бессердечниковой Э. п. В силу тех преимуществ, которыми обладают бессердечниковые Э. п., они находят себе самое широкое применение в металлургич. практике, но особенно ценна эта система Э. п. для производства специальных и высококачественных сталей. Сортамент сталей, выплавляемых в настоящее время в бессердечниковой Э. п., очень обширен. Сюда прежде всего следует отнести: 1) малоуглеродистые стали с очень малым содержанием углерода (до 0,01%); для выплавки подобных сталей бессердечниковая Э. п. является незаменимым аппаратом; 2) быст-

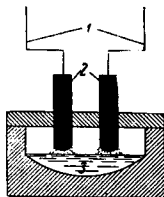
рорежущие, инструментальные стали; 3) нержавеющие стали, жароупорные с содержанием Cr, W, Ni и Mo; 4) динамные, трансформаторные стали, стали с большой магнитной проницаемостью и немагнитные; 5) высококачественные хромоникелевые стали, идущие на производство взрывчатых снарядов, и т. д. В последнее время в индукционной печи начинают выплавлять специальные сорта чугунов (например хромистые чугуны), требующие во время плавки перегрева до 1500—1600° и энергичного перемешивания металла. Выплавляемый чугун имеет мелкозернистое строение и равномерное распределение графита. Помимо выплавки черных металлов (сталей и чугунов) бессердечниковая Э. п. находит себе применение в производстве никеля и его сплавов, напр. медистоникелевых сплавов, идущих на изготовление мелкой монеты, оборудования судовых морских установок. Бессердечниковая Э. п. открывает широкие возможности для работы в вакууме и нейтральной атмосфере. Пока методы плавки в вакууме находятся в стадии лабораторной проработки, но повидимому в скором времени они войдут в промышленность, так как в этом случае можно достигнуть абсолютной чистоты обрабатываемых продуктов, которые не подвергаются окислению во время плавки и поэтому не требуют добавления раскислителей. Опыты по ведению процесса рафинирования в бессердечниковых Э. п. показали большую скорость реакции обезуглероживания, дефосфоризации и десульфурации, что является следствием интенсивного перемешивания металла в ванне, благодаря чему все время обновляются металлические поверхности, соприкасающиеся со шлаком. Поэтому высокочастотная Э. п. вполне применима для рафинирования. Но при емкости Э. п. в 1,5 т и ниже это оказалось бы невыгодным экономически вследствие значительных эксплуатационных расходов, расходов по анализам и пр. Э. п. емкостью в несколько т окажутся вполне пригодными для работы на жидкой завалке и позволят вести процессы рафинировки, сравнимые с дуговой Э. п. Наконец бессердечниковая Э. п. оказывается пригодной для плавки кварца в вакууме. Подобная Э. п. разработана Центральной радиолобораторией для фарфорового з-да им. Ломоносова в Ленинграде.

Перспективы развития бессердечниковой Э. п. По всем данным бессердечниковой Э. п. предстоит широкое будущее. Развиваться она будет прежде всего в сторону повышения ее емкости. Так, к концу 1933 г. уже имелись за границей четырехтонные Э. п., и строилась в Англии для одного из шведских з-дов Э. п. в 6 т. В СССР также проектируются многотонные Э. п. В дальнейшем Э. п. этой системы найдут себе применение для ведения процессов рафинирования, дуплекс-процессов, для плавки непроводников и во многих других областях, где требуются высокие темп-ры.

Лит.: Воярский М., Электрические индукционные печи, М.—Л., 1932 (Библиогр.); СЭТ, Справочная книга для электротехников, т. 4, Л., 1929 (указатель литературы).

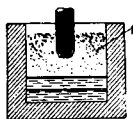
В. Рудник.  
Дуговые Э. п. Нагрев в дугowych Э. п. производится посредством одной или нескольких вольтовых дуг. Горение вольтовых дуг осуществляется в зависимости от конструкции Э. п. или между электродами или между электродами и расплавленным материалом. Электроды в дугowych Э. п. являются главнейшим рабочим элементом, отличающим их от Э. п. сопротивления, где нагрев происходит за счет выделения тепла при прохождении тока по проводнику (Джоулево тепло),

и индукционных Э. п. высокой и низкой частоты, где нагревание производится индукционными токами. Отсюда дуговые Э. п. можно назвать также электродными Э. п. *Вольтова дуга* (см.) представляет весьма интенсивный способ нагрева. Темп-ра ее достигает 3 500°. Поэтому в дуговых Э. п. можно плавить наиболее тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден и др.) и сплавы (легированные стали, нихром и др.) и осуществлять процессы, требующие высоких температур (производство карбида кальция, алунда, глиноземистого цемента, азотной кислоты из воздуха, алюмината бария при получении алюминия по способу Кузнецова-Жуковского и др.). С другой стороны, высокая темп-ра вольтовой дуги ограничивает ее применение для плавки летучих и легко окисляющихся металлов и сплавов [сплавов меди с большим содержанием цинка (латуни), алюминиевых сплавов, легко образующих пленку окислов алюминия, и др.]; по этой причине названные сплавы обычно выплавляются в Э. п. сопротивления и индукционных Э. п.



Фиг. 34.

Питание дуговых Э. п. производится почти исключительно переменным током (однофазным и трехфазным); отсюда дуговые Э. п. конструируются трехфазными (чаще всего) или однофазными. Выбор системы тока (трехфазный или однофазный) обуславливается конструктивными особенностями Э. п. Постоянный ток вследствие явления электролиза, вредно отражающегося на однородности продукта (в особенности для металлических сплавов), а также по причинам малой экономичности передачи электроэнергии на большие расстояния применения не получил. Мощность дуговых Э. п. может быть весьма различной: от небольших Э. п. (напр. в литейных для плавки медных сплавов) мощностью 75 kVA до 30 000 kVA (Э. п. в Кнаппе для карбида кальция) в зависимости от тоннажа Э. п. и характера технологич. процесса. Питание дуговых Э. п. производится от трансформаторов (обычно понижительных), расположенных около Э. п. Вторичное напряжение трансформатора обуславливается требованиями технологического процесса, не превышающего обычно 250 V в случае плавки металлов.



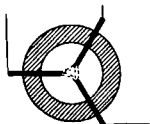
Фиг. 35.

По характеру технологич. процесса и расположению вольтовой дуги относительно нагреваемого материала дуговые Э. п. разделяются на два класса: 1) Э. п. с открытой дугой, в которых электроды расположены поверх шихты, и 2) Э. п. с закрытой дугой, в которых вольтова дуга (или дуги) находится внутри шихты, будучи закрыта слоем последней. Э. п. с открытой дугой (фиг. 34, где 1 — шимы, 2 — электроды, 3 — металл) применяются для рафинировки и плавки стали, чугуна, медных (с небольшим содержанием цинка), никелевых и других сплавов. Э. п. с закрытой дугой (фиг. 35, где 1 — шихта) конструируются для восстановительных процессов: выплавка ферросплавов, чугуна из руд, производства карбида кальция, алунда и других процессов. Электроды для дуговых Э. п. применяются угольные, графитовые и непрерывные самообжигающиеся электроды Содеберга. Свойства угольных и графитовых (вернее графитированных) электродов приведены в табл. 11.

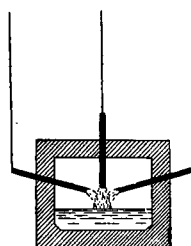
Табл. 11. — Данные графитовых и угольных электродов.

Характеристики	Графитовые	Угольные
Уд. сопротивл. в $\Omega \cdot \text{см}^2$	8—15	40—80
Темп-ра окисления на воздухе в °C . . . . .	600—700	400—450
Нормальные плотности тона в $\text{Джсм}^2$ . . . . .	15—25	5—7
Содержание золы . . . . .	< 1%	ок. 5—6%

Графитовые электроды имеют ряд преимуществ перед угольными, но стоят дороже. Электроды (угольные и графитовые) имеют нарезки и выпилы (того же материала) для свинчивания. Непрерывные (самообжигающиеся) электроды Содеберга состоят из железного кожуха, набиваемого патентованной массой, состоящей из обожженного антрацита, кокса, смолы и пека. Свойства электродов Содеберга: уд. в. 1,4—1,5, уд. сопротивление 0,006—0,007  $\Omega \cdot \text{см}$ , сопротивление раздвиганию 150  $\text{кг/см}^2$ .



Фиг. 36.

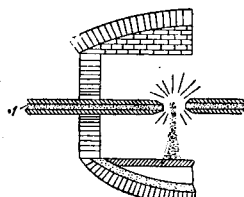


Фиг. 37.

Э. п. для плавки металлов. По роду нагрева ванны дуговые Э. п. разделяются на печи с непрямым и прямым нагревом.

1) Дуговые Э. п. с непрямым нагревом, имеющие свободно горящую (независимую) дугу (или дуги), печи, в которых электрический ток не проходит через печную ванну.

Прототипом этих Э. п. является печь В. Сименса (1879) и лабораторная печь Муассана (1892). Главнейшим Э. п. этого типа являются печи Стассано, Реннерфельда, Детройт и Бутс. Современные Э. п. Стассано (фиг. 36), усовершенствованные в-дом Таллиафери (Италия),



Фиг. 38.

работают на трехфазном токе. Э. п. Реннерфельда (Швеция) имеют два наклонных электрода и третий вертикальный, отклоняющий дуги вниз на ванну (фиг. 37). Дуги в этой печи имеют особую форму — в виде цветка лилии. Э. п. Реннерфельда применяются для рафинировки стали и чугуна и плавки медных сплавов. Вместимость этих печей до 3 т. Уайлс (США) предложил видоизменение Э. п. Реннерфельда без верхнего электрода с полыми электродами (фиг. 38), через которые с холодного конца 1 при помощи особого устройства подается измельченная шихта (смесь руды, восстановителя и флюсов). Печь работает на однофазном токе. Применяется для получения почти химически чистого железа и



малоуглеродистых высокохромистых сталей. Э. п. Детройт (фиг. 39) построена в США для плавки медных сплавов, а впоследствии чугунов высокого сопротивления. Печь представляет цилиндр, через основания которого проходят графитовые электроды. Эта печь сконструирована



Фиг. 39.

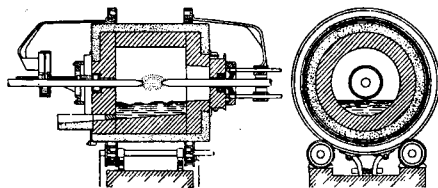
начинаясь относительно оси цилиндра на угол до 180°; качание печи производится с целью избежать перегрева металла после расплавления шихты автоматически при помощи особого устройства (реверсера). Число качаний 1—2 в мин. Печь работает на однофазном токе. По типу печей Детройт «Электровозвод» выпускает (табл. 12) Э. п. для плавки медных сплавов.

Табл. 12.— Данные Э. п. ГЭП для плавки медных сплавов.

Тип Э. п.	Емкость в т	Мощность трансформатора в кВА	Продолж. плавки в мин.
ДМО*—0,1 . . . . .	0,1	125	30—40
ДМО —0,25 . . . . .	0,25	175	40—50
ДМО —0,5 . . . . .	0,5	250	50—70
ДМО —1,0 . . . . .	1,0	350	50—70

\* Дуговая медеплавильная однофазная.

Э. п. ГЭП имеют реверсер для автоматич. качания печи. Электроды графитовые. Расход энергии для плавки медных сплавов (бронз и т. п.) 300—400 kWh/m выплавленного металла. Расход электродов ок. 3 кг/т выплавленного металла. Продолжительность плавки 0,5—1,0 ч. в зависимости от тоннажа печи. Угар 1—3,5%. Расход воды 3,5—5 м³ в час. Продолжительность службы футеровки ок. 300 плавов (в среднем). В Э. п. ГЭП для цветных сплавов можно также плавить чугун. В однотонной печи расход энергии ок. 550 kWh/m. Расход электродов ок. 5 кг/т. Продолжительность плавки около 1,75—2,0 ч.

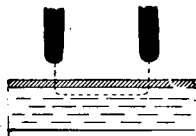


Фиг. 40.

Э. п. Бутс (фиг. 40) строятся в Америке. По конструкции аналогичны печам Детройт с той разницей, что печь Бутс может вращаться в одном направлении, а не качаться, как печь Детройт; электроды графитовые; ток однофазный. Э. п. сист. Русс (Германия) строятся однофазными и трехфазными с вращающимся барабаном.

2) Дуговые Э. п. с прямым нагревом. Здесь электрический ток проходит через ванну. В дуговых Э. п. с прямым нагревом дуги горят между электродами и ванной. Нагрев ванны производится теплом, выделяемым вольтовым дугами. Количество джоулеа тепла, выделяющегося при прохождении тока через ванны, сравнительно с теплом, выделяемым дугами, составляет незначительную величину. Дуговые Э. п. с прямым нагревом можно разделить на две группы: а) Чисто дуговые Э. п. (тип Эру) с верхними электродами, в которых электрич. ток проходит через верхнюю часть

ванны (фиг. 41); нагрев ванны производится почти исключительно теплом, выделяемым дугами. Современные дуговые Э. п. представляют усовершенствование Э. п. типа Эру. Они работают на трехфазном токе, имеют три верхних, чаще всего графитовых, электрода круглого сечения, проходящих через свод печи. Такие дуговые электрические печи строятся American Bridge (США), Electric Furnace Co. (Англия), Secomet (Франция), Сименс и Демар (Германия) и «Урал-электромашинной» (СССР, Свердловск, ГЭП). Постройка Э. п. для плавки металлов начата в 1928 г. на «Электровозводе». В настоящее время «Уралэлектромашинная» строит Э. п. для плавки стали, рафинировки чугуна, плавки цветных сплавов и алюминия, производства ферросплавов и карбида кальция. Количество установленных сталеплавильных Э. п. и потребность в них выражается по данным проф. К. П. Григоровича в следующих цифрах: до революции работало 7 электрочер; в 1929 г.—9; на 1933 г. было намечено 100 и на 1937 г.—300 Э. п. Характеристика сталеплавильных дуговых Э. п., изготовляемых ГЭП, дается в табл. 13.



Фиг. 41.

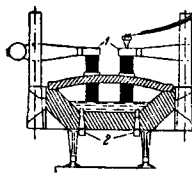
Табл. 13.— Данные сталеплавильных дуговых Э. п. ГЭП.

Тип Э. п.	Емкость в т	Мощность в кВА	Расход энергии в kWh/m
ДСТ*—0,5 . . . . .	0,5	400	650
ДСТ —1,5 . . . . .	1,5	1 000	625
ДСТ —3 . . . . .	3	1 500	600
ДСТ —5 . . . . .	5	2 250	575
ДСТ —10 . . . . .	10	3 500	500

\* Дуговая сталеплавильная трехфазная.

Э. п. ГЭП для плавки стали строятся наклоняющимися. Максимальный угол наклона для слива металла 45°. Электроды графитовые, но печи могут работать и на угольных электродах. Э. п. ГЭП снабжены специальными уплотнителями, уменьшающими расход электродов и утечку газов через отверстия в своде. Расход графитовых электродов в кислых печах 4—5 кг, в основных ок. 7,5 кг на т выплавленного металла.

б) Дуговые Э. п. с подовыми электродами (фиг. 42, печь Жиро). В этих Э. п. кроме верхних проходящих через свод электродов 1 имеются подовые электроды 2, заделанные в кладку. В Э. п. Жиро (Франция) подовые железные электроды охлаждаются водой. Недостаток этой конструкции — опасность раз



Фиг. 42.

ездания расплавленным металлом. Печь Жиро однако большого распространения не получила. Э. п. Нагузиус (Германия) представляет усовершенствование печи Жиро. В этой Э. п. три подовых металлических электрода не проходят через под насквозь до металла, а заделаны в под так, что над ними имеется доломитовая набойка. Вследствие этого разделение металлических электродов расплавленной сталью менее вероятно. В печах Келлера (Франция) в поде были заделаны металлические стержни. Печи Снайдера (рас-

пространены в Америке) имеют один подовый электрод и один верхний (фиг. 43). Печи однофазные. Недостаток их — возможность разведения подового электрода. Э. п. Шапле (Франция) имеют подовый электрод в виде железной пластины и вертикально стоящего «хвоста», выходящего наружу печи (фиг. 44). Благодаря такой конструкции пода вытекание расплавленного



Фиг. 43.

Фиг. 44.

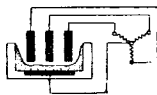
Фиг. 45.

го металла через под, что может случиться в печах Жиро, Келлера и Снайдера, устранено. В новейших конструкциях Э. п. с подовыми электродами (Натузиус, Электрометалл, Фиат, Гривс-Этчелл, Электромельт) — печах с проводим подом — электропроводность пода обуславливается способностью огнеупорных материалов и набоек, являющихся при обычной температуре изоляторами, проводить ток при высокой темп.-ре. Электросопротивление магнетитовой набойки в 2-см (по Дилшеру).

Табл. 14.—Электросопротивление магнетитовой набойки в 2-см (по Дилшеру).

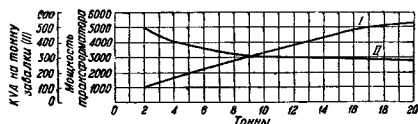
Темп-ра °C	Содержание смолы в набойке в %		
	8	10	15
1 000	2 500	1 420	1 140
1 150	—	480	96
1 200	—	154	51
1 250	—	83	17
1 300	37,5	29	7,5
1 325	31,8	—	—
1 400	20,0	10	2,5
1 500	10,5	4,5	—
1 600	5,0	2,5	—
1 700	—	1,5	—

В Э. п. Гривс-Этчелл (Англия) на дно железного кожуха положен медный лист, на к-рый набита доломитово-магнетитовая масса на смоле с добавкой стружки. Э. п. работает на трехфазном токе, сопротивление пода конструировано так, что в нагретом состоянии в него поступает ок. 12% всей энергии, идущей в Э. п. (фиг. 45, 1—верхние электроды, 2—подовый электрод). Э. п. Электромельт



Фиг. 46.

(Мура) распространены в Америке; имеются на многих заводах СССР. В поду Э. п. помещены железные пластины, приваренные к кожуху (фиг. 46). Кожух печи Электромельт соединен с нулевой точкой звезды печного трансформатора. Печь Электромельт относится к промежуточному типу между



Фиг. 47.

чисто дугowymi Э. п. сист. Heroult и Э. п. с проводящим подом, т. к. в холодном состоянии под тока не проводит. Отключив провод, идущий к поду, получаем Э. п. типа Heroult.

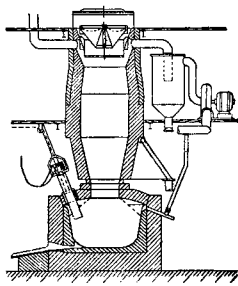
Вместимость дугowych Э. п. колеблется для плавки стали и чугуна от 0,5 до 100 т. Однако

Э. п. с тоннажем свыше 35 т насчитываются единицами. Во Франции имеется Э. п. для подогрева чугуна вместимостью в 300 т. Трансформаторы новейших дугowych Э. п. строятся ступенчатыми для работы на различном вторичном напряжении и имеют приспособление для переключения первичных обмоток треугольника (при расплавлении) на звезду (при рафинировке). По исследованиям д-ра Крица наиболее благоприятные результаты работы дугowych Э. п. для плавки стали достигаются при отношении

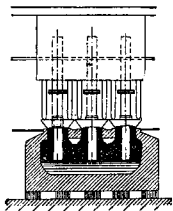
$$\frac{\text{мощность расплавления}}{\text{мощность рафинировки}} = \frac{3}{1}$$

Мощность новейших печных трансформаторов сравнительно со старыми установками значительно больше. На фиг. 47 дана мощность печных трансформаторов для высокоомных дугowych электрических печей по Дорнчекеру (кривая I — мощность трансформатора в kVA, II — мощность на 1 т завадки).

Для выплавки чугуна из руд применяются низкошахтные и высокошахтные (электродоменные) Э. п. Электродоменные Э. п. типа Электрометалл (Швеция) получили наибольшее распространение в Скандинавских странах (Швеция, Норвегия), их мощность достигает до 7 500 kVA.



Фиг. 48.

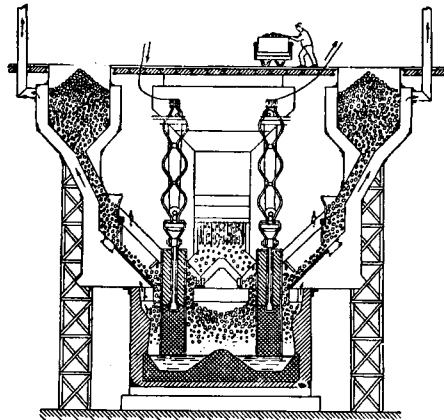


Фиг. 49.

Производительность такой Э. п. в год около 30 000 т чугуна. Расход электроэнергии 2 200—2 400 kWh/m. На фиг. 48 изображена электродоменная печь Электрометалл. Электродоменные Э. п. получили весьма ограниченное применение. Они могут иметь значение для районов, где есть наличие особо дешевой электроэнергии и древесного угля и другие благоприятные условия. На коксе удачная работа электродоменных Э. п. затруднительна: расход энергии повышается, образуются скопления кокса в виле настылей и т. д. Главной причиной увеличения расхода горючего является повышенная электропроводность кокса сравнительно с древесным углем. Низкошахтные дугowe Э. п. (фиг. 49) могут успешно работать как на коксе, так и на древесном угле. Печи трехфазные или однофазные. Главнейшим недостатком низкошахтных Э. п. для выплавки чугуна из руд является большой расход энергии — 2 800 ÷ 3 000 kWh/m. На фиг. 49 показана трехфазная печь Гельфенштейна для выплавки чугуна из руд. В низкошахтных Э. п. можно вести выплавку синтетического чугуна сплавлением железной стружки, обсека и т. п., с науглероживателями — древесным углем, коксом. Во Франции для этой цели применялись Э. п. Келлера (фиг. 50). Расход энергии в этом процессе 650—1 000 kWh/m.

Э. п. для ферросплавов. Низкошахтные дугowe Э. п. получили большое распространение для получения ферросплавов: ферро-

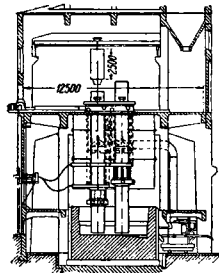
силция, ферромарганца, феррохрома и других ферросплавов. Ферросплавные Э. п. строятся трехфазные и однофазные. Трехфазные дуговые Э. п. для ферросплавов в зависимости от формы рабочего пространства м. б. круглыми (электроды расположены в виде триа) или в виде прямоугольной (электроды поставлены в одну линию). Мощность трехфазных Э. п. для ферросилиция достигает до 12 000 kW, для ферромарганца



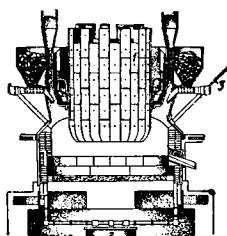
Фиг. 50.

7 500 kW в зависимости от условий технологического процесса. Электроды угольные, или Содерберга. Главнейший недостаток мощных трехфазных Э. п. заключается в относительно невысоком  $\cos \varphi$  (0,75—0,80). Расход энергии при выплавке 45%-ного ферросилиция (Челябинский з-д) м. б. снижен до 4 800—4 500 kWh/m. На фиг. 51 показана трехфазная Э. п. Челябинского з-да для выплавки ферросилиция мощностью 7 800 kVA.

Зестафонский ферромарганцевый завод имеет три



Фиг. 51.



Фиг. 52.

печи мощностью 7 500 kVA — самые большие в мире для выплавки ферромарганца электротермическим путем. Расход энергии около 3 500 kWh/m.

Однофазные Э. п. Мигэ. В последнее время для выплавки ферросплавов и карбида кальция предложены однофазные дуговые Э. п. Мигэ (фиг. 52). Главнейшие их особенности заключаются: 1) в питании однофазным током, 2) в громадном верхнем электроде 1 диам. до 4 м, 3) в расположении трансформатора 2 под печью. В однофазных Э. п. Мигэ  $\cos \varphi$  значительно выше, чем у мощных трехфазных печей, достигая до 0,95. Печь Мигэ представляет закрытую или полузакрытую Э. п. с верхним беско-

нечным электродом Содерберга (или Мигэ). Проплавленные материалы поступают в печь из бункеров, находящихся над печью, в виде козла на уровне рабочей площадки. До поступления в печь материалы не смешиваются и поэтому располагаются в печи наподобие ломтика апельсина из различных частей шихты: руды, кокса, флюсов. Печь имеет завесу из подсушенных брусков для большей герметичности и снабжена приспособлением 3 для пневматич. протыкания шихты. Электропечи Мигэ работают на Днепровском комбинате для получения алюмината бария на алюминиевом з-де и на з-де ферросплавов для выплавки ферросилиция; мощность их 10 000 kW. Карбидные Э. п. Дуговые Э. п., однофазные (Мигэ) и трехфазные, применяются для выплавки карбида кальция. Устройство их аналогично с печами для ферросплавов. Выход карбида кальция составляет 6,5—7 кг на 1 kW-день. Мощность трехфазных печей достигает 30 000 kW. Расход энергии 4 000—4 500 kWh/m.

Дуговые Э. п. применяются для получения азотной к-ты из воздуха окислением атмосферного азота (способы Биркеланда и Эйде, Шонхера и др.). Этот процесс вытесняется в настоящее время способом Габера. Дуговые Э. п. для получения алунда относятся к типу сталеплавильных трехфазных Э. п., но с выдвигаемым подом (Челябинский абразивный завод). Расход энергии 3 500 kWh/m. Дуговые Э. п. применяются также в производствах глиноземистого цемента, глинозема из бокситов по способу Гарлунда, плавленного базальта и в других производствах.

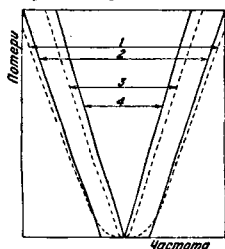
Лит.: М. Касьяненко М., Электрохимия в химпромышленности, Л.—М., 1933; СЭТ, справочная книга для электротехников, т. 4, § 29, Л., 1929; Григорьев И. К., Электроталлургия железа, ч. 1—Электропечи, М., 1922; Липин В., Металлургия чугуна, железа и стали, т. 3, ч. 1—Электроплавка, Л., 1926; Куряков Н., Электроталлургия чугуна, железа и ферросплавов, Л., 1934; А. Л. и Я. А., Основы прикладной электротехники, Л., 1934; Соколов А., Определение основных размеров сталеплавильных электропечей «Металлург», 2, 3, 4—5, 1933. Н. Куряков.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ**, устройства, состоящие из ряда электрических цепей, включенных в определенном порядке и позволяющие разделять, выделять или удалять по определенным законам токи различных частот. Действие Э. ф. основано на изменении свойств электрических цепей, из которых они состоят, в смысле пропуска ими токов различных частот или частотных полос, лежащих в различных участках частотного спектра. Э. ф. пропускают токи определенных частот с малым затуханием или даже без изменения их первоначальной силы и практически не пропускают, поглощая совершенно токи других частот. Схематически Э. ф. состоит из ряда емкостных или индуктивных сопротивлений, включенных частью параллельно, частью же последовательно. Свойства Э. ф. и определяются последствием этих сопротивлений при различных частотах. Самый простейший Э. ф. состоит обязательно хотя бы из одного последовательного и одного параллельного сопротивления. Такой простейший Э. ф. называется ячейкой, звеном или секцией. Обычно Э. ф., применяемые на практике, имеют ряд этих ячеек и называются ячейчными (или многоячеечными). Э. ф. обыкновенно включаются между каким-либо источником тока и приемником этих токов; т. о. в этом отношении они представляют собой обычный четырехполюсник (см. *Телефонная передача*) (фиг. 1). Действие Э. ф. во многих отношениях аналогично действию избирательных

резонансных контуров, к-рые состоят из индуктивности и емкости. Мало того, действие многих Э. ф. базируется на свойствах резонансных контуров. Однако между одиночными резонансными контурами и Э. ф. имеются и существенные различия, выявляющие особенности Э. ф. Кривая потерь в зависимости от частоты для резонансного контура (или ряда слабо связанных контуров) имеет V-образный характер. Минимальные потери контур дает при резонансной частоте для последовательного включения в линию передачи при последовательном соединении емкости и индуктивности и для параллельного включения относительно линий при параллельном соединении емкости и индуктивности. Характер V-образности кривой контура выявлен тем реже, чем ниже частота. Наклон боковых сторон кривой зависит исключительно от так наз. «множителя напряжения» катушек, примененных в контуре, определяемого отношением  $\omega L/R$ . В Э. ф. зависимость потерь от частоты выражается обычно U-кривой (фиг. 2), при этом наклон боковых сторон зависит от вида Э. ф. (его схемы) и



Фиг. 1.

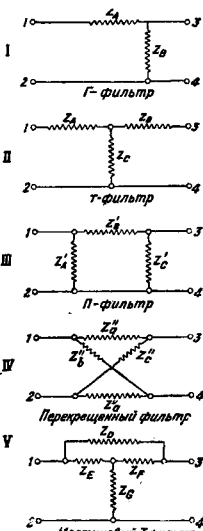


Фиг. 2.

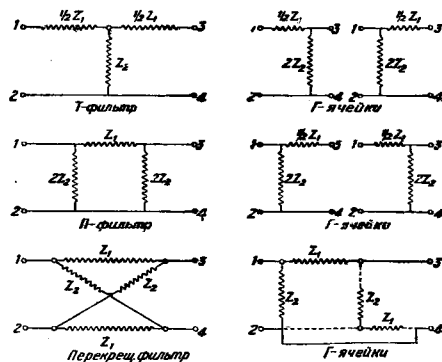
числа ячеек в нем. Характер нижнего участка U-кривой (его ширина и прямолинейность) зависит от «множителей напряжения» катушек и конденсаторов, примененных в Э. ф., т. е. от отношений  $\omega L/R$  для катушек и  $\frac{R}{\omega C}$  для конденсаторов. Эти типичные различия контуров и Э. ф. в наглядной форме показаны на фиг. 2, где 1 — Э. ф. с омич. сопротивлением, 2 — Э. ф. без омич. сопротивления, 3 — контур с омич. сопротивлением, 4 — контур без омич. сопротивления. В соответствии с этими основными свойствами резонансных контуров и Э. ф. области их возможного применения разграничиваются следующим образом. Э. ф. применяются обычно до частот порядка 500 000 Hz, при частотах более высоких их конструирование наталкивается на очень большие практические трудности. Поэтому на высоких частотах для избирательных целей применяются гл. обр. самостоятельные резонансные контуры или ряд контуров, включенных каскадом и связанных соответствующим образом друг с другом. Однако делаются попытки, с одной стороны, распространить применение Э. ф. в их настоящем виде в область самых высоких частот, а с другой, — применить контуры на низких частотах, в особенности для получения узких частотных полос пропускания. В настоящее время удается уже путем некого видоизменения обычных форм Э. ф. конструировать ячейные Э. ф. для очень высоких частот порядка нескольких  $10^6$  Hz (см. ниже). Теоретически во многих случаях практического применения резонансные контуры очень удобно может рассматриваться как частный случай Э. ф.

Э. ф. различаются в зависимости от 1) схемы ячейки и 2) пропускания токов различных частот. По виду схем ячеек в настоящее время конструируются след. системы Э. ф. (фиг. 3):

1) Г-образные, 2) Т-образные, 3) П-образные, 4) перекрещенные Э. ф. двух видов — Т- и П-образные, 5) мостиковые Т-образные. Последние применяются в тех случаях, когда величины составных элементов ячеек для других Э. ф. получаются практически неосуществимыми. Основной схемой ячейки, из которой составляются все ячейки прочих Э. ф., является Г-образная схема. На фиг. 4 показано образование Т- и П-ячеек, а также и ячейки перекрещенного фильтра из Г-ячеек. Однако несмотря на это теоретически оказывается гораздо более рациональным изучать основные Т- и П-ячейки, тем более что и практически они наиболее распространены, тогда как ячейки Г самостоятельно практически почти не используются. С этой точки зрения ячейка Г должна рассматриваться как полуячейка. По частотной пропускности различаются следующие основные виды Э. ф.: 1) Э. ф., к-рые пропускают низкие частоты, — реактивные Э. ф.; 2) Э. ф., пропускающие высокие частоты, — конденсаторные Э. ф.; 3) полные, или резонансные Э. ф., пропускающие определенную ограниченную полосу частот; 4) режекторные Э. ф., задерживающие определенную полосу частот. Эти виды Э. ф. могут по определенным правилам комбинироваться, образуя т. н. составные, или сложные, системы Э. ф.



Фиг. 3.

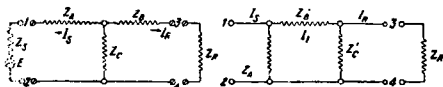


Фиг. 4.

Э. ф. в настоящее время нашли очень широкое и разнообразное распространение во всех областях электротехники. Наибольшее распространение они нашли в многократной телеграфии и телефонии по проводам. Здесь Э. ф. являются основой всех аппаратов. Они применяются также в этой области в телефонных трансляциях, для разделения сигналов Морзе от телефонной

передачи и т. д. В радиотехнике применяются для связи отдельных каскадов усиления, для селекции, защиты или дросселирования отдельных цепей от токов нежелательных частот, для коррекции искажений в радиотелефонии без несущей частоты и т. д. В измерительной технике Э. ф. позволяют разложить и анализировать сложные явления: они дают здесь настолько хорошие результаты, что часто бывает целесообразным преобразовать механические колебания в электрич. ток для дальнейшего их изучения с помощью Э. ф.; это относится к человеческому голосу, музыке, всевозможного рода шумам и т. д. Наконец в общей электротехнике они применяются для разделения различных токов, защиты цепей, для выявления или ликвидации гармоник. Э. ф. с успехом могут заменить дроссельные катушки, конденсаторы для защиты цепей, а также для устранения коммутационных пульсаций от машин постоянного тока и составляющих переменного тока в выпрямленном токе и т. д.

Общая теория Э. ф. Для уяснения принципов действия ячеечных Э. ф. в том виде, в котором они применяются на практике, необходимо сначала изучить основные свойства отдельных ячеек, из которых составляются Э. ф. Разбор всех различных видов ячеек Э. ф. может быть значительно упрощен, если все эти равнообразные схемы электрич. фильтров свести к основной простейшей схеме или хотя бы к нескольким схемам; для этого необходимо найти законы эквивалентности различных схем Э. ф. Найдём прежде всего условия для эквивалентного перехода в основных схемах, т. е. от П-ячейки к Т-ячейке и обратно. Из теории пассивных цепей, т. е. цепей, не имеющих внутреннего источника тока, известно, что для получения этих условий применительно к схемам Т- и П-ячеек нужно, чтобы сопротивления на выходе и входе ячеек оставались одними и теми же. Применяя для токов и сопротивлений обозна-



Фиг. 5.

чения, данные на фиг. 5, и полагая, что к обеим схемам приложено одно и то же напряжение  $E$ , пишем следующие ур-ния:

$$\left. \begin{aligned} E &= (Z_A + Z_C) I_s - Z_C \cdot I_R, \\ 0 &= (Z_B + Z_C + Z_R) I_R - Z_C I_s \end{aligned} \right\} (1)$$

и для П-ячейки

$$\left. \begin{aligned} E &= Z_A' I_s - Z_A' I_1 \\ 0 &= (Z_A + Z_B' + Z_C) I_1 - Z_A' I_s - Z_C I_R \\ 0 &= (Z_C + Z_R) I_R - Z_C I_1 \end{aligned} \right\} (2)$$

Из систем ур-ий (1) и (2) находим отношения  $E/I_s$ , для обеих схем:

$$\frac{E}{I_s} = \frac{Z_A (Z_B + Z_C) + Z_B Z_C + Z_R (Z_A + Z_C)}{Z_B + Z_C + Z_R} \quad (3)$$

и для П-ячейки

$$\frac{E}{I_s} = \frac{Z_A' Z_B' Z_C' + Z_R Z_A' (Z_B' + Z_C')}{Z_R (Z_A' + Z_B' + Z_C') + Z_C' (Z_A' + Z_B')} \quad (4)$$

Для получения условий эквивалентности прежде всего д. б. равны правые части ур-ий (3) и (4). Затем, чтобы это новое уравнение было спра-

ведливо для всех значений  $Z_R$ , приравняем коэф-ты одинаковых степеней  $Z_R$  обеих частей уравнения. После приравнивания этих коэф-тов и произведения над ними ряда преобразований находим следующие условия эквивалентности: эквивалент Т для П

$$\left. \begin{aligned} Z_A &= \frac{Z_A' Z_B'}{Z_A' + Z_B' + Z_C'} \\ Z_B &= \frac{Z_B' Z_C'}{Z_A' + Z_B' + Z_C'} \\ Z_C &= \frac{Z_A' Z_C'}{Z_A' + Z_B' + Z_C'} \end{aligned} \right\} (5)$$

эквивалент П для Т

$$\left. \begin{aligned} Z_A' &= \frac{Z_A Z_C + Z_A Z_B + Z_B Z_C}{Z_B} \\ Z_B' &= \frac{Z_A Z_C + Z_A Z_B + Z_C Z_B}{Z_C} \\ Z_C' &= \frac{Z_A Z_C + Z_A Z_B + Z_B Z_C}{Z_A} \end{aligned} \right\} (6)$$

Таким же образом можно найти условия эквивалентности и для других видов ячеек фильтров. Для перекрещенного фильтра имеем:

эквивалент Т

$$\begin{aligned} Z_A &= Z_B = Z_C, \\ Z_C &= \frac{Z_A Z_C - Z_A^2}{2Z_A + Z_B + Z_C}, \end{aligned}$$

эквивалент П

$$\begin{aligned} Z_A' &= Z_C' = \frac{Z_A (Z_B + Z_C) + 2Z_B Z_C}{2Z_A + Z_B + Z_C}, \\ Z_B' &= \frac{Z_A^2 (Z_B + Z_C) + 2Z_A Z_B Z_C}{Z_B Z_C - Z_A^2}. \end{aligned}$$

Для ячейки мостикового Т-фильтра имеем:

эквивалент Т

$$\begin{aligned} Z_A &= Z_B = \frac{Z_D Z_E}{Z_D + 2Z_E}, \\ Z_C &= Z_G + \frac{2Z_E}{Z_D + 2Z_E}; \end{aligned}$$

эквивалент П

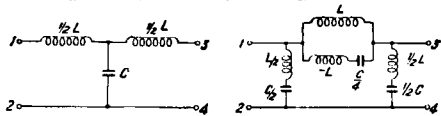
$$\begin{aligned} Z_A' &= Z_C' = Z_E + 2Z_G, \\ Z_B' &= \frac{Z_D Z_E (Z_E + 2Z_G)}{Z_E (Z_E + 2Z_G) + Z_D Z_G}. \end{aligned}$$

Для получения полной эквивалентности ячеек, имеющей физич. реальность, недостаточно только эквивалентности внешнего действия ячеек; необходимо, чтобы эквивалентные полные сопротивления, из которых состоят ячейки, имели одинаковый закон изменения с частотой, а также чтобы их фазовые углы и относительные величины были теми же самыми. Эквивалентные ячейки получаются легко, если они состоят только из емкостей или только индуктивностей. Часто для получения одинакового закона изменения с частотой на широком диапазоне отдельные полные сопротивления нужно заменять для получения эквивалентности некоторыми физически реализуемыми комбинациями их. При этом для получения положительных полных сопротивлений можно пользоваться эффектом отрицательных индуктивных емкостных и омич. сопротивлений. В качестве примера рассмотрим Т-ячейку, представляющую Э. ф. с пропусканием низких частот, у к-рой  $Z_A = Z_B$  (фиг. 6). Ей эквивалентная П-ячейка м. б. составлена на основании следующих ур-ий:

$$Z_A' = Z_C' = Z_A + 2Z_C = j \frac{\omega L}{2} - j \frac{1}{\omega C} :$$

$$Z_B' = \frac{Z_A}{Z_C} (Z_A + 2Z_C) = -2 \frac{(Z_A + 2Z_C) Z_A}{Z_A - (Z_A + 2Z_C)}$$

Т. о. здесь  $Z'_A$  представлен полным сопротивлением резонансной цепи  $(\frac{L}{2}, \frac{C}{2})$ , а  $Z'_B$  состоит из 2 полных сопротивлений в параллель:  $2Z_A$  и  $-2(Z_A + 2Z_C)$  или  $2Z_A$  и  $-2Z'_A$ .



Фиг. 6.

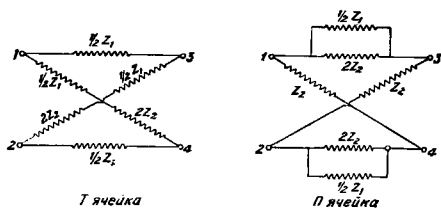
Симметричные ячейки. Все схемы ячеек, показанные на фиг. 3, называются несимметричными ячейками. В большинстве случаев практики пользуются ячейками, у которых имеется только 2 различных по величине полных сопротивления: одно в последовательном включении, другое — в параллельном. В Т-ячейке берут тогда  $Z_A = Z_B$ , в П-ячейке  $Z'_A = Z'_C$ . Обозначаем в таких ячейках

$$Z_A + Z_B = Z_1, \quad Z_C = Z_2$$

и

$$Z'_A = Z'_C = 2Z_3 \quad \text{и} \quad Z'_B = Z_4.$$

Такие ячейки носят название симметричных (фиг. 4 для Т и П). На фиг. 7 показаны симметричные перекрещенные ячейки Т и П.



Фиг. 7.

Характеристика сопротивлений Э. ф. Чрезвычайно существенную роль в работе Э. ф. играют величина сопротивлений Э. ф. со стороны его входа и выхода, правильный подбор сопротивления нагрузки, на которое работает Э. ф. своим выходом, а также внутреннее рабочее сопротивление источника тока или генератора, который действует на входе Э. ф. Если посмотреть на Э. ф. со стороны входа, то его сопротивление  $Z_{12}$ , получающееся между зажимами 1 и 2 (обозначим через  $Z_{k1}$ ), при сопротивлении нагрузки на выходе  $Z_R$ , при

$$Z_{12} = Z_{k1} = Z_A + \frac{1}{\frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_B + Z_R}}. \quad (7)$$

Соответственно сопротивление со стороны выхода  $Z_{34}$  на зажимах 3 и 4 (обозначим его через  $Z_{k2}$ ) при сопротивлении источника  $Z_0$

$$Z_{34} = Z_{k2} = Z_B + \frac{1}{\frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_A + Z_0}}, \quad (8)$$

где  $Z_0$  — сопротивление источника. Для обеспечения эффективной работы Э. ф. существует два различных принципа в выборе сопротивлений Э. ф. на входе и выходе и внешних сопротивлений нагрузки на входе и выходе. Первый принцип — повторяющихся полных сопротивлений. Для реализации этого принципа устанавливаем равенство

$$Z_{k1} = Z_R \quad \text{и} \quad Z_{k2} = Z_0. \quad (9)$$

Схема ячейки Т, работающей на этом принципе, показана на фиг. 8. Подставляя равенства (9) в ур-ия (7) и (8), получаем след. ур-ия, устанавливающие зависимость между величинами повторяющихся полных сопротивлений и составляющих полных сопротивлений ячейки для

$$Z_{k1} = \frac{1}{2} (\sqrt{(Z_A + Z_B)(Z_A + Z_B + 4Z_C)} + Z_A - Z_B)$$

и для

$$Z_{k2} = \frac{1}{2} (\sqrt{(Z_A + Z_B)(Z_A + Z_B + 4Z_C)} - Z_A + Z_B)$$

Сопротивления  $Z_{k1}$  и  $Z_{k2}$  и называются повторяющимися полными сопротивлениями. Этот принцип имеет большое значение при составлении многоячеечных Э. ф. Второй принцип — зеркальных полных сопротивлений — заключается в том, что берется

$$Z_{12} = Z_0 \quad \text{и} \quad Z_R = Z_{34}. \quad (11)$$

В целях отличия в дальнейшем этого метода от только что разобранного обозначаем сопротивление Э. ф. на входе через  $Z_{11}$ , на выходе  $Z_{12}$ ; тогда сопротивление источника  $Z_0$  д. б. равно  $Z_{11}$ , а сопротивление нагрузки  $Z_{12}$ . Сопротивление Э. ф. на входе между зажимами 1 и 2 изобразится по аналогии с уравнением (7) след. ур-ием:

$$Z_{12} = Z_A + \frac{Z_C(Z_B + Z_{12})}{Z_C + Z_B + Z_{12}} = Z_{11}, \quad (12)$$

на выходе между зажимами

$$Z_{34} = Z_B + \frac{Z_C(Z_A + Z_{11})}{Z_C + Z_A + Z_{11}} = Z_{12}. \quad (13)$$

Решая эту систему ур-ий для  $Z_{11}$  и  $Z_{12}$ , находим

$$Z_{11} = \sqrt{\frac{(Z_0 + Z_C)(Z_A Z_B + Z_A Z_C + Z_B Z_C)}{Z_B + Z_C}} \quad (14)$$

и

$$Z_{12} = \sqrt{\frac{(Z_B + Z_C)(Z_A Z_B + Z_A Z_C + Z_B Z_C)}{Z_A + Z_C}}. \quad (15)$$

Следовательно Э. ф. с зеркальными полными сопротивлениями характерны тем, что у них на входе и выходе (линии  $AA_1$  и  $BB_1$  на фиг. 9) сопротивления в обе стороны равны. На фиг. 9 изображена схема Э. ф., построенного по этому принципу. Величины сопротивлений Э. ф. на входе и выходе, т. е.  $Z_{11}$  и  $Z_{12}$ , могут быть также установлены при помощи другого, очень удобного с точки зрения практики уравнения, которое дает зависимость этих сопротивлений от так называемых полных сопротивлений для короткозамкнутых и разомкнутых концов Э. ф. Если измерить сопротивление Т-образной ячейки между зажимами 1—2 при разомкнутом зажиме 3—4, то это сопротивление разомкнутого конца (обозначим его через  $Z_{0c}$ ) определится из ур-ия

$$Z_{0c} = Z_A + Z_C. \quad \text{Сопротивления между зажимами 1—2 для замкнутого накоротко зажимов 3—4}$$

$$Z_{sc} = Z_A + \frac{Z_B Z_C}{Z_B + Z_C}.$$

Подобным же образом найдем аналогичные сопротивления  $Z_{0c}$  и  $Z_{sc}$  между зажимами 3—4

для разомкнутых и замкнутых зажимов 1—2:

$$Z'_{oc} = Z_B + Z_C$$

и

$$Z'_{sc} = Z_B + \frac{Z_A Z_C}{Z_A + Z_C}$$

Решая эти 4 ур-ия для  $Z_A$ ,  $Z_B$  и  $Z_C$ , находим:

$$Z_C = \sqrt{Z'_{oc}(Z'_{oc} - Z_{oc})} = \sqrt{Z'_{oc}(Z'_{oc} - Z_{oc})}, \quad (16)$$

$$\begin{aligned} Z_A &= Z_{oc} - \sqrt{Z'_{oc}(Z'_{oc} - Z_{oc})} = \\ &= Z'_{oc} - \sqrt{Z'_{oc}(Z'_{oc} - Z_{oc})} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} Z_B &= Z'_{oc} - \sqrt{Z'_{oc}(Z'_{oc} - Z_{oc})} = \\ &= Z'_{oc} - \sqrt{Z'_{oc}(Z'_{oc} - Z_{oc})} \end{aligned} \quad (18)$$

Подставляя ур-ия (16), (17), (18) в ур-ия (14) и (15) для  $Z_A$ ,  $Z_B$  и  $Z_C$ , найдем

$$Z_{11} = \sqrt{Z'_{oc} Z_{sc}}, \quad (19)$$

$$Z_{12} = \sqrt{Z'_{oc} Z_{sc}}. \quad (20)$$

В симметричных  $\Delta$  ф., т. е. при равенстве  $Z_A = Z_B$ , повторяющиеся и зеркальные полные сопротивления становятся равными друг другу, т. е. мы получаем следующее равенство:

$$\begin{aligned} Z_k &= Z_{k1} = Z_{k2} = Z_{11} = Z_{12} = Z_1 = \\ &= \sqrt{Z_A(Z_A + 2Z_C)}. \end{aligned} \quad (21)$$

$Z_A$ —волновое сопротивление  $\Delta$  ф., аналогичное волновому сопротивлению длинных электрич. линий.

Распространение тока через  $\Delta$  ф. Для  $\Delta$  ф., работающих на базисе повторяющихся полных сопротивлений, постоянная распространения  $\gamma$  — натуральный логарифм отношения тока на входе  $I_1$   $\Delta$  ф. к току на выходе  $I_2$ , т. е.

$$\gamma = \ln \frac{I_1}{I_2}, \quad (22)$$

примечание: отношение  $\frac{I_2}{I_1}$  здесь соответствует потерям в  $\Delta$  ф. Ток на входе  $\Delta$  ф.  $I_1$  — это тот ток, который потечет через сопротивление нагрузки, если  $\Delta$  ф. удалить;  $\gamma$  м. б. выражена в зависимости от полного сопротивления  $\Delta$  ф. В самом деле, для  $\gamma$  можно написать:

$$\begin{aligned} \gamma &= \ln \frac{I_1}{I_2} = \ln \frac{E}{Z_{k1} + Z_{k2}} \cdot \frac{(Z_{k1} + Z_{k2})(Z_B + Z_C + Z_{k1})}{E Z_C} = \\ &= \ln \frac{Z_B + Z_C + Z_{k1}}{Z_C}. \end{aligned} \quad (22')$$

Для того чтобы выразить  $\gamma$  в зависимости только от  $Z_A$ ,  $Z_B$  и  $Z_C$ , подставляем ур-ие (14) в (22'); после ряда преобразований получаем

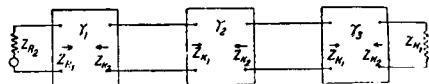
$$\begin{aligned} \gamma &= \ln \left[ \frac{Z_A + Z_B + 2Z_C}{2Z_C} + \right. \\ &\left. + \sqrt{\left( \frac{Z_A + Z_B + 2Z_C}{2Z_C} \right)^2 - 1} \right]. \end{aligned} \quad (23)$$

Это ур-ие м. б. выражено в более удобном виде, если вспомнить, что  $\ln(a + \sqrt{a^2 - 1}) = \text{Arch } a$ , т. о.

$$\gamma = \text{Arch} \frac{Z_A + Z_B + 2Z_C}{2Z_C}. \quad (24)$$

Т. к. токи на входе и выходе  $\Delta$  ф., построенного на повторяющемся базисе, остаются одними и теми же при распространении в любом направлении, то  $\gamma$  здесь не зависит от выбранного направления. В многоячеечных  $\Delta$  ф., построенных по этому принципу (фиг. 10) с одинаковыми или различными постоянными распространения, отдельные ячейки оказываются соединенными с последующими по тому же принципу, что одна самостоятельная ячейка, а следовательно такой многоячеечный  $\Delta$  ф. оказывается совершенно эквивалентным одной ячейке. Если постоянные

распространения отдельных ячеек многоячеечного  $\Delta$  ф. —  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  и т. д., то его общая постоянная распространения равна сумме постоянных отдельных ячеек. В случае  $\Delta$  ф., построенного на «зеркальном» базисе (т. к. полные сопротивления на входе и выходе его неравны), для представления о передаваемой через  $\Delta$  ф. энергии (необходимо) уже постоянную распростра-



Фиг. 10.

нения (обозначим ее здесь через  $\Gamma$ ) выразить через  $V_A$  на входе и выходе  $\Delta$  ф. или ячейки. Т. о.

$$\Gamma = \frac{1}{2} \ln \frac{V_1 I_1}{V_2 I_2}, \quad (25)$$

где  $V_1$  и  $I_1$  — напряжение и ток на зажимах 1—2, а  $V_2$  и  $I_2$  на зажимах 3—4. Т. к.  $V_1 = I_1 Z_{11}$  и  $V_2 = I_2 Z_{12}$ ,

$$\Gamma = \frac{1}{2} \ln \frac{I_1^2 Z_{11}}{I_2^2 Z_{12}} = \ln \frac{I_1}{I_2} \sqrt{\frac{Z_{11}}{Z_{12}}}. \quad (26)$$

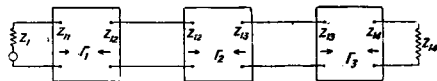
Если распространение происходит в обратном направлении, то соответственно

$$\Gamma = \ln \frac{I_2}{I_1} \sqrt{\frac{Z_{12}}{Z_{11}}}, \quad (27)$$

где  $I_2$  — ток на зажимах 3—4  $\Delta$  ф.,  $I_1$  — на зажимах 1—2. Пользуясь теоремой взаимности, можно показать, что ур-ия (26) и (27) дают одну и ту же величину  $\Gamma$ . Складывая ур-ия (26) и (27), получаем  $2\Gamma = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{I_2}{I_1}$  или

$$\Gamma = \ln \sqrt{\frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{I_2}{I_1}}. \quad (28)$$

Т. о. постоянная распространения здесь — логарифм среднего геометрического из отношения токов входа и выхода для передачи в двух направлениях. Принцип зеркальных полных сопротивлений оказывается чрезвычайно рациональным при составлении сложных многоячеечных  $\Delta$  ф., состоящих из целых ячеек и их половин ( $\Gamma$ -ячейки). Ячейки, соединяемые по этому принципу, м. б. совершенно непохожими друг на друга, однако  $\Delta$  ф., составленный из них, будет правильно работать при условии, если зеркальные полные сопротивления в точке соединения их точно пригнаны в смысле их полного равенства. На фиг. 11 изображен многоячеечный



Фиг. 11.

$\Delta$  ф. с ячейками, соединенными на зеркальном базисе. Общая постоянная распространения такого  $\Delta$  ф. равна также сумме  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_3$  отдельных ячеек. Постоянные распространения  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_3$  — в общем комплексные величины:  $\Gamma_1 = a_1 + j\beta_1$ ;  $\Gamma_2 = a_2 + j\beta_2$  и т. д.  $\Gamma = a + j\beta$ , где  $a$  — постоянная поглощения  $\Delta$  ф.,  $\beta$  — фазовая постоянная, причем  $a = a_1 + a_2 + \dots$  и  $\beta = \beta_1 + \beta_2 + \dots$ . В симметричных ячейках  $\gamma = \Gamma$ , так как отношение  $Z_{11}/Z_{12}$ , входя в ур-ие (26), для  $\Gamma$  становится равным 1. Действительные и мнимые части постоянной распространения тоже становятся равными.

Отражения в Э. ф. Основное преимущество Э. ф., построенных по принципу зеркальных и повторяющихся полных сопротивлений, заключается в том, что в них полные сопротивления на входе и выходе находятся в определенных соотношениях с составляющими полными сопротивлениями Э. ф. Отклонения в соотношениях полных сопротивлений приводят к снижению эффекта, даваемого Э. ф. на выходе. Однако получить сохранение этих соотношений на широком диапазоне частот не удастся, так как  $Z_k$  (уравнение 21) изменяется с частотой и по характеру и по величине. Поэтому обычно величины полных сопротивлений нагрузки выбирают для какой-нибудь одной частоты (или для ряда различных частот) в пределах спектра, пропускаемого Э. ф. Если сопротивление  $Z_k$  на выходе не равно сопротивлению Э. ф.  $Z_s$ , то сила тока на выходе м. б. значительно снижена, т. к. часть тока отражается от конца подобно тому, как это бывает в линиях. Вспомнив уравнение (26), можно установить следующее отношение тока  $I'_s$  на выходе при выключенном Э. ф. (когда  $I'_s = \frac{E}{Z_s + Z_R}$ ) и  $I_2$  при включенном идеальном Э. ф. с  $\Gamma = 0$  и при  $Z_R \neq Z_s$ .

$$\frac{I_2}{I'_s} = \sqrt{\frac{4Z_s Z_R}{Z_s + Z_R}}. \quad (29)$$

Это соотношение называется фактором отражения полных сопротивлений  $Z_s$  и  $Z_R$  Э. ф. Оно называется так потому, что неравенство полных сопротивлений  $Z_s$  и  $Z_R$  создает здесь явления отражения и в случае систем, обладающих малыми искажениями, может привести к резко выраженным отражениям. Величина, обратная фактору отражения, является мерой эффективности передачи в месте соединения  $Z_s$  и  $Z_R$  без Э. ф. по сравнению с передачей, получающейся при включении идеального Э. ф. с нулевой постоянной распространения. Эта величина соответствует обычно потерям при передаче. Эти потери называются потерями от отражений. Во многих случаях, в частности в рассматриваемых Э. ф., однако она соответствует в действительности увеличению токов. Потери от отражений  $N$  между какими-либо двумя полными сопротивлениями, выраженные в децибелах,

$$N = 20 \lg \left| \frac{I'_s}{I_2} \right| = 20 \lg \left( \frac{Z_s + Z_R}{\sqrt{4Z_s Z_R}} \right). \quad (30)$$

При обычном Э. ф., имеющем  $\Gamma \neq 0$ , неравенство зеркальных полных сопротивлений вызовет сложные явления. Для определения тока на выходе при любом Э. ф., соединяющем  $Z_s$  и  $Z_R$ , поступают след. обр.: определяют 1) ток на выходе при равенстве сопротивлений на концах Э. ф. и 2) эффект, обязанный изменению сопротивления нагрузки от величин  $Z_s$  к величине  $Z_R$ . Ток на входе Э. ф., построенного на «зеркальном базисе»,

$$I_{10} = \frac{E_1}{2Z_{11}}, \quad (31)$$

ток на выходе

$$I_{20} = I_{10} \sqrt{\frac{Z_{11}}{Z_s}} \varepsilon^{-\Gamma} = \frac{E}{\sqrt{4Z_{11}Z_s}} \varepsilon^{-\Gamma}. \quad (32)$$

Предположим теперь, что сопротивление нагрузки изменилось с  $Z_s$  до  $Z_R$ . Т. к. эдс, действу-

ющая на выходе, равна  $2I_{20}Z_s$ , то при новых условиях ток на выходе

$$I_{20} = I_{20} \frac{2Z_s}{Z_R + Z_s}. \quad (33)$$

Изменившееся сопротивление на выходе на величину  $Z_R - Z_s$  создает на выходе дополнительную эдс

$$e'_2 = -I_{20}(Z_R - Z_s). \quad (34)$$

Эта эдс создает на входе ток

$$\Delta I_{10} = -\frac{e'_2}{2Z_s} \sqrt{\frac{Z_s}{Z_{11}}} \varepsilon^{-\Gamma} = \frac{e'_2}{\sqrt{4Z_{11}Z_s}} \varepsilon^{-\Gamma}. \quad (35)$$

Подставляя ур-ия (33) в (34) и (34) и (32) в (35), получаем

$$\begin{aligned} \Delta I_{10} &= -I_{20} \frac{Z_R - Z_s}{Z_R + Z_s} \cdot \frac{2Z_s}{\sqrt{4Z_{11}Z_s}} \varepsilon^{-\Gamma} = \\ &= -I_{10} \frac{Z_R - Z_s}{Z_R + Z_s} \varepsilon^{-2\Gamma}. \end{aligned} \quad (36)$$

Для полного тока на входе имеем

$$I_{10} = I_{20} + \Delta I_{10} = I_{20} \left( 1 - \frac{Z_R - Z_s}{Z_R + Z_s} \varepsilon^{-2\Gamma} \right). \quad (37)$$

Сопротивление на входе Э. ф., когда сопротивление нагрузки на другом конце Э. ф. не равно «зеркальному полному сопротивлению», м. б. представлено в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{E}{I_{10}} &= Z_{11} + Z_{12} = \frac{E}{I_{10}} \cdot \frac{1}{\left( 1 - \frac{Z_R - Z_s}{Z_R + Z_s} \varepsilon^{-2\Gamma} \right)} = \\ &= 2Z_{11} \frac{1}{1 - \frac{Z_R - Z_s}{Z_R + Z_s} \varepsilon^{-2\Gamma}}, \end{aligned} \quad (38)$$

откуда

$$\begin{aligned} Z_{12} &= Z_{11} \left( \frac{2}{1 - \frac{Z_R - Z_s}{Z_R + Z_s} \varepsilon^{-2\Gamma}} - 1 \right) = \\ &= Z_{11} \frac{1 + \frac{Z_R - Z_s}{Z_R + Z_s} \varepsilon^{-2\Gamma}}{1 - \frac{Z_R - Z_s}{Z_R + Z_s} \varepsilon^{-2\Gamma}}. \end{aligned} \quad (39)$$

Выражение

$$\frac{Z_R - Z_s}{Z_R + Z_s} \quad (39')$$

называется коэф-том отражения; обозначим его через  $e_1$ , тогда

$$Z_{12} = Z_{11} \frac{1 + e_1 \varepsilon^{-2\Gamma}}{1 - e_1 \varepsilon^{-2\Gamma}}, \quad (40)$$

откуда

$$e_1 \varepsilon^{-2\Gamma} = \frac{Z_{12} - Z_{11}}{Z_{12} + Z_{11}} = e_2; \quad (40')$$

$e_2$  — коэф. отражения на входе при коэффициенте на выходе  $e_1$ . Если сопротивления нагрузки на обоих концах не соответствуют зеркальным полным сопротивлениям, то явления еще больше усложняются. Отношение токов на выходе при Э. ф. и без него в этом случае

$$\frac{I_2}{I_{20}} = \frac{1}{k} \cdot e_1 e_2 \varepsilon^{-\Gamma} \sigma, \quad (41)$$

где  $k = \frac{Z_s + Z_R}{\sqrt{4Z_s Z_R}}$  соответственно ур-ию (29) — величина, обратная фактору отражения, обязанного неравенству  $Z_s$  и  $Z_R$  для тока  $I_{20}$ ;  $e_1 = \frac{\sqrt{4Z_s Z_{11}}}{Z_s + Z_{11}}$  — фактор отражения благодаря нера-



венству  $Z_S$  и  $Z_{11}$  и  $e_2 = \frac{\sqrt{4Z_R Z_{12}}}{Z_R + Z_{12}}$  — фактор отражения благодаря неравенству  $Z_R$  и  $Z_{12}$ ;  $\varepsilon\Gamma$  выражает эффект постоянного затухания и фазовой постоянной  $\Theta$ . ф. Наконец  $\sigma$  — фактор взаимодействия, обаянный повторным отражениями, показывающий, что отношение токов при невыверенном  $\Theta$ . ф. зависит не только от простых по эффекту факторов единичного отражения и постоянной распространения, но также и от повторных отражений от концов  $\Theta$ . ф. в более сложной форме:

$$\sigma = \left(1 - \frac{Z_S - Z_{11}}{Z_S + Z_{11}} \cdot \frac{Z_R - Z_{12}}{Z_R + Z_{12}} \varepsilon^{-2\Gamma}\right) = e_1 e_2 \varepsilon^{-2\Gamma}. \quad (42)$$

$\sigma$  играет второстепенную роль и может стать значительным только на частотах среза, на других же частотах  $\sigma$  обычно незначительно. Отношению токов уравнения (41) соответствуют общие потери, представляемые суммой индивидуальных потерь, соответствующих различным факторам. Общие потери в децибелах выражаются суммой

$$L = -20 \lg_{20} \left(\frac{1}{k}\right) + 20 \lg_{10} \left(\frac{1}{k_1}\right) + 20 \lg_{10} \left(\frac{1}{k_2}\right) + \alpha + 20 \lg_{10} \left(\frac{1}{\sigma}\right).$$

Общее изменение фазы выражается суммой фазовых углов опаздывания тока, соответственно слагаемым потерь.

$$B = + \text{углу } k - \text{углу } k_1 - \text{углу } k_2 + \beta + \text{углу } \sigma.$$

Условия для обеспечения работы  $\Theta$ . ф. Идеальный  $\Theta$ . ф. характеризуется следующими данными: 1) Постоянная затухания в полосе пропускания  $\Theta$ . ф. должна быть равна нулю: энергия не должна расходоваться внутри  $\Theta$ . ф. 2) Сопротивления нагрузки д. б. в этой полосе активными сопротивлениями и не должны зависеть от частоты. 3) В поглощаемых полосах частот постоянная затухания д. б. по возможности наибольшей, сопротивления нагрузки д. б. или очень высокими или очень низкими для того, чтобы они вызвали большие потери от отражений на входе и выходе  $\Theta$ . ф., но не были причиной увеличения тока от отражений. Конечно ни одно из этих условий не м. б. полностью практически реализовано. Однако эти положения в стремлении приблизиться практически к данным идеального  $\Theta$ . ф. приводят к следующим требованиям в отношении конструирования действительных  $\Theta$ . ф.: 1)  $\Theta$ . ф. должны состоять исключительно из реактивных сопротивлений. 2) Зеркальные полные сопротивления, образуемые реактивными сопротивлениями  $\Theta$ . ф., должны быть или действительными величинами (чисто активными сопротивлениями) или же мнимыми количествами (чисто реактивными сопротивлениями): а) если зеркальное полное сопротивление есть активное сопротивление,  $\Theta$ . ф. затухания не имеет, а потому свободно пропускает токи соответственных частот, при которых это условие выполняется; б) если зеркальное полное сопротивление — реактивное сопротивление,  $\Theta$ . ф. имеет большое затухание и не пропускает токи (не имеет «прозрачности»). Реактивные сопротивления не способны поглощать энергию, поэтому они, запасая энергию в течение одного полупериода тока, в течение другого полупериода отдают ее обратно источнику, почему  $\Theta$ . ф. не пропускает токи к приемнику. Зеркальные полные сопротивления любого  $\Theta$ . ф. согласно уравнению (20) м. б. опреде-

лены как среднее геометрическое из  $Z'_{oc}$  и  $Z_{sc}$ . Если  $Z_{oc}$  и  $Z_{sc}$  — чисто реактивные сопротивления, т. е.  $X_{oc}$  и  $X_{sc}$  каковыми они и д. б. в  $\Theta$ . ф., составленных из реактивных сопротивлений, зеркальные полные сопротивления  $Z_1$  могут иметь три возможные величины в зависимости от знака реактивных сопротивлений. 1) Если  $Z_{oc}$  и  $Z_{sc}$  противоположны по знакам,

$$Z_1 = \sqrt{(\pm jX_{oc})(\pm jX_{sc})} = R_1. \quad (43)$$

2) и 3) Если  $Z_{oc}$  и  $Z_{sc}$  оба положительные или оба отрицательные,

$$Z_1 = \sqrt{(\pm jX_{oc})(\pm jX_{sc})} = \pm jX_1. \quad (44)$$

Подобным же образом  $Z'_1$  также м. б. равным или  $R'_1$  или  $\pm jX'_1$ . Если  $Z_1$  и  $Z'_1$  — оба реактивные сопротивления, они м. б. противоположными по знаку. Зависимость затухания  $\Theta$ . ф. от характера зеркальных полных сопротивлений м. б. показана из следующих уже известных нам ур-ий: коэф. отражения (уравнение 39')  $\Theta$ . ф. при условии короткого замыкания его, т. е. при  $Z_R = 0$ ,  $\rho$  равен  $-1$ ; при размыкании его, т. е. при  $Z_R = \infty$ ,  $\rho = 1$ . Если теперь действительное сопротивление на входе между зажимами 1 и 2 равно  $Z_{sc}$  (ур-е 40), коэф. отражения на входе

$$\frac{Z_{sc} - Z_1}{Z_{sc} + Z_1} = (-1) \varepsilon^{-2\Gamma}. \quad (45)$$

Если же оно по  $Z_{oc}$ , то

$$\frac{Z_{oc} - Z_1}{Z_{oc} + Z_1} = (1) \varepsilon^{-2\Gamma}. \quad (46)$$

Из ур-ий (45) и (46) видно, что если  $Z_1$  — реактивное сопротивление ( $Z_{sc}$  и  $Z_{oc}$  имеют тот же знак), коэф. отражения на входе не м. б. равен 1 для конечных значений  $Z_{sc}$ ,  $Z_{oc}$  и  $Z_1$ , откуда

$$|\varepsilon^{-2\Gamma}| = \varepsilon^{-2a} < 1 \text{ и } a > 0. \quad (47)$$

$\Theta$ . ф. прозрачности не имеет. Но если  $Z_1$  чисто омич. сопротивление, коэф. отражения на входе должен иметь величину, равную единице, для всех конечных значений  $Z_{sc}$ ,  $Z_{oc}$  и  $Z_1$ . При этих условиях

$$\varepsilon^{-2\Gamma} = \varepsilon^{-2a} \cdot \varepsilon^{-2\beta} = 1 \varepsilon^{-2\beta} \text{ и } a = 0. \quad (48)$$

$\Theta$ . ф. дает пропускание при отсутствии затухания. Здесь следует отметить, что когда  $\Theta$ . ф. имеет затухание, коэф-ты отражения на входе и выходе из ур-ий (45) и (46) имеют числовые значения. Т. о. для Г-ячейки фазовая постоянная  $\beta = \pm n\pi$  или

$$\beta = \pm \frac{n}{2} \pi, \quad (49)$$

где  $n$  — целое число; для Г- и Г-ячеек симметричного ряда

$$\beta = \pm \frac{n}{2} \pi = \pm m\pi, \quad (50)$$

где  $n$  — уже четное число. Эти ур-ия конечно не обозначают, что фазовая постоянная в полосе прозрачности обязательно не зависит от частоты, но они показывают, что если она изменяется, то это происходит скачками на величину целых чисел квадрантов или их половину.

Пограничные частоты пропускания и поглощения  $\Theta$ . ф. в зависимости от соотношения  $Z_1$  и  $Z_2$ , из к-рых состоит  $\Theta$ . ф., могут быть определены по соотношению  $Z_{oc}/Z_{sc}$ . Для симметричной Г-ячейки, для обоих концов

$$Z_{oc} = \frac{1}{2} Z_1 + Z_2, \quad (51)$$

$$Z_{sc} = \frac{1}{2} Z_1 + \frac{\frac{1}{2} Z_1 Z_2}{\frac{1}{2} Z_1 + Z_2}, \quad (52)$$

откуда

$$\frac{Z_{oc}}{Z_{sc}} = \frac{(Z_1/2 + Z_2)^2}{Z_1^2 \cdot 4 + Z_1 Z_2} = \frac{(1 + \frac{2Z_2}{Z_1})^2}{1 + \frac{4Z_2}{Z_1}} \quad (53)$$

Нетрудно убедиться, что для симметричной П-ячейки  $Z_{oc}/Z_{sc}$  получает то же выражение, что и для Т-ячейки (ур-ие 53). Для Г-ячейки

$$\frac{Z_{oc}}{Z_{sc}} = 1 + \frac{4Z_2}{Z_1} \quad (54)$$

для обоих ее концов. Отношение  $Z_{oc}/Z_{sc}$  для всех видов Э. ф. положительно или отрицательно [ср. ур-ия (43) и (44)] в зависимости от того, положительно  $1 + \frac{4Z_2}{Z_1}$  или отрицательно. Т. о. выражение  $1 + \frac{4Z_2}{Z_1}$  служит критерием для определения пропускемости Э. ф. Пограничные частоты между зонами пропускемости и затухания Э. ф., называемые срезуемыми и частотами, или частотами среза, имеют место, когда

$$1 + \frac{4Z_2}{Z_1} = 0 \text{ или } \frac{Z_1}{4Z_2} = -1 \quad (55)$$

или когда  $1 + \frac{4Z_2}{Z_1} = \infty$  (при условии, что  $Z_1$  или  $Z_2$  изменят знак при этой частоте), откуда  $Z_1 = 0$ , но

$$Z_2 \neq 0 \text{ или } Z_2 = \infty, Z_1 \neq \infty. \quad (56)$$

Следовательно в пропускемой зоне

$$0 > \frac{Z_1}{4Z_2} > -1, \quad (57)$$

в зоне затухания  $\frac{Z_1}{4Z_2} > 0$  или

$$\frac{Z_1}{4Z_2} < -1. \quad (58)$$

Эти результаты в схематич. форме показаны на фиг. 12.

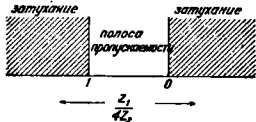
Зеркальное полное сопротивление для симметричной Т-ячейки определится из уравнения (19), если для  $Z_{oc}$  и  $Z_{sc}$  подставить выражения из ур-ий (51) и (52):

$$Z_I = \sqrt{Z_1 Z_2 \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2}\right)}. \quad (59)$$

Таким же образом для П-ячейки найдем

$$Z'_I = \sqrt{\frac{Z_1 Z_2}{1 + \frac{Z_1}{4Z_2}}}. \quad (60)$$

Для Г-ячейки со стороны входа зеркальное полное сопротивление  $-Z_I$ , со стороны выхода —  $Z'_I$ . На фиг. 13 показаны Э. ф., составленные из различных симметричных ячеек, работающих на зеркальном базисе. Иногда бывает удобно пользоваться



Фиг. 12.

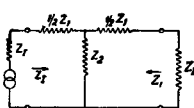
вместо зеркальных полных сопротивлений соответствующими им зеркальными полными проводимостями  $Y_I$  и  $Y'_I$ , выраженными в зависимости от полных проводимостей последовательной  $Y_1$  и параллельной  $Y_2$ , образующих ячейки Э. ф.:

$$Y_I = \frac{1}{Z_I} = \sqrt{\frac{Y_1 Y_2}{1 + \frac{Y_2}{4Y_1}}}, \quad (61)$$

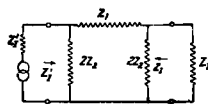
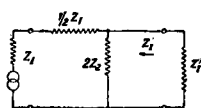
$$Y'_I = \frac{1}{Z'_I} = \sqrt{Y_1 Y_2 \left(1 + \frac{Y_2}{4Y_1}\right)}. \quad (62)$$

$Z_I$  и  $Y_I$  называются зеркальными полными сопротивлениями и проводимостями в середине последовательных полных сопротивлений Э. ф.,

I Т-ячейка



II Г-полужайка



III П-ячейка

Фиг. 13.

IV Г-полужайка  
направл. распространения  
обратное

$Z'_I$  и проводимость  $Y'_I$  то же в середине параллельных полных сопротивлений Э. ф. Из приведенных уравнений вытекают следующие важные положения:

$$\frac{Z_I}{Z'_I} = \frac{Y'_I}{Y_I} = 1 + \frac{Z_1}{4Z_2} = 1 + \frac{Y_2}{4Y_1}, \quad (63)$$

$$\sqrt{Z_1 Z_2} = \sqrt{Z_I Z'_I}, \quad (64)$$

$$\sqrt{Y_1 Y_2} = \sqrt{Y_I Y'_I} \quad (65)$$

или

$$\frac{\sqrt{Z_1 Z_2}}{Z_I} = \frac{Z'_I}{\sqrt{Z_1 Z_2}} \text{ и } \frac{\sqrt{Y_1 Y_2}}{Y_I} = \frac{Y'_I}{\sqrt{Y_1 Y_2}}. \quad (66)$$

Условие пропускемости Э. ф., определенное ур-ием (57), м. б. удовлетворено одним из 4 способов, показанных в табл. 1.

Табл. 1.—Условия пропускемости Э. ф.

$\frac{Z_1}{4Z_2}$	$Z_1$	$Z_2$	Зеркальные полные сопротивления	
			$Z_I$	$Z'_I$
0	0	конечное	0	0
0	конечное	∞	∞	∞
0	0	∞	конечное	конечное
-1	конечное	конечное	0	∞

В поглощаемых участках  $Z_I$  и  $Z'_I$  — чистые реактивные сопротивления, принимающие первое значение  $Z_1$ , второе знак  $Z_2$ ;  $Z_I$  в поглощаемой полосе — отрицательное реактивное сопротивление, тогда как  $Z'_I$  выше пропускаемых частот — реактивное сопротивление положительное, ниже — отрицательное. Для определения постоянной распространения, подставляя в ур-ие (45) выражение из ур-ия (19), получаем ур-ие

$$\epsilon^{-2\Gamma} = \frac{1 - \sqrt{\frac{Z_{sc}}{Z_{oc}}}}{1 + \sqrt{\frac{Z_{sc}}{Z_{oc}}}}. \quad (67)$$

Это ур-ие м. б. представлено также в гиперболической форме

$$\Gamma = \text{Arctch} \sqrt{\frac{Z_{sc}}{Z_{oc}}}, \quad (68)$$

так как

$$\sqrt{\frac{Z_{sc}}{Z_{oc}}} = \frac{1 - \epsilon^{-2\Gamma}}{1 + \epsilon^{-2\Gamma}} = \frac{\epsilon^\Gamma - \epsilon^{-\Gamma}}{\epsilon^\Gamma + \epsilon^{-\Gamma}} = \text{th } \Gamma.$$

Из ур-ия (19)

$$\Gamma = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sqrt{\frac{Z_{oc}}{Z_{oc}}}}{1 - \sqrt{\frac{Z_{oc}}{Z_{oc}}}} = \frac{1}{2} \ln \frac{Z_{oc} + \sqrt{Z_{oc} Z_{oc}}}{Z_{oc} - \sqrt{Z_{oc} Z_{oc}}} \quad (69)$$

Подставляя в ур-ие (68) ур-ие (53), получим

$$\Gamma = \text{Arth} \sqrt{\frac{Z_1^2/4 + Z_1 Z_2}{(Z_1/2 + Z_2)^2}} \quad (70)$$

для несимметричных Э. ф.,

$$\Gamma = \text{Arth} \sqrt{\frac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_C Z_A}{(Z_A + Z_C)(Z_B + Z_C)}} \quad (71)$$

при симметричных Э. ф.  $\Gamma = \gamma$ .

Полагая

$$1 + Z_1/2Z_2 = x,$$

$$\Gamma = \text{Arth} \sqrt{\frac{x^2 - 1}{x^2}} = \text{Arch } x; \quad (72)$$

т. к.

$$\text{ch } \Gamma = x = \frac{1}{2} (\varepsilon^\Gamma + \varepsilon^{-\Gamma}),$$

то

$$\frac{x-1}{2} = \frac{1}{4} (\varepsilon^\Gamma - 2 + \varepsilon^{-\Gamma})$$

и

$$\sqrt{\frac{x-1}{2}} = \frac{1}{2} (\varepsilon^{\Gamma/2} - \varepsilon^{-\Gamma/2}) = \text{sh } \Gamma/2,$$

откуда

$$\Gamma = 2 \text{Arsh} \sqrt{Z_1/4Z_2}. \quad (73)$$

Т. о. мы снова устанавливаем положение, что работа Э. ф. зависит от отношения  $Z_1/4Z_2$ . Для Г-ячейки, представляющей получение  $\Gamma$  и  $\Pi$ , аналогичным образом из ур-ия (68) найдем, что

$$\Gamma = \text{Arth} \sqrt{\frac{Z_1}{Z_1 + 4Z_2}} = \text{arcsin} \sqrt{\frac{Z_1}{4Z_2}}. \quad (74)$$

Т. о. постоянная распространения для Г-ячейки в 2 раза меньше, чем для целой ячейки  $\Gamma$  и  $\Pi$ . Влияние сопротивлений  $\Gamma$  на действие Э. ф. До сих пор мы предполагали, что элементы, составляющие Э. ф., представляют собой реактивные сопротивления при отсутствии омич. сопротивлений. Практически такой Э. ф. реализовать конечно нельзя. Обычно и катушки и конденсаторы, применяемые в Э. ф., особенно первые, обладают омич. сопротивлением. В этом случае  $Z_1$  и  $Z_2$  — уже не только чисто мнимые количества, они имеют и действительную часть. Следовательно  $Z_1/4Z_2$  больше уже не действительно, а состоит из действительной части  $U$  и мнимой части  $jV$ .

$$\frac{Z_1}{4Z_2} = U + jV. \quad (75)$$

Ур-ие (72) получает вид:

$$\text{ch } \Gamma = (1 + 2U) + j2V. \quad (76)$$

Т. к. кроме того  $\text{ch } \Gamma = \text{ch}(\alpha + j\beta)$ , то мы можем написать

$$\text{ch } \alpha \cos \beta + j \text{ch } \alpha \sin \beta = (1 + 2U) + j2V,$$

откуда, отделяя действительные и мнимые части, имеем 2 равенства

$$\left. \begin{aligned} \text{ch } \alpha \cos \beta &= 1 + 2U \\ \text{sh } \alpha \sin \beta &= 2V \end{aligned} \right\} \quad (77)$$

или

$$\text{th } \alpha \cdot \text{tg } \beta = \frac{2V}{1 + 2U}. \quad (78)$$

Это уравнение показывает совершенно наглядно, что  $\alpha$  никогда не м. б. равно 0 за исключением отдельных частот, когда  $\text{tg } \beta$  равно бесконечно-

сти. Т. о. полосы частот, в которой затухание везде равно 0, не существует. Э. ф. всегда ослабляет ток, даже и в полосе прозрачности, что впрочем очевидно и а priori, так как сопротивление катушек поглощает энергию. Эффект сопротивлений в Э. ф. выражается в том, что они дают затухание там, где ток должен проходить свободно и уменьшают затухание там, где оно л. б. по возможности наибольшим. Постоянный затухания и фазовая постоянная при наличии омич. сопротивлений в Э. ф. могут быть определены след. обр. На основе ур-ия (75) имеем

$$|Z_1/4Z_2| = \sqrt{U^2 + V^2}.$$

Далее, если предположить фазовый угол  $|Z_1/4Z_2|$  равным  $\varphi$ , имеем  $\cos \varphi = \frac{U}{\sqrt{U^2 + V^2}}$  или  $\sqrt{U^2 + V^2} \cos \varphi = U$ .

Подставляя ур-ие (75) в (72), имеем:

$$\Gamma = \text{Arch} (1 + 2U + j2V). \quad (79)$$

На основании ур-ия

$$\text{Arch} (A + jB) = \text{Arch} \frac{1}{2} [\sqrt{B^2 + (1+A)^2} +$$

$$+ \sqrt{B^2 + (1-A)^2}] +$$

$+ j \arccos \frac{1}{2} [\sqrt{B^2 + (1+A)^2} - \sqrt{B^2 + (1-A)^2}].$  имеем для  $\Gamma$ :

$$\Gamma = \text{Arch} \frac{1}{2} [\sqrt{4V^2 + (2+2U)^2} + \sqrt{4V^2 + (2-2U)^2}] +$$

$$+ j \arccos \frac{1}{2} [\sqrt{4V^2 + (2+2U)^2} + \sqrt{V^2 + (2-2U)^2}].$$

Если через  $\kappa$  обозначить абсолютное значение  $Z_1/4Z_2$ , тогда

$$\kappa = |Z_1/4Z_2| = \sqrt{U^2 + V^2}$$

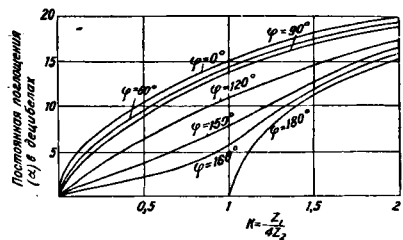
и

$$U = \sqrt{U^2 + V^2} \cos \varphi = \kappa \cos \varphi.$$

Подставляя эти выражения в ур-ие для  $\Gamma$  и преобразуя его, имеем окончательно:

$$\Gamma = \text{Arch} \sqrt{\frac{(\kappa - 1)^2 + 4\kappa \cos^2 \varphi/2 + \kappa}{\alpha}} + j \cos^{-1} \sqrt{\frac{(\kappa - 1)^2/4 + \kappa \cos^2 \varphi/2 - \kappa}{\beta}} \quad (80)$$

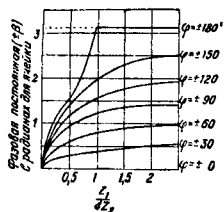
На фиг. 14 и 15 показаны кривые для  $\alpha$  и  $\beta$  в зависимости от  $Z_1/4Z_2$  для различных значений угла  $\varphi$ . Для пользования этими кривыми



Фиг. 14.

необходимо выразить  $Z_1/4Z_2$  в полярных координатах. Модуль и аргумент дадут тогда соответственные значения  $\kappa$  и  $\varphi$ , напр.: если  $Z_1/4Z_2$  — действительная и положительная величина, то  $\kappa = Z_1/4Z_2$  и  $\varphi = 0^\circ$ . Если  $Z_1/4Z_2$  — действительная и отрицательная величина,  $\kappa = |Z_1/4Z_2|$  и  $\varphi = 180^\circ$ ; если  $Z_1/4Z_2$  комплексно, тогда

его можно выразить в виде  $r\theta$  и  $\kappa = r$  и  $\varphi = \theta$ . На фиг. 14 две крайние кривые для  $\varphi = 0^\circ$  и  $180^\circ$  — идентичны, но кривая для  $\varphi = 180^\circ$  смещена вдоль оси  $Z_1/4Z_2$  на величину 1. Для больших величин  $|Z_1/4Z_2|$  эти кривые сливаются; все кривые с промежуточными величинами углов лежат между ними, таким образом затухание для больших величин  $|Z_1/4Z_2|$  не зависит от фазового угла  $Z_1/4Z_2$ . Вблизи  $Z_1/4Z_2 = 1$ , которая соответствует одной из частот среза, относительно малые изменения углов  $Z_1$  или  $Z_2$



Фиг. 15.

вызывают большие изменения в затухании, а также в фазе (фиг. 15). Однако здесь  $Z_1$  и  $Z_2$  обычно индивидуально не большие и не малые величины, почему мало эффективное сопротивление элементов в электрическом фильтре, состоящем по преимуществу из реактивных сопротивлений, вызывает малые изменения в  $\varphi$ ; тогда как вблизи  $|Z_1/4Z_2| = 0$  другие условия для ча-

стот среза; или  $Z_1 = 0$  или  $Z_2 = \infty$  (табл. 1). Поэтому сопротивление элементов может вызвать большие изменения в  $\varphi$ . Так, обр. для обеих частот среза сопротивление в реактивных элементах вызывает приблизительно равные изменения в затухании и в фазе. Для кривой с  $\varphi = 180^\circ$  может иметь в полосе прозрачности любой угол  $\beta = 0$  или  $\pm \pi$ , оставаясь постоянным, если  $Z_1/4Z_2$  не изменит знака. Для больших  $Z_1/4Z_2$   $\beta$  становится равным  $\varphi$ , если они выражены в тех же единицах, т. е.  $\beta = \varphi/\pi$ .

Полные потери в  $\Delta$ . ф. Пользуясь ур-ием (71), а также ур-иями (14) и (15), мы можем вывести общее ур-ие для полных потерь в  $\Delta$ . ф. с учетом отражений при неправильном подборе сопротивления нагрузки. Из этих ур-ий мы определяем следующие зависимости для несимметричных  $\Delta$ . ф.:

$$\left. \begin{aligned} Z_A &= Z_{11}/\text{th } \Gamma - \sqrt{Z_{11}Z_{12}}/\text{sh } \Gamma \\ Z_B &= Z_{12}/\text{th } \Gamma - \sqrt{Z_{11}Z_{12}}/\text{sh } \Gamma \\ Z_C &= \sqrt{Z_{11}Z_{12}}/\text{sh } \Gamma. \end{aligned} \right\} \quad (84)$$

С х е м ы	Кривые реактивных сопротивлений	У р а в н е н и я
		$Z = j\omega L$
		$Z = \frac{1}{j\omega C}$
		$Z = j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = jL \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega}$
		$Z = \frac{1}{jC_1} \frac{\omega}{\omega^2 - \omega_0^2}$
		1) $Z_1 = \frac{1}{Y_1} = j\omega L_2 + j\omega^2 L_1 \frac{\omega}{\omega_1^2 - \omega^2}$
		2) $Y_2 = \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{j\omega L_4} + \frac{1}{j\omega L_3} \frac{\omega}{\omega^2 - \omega_3^2}$
		3) $Z_3 = \frac{1}{Y_3} = \frac{1}{j\omega C_3} + \frac{1}{jC_4} \frac{\omega}{\omega^2 - \omega_3^2}$
		4) $Y_4 = \frac{1}{Z_4} = j\omega C_6 + j\omega^2 C_6 \frac{\omega}{\omega^2 - \omega_6^2}$

Фиг. 16.

Для Э. ф. (фиг. 5) по законам Кирхгофа можно показать, что ток

$$I_R = \frac{EZ_C}{(Z_S+Z_A)(Z_B+Z_C)+Z_R(Z_A+Z_C)+Z_RZ_C+Z_SZ_R} \cdot (82)$$

Подставляя в это ур-ие выражения для  $Z_A, Z_B$  и  $Z_C$  из (81) имеем

$$I_R = \frac{E \sqrt{Z_{11}Z_{12}}}{(Z_{11}Z_{12}+Z_SZ_R) \operatorname{sh} \Gamma + (Z_{11}Z_R+Z_{12}Z_S) \operatorname{ch} \Gamma} \cdot$$

Т. к.

$$\operatorname{sh} \Gamma = \frac{1}{2} (\epsilon^\Gamma - \epsilon^{-\Gamma}) = \frac{1}{2} \epsilon^{-\Gamma} (\epsilon^{2\Gamma} - 1)$$

и

$$\operatorname{ch} \Gamma = \frac{1}{2} \epsilon^{-\Gamma} (\epsilon^{2\Gamma} + 1),$$

то

$$I_R = \frac{E \sqrt{4Z_{11}Z_{12}} \cdot \epsilon^{-\Gamma}}{(Z_{11}Z_{12}+Z_SZ_R) (\epsilon^{2\Gamma}-1) + (Z_{11}Z_R+Z_{12}Z_S) (\epsilon^{2\Gamma}+1)} =$$

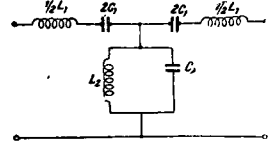
$$= \frac{E}{Z_S+Z_R} \cdot \frac{Z_S+Z_R}{\sqrt{4Z_SZ_R}} \cdot \frac{\sqrt{4Z_{11}Z_{12}}}{Z_{11}+Z_S} \cdot \frac{\sqrt{4Z_{12}Z_R}}{Z_{12}+Z_R} \cdot \epsilon^{-\Gamma} \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{1 - \frac{Z_{12}-Z_R}{Z_{12}+Z_R} \cdot \frac{Z_{11}-Z_S}{Z_{11}+Z_S} \cdot \epsilon^{-2\Gamma}} \cdot (41')$$

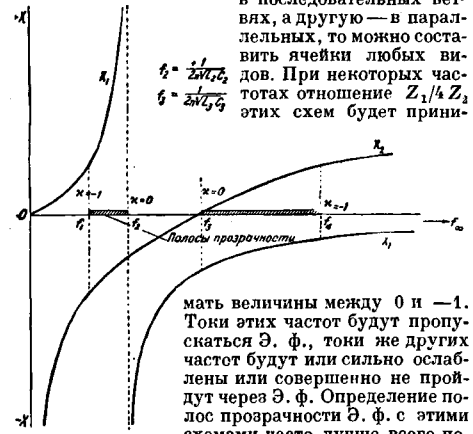
Это ур-ие соответствует ур-ию (41), смысл которого был объяснен выше.

Виды реактивных сопротивлений  $Y$ , применяемых в Э. ф. В фильтрах, используемых для практических целей в качестве полных сопротивлений  $Z_1$  последовательных ветвей и  $Z_2$  параллельных ветвей, находят применение чрезвычайно разнообразные виды реактивных сопротивлений. Число этих видов почти неограниченно, однако практически используются реактивные сопротивления с числом элементов не более 4—5. Значительное уменьшение числа элементов достигается применением многочечных Э. ф., составленных из различных видов простых ячеек. Наиболее употребительные виды двухполюсных схем реактивных сопротивлений, применяемых при конструировании Э. ф., показаны на фиг. 16. Все схемы реактивных сопротивлений распределены по па-

рам, отмеченным скобками. Эти пары представляют потенциально обратные реактивные схемы, т. е. такие, у которых 1) полное сопротивление  $Z$  одной изменяется с частотой так же, как реактивная проводимость  $Y$ , и 2) произведения полных сопротивлений или реактивных проводимостей обоих дадут постоянные величины. На фиг. 16 в правой части показаны кривые изменения реактивных сопротивлений этих схем с частотой, а также характеризующие их уравнения для  $Z$ . Если одну из этих схем применить в последовательных ветвях, а другую — в параллельных, то можно составить ячейки любых видов. При некоторых частотах отношение  $Z_1/4Z_2$  этих схем будет прини-



Фиг. 17а.



Фиг. 17б.

мать величины между 0 и —1. Токи этих частот будут пропускаться Э. ф., токи же других частот будут или сильно ослаблены или совершенно не пройдут через Э. ф. Определение полос прозрачности Э. ф. с этими схемами часто лучше всего получается с помощью кривых реактивных сопротивлений для этих схем. Показанных на фиг. 16. В качестве примера на фиг. 17а и 17б показаны кривые реактивных сопротивлений

Табл. 2.—Пропускаемые полосы.

		$Z_1$ последовательных ветвей					
		1	2	3	4	5	6
$Z_2$ параллельных ветвей	1	нет	в. ч. К-тип	р. п.	в. ч. М из 1,2	р. п.	в. ч. р. п.
	2	н. ч. К-тип	нет	р. п.	н. ч. М из 1,2	н. ч. р. п.	р. п.
	3	н. ч. М из 1,2	в. ч. М из 2,1	р. п. $L_1C_1 \cong L_2C_2$	н. ч. в. ч. К-тип при $L_1C_1 = L_2C_2$	р. п. н. ч. если $Z_1 = 0$ при $Z_2 = 0$	в. ч. при $Z_1 = 0$ , если $Z_2 = 0$ р. п.
	4	р. п.	р. п.	2 р. п. 1 р. п. при $L_1C_1 = L_2C_2$ К-тип	р. п. н. ч. когда $L_1C_1 \cong L_2C_2$	2 р. п. 1 р. п. если $Z_1 = \infty$ при $Z_2 = \infty$	2 р. п. 1 р. п. если $Z_1 = \infty$ при $Z_2 = \infty$
	5	р. п.	в. ч. р. п.	2 р. п. 1 р. п. если $Z_1 = 0$ при $Z_2 = \infty$	р. п. в. ч. если $Z_1 = \infty$ при $Z_2 = \infty$	2 р. п. 1 р. п. 1) если $Z_1 = \infty$ при $Z_2 = \infty$ 2) если $Z_1 = 0$ при $Z_2 = 0$	2 р. п. и в. ч. р. п. и в. ч. если $Z_1 = \infty$ при $Z_2 = \infty$ если $Z_1 = 0$ при $Z_2 = 0$
	6	н. ч. р. п.	в. ч. р. п.	2 р. п. 1 р. п. если $Z_1 = 0$ при $Z_2 = 0$	н. ч. р. п. если $Z_1 = \infty$ при $Z_2 = \infty$	н. ч. и 2 р. п. н. ч. и 1 р. п. при $Z_1 = 0$ , если $Z_2 = \infty$ при $Z_1 = \infty$ , если $Z_2 = 0$	2 р. п. 1 р. п. при $Z_1 = \infty$ , когда $Z_2 = \infty$ при $Z_1 = 0$ , когда $Z_2 = 0$

для Т-ячейки, составленной из схем фиг. 16 для  $Z_1$  — схема III и для  $Z_2$  — схема IV. Частоты  $f_2$  и  $f_3$  — резонансные частоты  $Z_2$  и  $Z_1$  соответственно. При некоторой частоте  $f_1$  отношение  $\kappa = Z_1/4Z_2 = X_1/X_2$ , где  $X_1$  и  $X_2$  — реактивные сопротивления схемы III и IV фиг. 16 — принимают значение  $-1$ ; при частоте  $f_2$   $\kappa = 0$ ; для всех же частот между  $f_1$  и  $f_2$   $0 > \kappa > -1$ ;  $f_1$  и  $f_2$  — частоты среза полюсы пропускательности Э. ф. Точно так же при  $f_3$   $\kappa = 0$  и  $f_4$   $\kappa = -1$ ; для частот между  $f_3$  и  $f_4$   $0 > \kappa > -1$ . Таким образом  $f_2$  и  $f_4$  также частоты среза для полюсов, заключенной между ними. Э. ф., составленный из Т-ячеек этого вида, это резонансный полюсный Э. ф., имеющий две полюсы прозрачности от  $f_1$  до  $f_2$  и от  $f_3$  до  $f_4$ . В табл. 2 сведены все данные о видах и числе полюсов прозрачности для Э. ф., составленных из первых 6 схем фиг. 16. Номера схем для  $Z_1$  показаны в верхней горизонтальной строке, номера схем для  $Z_2$  — в вертикальном первом столбце. Данные Э. ф., составленного из различных схем, показаны в клетке пересечения для соответственных схем. В клетках указано число пропускаемых полюсов, условия для получения одной полюсы, а также характер пропускаемых полюсов. Э. ф., пропускающий низкие частоты, обозначен буквами н. ч., пропускающий высокие частоты — в. ч., резонансная полоса частот — буквами р. п.

Выше была приведена классификация Э. ф. по виду схемы ячеек и по полюсу пропускаемых частот. Практически большее значение имеет дифференция различных видов Э. ф. по соотношениям между  $Z_1$  и  $Z_2$ , используемым в параллельных и последовательных ветвях ячеек. Все виды Э. ф., разобранных выше, являются примером Э. ф. общего типа, в которых в качестве  $Z_1$  и  $Z_2$  м. б. использованы любые полные сопротивления без указания их взаимной зависимости. Практически наиболее употребительны следующие виды Э. ф.: 1) К-фильтр, 2) производный М-фильтр и 3) сложные, или комбинированные, Э. ф.

К-фильтры — такие Э. ф., к-рые состоят из симметричных Т- или П-ячеек, в к-рых произведение последовательных  $Z_1$  и параллельных  $Z_2$  полных сопротивлений равно постоянной величине  $K^2$ , не зависящей от частоты, т. е. в которых

$$Z_1 Z_2 = K^2. \tag{82 A}$$

Это значит, что  $Z_1$  и  $Z_2$  д. б. потенциально обратными величинами. Преимущество К-фильтров заключается в том, что они легко позволяют получить любой ряд полюсов прозрачности, причем их волновые сопротивления как в Т-, так и в П-ячейках изменяются в каждой полюсе прозрачности в тех же пределах величин. Кроме того они приводят к конструированию других Э. ф., дающих лучшие характеристики. В случае резонансных Э. ф. типа К, т. к.  $Z_1$  и  $Z_2$  резонируют на той же самой частоте, как это видно из фиг. 17,  $f_2 = f_3$ , т. е. 2 полюсы прозрачности сливаются в одну, распространяющуюся в диапазоне от  $f_1$  до  $f_4$ . В этом случае  $\kappa = Z_1/4Z_2 = -1$  при  $f_1$  и при  $f_4$   $\kappa = 0$  практически частоты среза не дает. Далее, т. к.  $Z_1$  и  $Z_2$  — чисто реактивные сопротивления противоположных знаков, К в ф-ле (82 А) д. б. чисто омич. сопротивлением. Поэтому для зеркальных полных сопротивлений  $Z_1$  имеем след. ур-ие:

$$Z_1 = \sqrt{Z_1 Z_2 \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2}\right)} = R \sqrt{1 + \left(\frac{Z_1}{2R}\right)^2}; \tag{83}$$

точно так же

$$Z_1' = \frac{R}{\sqrt{1 + \left(\frac{Z_1}{2R}\right)^2}}. \tag{84}$$

Т. о. для данной величины  $Z_1/2R$ ,  $Z_1$  и  $Z_1'$  пропорциональны  $R$ ; с другой стороны, т. к.

$$Z_1 Z_1' = R^2, \tag{85}$$

то при конструировании Э. ф. типа К после выбора величины  $R$ , каковая устанавливается, исходя из условий для сопротивления нагрузок, приходится иметь дело только с одной переменной  $Z_1$  (или  $Z_2$ ) для определения зависимости изменения характеристик Э. ф. с частотой. Цифровые расчеты показывают, что  $(Z_1/2R)^2$  всегда отрицательное число, если  $Z_1$  чисто реактивное сопротивление, почему ур-ия (83) и (84) д. б. переписаны в следующем виде:

$$Z_1 = R \sqrt{1 - \left(\frac{X_1}{2R}\right)^2} \tag{83 A}$$

и

$$Z_1' = \frac{R}{\sqrt{1 - \left(\frac{X_1}{2R}\right)^2}}. \tag{84 A}$$

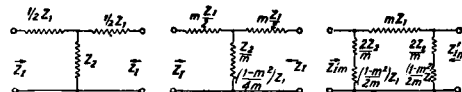
Знак  $Z_1$  не играет никакой роли в этих формулах, определяя только знак  $Z_1$  в областях затухания,  $Z_1'$  в этом случае противоположно по знаку. Следовательно постоянная поглощения и фазовая постоянная для Э. ф. типа К определяется на фиг. 14 и 15 кривыми для  $\varphi = \pm 180^\circ$ . Наконец, т. к.  $Z_1/4Z_2 = (X_1/2R)^2 = U + jV$  и т. к. для этих Э. ф.  $V = 0$ , то ур-ия (83) и (84) м. б. представлены в виде

$$Z_1 = R \sqrt{1 + U} \tag{85}$$

и

$$Z_1' = \frac{R}{\sqrt{1 + U}}. \tag{86}$$

Э. ф. с пропусканием низких частот, тип К. В простейшей форме в этом Э. ф.



Фиг. 18.

в последовательном участке — индуктивная, в параллельном — конденсатор, т. е. (фиг. 18)

$$Z_1 = j\omega L \text{ и } Z_2 = \frac{1}{j\omega C}; \quad \frac{L}{C} = R^2.$$

$$Z_1 = R \sqrt{1 - \left(\frac{\omega L}{2R}\right)^2} = R \sqrt{1 - \frac{\omega^2 LC}{4}} = R \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}, \tag{87}$$

$$f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}}, \tag{88}$$

где  $f_c$  — частота среза, соответствующая

$$\frac{Z_1}{4Z_2} = -1 = -\frac{\omega_c^2 LC}{4} \tag{89}$$

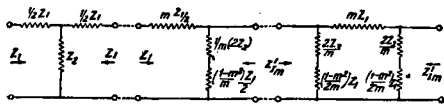
при  $\frac{f}{f_c} \ll 1$

$$Z_1 = \sqrt{\frac{L}{C}} = R, \tag{90}$$

откуда, комбинируя ур-ия (88) и (90), находим

$$L = \frac{Z_1}{f_c^2} = \frac{R}{\pi f_c} \text{ и } C = \frac{1}{f_c^2 R}.$$

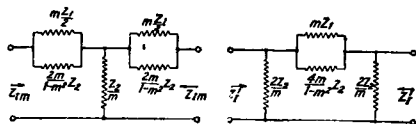
Все прочие Э. ф. с пропусканием низких частот и ф-лы, необходимые для расчета, приведены в общей табл. 3. — Э. ф. типа К с пропусканием высоких частот показан на фиг. 19.



Фиг. 19.

Здесь  $Z_1 = \frac{1}{j\omega C}$  и  $Z_2 = \omega L$ , опять  $\frac{L}{C} = R^2$  и  $Z_1 = R \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$ , где  $f_c = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC^2}}$ .

Прочие данные см. в табл. 4, общей для Э. ф. с пропусканием высоких и низких частот. Э. ф. типа К с пропусканием полосы частот имеют в последовательном участке резонансную цепь и в параллельном — антирезонансную цепь.  $Z_1$  состоит из двух реактивных элементов, включенных последовательно,  $Z_2$  также из двух элементов, включенных в параллель (фиг. 20). В



Фиг. 20.

подобном Э. ф. все частоты ниже одной из частот среза  $f_1$  и выше другой частоты среза  $f_2$  поглощаются, а частоты между этими частотами среза пропускаются. Т. к.  $Z_1$  и  $Z_2$  потенциально обратные цепи по отношению к какой-либо величине сопротивления  $R$ , то

$$\frac{L_1}{C_2} = \frac{L_2}{C_1} = R^2 \text{ или } R = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}} = \sqrt{\frac{L_2}{C_1}}, \quad (91)$$

откуда

$$\begin{aligned} \sqrt{L_1 C_1} &= \sqrt{L_2 C_2}, \quad Z_1 = j\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}\right) = \\ &= j\omega_0 L_1 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right), \end{aligned} \quad (92)$$

где  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$  соответствует частоте резонанса  $Z_1$

$$\begin{aligned} \left(\frac{Z_1}{2R}\right)^2 &= -\left(\frac{\omega_0 L_1}{2R}\right)^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2 = \\ &= -\frac{1}{4} \omega_0^2 L_1 C_2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2. \end{aligned}$$

Для устранения  $L_1$  и  $C_2$  из этого ур-ния найдем выражения для частот среза  $f_1$  и  $f_2$ . При  $f_2$

$$\begin{aligned} \frac{Z_1}{4Z_2} &= -1 \text{ и } \frac{1}{4} \cdot \omega_0 L_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_2}\right) \omega_0 C_2 \cdot \\ \left(\frac{\omega_2}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_2}\right) &= 1, \quad \left(\frac{\omega_2}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_2}\right)^2 = \frac{4}{\omega_0^2 L_1 C_2}, \end{aligned}$$

откуда

$$\left(\frac{Z_1}{2R}\right)^2 = -\frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}{\left(\frac{\omega_2}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega_2}\right)^2} = -\frac{\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2}{\left(\frac{f_2}{f_0} - \frac{f_0}{f_2}\right)^2},$$

$$Z_1 = R \sqrt{1 - \frac{\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2}{\left(\frac{f_2}{f_0} - \frac{f_0}{f_2}\right)^2}}. \quad (93)$$

Таким же точно образом найдем для частоты среза  $f_1$

$$Z_1 = R \sqrt{1 - \frac{\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2}{\left(\frac{f_1}{f_0} - \frac{f_0}{f_1}\right)^2}}, \quad (94)$$

откуда следует, т. к.  $f_1 \neq f_2$ , что

$$\frac{f_1}{f_0} = \frac{f_0}{f_2}$$

или

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}, \quad (95)$$

т. е. частота резонанса последовательного участка простого резонансного Э. ф. типа К есть среднегеометрическое двух частот среза  $f_1$  и  $f_2$ . Но т. к. при частоте  $f_0$   $Z_1 = 0$  и  $Z_2 = \infty$ , то она является в то же время той частотой, при к-рой полюсы прозрачности или сопрягаются друг с другом или «сливаются». При частотах среза, т. е. когда  $\frac{Z_1}{4Z_2} = \frac{Z_1^2}{4R^2} = -1$ ,

$$Z_1 = \pm j2R. \quad (96)$$

Т. о. для частоты среза  $f_1$   $L_1 2\pi f_1 - \frac{1}{C_1 2\pi f_1} = -2R$  и для частоты  $f_2$   $L_2 2\pi f_2 - \frac{1}{C_1 2\pi f_2} = +2R$ .

Решая эти ур-ния, находим расчетные формулы для составляющих элементов Э. ф.

$$L_1 = \frac{R}{\pi(f_2 - f_1)}, \quad (97)$$

$$C_1 = \frac{f_2 - f_1}{4\pi^2 f_2 R}, \quad (98)$$

$$L_2 = \frac{(f_2 - f_1) R}{4\pi^2 f_2}, \quad (99)$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi(f_2 - f_1) R}. \quad (100)$$

Аналогичным образом находятся расчетные ф-лы и для Э. ф., задерживающего полюсу частот. Все эти ф-лы сведены в табл. 4.

Э. ф. М по своим характеристикам пропускаемости в общем совершеннее, чем Э. ф. К. Фильтры М обычно являются производными от Э. ф. типа К. Преимущества их заключаются в том, что они дают возможность зафиксировать не только частоты среза, но также и некоторые частоты, при которых можно установить максимальное затухание. Благодаря этому возможно получить более резкое наступление среза и более совершенным образом снять некоторые наиболее неприятные для хорошего воспроизведения сигналов частоты, чем это возможно при Э. ф. типа К. Далее возможно при тщательном конструировании Э. ф. получить более практически постоянное волновое сопротивление Э. ф. на значительном участке пропускаемых полюс. Э. ф. типа М обыкновенно имеют то же самое волновое сопротивление и полюсу прозрачности, как и Э. ф. типа К, производными от которого они являются, кроме того имеют очень большое или бесконечное затухание на некоторой частоте, близкой к частоте среза. Э. ф. типа К, производными от которого является Э. ф. типа М, называется прототипом. Если прототип К имеет по ур-ию (83) волновое сопротивление

$$Z_k = \sqrt{R^2 \left(1 + \frac{Z_1}{4Z_2}\right)},$$

то производный от него Э. ф. типа М должен иметь то же самое волновое сопротивление для всех частот, а также  $\frac{Z_{1m}}{4Z_{2m}} = 0$ , когда  $\frac{Z_1}{4Z_2} = 0$ . Индексы относятся здесь к элементам ячейки

Э. ф. типа М. Последнее условие удовлетворяется, когда  $Z_{1m} = mZ_1$ , где  $m$  — постоянная, произвольно выбранная. Тогда

$$Z_{km} = \sqrt{Z_{1m}Z_{2m} \left(1 + \frac{Z_{1m}}{4Z_{2m}}\right)} = \sqrt{mZ_1Z_{2m} \left(1 + \frac{mZ_1}{4Z_{2m}}\right)}, \quad (101)$$

откуда, т. к.  $Z_{km} = Z_k$ , находим:

$$Z_{2m} = \frac{Z_2}{m} + Z_1 \left(\frac{1-m^2}{4m}\right). \quad (102)$$

На фиг. 18 показаны Т- и П-ячейки Э. ф. типа М — производные от Э. ф. типа К, показанного на той же фигуре. Волновое сопротивление для П-ячейки определится из ур-ня (60), если в него подставить величины для  $Z_{1m} = mZ_1$  и  $Z_{2m} = \frac{1}{m}Z_2 + \frac{1-m^2}{4m}Z_1$ ; тогда

$$\left(\frac{Z_{1m}}{4Z_2}\right) = \frac{m^2 \left(\frac{Z_1}{4Z_2}\right)}{1 + (1-m^2) \left(\frac{Z_1}{4Z_2}\right)} \quad (103)$$

и

$$Z'_{1m} = Z'_1 \left[1 + (1-m^2) \frac{Z_1}{4Z_2}\right] = Z'_1 \left[1 + (1-m^2) \left(\frac{Z_1}{2R}\right)^2\right]. \quad (104)$$

Фактор  $\left[1 + (1-m^2) \frac{Z_1}{4Z_2}\right]$  определяет степень изменения волнового сопротивления Э. ф. типа М по сравнению с  $Z_1$  для прототипа, по отношению к к-рому он является производным; он зависит от выбранной величины для  $m$ , а также от частотной характеристики Э. ф., определяемого  $\frac{Z_1}{4Z_2}$ . Т-ячейка М-фильтра м. б. спарена с любых концов со своим прототипом, т. е. с Э. ф. типа К или с одним концом получающей Г, имеющей волновое сопротивление  $Z_1$ . С П-ячейкой Т-ячейка м. б. соединена через посредство получающей Г так, как показано на фиг. 19. Показанные на фиг. 18 Э. ф. типа М называют Э. ф. типа М, производными для последовательных ветвей. Таким же образом м. б. получены Э. ф. типа М, производные для параллельных ветвей, показанные на фиг. 20. Здесь

$$Z_{1m} = \frac{Z_1}{1 + (1-m^2) \frac{Z_1}{4Z_2}} \quad (105)$$

Из ур-й (104) и (105) имеем следующее соотношение  $\frac{Z_{1m}}{Z_1} = \frac{Z'_1}{Z'_{1m}}$  и если прототип для рассматриваемых М-фильтров — Э. ф. типа К, то

$$Z_{1m}Z'_{1m} = Z_1Z'_1 = R^2.$$

Характеристика затухания М-фильтров отличается от Э. ф. типа К гл. обр. характером затухания в зоне непрозрачности. Затухание Э. ф. типа М зависит от  $\frac{Z_{1m}}{4Z_2}$ , т. к.  $\frac{Z_1}{4Z_2} = \left(\frac{Z_1}{2R}\right)^2$  — отрицательное число, к-рое при увеличении частоты попеременно увеличивается по величине от 0 до  $\infty$ , уменьшается от  $\infty$  до 0 (в зависимости от схемы  $Z_1$ ) и может принимать любое возможное отрицательное значение; фактор  $1 + (1-m^2) \frac{Z_1}{4Z_2}$  м. б. положительным или отрицательным. Он меняет знак, когда  $1 + (1-m^2) \frac{Z_1}{4Z_2} = 0$  или

$$\frac{Z_1}{4Z_2} = \frac{1}{1-m^2}.$$

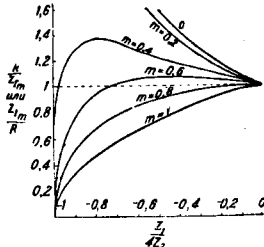
т. е. любая величина  $Z_1/4Z_2$  определяется величиной  $1/1-m^2$ . При тех частотах, при которых Э. ф. типа К имеют конечное затухание, так как  $Z_1/4Z_2$  конечно, Э. ф. типа М имеют бесконечное затухание, т. к.  $\frac{Z_{1m}}{4Z_{2m}} = \infty$ ; чем ближе  $m$  к 1, тем выше это затухание. Однако срез в характеристике затухания Э. ф. получается более пологий. Величина  $m$  обычно выбирается с таким расчетом, чтобы получить постоянство волнового сопротивления Э. ф. в полосе прозрачности. В этом отношении наилучшие результаты получаются для значений  $m$ , близких к 0,6, что видно из фиг. 21, где даны кривые зависимости  $Z'_{1m}$  и  $Z'_{1m}$  от  $Z_1/4Z_2$  в полосе прозрачности для Э. ф. с различными величинами  $m$ . Фазовые характеристики Э. ф. типа М также несколько отличаются от характеристик для Э. ф. типа К, что наглядно видно на фиг. 22, где приведены эти характеристики в символич. форме для обоих видов Э. ф. В Э. ф. типа М обе частоты с бесконечным затуханием  $f_{100}$  и  $f_{200}$  расположены симметрично относительно  $f_0$ ; т. о.

$$f_{100} = \sqrt{1 - \frac{1}{100} \frac{Z_1}{Z_2}} = \sqrt{1 - \frac{1}{100} \frac{Z_1}{Z_2}}. \quad (106)$$

Расчеты в Э. ф. Все расчетные данные сведены в табл. 3 и 4. Табл. 3 относится к Э. ф. с пропусканием только низких и только высоких частот, табл. 4 — к полосным резонансным

Э. ф., а также к реж-екторным Э. ф., задерживающим полосу частот. В таблицах даны: 1) Характеристики волновых сопротивлений для Т- и П-ячеек ( $Z_1, Z'_1, Z_{1m}, Z'_{1m}$ ) затухания и фазовых изменений для Э. ф. без омических потерь. 2) Ф-лы для значений элементов Э. ф. ( $Z_1, Z_2$ ), для волновых сопротивлений, отношения  $Z_1/4Z_2$  в Э. ф. без омич. потерь и в Э. ф. с потерями, для частот среза и частот, соответствующих максимальному затуханию. Форма кривых дана в символич. виде. Для составления Г-получейки необходимо в последовательный участок включить сопротивление  $\frac{1}{2}Z_1$  и в параллельный участок  $2Z_2$ , для составления Т-ячейки — в 2 последовательные плеча сопротивления  $\frac{1}{2}Z_1$  и в параллельный участок  $Z_2$ , П-ячейки — в параллельные участки  $2Z_2$  и в последовательные  $Z_1$ . Выражения для отношения сопротивлений соответствуют постоянной затухания и фазовой постоянной для полной Т- или П-ячейки. Постоянная затухания, а также фазовая постоянная для половины секции равна точно половине величин этих параметров для полных ячеек.

Э. ф. с трансформаторами. Трансформаторные Э. ф. отличаются от обычных Э. ф. тем, что в них имеет место на всех частотах транс-



Фиг. 21.

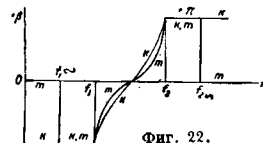




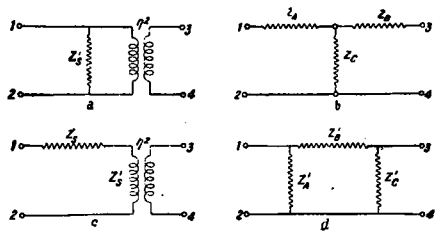
Табл. 8. — Э. ф. с пропусканием низких и высоких частот.

Э. ф. с пропусканием низких частот			Э. ф. с пропусканием высоких частот			
Конфигурация	Тип Н	Тип М-сервис	Тип Н-шунт	Тип Н	Тип М-сервис	Тип М-шунт
Формулы для элементов	$L = \frac{R}{\pi f_c}$ $C = \frac{1}{\pi f_c R}$	$L_1 = mL$ $L_2 = \frac{1-m^2}{4m} L$ $C_1 = mC$ $C_2 = mC$	$L_1 = mL$ $C_1 = \frac{1-m^2}{4m} C$ $C_2 = mC$	$C = \frac{1}{4\pi f_c R}$ $L = \frac{R}{4\pi f_c}$	$C_1 = \frac{C}{m}$ $C_2 = \frac{4mC}{1-m^2}$ $L_2 = \frac{L}{m}$	$L_1 = \frac{4mL}{1-m^2}$ $L_2 = \frac{L}{m}$ $C_1 = \frac{C}{m}$
Волновые сопротивления в середине последов. участка $Z_1$ Общие характеристики.						
Волновые сопротивления в середине шунта $Z_1'$						
Характеристики затухания						
Характеристики фазовых изменений						
$\frac{Z_1}{Z_2} = U + jV$	Э. ф. без омич. потерь	$-\left(\frac{f}{f_c}\right)^2$	$\frac{a^2-1}{1-a^2\left(\frac{f}{f_c}\right)^2}$	$-\left(\frac{f}{f_c}\right)^2$	$\frac{a^2-1}{1-a^2\left(\frac{f}{f_c}\right)^2}$	$\frac{a^2-1}{1-a^2\left(\frac{f}{f_c}\right)^2}$
	Э. ф. с потерями	$-\left(\frac{f}{f_c}\right)^2 + jd\left(\frac{f}{f_c}\right)^2$	$\frac{(a+j)(a^2-1)}{a+j\left[1-a^2\left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right]}$	$\frac{1}{-\left(\frac{f}{f_c}\right)^2 + jd\left(\frac{f}{f_c}\right)^2}$	$\frac{a^2-1}{1-a^2\left(\frac{f}{f_c}\right)^2 + jd-1}$	
Частота среза $f_c$	$\frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$	$\frac{1}{\pi\sqrt{(L_1+4L_2)C_2}}$	$\frac{1}{\pi\sqrt{L_1(C_1+4C_2)}}$	$\frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$	$\frac{1}{4\pi\sqrt{L_2C_1 + \frac{4}{L_1C_2}}}$	$\frac{1}{4\pi\sqrt{L_2C_1 + \frac{4}{L_1C_2}}}$
Частота при максим. затухании $f_\infty$	$\infty$	$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_2}}$	$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$	0	$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$	$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$
Примечание:		$a = \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} = \frac{f_c}{f}$		$m = \frac{\sqrt{a^2-1}}{a} = \sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2}$		$\frac{1-m^2}{4m} = \frac{1}{4a\sqrt{a^2-1}}$

Табл. 4.—Э. ф. полосные резонансные и режекторные.

Тип	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII
Схемы																		
Величины элементов	$L_1 = \frac{R}{\pi(f_2 - f_1)}$ $C_1 = \frac{f_2 - f_1}{4\pi f_1^2 R}$ $C_2 = \frac{1}{\pi(f_1 + f_2)R}$	$L_1 = \frac{f_1 R}{\pi L_2(f_2 - f_1)}$ $C_1 = \frac{f_2 - f_1}{4\pi f_1 f_2 R}$ $L_2 = \frac{(f_1 + f_2)R}{4\pi f_1 f_2}$	$L_1 = \frac{R}{\pi(f_1 + f_2)}$ $L_2 = \frac{(f_2 - f_1)R}{4\pi f_1 f_2}$ $C_2 = \frac{1}{\pi(f_2 - f_1)R}$	$C_1 = \frac{f_1 + f_2}{4\pi f_1 f_2 R}$ $L_2 = \frac{(f_2 - f_1)R}{4\pi f_1 f_2}$ $C_2 = \frac{f_1}{\pi L_2(f_2 - f_1)R}$	$L_{1k} = \frac{R}{\pi(f_2 - f_1)}$ $C_{1k} = \frac{f_2 - f_1}{4\pi f_1 f_2 R}$ $L_{2k} = \frac{(f_1 + f_2)R}{4\pi f_1 f_2}$ $C_{2k} = \frac{1}{\pi(f_2 - f_1)R}$	$L_1 = m_1 L_{1k}$ $C_1 = \frac{C_{1k}}{m_1^2}$ $L_2 = \frac{(1 - m_1^2)}{4m_1} L_{1k}$ $C_2 = \frac{4m_1}{1 - m_1^2} C_{1k}$ где $m_1 = \frac{f_1}{f_2}$ $m_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2}$	$L_1 = m_1 L_{1k}$ $C_1 = \frac{C_{1k}}{m_1^2}$ $L_2 = \frac{(1 - m_1^2)}{4m_1} L_{1k}$ $C_2 = \frac{4m_1}{1 - m_1^2} C_{1k}$ где $m_2 = \frac{f_1}{f_2}$ $m_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2}$	$L_1 = \frac{4m_2}{1 - m_2^2} L_{1k}$ $C_1 = \frac{1 - m_2^2}{4m_2} C_{1k}$ $L_2 = \frac{L_{1k}}{m_2}$ $C_2 = m_2 C_{1k}$ где $m_2 = \frac{f_1}{f_2}$ $m_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2}$	$L_1 = \frac{4m_2}{1 - m_2^2} L_{1k}$ $C_1 = \frac{1 - m_2^2}{4m_2} C_{1k}$ $L_2 = \frac{L_{1k}}{m_2}$ $C_2 = m_2 C_{1k}$ где $m_1 = \frac{f_1}{f_2}$ $m_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2}$	$L_1 = m_1 L_{1k}$ $C_1 = C_{1k}$ $L_2 = \alpha L_{1k}$ $C_2 = \frac{\alpha}{m_1} C_{1k}$ $L_3 = \frac{(1 - m_1^2)}{4\alpha} L_{1k}$	$L_1 = L_{1k}$ $C_1 = \frac{C_{1k}}{m_2}$ $L_2 = \frac{\alpha}{m_2} L_{1k}$ $C_2 = \frac{4\alpha}{1 - m_2^2} C_{1k}$ $C_3 = \frac{C_{1k}}{\alpha}$	$L_1 = \frac{4\alpha}{1 - m_2^2} L_{1k}$ $C_1 = \frac{1 - m_2^2}{4\alpha} C_{1k}$ $L_2 = \frac{L_{1k}}{\alpha}$ $C_3 = \frac{L_{1k}}{d}$ $L_2 = \frac{L_{1k}}{m_2}$ $C_2 = C_{1k}$	$C_1 = \alpha C_{1k}$ $L_3 = \frac{\alpha}{d} L_{1k}$ $C_3 = \frac{(1 - m_1^2)}{4\alpha} C_{1k}$ $L_2 = L_{1k}$ $C_2 = m_1 C_{1k}$	$L_1 = m L_{1k}$ $C_1 = \frac{C_{1k}}{m}$ $L_2 = \frac{1 - m^2}{4m} \left[1 + \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2\right]$ $C_2 = \frac{C_{1k}}{1 + \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2}$ $L_3 = L_{1k} \frac{1 - m^2}{4m} \left[1 + \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2\right]$ $C_3 = \frac{C_{1k}}{1 + \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2}$ $L_4 = \frac{4m}{1 - m^2} L_{1k}$ $C_4 = m C_{1k}$	$L_1 = m L_{1k}$ $C_1 = \frac{C_{1k}}{m}$ $L_2 = \frac{L_{1k}}{m}$ $C_2 = m C_{1k}$ $L_3 = \frac{1 - m^2}{4m} L_{1k}$ $C_3 = \frac{4m}{1 - m^2} C_{1k}$	$L_1 = m L_{1k}$ $C_1 = \frac{C_{1k}}{m}$ $L_2 = \frac{L_{1k}}{m}$ $C_2 = m C_{1k}$ $L_3 = \frac{4m}{1 - m^2} L_{1k}$ $C_3 = \frac{1 - m^2}{4m} C_{1k}$	$L_1 = m L_{1k}$ $C_1 = \frac{C_{1k}}{m}$ $L_2 = \frac{L_{1k}}{m}$ $C_2 = m C_{1k}$ $L_3 = \frac{4m}{1 - m^2} L_{1k}$ $C_3 = \frac{1 - m^2}{4m} C_{1k}$	
$Z_1$ Волновое сопротивление середины последовательного участка																		
$Z_{1k}$ Волновое сопротивление середины параллельного участка																		
Характеристика затухания $\alpha$ (символически)																		
Фазовые характеристики (символически)																		
$Z_2 = U/I$	без ампл. потерь	$\frac{f_1 - (f_2)^2}{f_1 - f_2}$	$\frac{(f_1)^2}{f_2} - 1$	$\frac{f_1}{f_2} - \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2$	$\frac{(f_1)^2}{f_2} - 1$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$	$\frac{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}{[1 - (f_1/f_2)^2][1 - (f_2/f_1)^2]}$
	при потерях	$\frac{f_1 - (f_2)^2 + \alpha(f_1)^2}{f_1 - f_2}$	$\frac{\alpha - j[1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{f_1 - (f_2)^2 + \alpha(f_1)^2}{f_1 - f_2}$	$\frac{\alpha - j[1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$	$\frac{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}{[\alpha - j][1 - (f_1/f_2)^2]}$
Частоты среза	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_1}}$ $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 L_2 C_2}}$ $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$ $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 L_2 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$	$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$ $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_2}}$
Примечания	$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$	$a = \frac{R}{\omega L}$					$a = \frac{R}{\omega L}$			$h = \sqrt{1 - \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2}$ $m_1 = \frac{f_1}{f_2} + h$	$a = \frac{(1 - m_1^2) f_2}{4 f_1}$ $a = \frac{(1 - m_2^2) f_2}{4 f_1}$	$m_2 = g - \frac{f_1}{f_2}$ $a m L_{1k} \text{ и } a m C_{1k}$	$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} = \sqrt{f_{10} f_{20}}$ $m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2}$				$m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}\right)^2}$ $a = \frac{R}{\omega L}$	

формирование относительно отдельных участков  $\Theta$ . ф. величин полных сопротивлений с повышением или понижением их действующих величин. Ячейка трансформаторного  $\Theta$ . ф. действует так же, как комбинация обычной ячейки и идеального трансформатора. Для уяснения действия трансформаторного  $\Theta$ . ф. лучше всего установить эквивалентность схемы этих  $\Theta$ . ф. схеме обычных  $\Theta$ . ф. В качестве примера рассмотрим схему фиг. 23, а, представляющей идеальный трансформатор, одна из обмоток которого зашунтирована  $Z_4$ . Если коэф. трансформации этого трансформатора слева направо  $\eta$ , то трансформация полных сопротивлений происходит в отношении  $\eta^2$ . Пусть схема ячейки 23, б эквивалентна схеме 23, а. При разомкнутых концах 3—4 имеем на концах 1—2 обеих схем  $Z_0 = Z_A + Z_C$ . При разомкнутых концах 1—2 имеем на концах



Фиг. 23.

$3-4 \eta^2 Z_4 = Z_B + Z_C$ . Для измерений при замкнутых концах имеем соответственно

$$O = Z_A + \frac{Z_B Z_C}{Z_B + Z_C} \quad \text{и} \quad O = Z_B + \frac{Z_A Z_C}{Z_A + Z_C}.$$

Из этих ур-ий находим следующие выражения для элементов эквивалентной ячейки:

$$\left. \begin{aligned} Z_A &= (1 - \eta) Z'_0 \\ Z_B &= \eta (1 - \eta) Z'_0 = -\eta Z'_A \\ Z_C &= \eta Z'_0 \end{aligned} \right\} \quad (107)$$

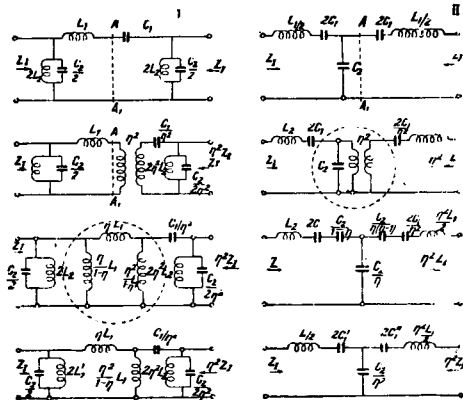
Аналогичным образом для схемы фиг. 23, с найдем эквивалентные элементы эквивалентной П-ячейки фиг. 23, d:

$$\left. \begin{aligned} Z'_A &= \frac{\eta}{\eta - 1} Z_0; & Z'_B &= \eta Z_0; \\ Z'_C &= \frac{\eta^2}{1 - \eta} Z_0 = -\eta Z'_A. \end{aligned} \right\} \quad (108)$$

Для схемы фиг. 23, а нельзя подобрать эквивалентность П-ячейки, а для схемы фиг. 23, б — эквивалентность Т-ячейки. На фиг. 24 показаны примеры применения принципа эквивалентности для изучения трансформаторных  $\Theta$ . ф. с последовательным превращением первоначальной схемы с трансформацией в эквивалентную без трансформации. Основные преимущества  $\Theta$ . ф. с трансформаторами следующие: 1) они позволяют устранить емкостное влияние между входными и выходными зажимами  $\Theta$ . ф., 2) ограничиться меньшим количеством элементов, чем это необходимо в простой схеме.

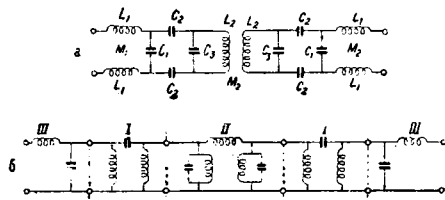
Сложные, или составные,  $\Theta$ . ф. представляют собой последовательное соединение нескольких простых ячеек различного вида, причем соединение это производится по всем правилам, отмеченным выше. Характеристики таких  $\Theta$ . ф. получаются построением путем наложения друг на друга характеристик составляющих звеньев. Сложные  $\Theta$ . ф. в насто-

ящее время нашли очень широкое распространение. Их основное преимущество заключается в том, что путем использования в таком  $\Theta$ . ф.



Фиг. 24.

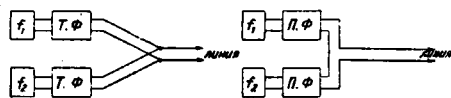
ячеек  $\Theta$ . ф. с различными характеристиками оказывается возможным построить  $\Theta$ . ф., обладающий теми же электрическими данными, что и  $\Theta$ . ф. с одинаковыми ячейками, при значительном уменьшении его стоимости за счет меньшей затраты материалов в элементах  $\Theta$ . ф. при меньших электрич. величинах последних. Примером сложного  $\Theta$ . ф. может служить полосный



Фиг. 25.

$\Theta$ . ф., примененный в аппарате многократной телефонии на высоких частотах фирмы «Телефунке», показанный на фиг. 25, а. На той же фиг. 25, б показана эквивалентная схема этого  $\Theta$ . ф., состоящая 1) из 2 ячеек конденсаторных  $\Theta$ . ф. с пропусканием высоких частот, 2) одной ячейки резонансного типа и 3) двух Г-получеек по концам с пропусканием низких частот. В действительной схеме последние включены по сбалансированной схеме. Данные этих схем нетрудно рассчитать, пользуясь табл. 3 и 4.

Параллельная работа  $\Theta$ . ф. В случае работы нескольких  $\Theta$ . ф. на одну общую



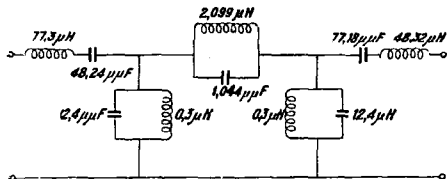
Фиг. 26.

Фиг. 27.

цепь возможны следующие включения  $\Theta$ . ф. для осуществления их работы в этих условиях.  $\Theta$ . ф., составленные из Т-образных ячеек, вклю-

чают относительно входа линии параллельно по схеме фиг. 26, фильтры с П-ячейками последовательно относительно линии по схеме фиг. 27. Непосредственное параллельное включение последних по схеме фиг. 26 неосуществимо по той причине, что волновое сопротивление П-образных ячеек в полосе затухания стремится к короткому замыканию.

Компенсаторы волнового сопротивления Э. ф. Волновое сопротивление.



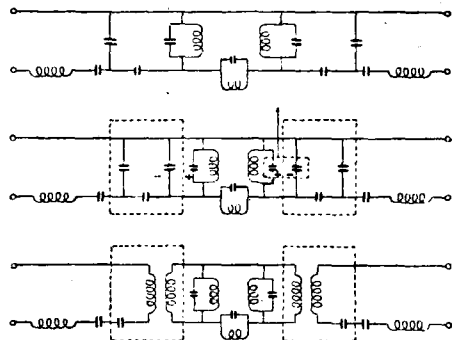
Фиг. 28.

ние всех Э. ф. в полосе прозрачности изменяется в зависимости от частоты. Эта зависимость всякого сопротивления от частоты в полосе пропускания приводит к нарушению равенства сопротивлений Э. ф. с сопротивлением нагрузки, а следовательно к появлению отражения. В настоящее время для получения равномерной частотной характеристики Э. ф. в полосе пропускания применяют так называемые компенсаторы волнового сопротивления, позволяющие значительно снизить эффект непостоянства сопротивления Э. ф. от частоты. Предложен целый ряд таких компенсаторов, по электрич. схеме напоминающих схемы Э. ф. и представляющих собой ряд индуктивных и емкостных сопротивлений, включенных частью последовательно частью параллельно компенсируемому Э. ф. В последнее время появилась тенденция выравнивать волновое сопротивление Э. ф. в полосе пропускания без компенсатора путем комбинирования схемы самого Э. ф.

Конструирование Э. ф. сводится 1) к расчету элементов электрических фильтров, конденсаторов и катушек и 2) к такому расположению отдельных элементов в схеме, чтобы они действовали, не влияя друг на друга. Катушки Э. ф. располагаются т. о., чтобы плоскости витков трех лежащих по соседству не связываемых катушек были взаимно перпендикулярны друг к другу. Весь Э. ф. как правило экранируется со всех сторон железным кожухом, к-рый не должен иметь щелей. Соединительные провода Э. ф. с другими частями схемы пропускаются в железных или оцинкованных трубах, заключающих в себе и входные зажимы. Если в Э. ф. отдельные элементы связываются между собой индуктивно, то катушки связи разделяются параллельно расположенными заземленными электростатическими экранами. Конденсаторы Э. ф. располагаются между катушками т. о., чтобы их соединение с остальной схемой требовало минимума соединительных проводов. Для обеспечения точной работы Э. ф., в особенности полосных, требуется поддержание большой точности в величинах элементов; для конденсаторов практически достигаемая точность оценивается 0,3% и для катушек до 1—2%. Однако, т. к. во многих случаях требуется большая точность, в Э. ф. находят применение катушки специальной конструкции — заэкранированные — с возможностью установить индуктив-

ность с требуемой точностью с помощью короткозамкнутой катушки, расположенной вокруг экранирующего чехла катушки и вращаемой относительно оси расположения основной катушки в экране. Для исследования и измерения собранных Э. ф. существует специально разработанная методика измерений. В последнее время в качестве элементов полных сопротивлений и Э. ф. применяются пьезоэлектрич. кристаллы.

Ячеечные Э. ф. для высоких (радио) частот. По мере увеличения частоты, при которой Э. ф. должен работать, величины катушек и конденсаторов, рассчитанные обычным способом по табл. 3 и 4, становятся все меньше и меньше, при частотах порядка  $1 \cdot 10^6$  Hz величины некоторых катушек становятся уже настолько малыми, что практически они уже невыполнимы. На фиг. 28 показана схема Э. ф., рассчитанная для работы при частоте  $2,6 \cdot 10^6$  Hz; на схеме показаны требуемые на основании математич. расчета величины элементов этого Э. ф. Одна из требуемых индуктивностей в этом Э. ф.  $0,3 \mu\text{H}$  соответствует индуктивности, получаемой в прямом проводе длиной несколько см, индуктивность  $2 \mu\text{H}$  при диам. катушки 2—3 см обеспечивается двумя витками. Т. о. индуктивность таких катушек уже соизмерима с индуктивностью соединительных проводов в Э. ф. Фильтры с такими величинами индуктивностей конечно практически осуществить нельзя. Для того чтобы конструирование Э. ф. для таких высоких частот практически бы-



Фиг. 29.

до осуществимо, в этих Э. ф. используют схемы Э. ф. с трансформаторами, с помощью которых индуктивности требуемых катушек приводят до практически реализуемых величин. Конденсаторы же, особенно в параллельных ветвях, становятся здесь также чрезвычайно малыми, и они осуществляются путем образования емкости между отдельными цепями Э. ф. и экранами, к-рые в этих Э. ф. устраиваются двойными. При очень высоких частотах каждый трансформатор с конденсатором в последовательном соединении заменяется эквивалентной схемой П-ячейки, составленной из конденсаторов. Так как один из этих конденсаторов в эквивалентной конденсаторной схеме идеального трансформатора имеет отрицательное емкостное сопротивление, практически не реализуемое, то в этих Э. ф. применяют схемы, в которых отрицательное емкостное сопротивление поглощается положительным емкостным сопротивлением конденсатора, включенного в параллель и имеющего большую емкость. На фиг. 29 изображена схема такого Э. ф., яв-



лящегося эквивалентом схемы, показанной на фиг. 28. На фиг. 29 для наглядности показаны все промежуточные процессы составления такового Э. ф. В радиотехнике Э. ф. часто также называют систему из двух индуктивно- или емкостно-связанных резонансных контуров, широкая полоса пропускания у которых достигается за счет образования двухволновости настройки при достаточно сильной связи контуров.

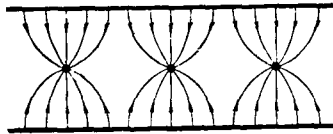
Лит.: Ш. и Т., Четырехволновость и электрич. фильтры, М., 1934; Л. и С. в. Х., Электрические фильтры, М., 1927; е. о. н. е., Курс многократной проводимости, 1932; I l w a i n K. M. e. a. n. d. P. e. r. e. J., High-Frequency Alternating Currents, N. Y., 1931; S h e a T., Transmission Networks a. Wave Filters, N. Y., 1929; В а г н е р К., Ценные линии и волновые фильтры, «Радиосборник секции радиоспециалистов ЦС ОДР», ч. 2 и 3, М., 1930; E i c h e l b e r g e r C., Kettenleiter u. S p e r r k r e i s e, «Bibliothek des Radio Amateurs», В. 23, 1929; Z o b e l O., Theory a. Design of Uniform a. Composite Wave Filters, «Bell System Technical Journal», 1923, v. 2, 1; Z o b e l O., Transmission Characteristics of Electric Wave Filters, ibid., 1924, v. 3, 4; D a r n e l l P., K a h l W., Precision Filters, «Bell Laboratories Records», 1934, v. 12, 12; J o h n s o n K. a. S h e a T., Mutual Inductance in Wave Filters with an Introduction on Filter Design, «Bell System Technical Journal», 1923, v. 4, 3; C a m p b e l l C., Physical Theory of the Electric Wave Filters, ibid., 1922, v. 1, 2; C a m p b e l l C., Cisoidal Oscillations, «Trans. AEE», 1911, v. 30, April; R e e d M., Electrical Wave Filters, «Experimental Wireless», 1930, v. 7, 73, 79, 80, 81, 82, 83, 84; K a m a j a c h i T., K a t o K., C h i b a K., N a g a i T., The Sending-End Impedance of Four Terminal Transmitting Networks, «Journal of Inst. Teleph. and Telegraphy of Japan», 1933, 12, October, p. 992; B e e r C., Little G., The Design of Filters for Audio Frequencies, «Post. Office Elec. Journ.», 1925, v. 17, Jan.; C o h e n L., Electric Filter Circuits, «Journ. Franklin Inst.», 1925, v. 195, May; D a v i d P., Les Filtrés Électriques, P., 1928; D e l l e n b a u g h F., Electric Filters, «QST», 1923, July, August; K. P. и П. в. А., Lehrbuch der Hochfrequenzvorgänge in Wellenleitern, «Elektrische Nachrichten-Technik», 1924, November; L a n g e, Théorie des Filtrés Électriques, «Ann. des Postes, Télégr. et Téléphonie», 1923, Octobre; P e t e r s L., Theory of Electric Wave Filters Built of Coupled Circuit Elements, «Trans. AEE», 1923, v. 42, May; W a g n e r K., Kettenleiter u. Wellenleiter, «Elektr. Nachrichten-Technik», 1925, В. 5, Н. 4, Jan.; W h e l l e r H., M. a. n. d. A. v. H., Theory of Electric Wave Filters Containing a Finite Number of Sections, «Phil. Mag.», 1923, v. 6, 34, July; Z o b e l O., Distortion Correction in Electrical Circuits with Constant Resistance Recurrent Networks, «Bell System Techn. Journal», 1928, v. 7, 3, July; B a r t l e t t A., The Theory of Electrical Lines a. Filters, L., 1930; K e n n e l y A., Electric Lines a. Nets, N. Y., 1927; A. v. H., Theory of Short Filter Circuits, «Jahrb. drahtl. Telegraph. u. Telephonie», 1925, В. 25, Н. 4—6; W i n t e r - G ü t h e r H., The Theory of Filter Circuits, ibid., 1928, В. 32, Н. 1; J o h n s o n K., S h e a T., Wave Filters, «Bell System Techn. Journ.», 1925. П. Кукуевско.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ, а п п а р а т ы** К о т р е л я (по имени их изобретателя) служат для выделения из промышленных газов взвешенных в них твердых или жидких частиц, т. е. пыли или жидкой фазы тумана, помощью электрического воздействия. При этом используются свойства так наз. коронирующих электрич. конденсаторов, т. е. конденсаторов, у которых концентрация силовых линий у поверхности одного электрода сильно разнится от таковой у поверхности другого. В качестве примера на фиг. 1 и 2 приведены типичные для Э. ф. схемы, а именно: цилиндрич. конденсатора, где одним электродом является труба, а другим — расположенная по его оси проволока (фиг. 1), и плоско-цилиндрического, где одним полюсом служат две пластины, а другим — ряд расположенных между ними проволок (фиг. 2). Стрелками изображены силовые линии электрич. поля, причем направление этих стрелок от трубы или плоскостей к проволокам показывает, что проволоки являются отрицательными электродами, а труба и плоскости — положительными



Фиг. 1.

в соответствии с применяемой в Э. ф. полярностью. Диэлектриком этих конденсаторов служит подлежащий очистке газ. Повышая приложенное к этим конденсаторам напряжение, при некотором значении последнего достигают в газе, в зонах, непосредственно прилегающих к проволокам, достаточно высокой концентрации силовых линий, чтобы в этих зонах началась ионизация толчком. Процесс ионизации толчком внешне сопровождается свечением в зонах, прилегающих к проволокам, и характерным шумом. Комплекс этих явлений называется короной.



Фиг. 2.

Корона — неотъемлемая часть процессов, происходящих в Э. ф. Ионизация толчком ведет к образованию в зонах, прилегающих к проволокам (зонах короны), большого количества положительных и отрицательных ионов и электронов. Положительные ионы под действием электрич. поля будут двигаться к отрицательным электродам, т. е. к проволокам; отрицательные же ионы и электроны, выйдя из зон короны наружу, продолжают свое движение через остальную толщу газа и дойдут до положительных электродов, т. е. до трубы или плоскостей. При сопоставлении с электродами заряды ионов и электронов нейтрализуются зарядами, подошедшими от источника напряжения, чем и обуславливается наличие при короне тока, протекающего как через газ конденсатора, так и через источник напряжения и соединяющие их провода. Следовательно корона потребляет нек-рую мощность. Поскольку диэлектриком конденсатора является не чистый газ, а содержащий пыль или капельки жидкости (жидкую фазу тумана), ионы и электроны при своем движении могут столкнуться с пылинками или капельками и передать им свой заряд. Тогда эти пылинки или капельки, сами приобретя заряд, будут двигаться под действием электрич. поля. Т. к. положительные ионы имеются лишь в зонах короны, то положительный заряд могут принять лишь пылинки и капельки, протекающие через эти зоны. Вне зон короны имеются лишь отрицательные ионы и электроны, следовательно пылинки и капельки, протекающие вне зон короны, могут воспринять лишь отрицательный заряд. Но объем зон короны составляет лишь небольшую часть от всего объема электрического поля конденсатора, кроме того лишь часть пылинки и капелек, протекающих через зоны короны принимает положительный заряд (в зонах короны имеются не только положительные, но и отрицательные ионы и электроны). Поэтому большинство пылинки и капелек зарядится отрицательно и будет двигаться к положительным электродам, меньшинство же зарядится положительно и будет двигаться к отрицательным электродам. Заряженная пылинка или капелька, достигнув поверхности электрода, отдает электроду свой заряд, сама же остается или прилипшей к нему (пылинка) или будет стекать с электрода (капелька).

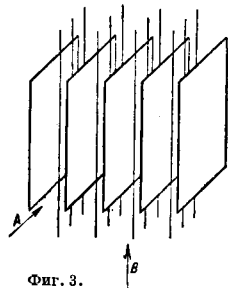
С помощью Э. ф. возможно удалять лишь пыль или жидкую фазу тумана, но не газ. Действительно, когда на поверхности электрода раз-

ряжается ион, то он вновь превращается в нейтральную газовую молекулу и начинает двигаться от поверхности электрода, подчиняясь законам теплового движения. У нас нет средств зафиксировать газообразную молекулу на поверхности электрода, не переведа ее предварительно поглощением каким-либо жидким или твердым веществом в жидкую или соответственно твердую фазу или достигнув перевода ее в жидкость или пыль каким-либо другим способом. Таким способом практически всегда является предварительное охлаждение газа. Как указано выше, коронирующие электроды (провококи) д. б. минусом конденсатора. Если к конденсатору приложить переменное напряжение, например в 50 Нз, то направление силовых линий будет меняться 100 раз в сек. и заряженная пылинка или капелька будет испытывать столько же импульсов, попеременно бросающие ее то в одну то в другую сторону. Это явление усложняется еще перезарядкой пылинки или капельки (перемена знака ее заряда). О систематичном движении пылинки или капельки к какому-либо электроду при переменном напряжении не может быть и речи. Поэтому питание производят постоянным напряжением, при котором пылинка или капелька испытывает от электрич. поля силу, всегда двигающую ее в одном направлении. Что же касается выбора полярности, то питание коронирующих электродов отрицательным напряжением — правило, указываемое опытом. При этой полярности пробой через газ наступает при более высоком напряжении, нежели в случае питания коронирующих электродов положительным напряжением, следовательно при отрицательных коронирующих электродах можно держать на конденсаторе более высокое напряжение, что улучшает процесс очистки. Кроме вышеописанного процесса передвижения пылинок и капелек, передвижения, обусловленного взаимодействием электрич. поля конденсатора с зарядом, воспринятым пылинками и капельками от ионов и электронов, в конденсаторе происходят и другие процессы, приводящие в движение пылинки и капельки. Таким процессом является образование в газе потоков и вихрей, как следствие движения ионов и электронов, ударяющих при своем движении нейтральные газовые молекулы и придающие им направленное движение. Эти потоки и вихри увлекают пылинки и капельки.

По современным воззрениям эти два указанных типа движения, т. е. движение пылинок и капелек как заряженных тел, перемещающихся под действием электрич. поля, и движение пылинок и капелек как тел, увлекаемых газовыми потоками и вихрями, являются основными в процессах, происходящих в Э. ф. Практически главная масса пыли по причинам, указанным выше, осаждается на положительных электродах, носящих поэтому наименование осадительных. Поскольку они по конструктивным соображениям всегда заземлены, их называют также заземленными. На коронирующих электродах осаждается наименьшее количество пыли, иногда же осадка на них вовсе нет. Осадок пыли на электродах ухудшает работу в Э. ф., т. к. при проводящих пылях наличие осадка равносильно уменьшению расстояния между электродами, что ведет к пробоя, а при пылях, обладающих изолирующими свойствами, осадок затрудняет прохождение тока через Э. ф. Есть пыли, которые могут держаться на электродах лишь очень тонким слоем, т. к. они очень сыпучи и сами собой легко осыпаются; характерным

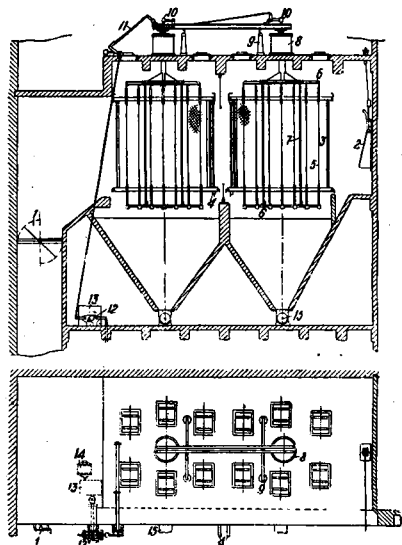
представителем такого рода пыли является кальцинированный глинозем. Другие осыпаются с электродов лишь при сотрениии последних. Таких пылей большинство. При улавливании капелек жидкости они, как указано выше, сами собой стекают с электродов. Газ, протекающий через Э. ф., если пренебречь некоторым образованием озона и окислов азота, никаким изменением не подвергается. Исключение составляет угледороды, при наличии к-рых наблюдались некр-ые химические реакции, происходящие под действием электрич. поля. Однако в условиях Э. ф. эти реакции протекают в ограниченной степени. Практический интервал темп-р, в к-ром работают Э. ф., простирается от 0 до 450°. Однако если при низкой темп-ре улавливание всех пылей и из всех газов идет безотказно, то по мере повышения темп-ры некр-ые пыли ложатся все хуже и хуже, а другие и вовсе не поддаются улавливанию в Э. ф. без применения особых мер. Причина этого явления в том, что некр-ые пыли при повышенной темп-ре не воспринимают заряда. Мерой борьбы с этим явлением служит охлаждение газов, а также обычно сопутствующее охлаждению улавливание. Газы влажные, газы, содержащие  $SO_2$ , или другие кислоты, а также угледороды очищаются лучше и допускают очистку при более высоких темп-рах, чем в отсутствие этих веществ. Это вывано тем обстоятельством, что упомянутые вещества, обладая сравнительно высокой  $t_{\text{крит.}}$  образуют на поверхности пылинок абсорбированные слои, облегчающие восприятие заряда пылинками. Что же касается очистки газов от капелек взвешенных в них жидкостей, то работа Э. ф. в этом случае никогда не встречает препятствий вследствие невосприятия капельками заряда. Поскольку нам известно, улавливание жидкостей при температурах выше 250° нигде не испытывалось, однако до этой температуры всегда протекало благоприятно. До недавнего времени считалось, что улавливание в Э. ф. одновременно пыли и жидкости невозможно, т. к. осаждающийся на электродах шлам не может быть с них удален отряхиванием. Однако работы германской фирмы Дурги показали, что в случае достаточного количества жидкости в отношении к пыли жидкость смывает пыль с электродов. Иногда лишь требуется периодическая очистка Э. ф. и промывка его. Такой метод работы при темп-ре ниже точки росы представляет большое преимущество с точки зрения легкого восприятия заряда пылинками. Недостатком его является во многих случаях необходимость сооружения специальных устройств для охлаждения газа ниже точки росы или распыливания в нем жидкости (обычно воды). В других же случаях получение пыли в виде шлама может оказаться неприемлемым по условиям дальнейшего ее использования.

Практически Э. ф. представляют собой батареи проходов, образованных расположенными на равном расстоянии друг от друга заземленными электродами с рядами проволок между ними (фиг. 3: А — направление движения газов



Фиг. 3.

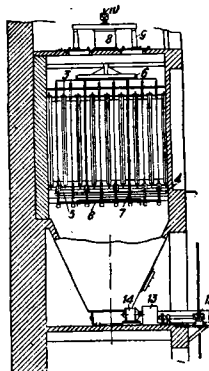
в горизонтальном камерном Э. ф., В — то же в вертикальном камерном Э. ф.), или батареи труб с расположенными по их осям проволоками. В первом случае Э. ф. называются пластинчатыми, или камерными, во втором случае — трубчатыми. Через объем, занятый электродами камерного Э. ф., газ, подлежащий очистке, может прогнаться либо вертикально (вертикальный камерный Э. ф.) либо горизонтально (горизонтальный камерный Э. ф.). Горизонтальный камерный Э. ф. для очистки вентиляционного воздуха цементных мельниц завода «Спартак» изображен на фиг. 4, где: 1 — входной клапан, 2 — выходной клапан, 3 — заземленный электрод, 4 — устройство для отряхивания заземленных электродов, 5 — коронирующие электроды, 6 — рамки коронирующей си-



Фиг. 4.

стемы, 7 — тяги, которые крепят нижнюю рамку, 8 — фарфоровые втулки, 9 — опорные изоляторы, 10 — молотки отряхивания коронирующих электродов, 11 — изолятивная труба, 12 — кулачковый механизм, 13 — редуктор, 14 — электромотор, 15 — шнеки. Вертикальный камерный Э. ф. см. Пылеуловители, фиг. 24. В обоих случаях заземленные электроды выполнены в виде сеток, натянутых на рамы из полос и уголков. Коронирующие электроды подвешены к рамке, расположенной над заземленными электродами, и натягиваются грузами, прикрепленными к их нижним концам. Во избежание раскачивания проволоки пропущены через вторую рамку, расположенную ниже заземленных электродов и крепящую к верхней рамке помощью тяг, проходящих в проходах, образованных заземленными электродами, и расположенных в одной плоскости с проволоками. Проволоки для интенсивного коронирования желательно иметь возможно меньшего диаметра, принимаю во внимание соображения механической прочности. Диаметр проволоки 1,5—2 мм. Кратчайшее расстояние между электродами равного знака колеблется в пределах 200 ÷ 125 мм, в редких

случаях снижаясь до 75 мм. Верхняя рамка, к к-рой крепятся коронирующие электроды, в случае, изображенном на фиг. 24 ст. «Пылеуловители», подвешена на двух кварцевых балках, перекинутых через Э. ф. и служащих изоляторами. В случае фиг. 4 эта рамка прикреплена к трубе, проходящей через отверстие в перекрытии камеры, где труба в свою очередь прикреплена к балкам, лежащим на опорных изоляторах. Последняя конструкция более современна. Место прохода трубы через отверстие в перекрытии камеры закрыто проходной фарфоровой втулкой. Фарфор в качестве изолятора может применяться до  $t^{\circ} 100 \div 150^{\circ}$ . При более высоких темп-рах газа в Э. ф. материалом втулок и изоляторов, расположенных внутри газового потока, каковыми являются балки Э. ф., изображенного на фиг. 24 ст. «Пылеуловители», служит кварц. Э. ф. для удаления пыли с коронирующих проволок имеет молотки (фиг. 4), расположенные на балках, лежащих на опорных изоляторах и ударяющих по особым штангам, находящимся в трубах, крепящих рамки, к к-рым подвешены проволоки. Удар молотков через штанги передается этим рамкам, вследствие чего проволоки вибрируют и пыль с них стряхивается. Молотки



поднимаются особым кулачковым механизмом, с которым они связаны системой тяг и рычагов. В известный момент кулачок освобождает рычажную систему, и молотки падают под действием собственного веса. Кулачковый механизм приводится от электромотора через посредство двойного червячного редуктора. Т. к. балки, лежащие на опорных изоляторах, а следовательно и молотки, расположенные на них, находятся под напряжением, то одна из тяг выполнена из изолятивной трубы, служащей изолятором. Отряхивание заземленных электродов (фиг. 4) выполняется грузами, висящими на тягах и схваченными этого уголка вручную грузы ударяют по углам заземленных электродов, приводя их в сотрясение, чем достигается отряхивание с них пыли. В качестве заземленных электродов кроме сеток, натянутых на рамки, из полос и уголков применяются гладкие железные листы, для жесткости схваченные рамками, волнистое железо (очень легкой конструкции). Принимают плоскости, набранные из отдельных железных прутков (например  $\varnothing 8 \div 10$  мм, шаг 30 мм). Последняя конструкция, будучи весьма трудоемкой при изготовлении, дает очень хороший эффект при отряхивании, т. к. отдельные прутки, ударяясь друг о друга, способствуют хорошему удалению пыли. Эта конструкция м. б. рекомендована при трудно отряхиваемых пылях. Коронирующие электроды могут выполняться в виде вертикальных рамок из труб, расположенных параллельно заземленным электродам по середине проходов, с натянутыми на эти рамки горизонтальными и вертикальными проволоками, образующими сетку с очень большой ячейкой, напр. 200 × 200 мм. Устройства для отряхивания электродов решаются конструктивно весьма разнообразными способами: напр. на фиг. 4 коронирующие электроды отряхиваются от мотора, а заземленные —

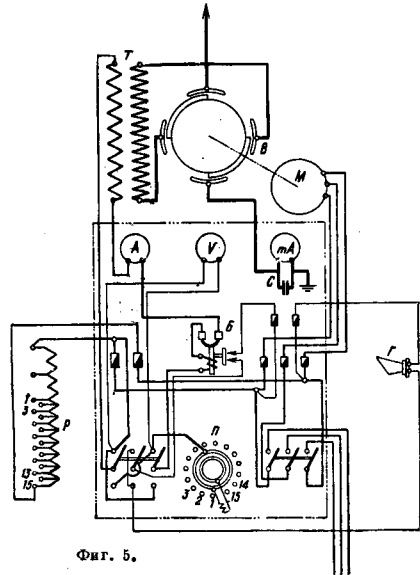
от руки; возможно также применение как сплошь моторизованного отряхивания, так и сплошь ручного.

Вышеописанные Э. ф. имеют все металлические детали железные. При работе с газами или жидкостями (редко пылями), химически разрушающими железо, применяют соответствующие кислотоупорные материалы. В Э. ф., предназначенных для очистки газов контактной сернокислотной системы от мышьяка, газ поступает при 30°, содержит большое количество слабой серной к-ты в виде капель, в к-рых растворен мышьяк  $As_2O_3$ . Корпус Э. ф. выполнен из свинца по железнору кариасу. Заземленные электроды — свинцовые листы. Кронирующие проволоки и все прочие детали, расположенные внутри камеры, оцинкованы. Применение втулок в качестве изоляторов здесь неприемлемо, так как серная кислота, осаждающаяся на ее поверхности, каков бы ни был ее изолирующий материал, создавала бы на ней поверхностный проводящий слой. Поэтому в данном случае вместо втулки применяют затвор, залитый трансформаторным маслом. Осаждающаяся на его поверхности серная кислота вследствие разности уд. весов падает на дно затвора. Такая же конструкция затвора применяется в Э. ф. для очистки генераторного газа от смол, где в случае применения втулок последние покрывались бы проводящим слоем смолы.

В трубчатых Э. ф. пыльный газ подается по газопроводу, опускается затем по батарее труб, проходит через окна в промежуточной стенке корпуса в другую половину, где поднимается по второй батарее труб и по газопроводу, очищенным уходит из Э. ф. Изоляторы расположены в особых нишах в верхней части аппарата. Отряхивание всех электродов ручное и производится посредством цепей. Нижняя рамка, связывающая друг с другом нижние концы проволок, лежит на натягивающих их грузах. Диаметры применяемых в трубчатых Э. ф. труб колеблются в пределах 300 ÷ 150 мм. Определение размеров Э. ф. вследствие несовершенства теории производится на основании эмпирич. данных.

Основными величинами являются при этом время пребывания газов в электрич. поле и скорость газа. В таблице приведены цифры, характеризующие работу Э. ф. при применении их для очистки разных газов от разных взвешенных в них суб-

станций. Расход электрич. энергии на питание Э. ф. подсчитывается по мощности, потребляемой 1 м<sup>3</sup> электрич. поля Э. ф.; эта величина м. б. принята в пределах 0,12—0,20 kW/м<sup>3</sup> на высоком напряжении. Кроме того следует учесть потери на подстанции, питающей Э. ф. (см. ниже). Расход



Фиг. 5.

энергии на питание Э. ф. существенно зависит от времени пребывания газов в электрич. поле. Напряжение, необходимое для питания Э. ф., может быть подсчитано, исходя из 3 ÷ 3,5 kV на л. см кратчайшего расстояния между электродами разного знака. Напряжение, применяемое для питания Э. ф., лежит обычно в пределах 70 ÷ 40, редко 30 kV. Получение этого выпрямленного (к электродам должно быть подведено постоянное напряжение) тока высокого напряжения осуществляется в специальных подстанциях, где низкое напряжение заводской силовой сети трансформируется в высокое и далее выпрямляется механическим выпрямителем. Схема агрегата подстанции, включающая все контрольно-измерительные приборы, автотрансформатор и секционный переключатель для регулирования напряжения и т. д., приведена на фиг. 5, где А — амперметр, В — вольтметр, mA — миллиамперметр, С — конденсатор, В — максимальный автомат, П — секционный переключатель, Р — регулировочный автотрансформатор, Т — высоковольтный трансформатор, В — выпрямитель, М — мотор выпря-

Характеристики Э. ф. для очистки газов.

Применение Э. ф.	Темп-ра газа в Э. ф. в °С	Время пребывания газа в электрич. поле в сек.	Скорость газов в эл. поле в м/сек	Запыленность (в г/м <sup>3</sup> )	
				до Э. ф.	за Э. ф.
Вентиляционный воздух табачных ф-к.	15	1—1,3	до 2,5	до 0,2	0,003—0,006
Отходящие газы угольных сушил . . . . .	80	3,5	1	16 ÷ 18 (80°)	0,1 (80°)
Вентилир. воздух цементных мельниц . . . . .	40	3,5	1—1,3	10 ÷ 20	0,05 ÷ 0,1
Отходящие газы печей спекания глиноземных заводов *	350	6	0,8—0,9	5 (350°)	0,3 (350°)
Отходящие газы печей кальцинация глинозема . . . . .	150—180	10	0,5	15—30 (180°)	0,1 (180°)
Газы колчеданных печей (с ÷ % O <sub>2</sub> ) **	350	6—8	0,5	5—6 (350°)	0,2 (350°)
Очистка от H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> газов концентраторов Хеминга *3 . . . . .	150	3,5	1	25 (0°)	0,2 ÷ 0,3 (0°)

\*1 Эти же цифры м. б. приняты для цементных печей. \*2 Темп-ра дох-дита иногда до 450°. \*3 Трубчатый Э. ф.



мителя, Г — сигнальный гудок. В наст. время механич. выпрямитель, хотя ему и присущ ряд недостатков, применяется в подавляющем большинстве установок Э. ф. несмотря на предложенные в качестве выпрямителей кенотроны, гавотроны и т. д., что обусловлено его исключительной надежностью в работе. С одного механич. выпрямителя и работающего с ним в схеме трансформатора снимается обычно не свыше 200 мА. Потери в выпрямителе, трансформаторе и регулировочном автотрансформаторе одного агрегата колеблются в зависимости от нагрузки в пределах 0,7—1,5 kW. Мотор, вращающий выпрямитель, потребляет 0,5 kW. Эти и вышеприведенные цифры позволяют привести пример расчета потребляемой электрич. энергии.

Пример. Э. ф. для очистки вентиляционного воздуха цементных мельниц. Расход воздуха при 40° равен 70 000 м<sup>3</sup>/ч. По таблице время пребывания в электрич. токе равно 3,5 ск. Объем электрич. поля:

$$\frac{70\ 000}{3\ 600} \cdot 3,5 = 68,1 \text{ м}^3.$$

Согласно вышеуказанному мощность, потребляемая 1 м<sup>3</sup> электрич. поля, м. б. принята в пределах 0,12—0,20 kW/м<sup>3</sup>. Принимаем среднее, а именно 0,16 kW/м<sup>3</sup>. Мощность всей установки на высоком напряжении 0,16 · 68,1 = 10,9 kW, потери трансформации и выпрямления 1,5 kW, мотор механического выпрямителя 0,5 kW, мотор открывания м. б. принят 1,5 kW, всего 14,4 kW или

$$14,4 \frac{1\ 000}{70\ 000} = 0,21 \text{ kWh/1 000 м}^3.$$

Эксплуатационная смета установки Э. ф. для очистки вентиляционного воздуха (при стоимости установки 140 000 руб.).

Расходы по капиталу 15% . . . . .	21 000 руб.
Электронергия при работе 300 дней в год 14,4 · 24 · 300 = 103 680 kWh по 5 коп. за 1 kWh . . . . .	5 184 »
Обслуживание — 1 монтер в смену по 300 руб. в м-ч 4 · 200 · 12 . . . . .	9 600 »
Начальные расходы (75% от работы) . . . . .	7 200 »
Текущий ремонт . . . . .	3 000 »

Итого . . . . . 45 984 руб.

Количество очищаемого газа:

$$70\ 000 \cdot 24 \cdot 300 = 504\ 000\ 000 \text{ м}^3 \text{ в год.}$$

Стоимость очистки:

$$\frac{45\ 984 \cdot 100 \cdot 1\ 000}{504\ 000\ 000} = 9,2 \text{ коп. за } 1\ 000 \text{ м}^3.$$

Э. ф. при достаточном времени пребывания газов в электрич. поле могут дать очистку более тонкую, нежели иные типы пылеулавливающих устройств (см. *Пылеуловители*) (мешечные фильтры, дезинтеграторы Тейсена). Э. ф. требуют относительно меньшего расхода энергии и в них отсутствуют быстро срабатывающиеся детали. По сравнению с мешечными фильтрами, боящимися как падения температуры ниже точки росы, так и повышения ее выше ~400°, когда возникает опасность пожара мешков, и с дезинтеграторами Тейсена, работа которых вследствие применения жидкости для промывки газа неизбежно связана с невысокой темп-рой, Э. ф. имеют преимущество широкого диапазона рабочих темп-р, что в ряде случаев делает их принципиально единственно применимыми. По сравнению с дезинтеграторами Тейсена Э. ф. имеют еще преимущество возможности выдачи сухой пыли, тогда как первые всегда выдают шламы. К недостаткам Э. ф. следует отнести высокие первоначальные затраты. Однако этот недостаток свойственен всем устройствам для тонкой очистки

газа, и суждение о соотношении первоначальных затрат для Э. ф., мешечного фильтра и дезинтегратора Тейсена в каждом отдельном случае м. б. высказано лишь после соответствующих сравнительных подсчетов.

В настоящее время перед нашими заводами стоит задача повышения производительности. В отношении пылящих агрегатов эта задача часто сталкивается с лимитирующей пропускной способностью газочистки, в частности Э. ф. Уместно перечислить методы, применяемые заводами при решении этой задачи: 1) уменьшение притока воздуха, т. е. уменьшение фактически проходящей через Э. ф. кубатуры, что достигается тщательным уплотнением газопроводов, стояков и т. д., а также целесообразным распределением вакуума в системе, что осуществляется дополнительной установкой дроссельных заслонок за Э. ф.; 2) при работе с горячими газами охлаждение их взрывганием воды, что также ведет к уменьшению фактически проходящей через Э. ф. кубатуры.

Лит.: Вейнер М., Электрические очистка газов, Л., 1930; Шнейерсон В. и Егоров Н., Электрич. очистка газов, М.—Л., 1933. По теории короны: Пик Ф., Диэлектрические явления в технике высоких напряжений, М.—Л., 1934. По теории Э. ф.: L a d e n b u r g R. u. S a c h s e, «Ann. d. Physik», 1930, В. 4, p. 863; L a d e n b u r g R. u. T i e t z e, Ibid., 1930, В. 6, S. 581; S h i b u s w a M. e t F u k u d a S., Communication N. 13-C-2, 12 Section, Congrès International d'Electricité, P., 1932. По применению Э. ф. в сернокислотной промышленности: Л у к я н о в, Курс химической технологии минеральных веществ, ч. 1, М.—Л., 1934. По применению Э. ф. в цементной промышленности: Грамматичков А., Электрооборудование цементных заводов, М.—Л., 1934. По применению Э. ф. для очистки доменного газа: «Советская металлургия», 1932, 8, стр. 289—299 и 303—312; Я й л е р В., Очистка доменного газа, М.—Л., Свердловск, 1933; R i c h a g t e M., «Revue de Métallurgie», 1933, 9, p. 402; 10, p. 423; 11, p. 471. М. Рейс.

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.** Под словом Э. понимается как электрич. заряд, так и в более широком смысле вся совокупность электрических явлений, в которых проявляются существование, движение и взаимодействие электрич. зарядов. Явления эти столь многообразны и универсальны, что краткая характеристика их представляется весьма затруднительной. Самое содержание, вкладываемое в термин Э., испытывает в процессе развития физики и техники весьма глубокие изменения.

Значительная часть учения об Э. может быть изложена вне связи с вопросами о природе электрона и электромагнитного поля. Ограничиваясь в дальнейшем кратким изложением основ доквантовой теории электричества, мы не совершим значительных погрешностей против истины в кругу тех вопросов, к-рые этой теорией рассматриваются. Хотя в дальнейшем мы и будем рассматривать электрон как корнускулу, отвлекаясь от его волновой природы, однако результаты такого рассмотрения в пределах намеченного круга вопросов почти полностью совпадают с результатами последовательного применения квантовой механики. См. *Атом* (Доп. том), *Кванты*, *Механика квантовая*, *Электрон*.

1. Основные законы теории Э. в отсутствие диэлектриков и магнетиков. Силы, действующие на заряды. Напряженность электромагнитного поля. Основной закон электростатики, открытый Кулоном (1785 г.), в современной формулировке гласит, что два находящихся в вакууме неподвижных электр. заряда  $q_1$  и  $q_2$ , размеры к-рых достаточно малы по сравнению с их взаимным расстоянием R (т. н. «точечные заряды»), действуют друг на друга с равными и противоположными силами притяжения или от-

талкивания, прямо пропорциональными  $q_1$  и  $q_2$  и обратно пропорциональными квадрату  $R$ :

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R^2}. \quad (1)$$

Значение коэф-та пропорциональности  $k$  определяется выбором единицы количества  $\mathcal{E}$ . (заряда). В т. наз. абсолютной электрич. системе единиц (системе CGSE), соответствующей значению  $k = 1$ , единицей количества  $\mathcal{E}$ . будет заряд, действующий на равный ему заряд, помещенный на расстоянии  $R = 1$  см., с силой  $F = 1$  дине. В практической системе единиц употребляется в качестве единицы количества электричества 1 кулон, или 1 ампер/сек. =  $3 \cdot 10^9$  абс. ед. В силе  $F$ , действие которой испытывает данный заряд со стороны всякого другого заряда или любой их совокупности, проявляется поле, создаваемое этими зарядами. В случае неподвижных зарядов это поле является чисто электрическим (электростатич. поле); количественной характеристикой его является его напряженность  $E$ , равная по определению (по величине и направлению) в каждой точке пространства той силе, какую испытывает помещенный в эту точку заряд  $q = 1$  абс. ед. Ясно, что при этом геометрич. размеры  $q$  д. б. настолько малы, чтобы в занимаемом им объеме можно было считать  $E$  постоянным. Сила же, действующая на такой «точечный» заряд  $q$  произвольной величины и знака, будет

$$F = qE. \quad (2)$$

Из сравнения (2) с законом Кулона (1) при  $k = 1$  следует, что если поле создается «точечным» зарядом  $q$ , т. е. зарядом, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием  $R$  от этого заряда до рассматриваемых точек поля, то в произвольной точке, удаленной от него на расстояние  $R$ , напряженность  $E$  численно равна

$$E = \frac{q}{R^2}. \quad (3)$$

Так как вектор  $E$  направлен по направлению радиуса-вектора  $R$ , проведенного из  $q$  в рассматриваемую точку поля, если  $q > 0$ , и направлен в противоположную сторону, если  $q < 0$ , то окончательно

$$E = \frac{q}{R^2} \cdot \frac{R}{R}. \quad (3a)$$

Ибо численная величина вектора  $\frac{R}{R}$  равна единице. В случае произвольной системы зарядов необходимо мысленно разбить эти заряды на достаточно малые по геометрическим размерам элементы (точечные заряды). Тогда напряженность результирующего поля всей системы выразится векторной суммой напряженности полей (3a), возбуждаемых каждым отдельным ее элементом. Как уже указывалось, при своем движении электрические заряды возбуждают не только электрическое, но и магнитное поле. Другими словами, магнитные свойства суть такой же первичный признак электрического заряда, как и электрические; реальные поля, создаваемые зарядами, суть поля электромагнитные, и только в особых частных случаях поле зарядов выступает как «чисто электрическое» или «чисто магнитное» поле. Отложив пока вопрос о том, каково магнитное поле движущегося заряда, остановимся на том, какая сила действует в заданном магнитном поле на движущиеся в нем заряды.

Чтобы полностью охарактеризовать магнитное поле, нужно задать величину и направление так наз. вектора напряженности магнитного поля

$H$  в каждой точке этого поля. Сила, действующая в поле  $H$  на заряд  $q$  (перпендикулярная к  $H$  и к скорости заряда  $v$ ), направлена так, что образует с  $H$  и  $v$  правинтовую систему (говорят, что вектор  $F$  образует с векторами  $H$  и  $v$  правинтовую систему, если при повороте ручки буравчика от  $H$  к  $v$  острие его ввинчивается в сторону направления вектора  $F$ ) и численно равна

$$F = \frac{q}{c} vH \sin \alpha, \quad (4)$$

где  $\alpha$  — угол между  $v$  и  $H$  (фиг. 1), а  $c$  — постоянный коэф., так наз. электродинамическая постоянная. Численное значение этой постоянной зависит от выбора системы единиц. Если измерять все величины (в том числе и электрич. заряд  $q$ ) в абсолютной электромагнитной системе единиц, то численное значение коэф-та  $c$  равно скорости света  $\sim 3 \cdot 10^{10}$  см/сек. В векторных обозначениях же сказанное о силе может быть записано одной ф-лой:

$$F = \frac{q}{c} [vH], \quad (4a)$$

где прямые скобки означают векторное произведение (см. *Векторное исчисление*). Существенно здесь то, что неподвижный заряд никакой силы в магнитном поле не испытывает, что и дает возможность установить различие между действием на заряд поля электрического и поля магнитного. Далее существенно; что сила  $F$  перпендикулярна к скорости заряда, а поэтому изменяет лишь направление, но не численную величину его скорости. Другими словами, силы магнитного поля при движении зарядов непосредственно никакой работы не совершают. Общая сила, действующая на «точечный» заряд  $q$ , движущийся со скоростью  $v$  в электромагнитном поле, характеризующемся напряженностями  $E$  и  $H$ , складается из сил (2) и (4a):

$$F = q \left\{ E + \frac{1}{c} [vH] \right\}. \quad (5)$$

Эта формула была дана Лоренцем, именем которого обычно называют и силу  $F$  (Лоренцева сила). Она дает возможность с помощью законов механики определить движение электрич. зарядов и т. о. лежит в основе динамики электронов и протонов.

Электрический ток и закон сохранения  $\mathcal{E}$ . Сила электрического тока  $I$  по определению равна заряду, переносимому в единицу времени через сечение тока движущимися элементарными частицами (электронами, ионами и т. д.). Единице силы тока соответствует протекание единицы заряда в секунду. В практической системе единиц единицей силы тока является ампер:

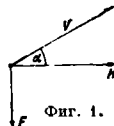
$$1A = 1C/сек.$$

Заряд, переносимый в единицу времени через единицу площади сечения тока, называется плотностью тока и обозначается буквой  $j$ :

$$j = \frac{I}{S}, \quad (6)$$

где  $S$  — сечение тока. Однако если ток неоднороден, т. е. неравномерно распределен по сечению  $S$ , то плотность тока  $j$  будет различной в различных точках сечения тока. Чтобы определить ее значение в данной точке, нужно разделить силу тока  $dI$ , протекающего через прилегающий к этой точке бесконечно малый элемент сечения тока, на площадь этого сечения  $dS$

$$j = \frac{dI}{dS}. \quad (6a)$$



Обычно плотность тока  $\mathbf{j}$  считают в векторе, направлением которого в каждой точке совпадает с направлением тока. При этом направление тока совершенно условно считается совпадающим с тем направлением, в котором должны были двигаться положительные заряды. В силу меньшей своей массы электроны гораздо более подвижны, чем протоны, и поэтому в большинстве случаев электрич. ток обусловлен движением именно электронов. В этих случаях приходится считать ток «текущим» в сторону, обратную действительному направлению движения отрицательных зарядов. Итак, количество  $\Delta$ , протекающего в единицу времени через элемент сечения тока  $dS$ , равно  $dI = \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S}$ ; при этом предполагается, что элемент сечения тока  $dS$  перпендикулярен направлению тока. Если же площадка  $dS$  не перпендикулярна току, то количество протекающего через нее  $\Delta$  определяется ф-лой

$$dI = j \cos(\mathbf{j}, \mathbf{n}) dS = j_n dS, \quad (7)$$

где  $\mathbf{n}$  — направление нормали к площадке  $dS$ , а  $j_n$  — нормальная составляющая плотности тока  $\mathbf{j}$ . При этом силу тока  $dI$  нужно считать положительной или отрицательной в зависимости от знака  $\cos(\mathbf{j}, \mathbf{n})$ , т. е. в зависимости от того, протекает ли ток через площадку  $dS$  в направлении нормали или в обратном направлении.

Рассмотрим теперь произвольную поверхность  $S$ . Общее количество протекающего через нее  $\Delta$  определяется очевидно суммой или, что в сущности то же, интегралом выражений (7), взятым по всем ее элементам:

$$\sum j_n dS = \int_S j_n dS. \quad (7a)$$

Если эта поверхность  $S$  замкнута (как напр. поверхность шара), то сумма эта будет очевидно равна общему количеству  $\Delta$ , выходящему за единицу времени из ограниченного поверхностью  $S$  объема  $V$  (если  $\mathbf{n}$  есть внешняя нормаль к поверхности). С другой стороны, согласно одному из основных постулатов теории  $\Delta$  не может ни возникать ни исчезать. Следовательно количество  $\Delta$ , вышедшего за 1 ск. за пределы объема  $V$ , должно равняться убыли  $-\frac{dq}{dt}$  за тот же период времени заряда  $q$ , находящегося внутри объема  $V$ . Иными словами

$$\oint j_n dS = -\frac{dq}{dt}. \quad (8)$$

[Кружок у знака интеграла должен означать, что интеграл берется по замкнутой поверхности (или в дальнейшем по замкнутой линии)]. Это весьма важное уравнение называется уравнением непрерывности и является математическим выражением постулата сохранения количества  $\Delta$ . В случае постоянных токов распределение зарядов не меняется со временем, т. е.  $\frac{dq}{dt} = 0$ , и стало быть и левая часть ф-лы (8) тоже равна нулю. Это значит, что положительные члены интеграла или суммы (7a) в этом случае компенсируются отрицательными, т. е. что если через одну часть поверхности  $S$   $\Delta$  вытекает наружу, то через другую ее часть поступает внутрь равное количество  $\Delta$ . Легко сообразить, что в случае постоянного тока, протекающего по неинтегрирующему разветвлению проводника, через любое сечение проводника протекает ток одинаковой силы; в противном случае в нек-рых участках проводника должно было бы происходить постепенное накопление зарядов и ток не был бы постоянным. Именно

поэтому можно говорить просто о силе постоянного тока, не указывая о каком именно сечении тока идет речь. По той же причине постоянные токи всегда замкнуты, ибо в противном случае у концов тока происходило бы накопление зарядов.

Заряд  $q$ , заключенный внутри произвольного объема  $V$ , мы выразим через плотность  $\rho$  в этом объеме (т. е. через величину заряда  $q$ , приходящегося в единицу объема) с помощью ур-ия

$$q = \int_V \rho dV,$$

ибо  $\rho dV$  по определению есть заряд элемента объема  $dV$ . Внося это выражение в ф-лу (8), получаем несколько измененную форму ур-ия непрерывности:

$$\oint j_n dS = -\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV. \quad (8a)$$

Легко наконец найти связь между плотностью тока  $\mathbf{j}$  и числом и скоростью элементарных зарядов (электронов, ионов и т. п.), образующих своим движением этот ток. Пусть на единицу объема тока приходится  $n$  движущихся элементарных зарядов величины  $q_0$ . Предположим сначала, что все эти заряды движутся с одинаковой скоростью  $\mathbf{v}$ . В этом случае за единицу времени все они переместятся на расстояние  $\mathbf{v}$  и стало быть через произвольную площадку  $dS$ , перпендикулярную к  $\mathbf{v}$ , за единицу времени должны пройти все те и только те заряды, к-рые находились внутри цилиндра с основанием  $dS$  и высотой  $\mathbf{v}$ . Объем этого цилиндра равен  $\mathbf{v} \cdot dS$ , число находящихся в нем зарядов равно  $n \cdot \mathbf{v} \cdot dS$ , и стало быть сила проходящего через  $dS$  тока равна

$$dI = nq_0 \mathbf{v} \cdot dS,$$

откуда на основании равенства (6a) получаем

$$\mathbf{j} = \frac{dI}{dS} = nq_0 \mathbf{v}. \quad (9)$$

Очевидно, что эта ф-ла остается справедливой и в том случае, когда скорости различных зарядов неодинаковы, если только при этом под  $\mathbf{v}$  понимать среднюю скорость зарядов. Наконец если через  $\mathbf{v}$  обозначить объемную плотность движущихся зарядов

$$\rho = nq_0 \quad (10)$$

и если учесть, что вектор  $\mathbf{j}$  параллелен вектору  $\mathbf{v}$ , то ур-ие (9) примет вид:

$$\mathbf{j} = \rho \cdot \mathbf{v}. \quad (10a)$$

В рамках макроскопич. теории в этом ур-ии под  $\rho$  и  $\mathbf{v}$  нужно понимать среднюю плотность и среднюю скорость движущихся в проводнике зарядов. Однако это ур-ие остается справедливым и при микроскопич. рассмотрении явлений; под  $\rho$  нужно понимать в этом случае истинную плотность зарядов, отличную от нуля лишь внутри электронов и протонов, а под  $\mathbf{v}$  — истинную скорость данного элементарного заряда.

Силы, действующие на токи в магнитном поле. Всякий электрич. ток, помещенный в магнитное поле, испытывает действие механич. силы, равной сумме Лоренцевых сил, действующих на каждый элементарный движущийся заряд. Рассмотрим некоторый элемент тока, т. е. элемент объема тока  $dV$  столь малый, что значения величин  $\mathbf{j}$  и  $\mathbf{H}$  можно считать в нем постоянными, но все же еще столь большой, что в нем имеется достаточно большое число элементарных движущихся зарядов  $q_0$ . На каждый из этих зарядов  $q_0$  действует со стороны магнитного поля сила (4a). Если бы скорость  $\mathbf{v}$  всех движущихся в проводнике зарядов была одинакова, то общая сила, действующая на весь элемент  $dV$ , была бы равна произведению силы (4a) на число  $n$   $dV$  зарядов в этом элементе:

$$\mathbf{F} = n dV \cdot \frac{q_0}{c} [\mathbf{vH}],$$

где  $n$  означает число зарядов, приходящихся на единицу объема. Хотя фактически различные заряды обладают весьма различными скоростями, все же эта формула остается справедливой, если только под  $\mathbf{v}$  понимать среднюю скорость зарядов. Далее произведение  $nq_0 \mathbf{v}$  согласно равенству (9) равно плотности тока  $\mathbf{j}$ , и значит

$$\mathbf{F} = \frac{1}{c} [\mathbf{jH}] dV. \quad (11)$$

Это выражение легко преобразовать для того случая, когда ток течет по весьма тонкому цилиндрич. проводнику. За элемент тока  $dV$  в этом случае можно взять просто небольшую отрезок проводника, как показано на фиг. 2, т. е. цилиндр высоты  $dl$  с площадью основания  $dS$ ; в этом случае  $dV = dl \cdot dS$ . Если направление  $dl$  совпадает с направлением  $j$ , то, т. к.  $I = j dS$ , получаем:

$$I dl = j dS \cdot dl = j dS \cdot dl = j dV. \quad (12)$$

Значит сила  $F$ , действующая на элемент  $dl$  тока  $I$  в поле  $H$ , согласно (11) и (12) равна

$$F = \frac{I}{c} [dH, dl]. \quad (11a)$$

Эта ф-ла выражает собой известный закон Биосавара, ибо содержание ее согласно смыслу векторного произведения  $[dH, dl]$  сводится к следующему: действующая в поле  $H$  на элемент  $dl$  сила  $F$  перпендикулярна к векторам  $dH$  и  $dl$  и образует с направлениями этих векторов правинтовую систему, а по численному значению она равна

$$F = \frac{1}{c} I H dl \sin(dl, H).$$

Пользуясь ф-лой (11) или (11a), можно полностью определить все силы, действующие в произвольном магнитном поле на произвольную систему токов, для чего конечно нужно предварительно все эти токи мысленно разложить на совокупность бесконечно-малых элементов  $dV$  или  $I dl$ . Обратно, с помощью формулы (11a) можно измерить напряженность магнитного поля по силам, действующим в этом поле на элемент тока  $I dl$ .

Пусть напр. цепь тока, образованная толстым твердым проводником, замкнута маленьким отрезком  $dl$  очень тонкой и гибкой проволочки. Если по цепи течет ток известной нам силы  $I$  и если элемент цепи поместить в произвольное магнитное поле  $H$ , то проволочка эта будет изгибаться под действием приложенной к ней силы (11a). Измеряя прогиб проволочки и определяя т. о. величину действующей на нее силы  $F$ , можно по ф-ле (11a) определить напряженность  $H$  в месте нахождения проволочки. Этот способ измерения магнитного поля практически далеко не всегда является наиболее простым и удобным, но принципиально он важен, потому что он непосредственно вытекает из ф-лы (11a). Ведь в сущности можно сказать, что этой именно ф-лой или эквивалентной ей ф-лой (11) определяется самое понятие напряженности магнитного поля. [Речь идет о поле макроскопическом. При более детальном микроскопическом рассмотрении нужно учесть как атомистическое строение  $\mathcal{E}$ , так и изменения магнитного поля, испытываемые им внутри проводников на расстояниях атомарного порядка величины, причем вместо ф-лы (11) необходимо непосредственно пользоваться исходной ф-лой (4a).]

Магнитное поле токов. Измерения магнитного поля токов повели к установлению следующих закономерностей. Магнитные силовые линии поля, возбуждаемого произвольным элементом тока  $I dl$  (или  $j dV$ ), представляют собой систему окружностей, называемых на прямую, проходящую через элемент тока  $dl$ . Направление этих силовых линий образует правинтовую систему с направлением  $dl$  или  $j$ . Численная величина напряженности  $H$  обратно пропорциональна квадрату расстояния  $R$  рассматриваемой точки поля от элемента  $I dl$  (или  $j dV$ ) и кроме того пропорциональна синусу угла между проведенными из  $I dl$  радиус-вектором  $R$  и направлением  $dl$  или  $j$ . Все эти свойства в обозначениях векторного исчисления выражаются ф-лой

$$H = \frac{[jR]}{cR^2} dV = \frac{I[dlR]}{cR^2}. \quad (13)$$

Напряженность же магнитного поля произвольной системы токов равна векторной сумме напряженностей полей, возбуждаемых каждым элементом этой системы. Выполняя это суммирование, можно напр. показать, что напряженность поля бесконечного прямого тока силы  $I$  на расстоянии  $R$  от него равна

$$H = \frac{2I}{cR}. \quad (14)$$

Нужно однако заметить, что в рамках учения о постоянных токах ф-ла (13) не м. б. подвергнута непосредственной проверке, ибо постоянный ток всегда ампер и поэтому никакая величина не является какой-либо одной его элемент  $I dl$ . Поскольку не изучаются поля, получающиеся в результате наложения полей многих отдельных элементов тока, постольку можно предложить и другие выражения для поля отдельного элемента тока, приводящие к тем же окончательным результатам для результирующего поля замкнутых токов; таковы например формула Ампера для поля отдельного элемента тока, существенно отличающаяся от ф-лы (13). Однако изучение поля токов переменных, далеко не всегда являющихся замкнутыми, одновременно решает вопрос в пользу ф-лы (13).

Постоянные электрич. и магнитное поля произвольной системы неподвижных зарядов и постоянных токов однозначно определяются ф-лами (3a) и (13). Однако эти формулы нельзя непосредственно обобщать на случай переменных электромагнитных полей, ибо они носят в сущности характер законов дальности действия, непосредственно выражая напряженности поля  $E$  и  $H$  в произвольной точке поля как функции расстояния этой точки от удаленных от нее зарядов и токов. Помимо того и в случае постоянных полей непосредственное пользование ф-лами (3a) и (13) не всегда является удобным и целесообразным. Поэтому для дальнейших обобщений необходимо преобразовать эти ф-лы и рассмотреть ряд вытекающих из них следствий.

Работа электрических сил. Потенциал. Работа, совершаемая силами электрич. поля при перемещении заряда  $q$  на отрезке  $dl$ , равна

$$F \cos(E, dl) dl = qE \cos(E, dl) dl = qE, dl.$$

В частности работа  $A$  при перемещении на расстоянии  $dl$  единичного положительного заряда равна

$$A = E, dl.$$

Работа, совершаемая при перемещении единичного положительного заряда по конечному пути  $L$ , равна

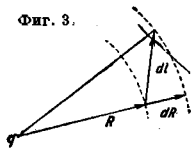
$$A = \int_L E, dl,$$

где знак  $L$  у интеграла означает, что необходимо вычислить сумму значений подынтегрального выражения для всех элементов линии  $L$ . Эту операцию называют интегрированием по линии  $L$ .

В частности работа электрических сил поля элементарного (точечного) заряда  $q$ , совершаемая при перемещении на  $dl$  пробного единичного положительного заряда, согласно (3a) равна

$$A = E, dl = \frac{q}{R^2} \cos(R, dl) dl = \frac{q}{R^2} dR, \quad (15)$$

где  $dR$  есть проекция перемещения пробного заряда  $dl$  на проведенный из возбуждающего поля заряда  $q$  радиус-вектор  $R$  (фиг. 3). Как видно из фигуры,  $dR$  есть вместе с тем приращение численного значения радиуса-вектора  $R$ , т. е. увеличение расстояния пробного заряда от



Фиг. 3.

заряда  $q$ . Следовательно и работа, совершаемая при перемещении пробного заряда по произвольному конечному пути  $L$ , также будет зависеть лишь от того, как при этом перемещении изменяется расстояние пробного заряда от заряда  $q$ , т. е. будет зависеть только от положения начальной и конечной точек пути  $L$ , но не от формы этого пути. Так напр., работа электрич. сил на пути  $L_1$  (фиг. 4) равна их работе на пути  $L$ : избыточная работа, совершаемая на пути  $L_1$  при перемещении пробного заряда за пределы сфер радиуса  $R_2$ , компенсируется отрицательной работой, совершаемой при последующем приближении пробного заряда к заряду  $q$  на последнем участке пути  $L_1$ .

Согласно равенству (15) работа  $A$  при перемещении  $dl$  м. б. представлена в форме полного дифференциала:

$$A = \frac{q}{R^2} dR = d\left(-\frac{q}{R}\right) = -d\left(\frac{q}{R}\right),$$

где  $R$  — численное значение радиуса-вектора  $R$ . Следовательно работа, совершаемая при перемещении единичного положительного заряда из точки  $P_1$  в точку  $P_2$  по конечному пути  $L$ , равна

$$A = \int_L E_l dl = - \int_L d\left(\frac{q}{R}\right) = -\left(\frac{q}{R_2} - \frac{q}{R_1}\right),$$

где  $R_1$  и  $R_2$  — расстояния начальной и конечной точек пути от заряда  $q$ . Таким образом работа эта действительно зависит только от положения начальной и конечной точек пути.

Так как поле произвольной системы зарядов можно рассматривать как сумму полей каждого из элементов этих зарядов, то стало быть всякое постоянное электрич. поле обладает этим чрезвычайно важным свойством: работа сил этого поля на произвольном пути между двумя точками зависит только от положения этих точек и вовсе не зависит от формы пути.

Это свойство постоянного электрич. поля дает возможность ввести в рассмотрение чрезвычайно важное понятие о потенциале постоянного электрич. поля. Определение: равенство потенциалов между двумя точками постоянного электрического поля равна взятой с обратным знаком работе, совершаемой силами поля при перемещении единичного положительного заряда из первой точки во вторую. Стало быть равенство потенциалов  $d\varphi$  между двумя точками, отделенными бесконечно-малым расстоянием  $dl$ , равна

$$d\varphi = -A = -E_l dl. \quad (16)$$

Разность же потенциалов  $\varphi_2 - \varphi_1$  между точками 1 и 2, находящимися на конечном расстоянии друг от друга, определяется интегралом

$$\varphi_2 - \varphi_1 = - \int_1^2 E_l dl, \quad (16a)$$

причем этот интеграл м. б. взят по любому пути, соединяющему точки 1 и 2. Понятие *потенциала* (см.) играет чрезвычайно важную роль в учении о постоянном электрич. поле, и пользование им чрезвычайно облегчает решение ряда конкретных задач. В частности весьма существенно то, что заданием потенциала как функции точки однозначно определяется и напряженность постоянного электрич. поля в каждой его точке. Т. о. задача изучения векторного поля напряженности  $E$  м. б. сведена к значительно более простой задаче изучения скалярного поля потенциала  $\varphi$ . Независимость работы сил данного поля от формы пути является необходимым и достаточным условием для того, чтобы работа сил

этого поля на любом замкнутом пути была равна нулю. Действительно, рассмотрим произвольный почти замкнутый путь  $PMQ$  (фиг. 5). Работа на этом пути должна равняться работе на прямом отрезке  $PQ$ , соединяющем  $P$  с  $Q$ . При сближении  $Q$  с  $P$  отрезок этот обращается в нуль, а путь  $PMQ$  становится замкнутым. Т. к. при этом работа на отрезке  $PQ$  становится равной нулю, то и работа на замкнутом пути равна нулю. Легко доказать также, что и, обратно, из равенства нулю работы на любом замкнутом пути вытекает независимость работы от формы пути.

Т. о. из доказанного следует, что работа сил постоянного электрич. поля на любом замкнутом пути  $L$  равна нулю

$$\oint_L E_l dl = 0, \quad (17)$$

где кружок у знака интеграла отмечает замкнутость пути интегрирования  $L$ . Заметим, что линейный интеграл произвольного вектора  $E$ , взятый вдоль какого-либо замкнутого пути  $L$ , называется циркуляцией этого вектора вдоль пути  $L$ . Т. о. ур-е (17) сводится к утверждению, что в постоянном электрич. поле циркуляция вектора  $E$  по любому замкнутому пути равна нулю.

Закон Ома. Двигнувшись в проводнике зарядам (электронам или ионам) приходится преодолевать при своем движении известное сопротивление, обусловленное столкновениями с атомами проводника. При этих столкновениях движущиеся электроны и ионы передают часть своей кинетической энергии атомам проводника, чем и обуславливается его нагревание при прохождении тока. Поэтому постоянный ток может циркулировать в проводнике лишь в том случае, если движение зарядов в нем поддерживается постоянными электрич. силами, действующими на эти заряды. Чем больше эти силы, т. е. чем больше напряженность поля  $E$ , тем более сильный ток будет циркулировать в проводнике. Количественно эта зависимость выражается уравнением

$$j = \gamma E, \quad (18)$$

связывающим плотность тока в каждой точке проводника с напряженностью  $E$  в той же точке. Коэф.  $\gamma$  называется удельной электропроводностью и характеризует собой свойства проводника. Выяснение зависимости  $\gamma$  от атомистической и электронной структуры проводника и от таких факторов, как температура, давление и т. д., является одной из задач электронной теории. Заметим, что величина  $\rho$ , обратная  $\gamma$  ( $\rho = \frac{1}{\gamma}$ ), носит название удельного сопротивления проводника. Уравнение (18) является дифференциальной формой известного закона Ома. Для случая однородного цилиндрич. проводника это уравнение легко преобразовать так, чтобы получить закон Ома в его интегральной форме, чаще применяющейся в электротехнике. Пусть  $S$  есть сечение данного отрезка проводника, а  $l$  — его д-лина. Сопротивление  $R$  этого отрезка, как известно, равно

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\gamma S},$$

где  $\rho$  есть уд. сопротивление проводника. С другой стороны, из равенства (6) и (18) получаем:

$$I = jS = \gamma S \cdot E.$$

Исключая из этих ур-ий  $\gamma S$ , получаем

$$I = \frac{E l}{R}.$$

Если напряженность  $E$  меняется вдоль отрезка  $l$ , то произведение  $E \cdot l$  нужно заменить соответствующим интегралом, взятым по отрезку  $l$  от одного его конца (1) до другого конца (2):

$$I = \frac{1}{R} \int_1^2 E_l dl. \quad (19)$$

Это и есть закон Ома в интегральной форме. В случае постоянного электрич. поля входящий в правую часть интеграл можно выразить с помощью равенства (16а) через разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  на концах отрезка  $l$ :

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}. \quad (19а)$$

В отличие от этого ур-ия, ур-ия (19) и (17) остаются справедливыми и для переменных токов.

Интеграл  $\int E_l dl$  называется н а п р я ж е н и е м вдоль отрезка  $l$  (не смешивать с напряженностью  $E$ ).

Сторонние эдс. Прохождение электрич. тока всегда сопровождается выделением тепла (нагреванием проводников). Если ток постоянный и электрич. поле стационарно, то это выделение тепла не может очевидно идти за счет энергии электрич. поля, по условию остающегося постоянным. Следовательно ток может поддерживаться лишь за счет каких-либо иных источников энергии, энергия которых непрерывно превращается в тепло. Такими источниками тока м. б. напр. аккумуляторы или гальванич. элементы, прохождение тока через которые сопровождается химич. реакциями, выделяющими необходимое количество энергии, или же термоэлементы, фотоэлементы и т. п. В классич. теории Э. для описания действия этих источников тока вводится феноменологич. понятие т. наз. с т о р о н н и х эдс, т. е. сил, действующих на электрич. заряды, но не сводящихся к простому кулоновому или магнитному их взаимодействию. Наличие в перечисленных источниках тока этих сторонних эдс вызывает накопление положительных зарядов у положительных полюсов аккумуляторов и элементов и отрицательных зарядов у их отрицательных полюсов. Соединение этих полюсов проводником (замыкание цепи тока) дает возможность этим зарядам стекать от одного полюса к другому, причем эдс источника тока непрерывно пополняет убыль зарядов на полюсах и тем поддерживает постоянство тока. Существенная характеристика сторонних эдс состоит в том, что они всегда связаны с физико-химической неоднородностью вещества. Так, в гальванич. элементе или аккумуляторе имеется комбинация различных соприкасающихся между собой металлов и электролитов, в термоэлементе — два спая металлов, находящихся при различных темп-рах, и т. п. Понятно, что в конечном счете все эти сторонние эдс сводятся к обычным взаимодействиям зарядов, входящих в состав атомов неоднородных проводников. Соответствующий детальный анализ механизма действия сторонних сил однако весьма сложен и относится к области электронной теории. Невозможность существования постоянных токов в отсутствии сторонних эдс вытекает также непосредственно из ур-ия (17), ибо, с одной стороны, постоянные токи всегда замкнуты, с другой стороны, согласно ур-ию (17) работа кулоновых сил

постоянного электрич. поля при полном обходе электрич. зарядом замкнутой цепи тока равна нулю. Стало быть выделяемое током тепло должно доставляться сторонними источниками.

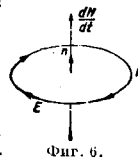
И н д у к ц и я т о к о в. Совершенно иначе обстоит дело в случае переменных полей. В этом случае токи могут, как известно, циркулировать в проводниках и при отсутствии всяких сторонних эдс, напр. за счет механич. энергии, затрачиваемой на вращение динамомашин. Стало быть к переменным полям ур-ие (17) не применимо. Опыт учит, что необходимым условием возникновения токов в замкнутом контуре при отсутствии сторонних эдс является либо изменение магнитного поля в окружающем проводник пространстве либо движение проводника в магнитном поле. В последнем случае токи возбуждаются Лоренцевыми силами (4а), действующими на находящиеся в проводнике и движущиеся вместе с ним элементарные заряды. Возбуждение же токов в неподвижных проводниках м. б. объяснено только тем, что изменения магнитного поля возбуждают в окружающем пространстве поле электрическое, которое ур-ию (17) не удовлетворяет и потому может вызывать и поддерживать движение электрических зарядов по замкнутой цепи тока. Как показывает опыт, циркуляция напряженности этого поля по произвольному замкнутому контуру  $L$ , ограничивающему площадку  $S$ , равна

$$\oint_L E_l dl = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} (HS \cos(H_1 n)) = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} (H_n S), \quad (20)$$

где  $n$  — нормаль к площадке  $S$ ,равноугольная с направлением обхода контура  $L$  правинтовую систему (фиг. 6). Знак минус в этом ур-ии указывает, что напр. при возникновении магнитного поля, направленного по нормали  $n$ , в контуре возникает эдс, равная  $\oint E_l dl$ , направление к-рой образует с  $n$  не право-, а левовинтовую систему (фиг. 6);  $c$  — электродинамич. постоянная, впервые встретившаяся нам в ур-ии (4). В том случае, если охватываемая контуром  $L$  поверхность настолько велика, что на ее протяжении напряженность поля  $H$  не может уже считаться одинаковой, или же если она настолько изогнута, что в разных ее точках нормаль  $n$  к ней имеет существенно различные направления, нужно эту поверхность  $S$  разбить на достаточно малые элементы  $dS$  и правую часть уравнения (20) — заменить суммой или интегралом соответствующих членов для каждого из этих элементов:

$$\oint_L E_l dl = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial}{\partial t} \int_S H_n dS. \quad (20а)$$

Это ур-ие представляет собой одно из основных уравнений э л е к т р о д и н а м и к и, определяющее закон возбуждения электрического поля изменениями поля магнитного. Оно применимо к любому замкнутому пути интегрирования  $L$  вне зависимости от того, проходит ли этот путь по проводникам или по вакууму. Конечно лишь в первом случае возбуждение эдс  $\oint E_l dl$  будет непосредственно проявляться в возникновении соответствующего тока  $I$ , называемого индукционным током. Сила этого тока, индуциро-



ванного в проводящей замкнутой цепи  $L$  с сопротивлением  $R$ , м. б. определена на основании закона Ома

$$I = \frac{1}{R} \oint E_i dl, \quad (21)$$

из  $k$ -рого на основании равенства (20а) получаем

$$I = -\frac{1}{cR} \cdot \frac{\partial}{\partial t} \int_S H_n dS. \quad (21а)$$

Произведение  $H_n dS$ , или точнее интеграл  $\int H_n dS$ , носит название магнитного потока, пронизывающего поверхность  $S$ . Термин этот имеет чисто условное значение, ибо конечно ни о каком потоке в механич. или гидродинамич. смысле этого слова в магнитном поле говорить не приходится. В электротехнике сохранилось кроме того для обозначения этой величины Фарадей-Максвелловский термин: «число магнитных силовых линий, пронизывающих поверхность  $S$ ». Дело в том, что эти силовые линии, служащие для графич. характеристики поля, проводящие с таким расчетом, чтобы число их, пронизывающее произвольный элемент поверхности  $dS$ , было по возможности равно  $H_n dS$ . Т. о. содержание уравнения (20а) м. б. передано так: эдс индукции, возбуждаемая в произвольном контуре  $L$ , равна скорости изменения магнитного потока через охватываемую этим контуром поверхность, деленной на  $c$ , или же, что то же, скорости изменения числа пронизывающих эту поверхность магнитных силовых линий. Заметим, что всегда можно провести сколько угодно различных, вообще говоря, искривленных поверхностей  $S$ , ограниченных одним и тем же контуром  $L$ . Однако закон индукции (20а) все же имеет вполне однозначный смысл, ибо, как мы увидим ниже, через любые две поверхности  $S_1$  и  $S_2$ , ограниченные одним и тем же контуром  $L$ , всегда проходит одинаковый магнитный поток. В случае постоянного магнитного поля правая часть ур-ия (20а) обращается в нуль и мы получаем в качестве соответствующего частного случая прежние уравнение (17). Как указывалось, справедливость этого последнего уравнения является необходимым условием возможности введения в рассмотрение электр. потенциала  $\varphi$ . Т. о. в переменных полях обычное понятие электрического потенциала становится неприменимым. Если в электротехнике переменных токов иногда и продолжают пользоваться понятием разности потенциалов, то в сущности под этим термином понимают напряженье  $\int E_i dl$ ,  $k$ -рое взято вдоль некоторого пути между данными точками 1 и 2. Значение этого интеграла в переменном поле именно благодаря нарушению справедливости ур-ия (17) существенно зависит от формы пути переноса заряда (пути интегрирования). Однако на практике часто один из возможных путей переноса заряда (напр. кратчайший путь, или же путь вдоль проводника, соединяющего точки 1 и 2, и т. п.) выделен какой-либо особенностью из числа других, и в электротехнике при оперировании понятием разности потенциалов или напряжения молчаливо подразумевается именно этот путь переноса и близкие к нему. Заметим в заключение, что закон индукции (20а), относящийся к неподвижному контуру, находящемуся в переменном магнитном поле, близко связан с законом индукции токов в проводниках, движущихся в постоянном магнитном поле.

В этом последнем случае закон индукции непосредственно вытекает из выражения лоренцевой силы (4а). Пусть данный участок проводника движется в поле  $H$  со скоростью  $v$ . Пока в проводнике нет тока, такой же будет очевидно и средняя скорость входящих в состав проводника элементарных зарядов. Стало быть на каждый такой заряд будет в среднем действовать сила (4а)  $F = \frac{q}{c} \cdot [vH]$ .

Такая же сила действовала бы на заряды и в том случае, если бы они находились в электр. поле напряженности  $E' = \frac{1}{c} [vH]$ . Стало быть вместо действия поля  $H$  можно рассматривать действие эквивалентного поля  $E'$ . Циркуляция напряженности этого поля по контуру замкнутого движущегося проводника  $L$  равна

$$\oint_L E'_i dl = \frac{1}{c} \oint_L [vH] dl.$$

После преобразования можно это ур-ие представить в след. форме:

$$\oint_L E'_i dl = -\frac{1}{c} \cdot \frac{d}{dt} \int_S H_n dS. \quad (22)$$

Это ур-ие весьма аналогично ур-ию (20а), и в правую его часть также входит скорость изменения во времени магнитного потока через поверхность  $S$ , охватываемую контуром  $L$ . Однако в данном случае это изменение потока вызвано не изменениями напряженности переменного поля  $H$ , а перемещением проводника  $L$  в постоянном поле  $H$ . Чтобы отметить эту разницу, в ур-ии (22) поставлен знак полной производной по времени  $\left(\frac{d}{dt}\right)$ , а в ур-ии (20а) — знак частной производной  $\left(\frac{\partial}{\partial t}\right)$ . Поскольку нас интересует только определение силы индукционного тока в контуре  $L$  с помощью ф-лы (21), мы можем не различать между этими двумя случаями индукции и всегда пользоваться ф-лой (22), понимая под  $\frac{d}{dt} \int H_n dS$  полное изменение магнитного потока вне зависимости от того, какими именно причинами это изменение вызвано. Так всегда и поступают в теории переменных токов. С теоретич. же стороны различие между двумя рассмотренными случаями индукции весьма существенно.

Циркуляция напряженности постоянного электр. поля согласно равенству (17) равна нулю. Совершенно иначе обстоит дело в постоянном магнитном поле. Так напр., в поле бесконечного прямого тока магнитные силовые линии представляют собой наизянные на ось тока окружности. Если в интеграле  $\oint H_i dl$  в качестве пути интегрирования выбрать одну из этих окружностей, напр. окружность радиуса  $R$ , то на всем пути интегрирования  $H$  будет параллельно  $dl$ , т. е.  $H_i = H$ , причем численная величина  $H$  также будет оставаться постоянной. Поэтому в этом случае

$$\oint H_i dl = H \cdot 2\pi R,$$

где  $2\pi R$  есть длина всей окружности. Внося сюда из (14) значение  $H$ , получаем

$$\oint H_i dl = \frac{4\pi I}{c}, \quad (23)$$

где  $I$  — сила тока. Существенно, что эта ф-ла справедлива не только для окружности, но и для любого замкнутого контура  $L$ , однажды охватывающего ток  $I$ . Больше того, исходя из формулы (13), можно доказать, что ур-ие (23) справедливо для любого замкнутого контура в поле произвольной системы постоянных токов, если только под  $I$  понимать силу тока, пронизывающего контур  $L$ . Это последнее условие можно выразить след. обр. Если  $S$  есть какая-либо из поверхностей, ограниченных контуром  $L$ , то через элемент  $dS$  этой поверхности согласно равенству (7) протекает ток силы  $dI = j_n dS$ , а через всю поверхность  $S$  ток силы

$$I = \int_S j_n dS.$$

Внося это в ф-лу (23), получаем

$$\oint_L H_i dl = \frac{4\pi}{c} \int_S j_n dS. \quad (23a)$$

Это уравнение является одним из основных в теории магнитного поля постоянных токов. Из него вытекает в частности невозможность определить скалярный потенциал магнитного поля токов по аналогии с электр. потенциалом  $\varphi$ . Действительно, однозначное определение этого потенциала, как мы видим, возможно лишь при условии выполнения ур-ия (17), т. е. при условии равенства нулю циркуляции электр. вектора  $E$ . Циркуляция же магнитного вектора  $H$ , вообще говоря, отлична от нуля.

В старых учебниках физика циркуляция вектора  $H$  вдоль контура  $L$  определяется как работа, совершаемая магнитным полем при переносе единичного магнитного полюса вдоль контура. Т. к. однако никаких магнитных полюсов в действительности не существует, то циркуляция  $H$  не обладает столь непосредственным физическим смыслом, как циркуляция  $E$ .

Токи смещения. Подобно тому как электр. поле может возбуждаться не только непосредственно электрическими зарядами, но и изменениями поля магнитного, так и магнитное поле в свою очередь может возбуждаться не только непосредственно электрич. токами, но и изменениями поля электрического. Поэтому в случае переменных полей правая часть ур-ия (23a) д. б. дополнена членом, вполне аналогичным правой части ф-лы (20a):

$$\oint_L H_i dl = \frac{4\pi}{c} \int_S j_n dS + \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \int_S E_n dS. \quad (24)$$

Сравнивая это уравнение с ур-ием (20a), мы убеждаемся, что в основном эти ур-ия получают друг из друга заменой электр. величин на магнитные и обратно. В ур-ие (24) входит кроме того член, зависящий от плотности электр. тока  $j_n$ . Отсутствие аналогичного члена в (20a) соответствует тому, что никаких магнитных зарядов и магнитных токов, аналогичных электр. зарядам и токам, не существует. Заслуга введения в ур-ие (24) второго члена принадлежит Максвеллу, к-рый ввел также термин «плотность тока смещения» для обозначения вектора

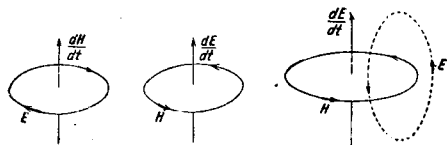
$$J_{см.} = \frac{1}{4\pi} \frac{\partial E}{\partial t}. \quad (25)$$

С помощью этого обозначения ур-ие (24) можно записать так:

$$\oint_L H_i dl = \frac{4\pi}{c} \int_S (J + J_{см.})_n dS. \quad (24a)$$

Т. о. можно сказать, что циркуляция магнитного вектора  $H$  определяется плотностью и си-

лой полного тока, равного сумме электр. и магнитного тока в собственном смысле слова (так наа. тока проводимости), и тока смещения. Далее, перед аналогичными членами правых частей ур-ий (24) и (20a) стоят разные знаки. Эта разница в знаках означает разницу в направлении индуцированных полей: поле  $H$ , возбуждаемое электрическими токами, образуется с ними правостороннюю систему, тогда как поле  $E$ , возбуждаемое «магнитными токами смещения»  $\frac{1}{4\pi} \frac{\partial H}{\partial t}$ , образуется с последними систему левостороннюю (фиг. 7). Этим в частности обусловливается взаимное торможение электр. и магнитного полей при всяких их изменениях. Если напр. напряженность поля  $E$  (фиг. 8) растет по абсолютной величине, то возникает магнитное поле  $H$  (правый винт), которое, усиливаясь с ростом  $E$ , возбуждает в свою очередь электр. поле  $E'$  (левый винт), которое направлено противоположно  $E$ , и т. о. ослабляет рост  $E$ . Обратно, при убывании  $E$  поле  $E'$  будет поддерживать  $E$ , замедляя это убывание. Если бы различия в знаке в ур-иях (24) и (20a) не было, то индуцированное возрастанием  $E$  поле  $E'$  было бы направлено по  $E$ , что влекло бы за собой все большее, ничем не ограниченное возрастание напряженности поля. Аналогичное торможение имеет место и при всех изменениях токов проводимости. Им обуславливается постепенность нарастания силы, уменьшение амплитуды силы переменного тока при увеличении самоиндукции цепи тока и т. д.



Фиг. 7.

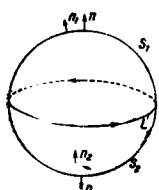
Фиг. 8.

Заметим в заключение, что с точки зрения современных теоретич. представлений единственной общей характеристикой тока проводимости и электр. тока смещения (25) является возбуждение обоими токами магнитного поля по одинаковому закону. Во всех же прочих отношениях токи проводимости и токи смещения не имеют между собой ничего общего. Токи проводимости обуславливаются движением электр. зарядов, токи же смещения вовсе не связаны с каким-либо перемещением зарядов или даже с наличием их в данном участке пространства — они имеют место и в вакууме и характеризуют лишь изменение во времени напряженности электр. поля. Поэтому токи смещения отличны от нуля только в переменном поле, тогда как токи проводимости могут существовать и в поле постоянном. Наконец токи проводимости связаны с нагреванием проводников, тогда как токи смещения никакого выделения тепла не обуславливают.

Некоторые следствия Максвелловых уравнений поля. Ур-ия (20a) и (24) являются основными уравнениями электромагнитного поля. Может показаться странным, что при выводе этих ур-ий основной закон электростатики — закон Кулона — повидимому нигде явно учтен не был. Однако этот закон непосредственно связан с некоторыми следствиями, вытекающими из формул (20a) и (24). Дело в том, что эти ур-ия связывают циркуляцию электр. и магнитного векторов  $E$  и  $H$  по произ-



вольному замкнутому контуру  $L$  с магнитным потоком или с полным электрич. током, протекающим через ограниченную этим контуром поверхность  $S$ . При этом вовсе не указывается, о какой из бесчисленного множества различных, вообще говоря, искривленных поверхностей  $S$ , ограниченных этим контуром, идет в



Фиг. 9.

данном случае речь. Стало быть, если эти ур-ия вообще имеют какой-либо смысл, то через любые две поверхности  $S_1$  и  $S_2$ , ограниченные одним и тем же контуром  $L$ , всегда должен протекать одинаковый магнитный поток и одинаковый полный электрич. ток. Таково необходимое следствие из ур-ий (20а) и (24), полностью подтверждаемое опытом.

Чтобы выразить это следствие в математич. форме, рассмотрим две произвольные поверхности  $S_1$  и  $S_2$ , ограниченные одним и тем же контуром  $L$  и стало быть образующие в совокупности одну замкнутую поверхность (фиг. 9). Применяя напр. ур-ие (20а) к поверхностям  $S_1$  и  $S_2$ , получаем:

$$\oint_L E_1 dl = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \int_{S_1} H_{n1} dS = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \int_{S_2} H_{n2} dS,$$

где  $n_1$  и  $n_2$  по условию — нормали к  $S_1$  и  $S_2$ , выбранные так, чтобы их направления образовали с направлением обхода контура  $L$  правинтовую систему (фиг. 9). Из последнего ур-ия следует:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[ \int_{S_1} H_{n1} dS - \int_{S_2} H_{n2} dS \right] = 0.$$

Если мы теперь через  $n$  обозначим внешнюю нормаль из замкнутой поверхности  $S$  (т. е. нормаль, направленную от внутренней ее стороны к внешней), то и на участке  $S_1$  совпадает с  $n_1$ , а на участке  $S_2$  будет прямо противоположна  $n_2$ . Стало быть

$$H_{n1} = H_n \text{ и } H_{n2} = -H_n,$$

и т. о. последнее ур-ие принимает вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left[ \int_{S_1} H_n dS + \int_{S_2} H_n dS \right] &= \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \oint_S H_n dS = 0. \end{aligned} \quad (26)$$

Это ур-ие должно очевидно удовлетворяться для любой замкнутой поверхности  $S$ , ибо на всякой замкнутой поверхности можно провести замкнутый контур  $L$ , разбивающий ее на две ограниченные этим контуром части  $S_1$  и  $S_2$ . Аналогичным образом из ур-ия (24) получаем для произвольной замкнутой поверхности  $S$ :

$$4\pi \oint_S j_n dS + \frac{\partial}{\partial t} \oint_S E_n dS = 0. \quad (27)$$

Комбинируя это ур-ие с ур-ием непрерывности (8а), получаем

$$\frac{\partial}{\partial t} \oint_S E_n dS - 4\pi \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV = 0,$$

или

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[ \oint_S E_n dS - 4\pi \int_V \rho dV \right] = 0, \quad (28)$$

где  $V$  — объем, ограниченный поверхностью  $S$ .

Из (26) следует, что значение взятого по произвольной замкнутой поверхности интеграла

$\oint H_n dS$  постоянно во времени и ни при каких физических процессах изменяться не может. Приняв во внимание, что в отсутствии магнитного поля этот интеграл очевидно равен нулю, заключаем, что равенство

$$\oint_S H_n dS = 0 \quad (29)$$

осуществляется всегда и для всякой замкнутой поверхности  $S$ . Аналогичным образом из равенства (28) следует, что

$$\oint_S E_n dS = 4\pi \int_V \rho dV. \quad (30)$$

Ур-ие (30), выражающее т. н. теорему Гаусса, в случае электростатич. поля м. б. легко выведено из закона Кулона.

Действительно, пусть поверхность  $S$  представляет собой сферу радиуса  $R$ , в центре к-рой находится точечный заряд  $q$ . Поле  $E$  этого заряда направлено радиально, так что на поверхности сферы  $E_n = \pm E = \frac{q}{R^2}$  и следовательно

$$\oint_S E_n dS = \frac{q}{R^2} \oint_S dS = \frac{q}{R^2} \cdot 4\pi R^2 = 4\pi q,$$

что при любом радиусе сферы  $R$  совпадает с ур-ием (30). Исходя из закона Кулона, можно далее показать, что это ур-ие применимо не только к сфере, но и к любой замкнутой поверхности, охватывающей заряд  $q$ . Наконец при объемном распределении зарядов электрич. поле  $E$  складывается из полей отдельных элементов заряда  $dq = \rho dV$ , каждое из которых удовлетворяет последнему ур-ию. Основываясь на этом, можно доказать справедливость ур-ия (30) для произвольного Кулонова поля.

То обстоятельство, что правая часть ур-ия (29) в отличие от ур-ия (30) равна нулю, выражает собой тот факт, что в отличие от зарядов электрических никаких магнитных зарядов не существует. Пользуясь представлением об электрич. и магнитных силовых линиях, можно, как и известно, выразить содержание ур-ий (29) и (30) след. обр.: электрич. силовые линии начинаются на отрицательных и оканчиваются на положительных зарядах (направление силовых линий является конечно условным; при принятом выше условии о направлении вектора  $E$  нужно считать, что силовые линии исходят из положительных зарядов и оканчиваются на отрицательных), тогда как магнитные линии всегда замкнуты либо во всяком случае не имеют ни начала ни конца.

Система ур-ий электромагнитного поля. Система уравнений (20а) и (24), ур-ия непрерывности (8а) и закона Ома (18), а также непосредственно связанных с этими четырьмя ур-иями уравнений (29) и (30) охватывает собой всю совокупность (макроскопических) электромагнитных явлений в отсутствии диэлектриков и магнетиков (при условии неподвижности проводников). При указанных ограничениях макроскопич. теория  $\mathcal{E}$  сводится в сущности к исследованию этих законов электромагнетизма и к нахождению следствий, вытекающих из них для различных частных областей электромагнитных явлений (электростатика, постоянные и переменные токи, электромагнитные волны и т. п.). Все частные закономерности этих явлений, как например закон Кулона (1), закон Био-Савара (13) и т. д., являются простыми следствиями этих ур-ий поля. Мы приведем здесь еще раз систему уравнений (20а), (24), (29), (30) и (18), носящих название ур-ий Максвелла:

$$\oint_L E_1 dl = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \int_S H_n dS, \quad (I)$$

$$\oint_L H_1 dl = +\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \int_S E_n dS + \frac{4\pi}{c} \int_S j_n dS, \quad (II)$$

$$\oint_S E_n dS = 4\pi \int_V \rho dV, \quad (III)$$

$$\oint_S H_n dS = 0, \quad (IV)$$

$$I = \gamma E, \quad (V)$$

а также ур-ие непрерывности

$$\oint_S j_n dS = - \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV. \quad (VI)$$

[В предыдущем мы, исходя из (I), (II) и (VI), путем некоторых дополнительных рассуждений получили (III) и (IV). Обратное, из ур-ий (I)—(IV) непосредственно вытекает справедливость ур-ия непрерывности (VI)].

В том случае, если в проводниках действует помимо  $E$  также и сторонние эдс, которые можно охарактеризовать соответствующей напряженностью поля этих сил  $E_{стр.}$ , ур-ие (V) нужно дополнить след. обр.:

$$j = \gamma (E + E_{стр.}). \quad (V')$$

Заметим, что основные ур-ия электронной теории в общем совпадают с приведенными ур-иями Максвелла. Отличие заключается лишь в трех пунктах. Во-первых в электронной теории плотность тока выражается непосредственно через плотность и скорость зарядов (9а)

$$j = \rho v, \quad (Va)$$

во-вторых, зависимость плотности тока от поля выражается не феноменологическим ур-ием (V) и (V'), а определяется из (Va) и из ур-ий движения электронов и протонов, основывающихся на лоренцовом выражении силы (5):

$$\frac{d}{dt}(mv) = F = q \left[ E + \frac{1}{c} [vH] \right], \quad (Vb)$$

где  $m$  — масса заряда  $q$ . Наконец в электронной теории система уравнений (I)—(IV), (Va), (Vb) и (VI) предполагается справедливой всегда при всех условиях, и особенности электромагнитных явлений в различных весовых телах — проводниках, диэлектриках и т. д. — объясняются на основе рассмотрения сложной электронной структуры этих тел.

Дифференциальная форма уравнений поля (I)—(VI) носит характер интегральных соотношений и связывают напр. значения вектора  $H$  на произвольном контуре  $L$  со значениями вектора  $j$  во всех, вообще говоря, удаленных от этого контура точках поверхности  $S$ . Однако лишь форма этих ур-ий может представлять соответствующую представлениям теории дальнего действия. Простые математические преобразования позволяют выразить уравнения поля в дифференциальной форме, в которой непосредственно обнаруживается соответствие этих уравнений законам близкого действия.

Для записи этих дифференциальных уравнений удобно пользоваться обозначениями *векторного исчисления* (см.) и введенными там понятиями о дивергенции и вихре, или *роторе* (см.), данного вектора. Если  $A$  есть вектор, составляющие  $x$ -рого  $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$  являются непрерывными ф-лами координат, то дивергенция и вихрь вектора  $A$  называется скаляр, обозначаемый через  $\text{div } A$  и равный

$$\text{div } A = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}. \quad (31)$$

Далее, ротором, или вихрем, в вектора  $A$  называется вектор, обозначаемый через  $\text{rot } A$  (или  $\text{curl } A$ ), составляющие  $x$ -рого соответственно равны

$$\begin{aligned} \text{rot}_x A &= \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z}, & \text{rot}_y A &= \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x}, \\ \text{rot}_z A &= \frac{\partial A_x}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}. \end{aligned} \quad (32)$$

С помощью этих обозначений дифференциальные ур-ия, эквивалентные интегральным ур-иям (I)—(IV) и (VI), записываются след. обр.

$$\text{rot } E = - \frac{1}{c} \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (I')$$

$$\text{rot } H = \frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} j, \quad (II')$$

$$\text{div } E = 4\pi e, \quad (III')$$

$$\text{div } H = 0, \quad (IV')$$

$$\text{div } j = - \frac{\partial \rho}{\partial t}. \quad (VI')$$

Отметим еще раз, что уравнения (I)—(IV) и (VI) полностью эквивалентны ур-иям (I')—(IV') и (VI'); из каждого интегрального уравнения однозначно вытекает справедливость соответствующего дифференциального ур-ия и обратно.

Из этих ур-ий непосредственно явствует, что законы электродинамики носят характер законов близкого действия. Поля  $E$  и  $H$  в данной точке пространства  $P$  и в данный момент времени  $t$  однозначно определяются полностью движением зарядов и напряженностью поля, относящимся к смежным с  $P$  точкам пространства и к смежным с  $t$  моментам времени, вне всякой непосредственной  $и$  зависимости от состояния зарядов и поля в удаленных участках пространства или в предшествовавшие  $t$  отрезки времени. Ибо, с одной стороны, ур-ия (I')—(IV') устанавливают однозначную связь между значениями, которыми обладают величины  $e$  и  $j$  и производные от  $E$  и  $H$  по координатам и по времени в данной точке  $P$  в данный момент  $t$ , а с другой стороны, самые значения производных от  $E$  и  $H$  бесконечно близких к  $P$  точкам в бесконечно близкие к  $t$  моменты времени.

Скорость распространения поля и запаздывающие потенциалы. Уравнения поля, обладая характером законов близкого действия, вместе с тем м. б. рассмотрены и с несколько иной точки зрения. В предыдущем неоднократно подчеркивалось, что электрич. поле может возбуждаться не только непосредственно зарядами, но и изменениями поля магнитного и обратно. Однако в конечном счете источниками электромагнитного поля являются только заряды и их движение (токи проводимости, а не токи смещения). Другими словами, уравнения (I')—(IV') можно преобразовать так, чтобы поле в любой точке пространства определялось только распределением и движением зарядов. Однако при этом скажется то обстоятельство, что действие зарядов и токов распространяется не мгновенно, а с конечной скоростью  $c$ . Поэтому поле в данной точке  $P$  в момент  $t$  определяется не мгновенным распределением и движением зарядов в тот же момент  $t$  и в той же точке  $P$ , а распределением и движением зарядов во всем пространстве в предшествующие  $t$  моменты времени.

Результат такого преобразования выражается наиболее просто, если ввести в рассмотрение две вспомогательные величины — наз. *скалярный и векторный запаздывающие потенциалы* и  $A$ . С помощью этих величин напряженности поля  $E$  и  $H$  выражаются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} E &= - \text{grad } \varphi - \frac{1}{c} \frac{\partial A}{\partial t} \\ H &= \text{rot } A \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

где  $\text{grad } \varphi$  — *градиент* (см.) скаляра  $\varphi$ . С другой стороны,  $\varphi$  и  $A$  выражаются через плотность зарядов и токов  $e$  и  $j$  следующим образом:

$$\varphi(t) = \int e \left( \frac{t-R}{R} \right) dv;$$

$$A(t) = \frac{1}{c} \int j \left( \frac{t-R}{R} \right) dv, \quad (34)$$

где объемные интегралы д. б. распространены по всему бесконечному пространству. Смысл этих выражений таков. Чтобы определить напр. значение  $\varphi$  в точке  $P$  и момент  $t$ , нужно для каждого элемента пространства  $dv$  вычислить произведение

$$\frac{e \left( \frac{t-R}{R} \right)}{R} dv,$$

где  $R$  — расстояние этого элемента от рассматриваемой точки поля  $P$ , а  $e \left( \frac{t-R}{R} \right)$  — значение плотности  $\mathcal{E}$ , имевшей в этой точке в предшествующий  $t$  момент  $t - \frac{R}{c}$ . Сумма произведений этого вида по всему объему и даст исконое значение  $\varphi$ . Т. о. действие зарядов и токов, удаленных от  $P$  на расстояние  $R$ , сказывается в  $P$  лишь по прошествии промежутка времени  $R/c$ . Это значит, что электромагнитные действия зарядов и токов распространяются не мгновенно, а со скоростью  $c$ , равной скорости света.

Эквивалентные системе  $(I') - (V')$  у-рия (33) и (34) показывают, во-первых, что источником поля в конечном счете являются только заряды и их движение, и, во-вторых, что все электромагнитные действия распространяются с одинаковой конечной скоростью  $c$ .

Весьма существенно, что значение этой постоянной  $c$  м. б. определено двумя совершенно независимыми методами. Во-первых,  $c$  входит в уравнения (11) и (13), определяющие магнитное поле токов и силы, действующие со стороны данного магнитного поля на находящиеся в нем токи. Т. о. значение т. н. электродинамической постоянной  $c$  м. б. определено например путем измерения механич. или пьезоэлектрических сил взаимодействия постоянных токов. С другой стороны, значение  $c$  м. б. определено путем непосредственного измерения скорости распространения электромагнитных возмущений, напр. электромагнитных (в частности световых) волн. Совпадение результатов измерения с этими совершенно различными методами является одним из наиболее убедительных подтверждений всей современной теории  $\mathcal{E}$ . Пользование наряду с уравнениями  $(I') - (IV')$  также и уравнениями (33) и (34) характерно для современной теории  $\mathcal{E}$ . Фарадей-Максвелла теория сосредоточивала все внимание на поле, не приписывая зарядам никакой самостоятельной значимости. С точки зрения этой теории термин «заряд» являлся в сущности лишь кратким обозначением тех участков поля, в к-рых сумма

привоздных напряженности поля  $\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \text{div } E$  оказалась отличной от нуля [см. уравнение (III)].

Электронная же теория поставила заряд в его правах источника поля. Заметим в заключение, что электромагнитные потенциалы  $\varphi$  и  $A$  играют существенную роль также и в теории постоянного электромагнитного поля. В этом случае как  $e$  и  $j$ , так и  $\varphi$  и  $A$  от времени не зависят, и вычисление интегралов (34) значительно упрощается. Далее, в виду независимости  $A$  от времени, электр. поле согласно (33) однозначно определяется одним только скалярным потенциалом  $\varphi$ , а магнитное — только векторным потенциалом  $A$ . Т. о. электрическое и магнитное поле в этом случае оказываются независимыми друг от друга. Заметим, что в случае постоянного электр. поля

потенциал  $\varphi$ , определяемый у-рием (34), совпадает с потенциалом  $\varphi$ , определяемым из работы сил электр. поля [у-рие (16)].

Энергия электромагнитного поля. Поток энергии. Как уже указывалось выше, электромагнитные явления нами, вообще говоря, непосредственно не воспринимаются, так что судить о них мы можем только по сопровождающим их переходам энергии (механической, тепловой, химической и т. д.). Поэтому система у-рий поля приобретает физич. смысл лишь в том случае, если к ней присоединить выражение энергии электромагнитного поля. В теории Максвелла, базирующейся на у-риях  $(I') - (V')$ , выражение энергии поля не м. б. выведено из этих у-рий и д. б. постулировано независимо от этих у-рий на основе обобщения данных опыта. Напротив, исходя из у-рий электронной теории, отличающихся (в рамках рассматриваемой в этой главе области явлений) от у-рий Максвелла лишь заменой у-рия (I) или  $(I')$  на у-рия (Va) и (Vб), можно однозначно вывести выражение электромагнитной энергии без каких-либо добавочных допущений. Ибо, с одной стороны, у-рие (Vб) определяет силы, действующие на электрические заряды, а с другой стороны, с точки зрения электронной теории первым этапом перехода энергии поля в другие формы всегда является переход ее в механич. кинетич. энергию движения элементарных электр. зарядов, которая затем может уже в свою очередь переходить в энергию тепловую, химическую и т. д. Существенно, что энергия электромагнитного поля выражается одинаковым образом и в теории Максвелла и в электронной теории (в случае отсутствия диэлектриков и магнетиков).

Вывод этого выражения из у-рий электронной теории таков.

Сила, действующая на точный заряд  $q$ , выражается ф-лой Лоренца (5). Если не исходить из объемного распределения зарядов с плотностью  $\rho$ , то сила, действующая на находящийся в элементе объема  $dV$  элемент заряда  $dq = \rho dV$ , выразится очевидно аналогичной ф-лой:

$$f dV = e \left\{ E + \frac{1}{c} [vH] \right\} dV.$$

Работа, совершаемая этой силой за единицу времени, будет равна произведению ее на путь, проходимый зарядом в  $t$  сек., т. е. на  $v$ :

$$v f dV = e v E dV.$$

В выражение работы входит только  $E$ , ибо силы магнитного поля  $[vH]$  перпендикулярны перемещению заряда  $v$  и потому никакой работы не совершают. Наконец полная работа  $A$ , совершаемая силами электромагнитного поля в некотором объеме  $dV$  за единицу времени, равна сумме (или интегралу) работ, совершаемых в каждом его элементе  $dV$ :

$$A = \int_V e v E dV = \int_V j E dV \quad (35)$$

(см. у-рие Va). Пользуясь у-рием поля  $(I') - (II')$ , можно выразить плотность тока  $j$  через напряженности поля и затем привести (35) к след. виду:

$$A = - \frac{\partial}{\partial t} \int_V \frac{E^2 + H^2}{8\pi} dV - \frac{c}{4\pi} \oint_S [EH]_n dS, \quad (36)$$

где  $S$  — замкнутая поверхность, ограничивающая объем  $V$ . Из  $(II')$  следует:

$$j = \frac{c}{4\pi} \text{rot } H - \frac{1}{4\pi} \frac{\partial E}{\partial t}.$$

В векторном анализе доказывается, что для любых двух векторов  $E$  и  $H$  справедливо равенство

$$E \cdot \text{rot } H = H \cdot \text{rot } E - \text{div } [EH].$$

Стало быт

$$jE = \frac{c}{4\pi} H \text{rot } E - \frac{c}{4\pi} \text{div } [EH] - \frac{1}{4\pi} E \frac{\partial E}{\partial t}.$$

Вносил сюда значение rot  $E$  из (1'), получаем

$$JE = -\frac{1}{4\pi} \left( H \frac{\partial H}{\partial t} + E \frac{\partial E}{\partial t} \right) - \frac{c}{4\pi} \operatorname{div} [EH] = \\ = -\frac{1}{8\pi} \frac{\partial}{\partial t} (E^2 + H^2) - \frac{c}{4\pi} \operatorname{div} [EH].$$

Вносил это в (35) и приняв наконец во внимание, что согласно теореме Гаусса

$$\int_V \operatorname{div} [EH] dV = \oint_S [EH]_n dS,$$

получаем (36). Если ввести обозначения

$$W = \frac{1}{8\pi} \int_V [E^2 + H^2] dV \quad (37)$$

и

$$P = \frac{c}{4\pi} [EH], \quad (38)$$

то ур-ие (36) примет вид:

$$A = -\frac{\partial W}{\partial t} - \oint_S P_n dS. \quad (39)$$

Предположим сначала, что объем интегрирования  $V$  обнимает собой все электромагнитное поле (т. е. вообще говоря, все бесконечное пространство) и что последний член ур-ия (39), представляющий собою интеграл по (вобщем говоря, бесконечной) поверхности  $S$ , охватывающей это поле, равен нулю. Тогда ур-ие это примет вид:

$$A = -\frac{\partial W}{\partial t}.$$

Стало быть, работа сил электромагнитного поля за единицу времени равна убыли ф-ии  $W$  за то же время. А это и значит, что эта ф-ия  $W$  выражает собой э и е р г и о электромагнитного поля, за счет которой производится работа сил этого поля.

В том случае, когда мы рассматриваем нек-рый конечный объем  $V$ , не охватывающий собой всего поля, убыль находящейся в этом объеме энергии

$$W = \frac{1}{8\pi} \int_V (E^2 + H^2) dV$$

может обуславливаться не только затратой части этой энергии на работу  $A$ , но и выходом другой ее части, сохраняющей форму энергии электромагнитной, за пределы объема  $V$ . Иными словами, энергия поля может влиять в т. ч. и через границу поверхности  $S$  за пределы объема  $V$ . Так напр., электромагнитная волна, излучаемая каким-либо находящимся внутри  $V$  источником и распространяющаяся за пределы поверхности  $S$ , уносит с собой соответствующее количество поверхности электромагнитной энергии. Перепишем ур-ие (39) в форме

$$-\frac{\partial W}{\partial t} = A + \oint_S P_n dS,$$

мы убеждаемся, что убыль энергии  $-\frac{\partial W}{\partial t}$  действительно складывается из работы  $A$ , совершаемой внутри объема  $V$ , и из утечки энергии  $\oint_S P_n dS$  через границу этого

объема  $V$ . (Конечно величина этой утечки м. б. и отрицательной, если вектор  $P$  направлен в нутр. е. поверхности  $S$ , т. е. проекция его  $P_n$  на в е ш и ю нормаль и поверхности отрицательная; в этом случае энергия втекает извне внутрь объема  $V$ ). Но существу ее величина этой утечки зависит только от напряженностей поля  $E$  и  $H$  на границе объема  $V$  (ибо только ими согласно (38) и определяется значение  $P$  на этой границе).

Т. о. поток электромагнитной энергии, протекающий за единицу времени через замкнутую поверхность  $S$ , равен  $\oint_S P_n dS$ , причем вектор

$P$  определяется уравнением (38). Это положение выводится теоремой Пойнтинга, а вектор  $P$  — вектором Пойнтинга. Теорема Пойнтинга играет важнейшую роль при изучении всех процессов излучения электромагнитных волн.

Часто из теоремы Пойнтинга делается тот вывод, что в каждой точке поля поток энергии равен  $P$ , т. е. что через проходящую через данную точку поля площад-

ку в  $i$  см<sup>2</sup>, перпендикулярную вектору  $P$ , протекает за единицу времени в направлении этого вектора  $P$  единица энергии. Применение этого положения к произвольной замкнутой поверхности действительно приводит нас вновь и донаананому только что ур-ию (39). Однако положение это, позволяющее дать весьма простое и наглядное истолкование ряду явлений, выходит за пределы теоремы Пойнтинга, донаананой для э и е р г и о у т х поверхностей, и не м. б. строго обосновано. Ибо в каждой отдельной точке поля поток энергии может отличаться от  $P$  на нек-рую величину  $T$ , причем теорема Пойнтинга не будет нарушена, если только линия потока  $T$  замкнута и если таким образом поток  $T$  выносит на произвольного объема  $V$  столько же энергии, сколько и вносит в него.

Весьма существенно, что выражение энергии (37) и теорема Пойнтинга (39) дают возможность локализовать энергию в пространстве энергии электромагнитного поля, т. е. возможность указать, какое количество энергии находится в любом заданном объеме  $V$ . Этим теория поля существенно отличается от теории дальнего действия. Согласно последней напр. энергия взаимодействия двух зарядов  $q_1$  и  $q_2$ , находящихся на расстоянии  $R$  друг от друга, равна

$$W = \frac{q_1 q_2}{R} \quad (40)$$

и не м. б. однозначно локализована в определенных участках пространства, ибо она определяется относительноным положением этих удаленных друг от друга зарядов. Конечно численное значение энергии взаимодействия правильно выражается формулой (40), правда, лишь при условии неподвижности зарядов  $q_1$  и  $q_2$ , и самая ф-ла эта м. б. получена путем преобразования ф-лы (37). Действительно, пусть  $E_1$  и  $E_2$  — напряженности поля заряда  $q_1$  и поля заряда  $q_2$ , так что напряженность результирующего поля обоих зарядов равна  $E = E_1 + E_2$ . Тогда полная элетрич. энергия будет согласно (37) равна

$$W = \frac{1}{8\pi} \int (E_1 + E_2)^2 dV = \\ = \frac{1}{8\pi} \int E_1^2 dV + \frac{1}{4\pi} \int E_1 E_2 dV + \frac{1}{8\pi} \int E_2^2 dV.$$

Первый и последний члены этой суммы выражают т. наз. собственную энергию зарядов  $q_1$  и  $q_2$ , не зависящую от их взаимодействия. Так напр.,  $\frac{1}{8\pi} \int E_1^2 dV$  равно той работе, которую совершили бы силы взаимного отталкивания отдельных элементов заряда  $q_1$ , если бы эти элементы разлетелись в разные стороны и удалились в бесконечность. Понятно, что собственная энергия любого заряда всегда положительна. Член же

$$W_{12} = \frac{1}{4\pi} \int E_1 E_2 dV \quad (41)$$

очевидно существенно зависит от взаимного расположения зарядов  $q_1$  и  $q_2$  и выражает энергию их взаимодействия.

Пользуясь ур-иями поля, можно строго показать, что в случае «точечных» неподвижных зарядов выражение  $W_{12}$  сводится к (40). В частности при бесконечном удалении зарядов ( $R = \infty$ )  $W_{12}$ , как и выражение (40), обращается в нуль, ибо в этом случае там, где поле  $E_1$  заряда  $q_1$  отлично от нуля, поле  $E_2$  бесконечно удаленного заряда  $q_2$  равно нулю и обратно.

II. Электромагнитное поле в диэлектриках и магнетиках. С точки зрения электронной теории уравнения поля (1') — (1V') применимы ко всем электромагнитным явлениям. Однако при обыкновенном макроскопическом рассмотрении явлений нас интересуют не точные микроскопич. значения основных электромагнитных величин  $e, j,$

$E$  и  $H$ , существенно меняющиеся в весомах тел от атома к атому и даже в пределах одного и того же атома, а лишь средние макроскопич. значения этих величин. Макроскопическим значением какой-либо величины называется среднее ее значение в произвольном и физически бесконечно малом объеме. Так называются, в отличие от математических бесконечно малых, такие элементы объема, к-рые еще очень велики по сравнению с расстояниями между молекулами среды, а стало быть и по сравнению с микроскопич. неоднородностями среды и поля, но вместе с тем уже чрезвычайно малы по сравнению с макроскопич. неоднородностями. Другими словами, средние значения физич. величин ( $\rho$ ,  $J$ ,  $E$ ,  $H$  и т. д.) в любом из этих элементов должны бесконечно мало отличаться от средних значений тех же величин в смежных с ним элементах объема, в пределах же каждого элемента атомистич. структура среды должна полностью сглаживаться. Т. о. одна из задач теории состоит в нахождении уравнений макроскопич. поля путем усреднения их точных ур-ий поля ( $I^1$ )—( $IV^1$ ). Наиболее трудной частью этой задачи является нахождение среднего для данной среды значения плотности  $\mathcal{E}$ ,  $\rho$  и плотности тока  $J$ . При этом необходимо проводить различие, с одной стороны, между зарядами свободными и зарядами связанными, с другой стороны, между токами проводимости и токами молекулярными.

Свободными зарядами называются заряды, могущие под воздействием электрич. поля перемещаться в пределах данной среды по направлению действующих на них сил. Таковы т. наз. свободные электроны в металлах, ионы в растворах электролитов и т. д. Все же остальные заряды, входящие в состав нейтральных атомов или молекул или же в состав ионов, неподвижно закрепленных в определенных местах кристаллической решетки твердого тела, называются зарядами связанными. Эти определения отличаются от широко распространенной, но с современной точки зрения нерациональной терминологии, согласно которой наши свободные заряды носят название истинных (wahre), а свободными зарядами называется совокупность истинных и связанных зарядов. В отсутствии электрич. поля наличие связанных зарядов в данном веществе ни в чем непосредственно не проявляется (при макроскопическом его изучении), ибо действия зарядов противоположных знаков, находящихся в каждом элементе объема тела в равном числе, взаимно компенсируются. При возникновении же электрич. поля связанные заряды, хотя они и не могут перемещаться на расстояния макроскопич. порядка величины, смещаются в пределах каждого атома или молекулы тела по направлению действующих на них сил, причем заряды противоположных знаков смещаются в противоположные стороны. Это смещение связанных зарядов носит название поляризации диэлектрика. Благодаря этой поляризации средняя плотность связанных зарядов внутри диэлектрика может стать отличной от нуля, что в свою очередь естественно отражается на напряженности электрич. поля.

На первый взгляд может показаться, что если каждая молекула диэлектрика нейтральна, т. е. содержит в себе одинаковое количество зарядов противоположных знаков, то и средняя плотность связанных зарядов в диэлектрике должна равняться нулю. Выделим однако в ди-

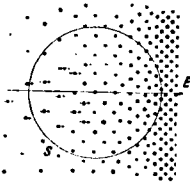
электрике поверхность  $S$  некоторый конечный объем  $V$ , размеры которого велики по сравнению с расстояниями между молекулами (фиг. 10). Вообще говоря, поверхность пересечет некоторое число молекул так, что одна из зарядов этих молекул окажется вне объема  $V$ , а другие внутри его. Поэтому, несмотря на то, что каждая молекула диэлектрика в целом нейтральна, общий заряд объема  $V$ , а стало быть и средняя плотность электричества в нем могут оказаться отличными от нуля. Если распределение зарядов во всех молекулах одинаково, то в среднем число отсеченных поверхностью  $S$  положительных зарядов молекул будет равно числу отсеченных ею отрицательных зарядов, и общий заряд внутри  $S$  будет в среднем равен нулю. Пусть однако в объеме существует внешнее электрич. поле, направленное напр. слева направо. Тогда положительные заряды молекул будут смещены вправо по отношению к отрицательным, так что левая часть поверхности  $S$  будет отсекают положительные заряды молекул, а правая ее часть — заряды отрицательные. Если к тому же смещение зарядов молекул справа больше, чем слева, напр. в виду возрастания электрич. поля, или если плотность молекул возрастает слева направо (этому случаю соответствует фиг. 10), то число отрицательных зарядов в объеме  $V$  будет превышать число зарядов положительных и общий заряд этого объема окажется отличным от нуля. Т. обр. при наличии внешнего электрич. поля средняя плотность связанных зарядов отлична от нуля, если только это поле неоднородно (т. е. различно в различных участках пространства) или если сам диэлектрик неоднороден.

Чтобы количественно определить плотность связанных зарядов, нужно предварительно познакомиться с количественной характеристикой электрического состояния нейтральной молекулы и нейтрального тела вообще. Такой характеристикой относительного распределения зарядов нейтральной молекулы служат ее электрический момент. Если  $q_1, q_2, q_3, \dots$  — элементарные заряды (элементарные и положительные ядра атомов), входящие в состав молекулы, а  $R_1, R_2, R_3, \dots$  — расстояния этих зарядов от произвольной начальной точки отсчета  $O$  (фиг. 11), то электрич. момент  $p$  молекулы называется векторная сумма

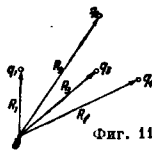
$$p = \sum_i q_i \cdot R_i. \quad (42)$$

Значение этого вектора  $p$ , как можно показать, не зависит от выбора точки  $O$ , если молекула нейтральна, т. е. если  $\sum q_i = 0$ . В частном случае, если молекула сводится к совокупности двух равных зарядов  $q_1$  и  $q_2$  противоположных знаков:  $q_2 = -q_1 = q > 0$  (т. наз. электрический диполь), то момент ее равен (фиг. 12)

$$p = q_1 R_1 + q_2 R_2 = q(R_1 - R_2) = ql, \quad (42a)$$

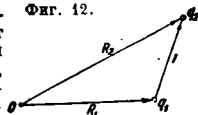


Фиг. 10.



Фиг. 11. неоднородно (т. е. различно в различных участках пространства) или если сам диэлектрик неоднороден.

Фиг. 12.



т. е. представляет собой вектор, направленный от отрицательного заряда молекулы к положительному. Вообще, если положительные и отрицательные заряды симметрично расположены около центра молекулы, то  $\mathbf{p} = 0$ ; если же положительные заряды в среднем смещены по отношению к отрицательным по какому-либо определенному направлению, то вектор  $\mathbf{p}$  будет направлен по этому направлению, а его численная величина будет являться мерой этого смещения. Поляризацией единицы объема диэлектрика  $\mathbf{P}$  называется векторная сумма электрических моментов всех молекул, находящихся в единице его объема:

$$\mathbf{P} = \sum \mathbf{p}, \quad (43)$$

или, точнее, сумма моментов молекул, находящихся в элементе объема  $dV$ , деленная на величину этого элемента

$$\mathbf{P} = \frac{\sum \mathbf{p}}{dV}. \quad (43a)$$

При отсутствии внешнего электрического поля поляризация диэлектрика  $\mathbf{P} = 0$ ; вообще же говоря, она пропорциональна средней макроскопической напряженности поля  $\mathbf{E}$ :

$$\mathbf{P} = a\mathbf{E}, \quad (44)$$

где «коэф. поляризуемости»  $a$  зависит от природы диэлектрика. Охарактеризованная выше зависимость средней плотности связанных зарядов  $\rho_{\text{св.з.}}$  от неоднородности поля и среды находит себе количественное выражение в след. ф-ле:

$$\bar{\rho}_{\text{св.з.}} = -\left(\frac{\partial P_x}{\partial x} + \frac{\partial P_y}{\partial y} + \frac{\partial P_z}{\partial z}\right) = -\text{div } \mathbf{P}. \quad (45)$$

Чертой сверху здесь и в дальнейшем мы обозначаем средние макроскопические значения данной величины. Обозначая далее через  $\rho_{\text{микро}}$  и  $\rho_{\text{своб.}}$  истинные микроскопические значения полной плотности зарядов и плотности зарядов свободных, мы т. о. получаем:

$$\bar{\rho}_{\text{микро}} = \bar{\rho}_{\text{своб.}} + \bar{\rho}_{\text{св.з.}} = \bar{\rho}_{\text{своб.}} - \text{div } \mathbf{P}. \quad (46)$$

Прежде чем перейти к вопросу о средней плотности токов, сделаем несколько предварительных замечаний. Магнитные свойства всякого элементарного замкнутого тока, т. е. поле этого тока и силы, действующие на него во внешнем поле, полностью характеризуются т. н. магнитным моментом  $\mathbf{M}$  этого тока. При этом ток называется элементарным, если выполнены два условия: 1) внешнее магнитное поле не меняется сколько-нибудь заметно в занимаемом током участке пространства и 2) возбуждаемое током поле рассматривается лишь в удаленных от него точках пространства, расстояние к-рых от тока значительно превышает его размеры. Вектор магнитного момента для линейного замкнутого тока силы  $I$  равен

$$\mathbf{M} = \frac{1}{c} IS, \quad (47)$$

где  $S$  — величина площадки, охватываемой током (для простоты предполагаем, что площадка эта плоская), причем вектор  $\mathbf{M}$  направлен перпендикулярно к площадке  $S$  и образует с направлением тока правинтовую систему. Если бы существовали магнитные заряды  $m$ , подобные зарядам электрическим и взаимодействующие между собой по закону Кулона  $F = m_1 m_2 / R^2$  (1), то по аналогии с диполем электрическим можно было бы говорить о диполе магнитном, состоящем из двух равных и противоположных по знаку магнитных зарядов  $m_1$  и  $m_2$ ;  $m_2 = -m_1 =$

$= m > 0$ . Магнитный момент  $\mathbf{M}$  такого диполя по аналогии с (42а) выразился бы ф-той

$$\mathbf{M} = ml, \quad (48)$$

где  $l$  — вектор, проведенный из отрицательного заряда диполя к положительному. Можно показать, что элементарный ток момента  $\mathbf{M}$  и в активном и в пассивном отношении (т. е. и в отношении возбуждаемого им поля и в отношении действующих на него сил) совершенно эквивалентен магнитному диполю того же момента  $\mathbf{M}$ . Этим именно и объясняется тот факт, что в 19 в. основные известные тогда магнитные свойства весоных тел могли успешно объясняться на основе предположения о существовании в молекулах этих тел магнитных зарядов и магнитных диполей. Хотя мы знаем теперь, что магнитные свойства молекул объясняются движением электрических зарядов в них, однако современная терминология магнетизма носит на себе еще отпечаток этой теории магнитных диполей. Заметим далее, что и магнитный момент  $\mathbf{M}$  единицы объема каково-нибудь тела называется векторной суммой магнитных моментов всех молекул (т. е. магнитных моментов всех молекулярных токов), находящихся в единице его объема,

$$\mathbf{I} = \sum \mathbf{M} \quad (49)$$

или, точнее, сумма моментов молекул, находящихся в элементе объема  $dV$ , деленная на величину этого элемента  $dV$

$$\mathbf{I} = \frac{\sum \mathbf{M}}{dV} \quad (49a)$$

[Сравни (43) и (43a)]. Очевидно, что намагниченность м. б. также названо магнитной поляризацией.

Переходя к вопросу о средней плотности токов в весоных телах, заметим, что токами проводимости в узком смысле слова (в широком смысле слова токи проводимости, или конвекционные, противопоставляются токам смещения и включают в себя токи молекулярные) называются обычные токи, обусловленные движением в проводниках свободных зарядов (свободных электронов, ионов и т. п.), тогда как токами молекулярными называются токи, обусловленные движением связанных зарядов в пределах каждой отдельной молекулы. Так как молекулярные токи всегда замкнуты в пределах отдельной молекулы, то средняя плотность их в каждой молекуле равна нулю:

$$\int_V \mathbf{j}_{\text{мо.л.}} dV = 0,$$

где  $V$  — объем молекулы. Это однако не препятствует тому, что средняя плотность молекулярных токов в пределах произвольного физического бесконечно малого объема  $V$  м. б. отличной от нуля, ибо пограничная поверхность  $S$  этого объема может рассекать на части ряд отдельных молекул. Рассуждения, совершенно аналогичные рассуждениям, приведенным выше для случая диэлектриков, приводят к следующему результату. Средняя макроскопическая плотность молекулярных токов след. обр. связана с намагничением среды  $\mathbf{I}$ :

$$\mathbf{j}_{\text{мо.л.}} = c \text{rot } \mathbf{I} \quad (50)$$

[см. ур-ие (32)]. Впрочем в этом выражении учтены лишь замкнутые постоянные молекулярные токи, от распределения которых только и зависит намагничение  $\mathbf{I}$ . Между тем перемен-

ное электрич. поле вызывает изменение поляризации тела  $P$ , т. е. соответствующие смещения связанных зарядов молекул; иными словами, оно возбуждает дополнительно к рассмотренным еще и переменные незамкнутые молекулярные токи. Средняя плотность их, как легко убедиться, равна  $\frac{\partial P}{\partial t}$ . Из (43а) и (42) следует

$$\int_V P dV = \sum V p = \sum V q_i R_i,$$

где последняя сумма д. б. распространена по всем элементарным связанным зарядам, находящимся в объеме  $V$ . Следовательно, если

$$V_i = \frac{dR}{dt}$$

есть скорость  $i$ -го заряда, то

$$\frac{d}{dt} \int_V P dV = \int_V \frac{dP}{dt} dV = \sum V q_i V_i = \int_V j dV$$

[ср. ур-ие (9)], откуда следует, что  $j = \frac{\partial P}{\partial t}$ . Полное выражение для  $J_{\text{мол.}}$  имеет вид

$$J_{\text{мол.}} = c \text{rot } I + \frac{\partial P}{\partial t}. \quad (50a)$$

Т. о. среднее макроскопич. значение полной истинной плотности токов  $J_{\text{микроскоп.}}$  равно сумме средних значений плотности токов проводимости  $J_{\text{пр.}}$  и токов молекулярных  $J_{\text{мол.}}$ :

$$J_{\text{микроскоп.}} = J_{\text{пр.}} + J_{\text{мол.}} = J_{\text{пр.}} + c \text{rot } I + \frac{\partial P}{\partial t}. \quad (51)$$

С помощью ф-л (46) и (49) легко уже найти искомые ур-ия макроскопич. поля. Действительно, усредняя ур-ия (I')—(IV') поля макроскопического по физически бесконечно малому объему, принимая во внимание, что среднее значение производных  $\frac{\partial E}{\partial t}$ ,  $\frac{\partial H}{\partial t}$  и т. д. равно соответствующим производным от средних значений  $E$  и  $H$ , и обозначая для краткости истинные микроскопич. значения величины звездочками ( $e^*$ ,  $j^*$ ,  $E^*$ ,  $H^*$ ), а их средние макроскопич. значения чертой сверху, получаем:

$$\text{rot } E^* = -\frac{1}{c} \frac{\partial H^*}{\partial t}, \quad (Ia)$$

$$\text{rot } H^* = \frac{1}{c} \frac{\partial E^*}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \bar{j}^* = \frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \bar{j}_{\text{пр.}} + 4\pi \text{rot } I + \frac{4\pi}{c} \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (IIa)$$

$$\text{div } \bar{E}^* = 4\pi \bar{q}^* = 4\pi \bar{q}_{\text{своб.}} - 4\pi \text{div } P, \quad (IIIa)$$

$$\text{div } H^* = 0. \quad (IVa)$$

Таковы искомые макроскопич. уравнения поля. Обычно они записываются в несколько иных обозначениях. Среднее значение напряженности микроскопич. электрич. поля называется в макроскопич. теории просто напряженностью этого поля и обозначается просто через  $E$ :

$$\bar{E} = E. \quad (52)$$

Вектор

$$D = \bar{E} + 4\pi P = E + 4\pi P \quad (52')$$

называется и н д у к ц и е й электрического поля (иногда также э л е к т р и ч. с м е щ е н и е м). Среднее значение напряженности микроскопич. магнитного поля называется однако не напряженностью магнитного поля, как следовало бы ожидать, а е г о и н д у к ц и е й и обозначается буквой  $H$ :

$$\bar{H}^* = H. \quad (52'')$$

тогда как напряженностью магнитного поля в макроскопич. теории называется следующий вектор, обозначаемый буквой  $H$ :

$$H = \bar{H}^* - 4\pi I = B - 4\pi I. \quad (52''')$$

Это нерациональное с современной точки зрения наименование магнитных величин взято из старых теорий магнетизма, основывавшихся на представлении о существовании особых магнитных зарядов. Наконец в макроскопической теории величина  $\bar{j}_{\text{пр.}}$  и  $\bar{q}_{\text{своб.}}$  обозначаются просто через  $q$  и  $j$ .

В этих обозначениях ур-ия (Ia)—(IVa) после некоторых простых преобразований приобретают вид:

$$\text{rot } E = -\frac{1}{c} \frac{\partial B}{\partial t}; \quad (Ib)$$

$$\text{rot } H = \frac{1}{c} \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} j; \quad (IIb)$$

$$\text{div } D = 4\pi q; \quad (IIIb)$$

$$\text{div } B = 0. \quad (IVb)$$

Эта система ур-ий не будет однако полной, т. е. не будет однозначно определять течение электромагнитных процессов по заданным начальным значениям характеризующих поле величин, если ее не дополнить нек-рыми ур-иями, устанавливающими дополнительные соотношения между этими величинами. Связь между  $j$  и  $E$  устанавливается попрежнему ур-ием (V3):

$$j = \gamma (E + E_{\text{стор.}}). \quad (Vb)$$

Далее из (50a) и (42) следует:

$$D = E + 4\pi P = (1 + 4\pi a) E \quad (VIIa)$$

или

$$D = \epsilon E, \quad (VIIb)$$

где коэффициент  $\epsilon = 1 + 4\pi a$  носит название д и э л е к т р и ч е с к о й п о с т о я н н о й (диэлектрическая проницаемость среды) и наряду с  $\gamma$  характеризует собой электрические свойства данного вещества. Что же касается связи между  $H$  и  $B$ , то в ферромагнитных телах (железо, никель и т. п.) никакого однозначного соотношения между  $H$  и  $B$  не имеется. Вообще электромагнитные явления в ферромагнитах по своей сложности выходят за пределы Максвелловой теории поля. В неферромагнитных телах намагниченение  $I$  пропорционально полю  $H$ :

$$I = kH, \quad (53)$$

причем в зависимости от знака коэф-та  $k$ , имеющего магнитной восприимчивость  $\chi$ , различаются тела парамагнитные ( $k > 0$ ) и диамагнитные ( $k < 0$ ). Из (53) и (52''') следует:

$$B = H + 4\pi I = (1 + 4\pi k) H,$$

или

$$B = \mu H, \quad (VIII)$$

причем коэф.  $\mu = 1 + 4\pi k$  носит название магнитной проницаемости и характеризует собой магнитные свойства данного вещества. Ур-ия (Ib)—(Vb) и (VIIb)—(VIIIb) представляют собой систему ур-ий макроскопич. поля в указанном выше смысле слова и носят название ур-ий Максвелла для весомых тел. Полагая в этих ур-иях  $\epsilon = 1$  и  $\mu = 1$ , мы в качестве частного случая их вновь получаем наши исходные макроскопич. ур-ия поля.

Наиболее существенное значение имеют следующие отличия ур-ий Максвелла для весомых

тел от урий микроскопических. Во-первых, из сравнения урий (16) с (1а) и с (1) следует, что:

$$\oint_{\gamma} E_i dl = - \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \int_{S} B_n dS, \quad (54)$$

т. е. что эдс индукции в произвольном контуре  $L$  определяется не изменениями магнитного потока  $\int H_n dS$ , а изменениями потока магнитной индукции через этот контур. Этим именно обстоятельством обуславливается та роль, какую играет в электротехнике железо (сердечники трансформаторов, обмоток генераторов и моторов и т. д.), так как в ферромагнитных телах магнитная индукция  $B$  достигает, как известно, значительно больших значений, чем в неферромагнитных. Во-вторых, урия постоянного электричества, поля в однородном диэлектрике (т. е. при  $\epsilon = \text{const}$ ) принимают вид [см. также (VII6)]:

$$\text{rot } E = 0 \text{ и } \text{div } D = \text{div } \epsilon E = \epsilon \text{ div } E = 4\pi q,$$

или

$$\text{div } E = \frac{4\pi q}{\epsilon}.$$

Сравнивая эти урия с уриями постоянного электричества в вакууме [см. (1а) и (11а)]

$$\text{rot } E = 0, \text{ div } E = 4\pi q,$$

убеждаемся, что при наличии диэлектрика и тех же свободных зарядов  $q$  поле в однородном диэлектрике в  $\epsilon$  раз слабее, чем в вакууме (это положение к неоднородному диэлектрику совсем не применимо). Этим объясняется например значение диэлектриков при конструкции конденсаторов: заполнение диэлектриком пространства между обкладками конденсатора уменьшает напряженность электрического поля, а стало быть и разность потенциалов между обкладками, и тем самым увеличивает емкость конденсатора и уменьшает опасность пробоя.

Для полного охвата макроскопич. электромагнитных явлений необходимо дополнить уравнения Максвелла выражениями, определяющими величину сил, испытываемых помещенными в поле телами. Сила, действующая на неподвижный заряд  $q$ , попрежнему определяется ф-лой (2)

$$F = qE.$$

Сила, действующая на элемент тока проводимости  $J dV$  или  $I dl$ , получается из урия (14а) путем усреднения по физически бесконечно малому объему. Приняв во внимание (52'), получаем вместо (11а)

$$F = \frac{I}{c} [dl, B]. \quad (55)$$

Наконец путем рассмотрения электронной структуры диэлектриков можно показать, что электрич. поле стремится вытянуть их в области максимальной напряженности поля вне всякой зависимости от направления поля. Этим напр. объясняется притяжение кусочков бумаги или бумажных шариков заряженными телами. Аналогично этому парамагнетики вытягиваются магнитным полем в области максимальной его напряженности, тогда как диамагнетики, наоборот, выталкиваются из этих областей. Урия Максвелла являются основными уриями электротехники и в общем и целом вполне правильно описывают все основные макроскопич. электромагнитные явления. Однако можно указать целый ряд таких явлений, для объяснения которых Максвелловы урия оказываются недостаточными (дисперсия света, магнетомеханика явления и т. д.).

Лит.: Эйхенвальд А., Электричество, 3 изд., М.—Л., 1933; Полюс Р., Введение в современное уче-

ние об электричестве, пер. с нем., 3 изд., М.—Л., 1933; Тамм И., Основы теории электричества, т. 1, 2 изд., М.—Л., 1932; Абрахам М., Веккер Г., Theorie d. Elektrizität, Лpz.—В., 1925—30; Соулз Е., Das elektromagnetische Feld, 2 Aufl., В., 1927; Глейс К. I.; Lehrbuch d. Elektrodynamik, В., 2, Berlin, 1926—28; Whittaker E., A History of the Theories of Electricity, L., 1910. И. Тамм.

**ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ТЯГОВЫЙ**, *электро-двигатель* (см.), установленный на подвижном составе рельсового и беврельсового транспорта, приводящий этот состав в движение. Условия, в которых работают Э. т., значительно тяжелее условий работы стационарной электромашин, т. к. на работу Э. т. влияет сложный комплекс специфических условий тяги: состояние пути, подвижного состава и токоснабжения, атмосферные условия, квалификация водителя и поездной бригады. Эти характерные моменты непосредственно влияют на Э. т., требуя большой электрической и механической прочности. Размещение на подвижном составе ограничивает габарит и вес двигателя. Э. т. должен удовлетворять следующим условиям: 1) конструктивная простота и незначительный уход в эксплуатации; 2) экономическое регулирование скорости в пределах, требуемых данным родом движения; 3) большой пусковой и перегрузочный момент. «Идеальный» Э. т. должен кроме указанных требований удовлетворять еще следующим: 4) питание однофазным током нормальной частоты; 5) отсутствие коллектора; 6) компенсация сдвига фаз. Применяемые в тяге двигатели: 1) постоянного тока, 2) однофазные коллекторные пониженной частоты, 3) асинхронные трехфазные и однофазные (с промежуточным ротором) не отвечают всем требованиям, предъявляемым к «идеальному» тяговому электродвигателю.

Характеристика Э. т. может быть серийной, компаундной и шунтовой. а) Серийные Э. т. (постоянного тока, коллекторные однофазные) имеют наибольшее распространение. Это следует приписать в первую очередь меньшей «перегрузаемости» серий-Э. т. Двигатель дает тот же перегрузочный крутящий момент, потребляя меньшую, чем шунтовой и компаундный, мощность за счет снижения скорости вращения. Это обстоятельство, существенно важное в первые периоды развития электротяги при питании дорог от слабых энергосистем, утратило в настоящее время смысл. Наличие жесткого «электрического» графика движения и шунтировки поля исключает саморегулирование нагрузки (скорости) двигателем [40]. Серий-характеристика имеет следующие достоинства: 1) Равномерное распределение нагрузки между парно работающими Э. т., приводящими в движение отдельные оси. Неодинаковые износы бандажей и получающаяся отсюда разница в оборотах мало влияет на распределение нагрузки [1]. 2) Момент двигателя не зависит от напряжения в контактной сети. 3) Для Э. т. постоянного тока кроме того при отрыве токоприемника и обратном его включении толчок тока смягчается быстрым намагничиванием двигателя от этого толчка. Это улучшает коммутацию при неизбежных в практике отрывах. 4) Устойчивость поля мотора, т. е. отношение ампер-витков возбуждения к ампер-виткам ротора, поддерживается постоянным при всех режимах. Это улучшает коммутацию. Недостатком серий-характеристики является неустойчивая работа серий-генератора на сеть. Поэтому при рекуперации серий-Э. т. получают независимое возбуждение от специального агре-



гата. б) Шунтовая характеристика (асинхронные Э. т.) имеет большое достоинство легкого автоматическ. перехода на рекуперацию, которая не требует специальных сложных устройств. Недостатки характеристики: 1) неравномерное распределение нагрузки между двигателями разных осей (отклонение в числе оборотов  $\pm 5\%$  может дать отклонение в нагрузке  $\mp 50\%$  и выше [1]); 2) момент двигателя зависит от напряжения; 3) для шунтового Э. т. постоянного тока кроме того при отрыве токоприемника и обратном его включении ток в роторе восстанавливается быстрее тока возбуждения. В первые моменты Э. т. работает с большим током в роторе и слабым возбуждением (устойчивость). Подобный режим порождает дуговые перебои — «круговой огонь» по коллектору; 4) значительные габарит и коэф. индуктивности катушек, ватруняющий работу аппаратуры. в) Компаундная характеристика (постоянный ток) позволяет вести рекуперацию без установки специального агрегата возбуждения. Последнее особо важно для подвижного состава типа троллейбуса и трамвая. В зависимости от соотношения серьезных и шунтовых ампер-витков компаундный Э. т. приближается к той или другой характеристике.

Нормы определения мощности и испытания Э. т. (IX ВЭС и МЭК) [4]. Работоспособность Э. т. характеризуется: 1) мощностью часовой, продолжительной и максимальной, 2) максимальным числом оборотов, 3) характеристиками [обороты (скорость), момент (усилие тяги), кпд] в функции тока, построенными для всех ходовых ступеней в пределах двойной часовой ток — двойная часова скорость (при  $l^\circ$  оборот на  $15^\circ$  ниже предельной, табл. 1). Часовая (номинальная) [4] мощность есть та наибольшая мощность на валу, при которой Э. т. может работать на стане при закрытых люках и нормальной вентиляции в течение часа без того, чтобы превышение  $l^\circ$  какой-либо его части превзошло допустимый предел (табл. 1). Длительная мощность есть та наибольшая мощность на валу, к-рую мотор может развивать на стане (в условиях, аналогичных предыдущему) длительно без того, чтобы установившееся превышение  $l^\circ$  какой-либо его части превзошло допустимую величину (табл. 1).

Табл. 1. — Допускаемое превышение температуры в Э. т. (IX ВЭС, МЭК).

Деталь	Изоляц. класс	Метод измерения	Наиб. допуск. перегрев, $^\circ\text{C}$	
			Часовой режим	Длит. режим
Обмотки ротора и возбуждения	A	По сопротивл. По термометру	100 75	85 65
	B	По сопротивл. По термометру	120 85	105 85
Коллектор Подшипник	—	По термометру По термометру	90 55	85 55

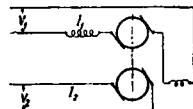
$l^\circ$  окружающей среды  $< 25^\circ$ ; высота над уровнем моря  $< 1000$  м.

Испытание на часовой и длительный режим вентиляторных Э. т. ведется при номинальном напряжении. Испытание невентиляторных (закрытых) Э. т. на длительную мощность ведется при напряжениях 0,5 и 0,75 номинала (ВЭС, МЭК). При питании через трансформатор номи-

нальное напряжение равно 0,9 от максимального вторичного напряжения при холостом ходе (МЭК). Измерение температуры производится или термометром или по методу сопротивления по формуле

$$t_2 - t_0 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (234,5 + t_1) + t_1 - t_0, \quad (1)$$

где  $t_0$  — темп-ра окружающего воздуха к концу испытания,  $t_2$  — темп-ра обмотки к концу испытания,  $t_1$  — темп-ра холодной обмотки в момент измерения  $R_1$ ,  $R_2$  — сопротивление обмотки к концу испытания,  $R_1$  — сопротивление холодной обмотки. Испытание на максимальную мощность производится (ВЭС, МЭК) в течение 60 сек. при двойном часовом токе. После испытания Э. т. должен без каких-либо подтоков быть готовым к нормальной работе. По МЭК Э. т. проходит «пусковые испытания», когда через неподвижный Э. т. пропускается ток 1,7-часового в течение 60 сек. для Э. т. постоянного тока и 10 сек. для коллекторного Э. т. переменного тока. После этого испытания у Э. т. постоянного тока не д. б. подтоков коллектора, а у Э. т. коллекторного м. б. не мешающие работе подтоки. Асинхронный Э. т. испытывается включением неподвижного двигателя на номинальное напряжение. Испытание на «равнос» (максимальное число оборотов) производится в течение 2 минут при скорости 1,1 от максимальной конструктивной скорости (ВЭС) и 1,25 от максимальной конструктивной скорости (МЭК). Для Э. т., работающих в последовательном включении на отдельные оси, МЭК предусматривает испытание при скорости 1,35 от максимальной конструктивной (боксование). Коэффициент полевого действия двигателя может быть определен прямым и косвенным методом. Прямое определение кпд производится по схеме (фиг. 1)



Фиг. 1.

$\eta = \frac{V_1 I_1 + V_2 I_2 - R(I_1 + I_2)(I_1 - I_2)}{2V_1 I_1}$ , (2)

где  $R$  — сопротивление якоря мотора. Испытания изоляции производится на нагревом двигателя синусоидальным переменным током 50 Гц. Один полюс источника тока присоединяется к испытуемой обмотке, другой к остальным обмоткам и корпусу. Испытательное напряжение постепенно повышается до большей из величин 3E и 2E + 1 000 В (ВЭС) и держится в течение 60 сек. По МЭК испытательное напряжение может иметь частоту от 25 до 100 Гц и величину 2E + 1 500 В, но не ниже 2 500 (где E — номинальное напряжение между обмоткой и корпусом), а в отдельных случаях 4E.

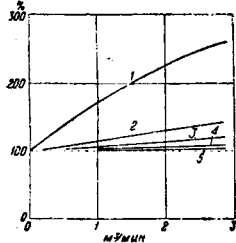
Вентиляция Э. т. зависит от условий работы. Э. т. выполняются: закрытые, невентиляционные, с самовентилицией, с принудительной вентиляцией. Закрытые Э. т. находят применение во взрывоопасных установках, при наличии разъедающих паров, пыли и влаги, угрожающих изоляции. По мере совершенствования изоляционной техники эти Э. т. вытесняются вентиляторными. Самовентилиция применяется при быстроходных Э. т. трамподески с мощностями до 150—200 kW, когда применение вентиляторного агрегата неудобно (трамвая, троллейбус, моторный вагон). Принудительная вентиляция от специального агрегата позволяет вложить в габарит наибольшую мощность и имеет наибольшее распространение у Э. т. магистраль-

ной тяги. Эффективность вентиляции характеризуется соотношением

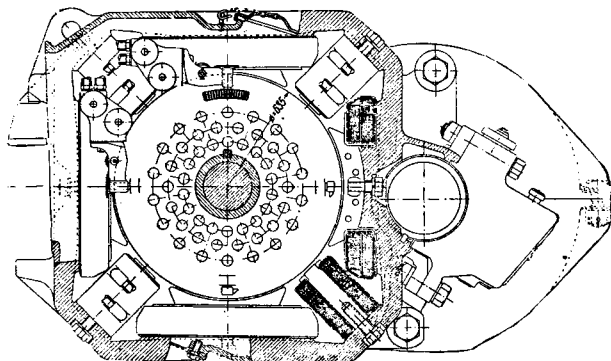
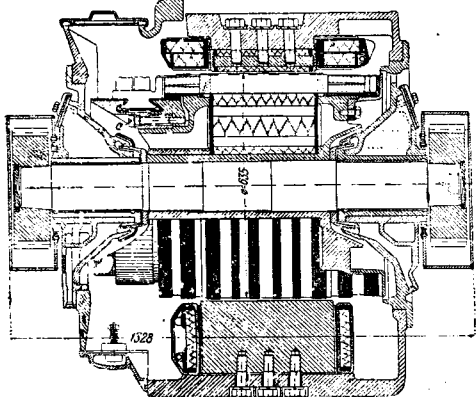
$$k_e = \frac{\text{длительный ток}}{\text{часовой ток}}$$

и в зависимости от типа вентиляции м. б. взята следующая: для закрытой вентиляции  $k_e = 0,4 \div 0,5$ , для самовентиляции  $k_e = 0,6 \div 0,7$  и для принудительной вентиляции  $k_e = 0,8 \div 0,9$ .

Количество воздуха на 1 kW потерь при длительном режиме составляет 1—2 м<sup>3</sup>/мин при самовентиляции и 2,5—3,5 м<sup>3</sup>/мин при принудительной вентиляции. Повышение количества вентилярующего воздуха сверх 3,5 м<sup>3</sup>/мин нецелесообразно, т. к. сильно увеличивает потери на вентиляцию, не вызывая особого охлаждающего эффекта. Зависимость мощности от количества воздуха, продуваемого через Э. т., иллюстрируется кривыми фиг. 2,



Фиг. 2.



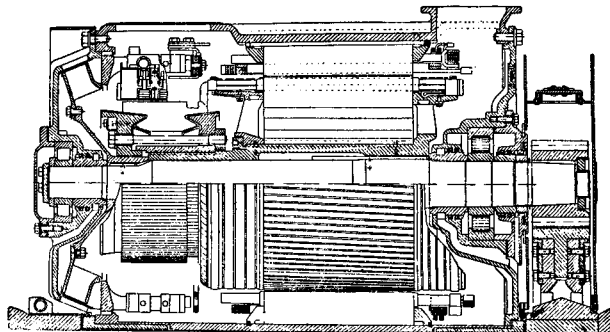
Фиг. 3.

где кривая 1—длительная мощность, 2—60-минутная мощность, 3—30-минутная, 4—10-минутная, 5—5-минутная. Влияние вентиляции на кратковре-

менную мощность незначительно, т. к. прогрев теплодающих поверхностей при кратковременной нагрузке невелик и на повышение  $t^{\circ}$  влияет не теплоотдача, а теплоемкость мотора. Поскольку однако чем сильнее вентилярован мотор, тем меньше вес и теплоемкость, перегрузочная способность сильно вентиляруемых моторов меньше, чем закрытых и слабо вентиляруемых [8]. Количество охлаждающего воздуха самовентилирующего мотора прямо пропорционально числу оборотов. Вентиляционные схемы Э. т. постоянного тока изображены на фиг. 3 (Э. т. 340 kW, 605 об/мин., 1500/3 «00 V») [4]. При принудительной вентиляции применяется обычно параллельная схема. Нагнетаемый в мотор воздух разделяется на два пути. Одна часть его (приблизительно 1/3) проходит под якорь, другая часть проходит между катушками. Для возможности регулирования воздухораспределения устройства устанавливаются или раздельный выход струй или между катушками ставятся деревянные бруски, уменьшающие сечение. Подачу воздуха целесообразнее устраивать с противоположной коллектору стороны. Самовентиляционные Э. т. обычно конструируются с параллельной всасывающей вентиляцией. Вентилятор может находиться или со стороны коллектора или же с противоположной стороны. Термически обе схемы равноценны. Однако последняя схема имеет некоторые конструктивные преимущества. Вентилятор м. б. однокамерным или двухкамерным. Последовательная вентиляция применена фирмой «Дженерал Электрик» для высоковольтных моторов Лакаванской ж. д. [42]. При этой схеме воздух забирается с крыши вагона и просасывается под якорем. Далее воздух нагнетается в пространство между якорем и остовом и выбрасывается на стороне входа наружу. При этой схеме в Э. т. не получается вакуума, что гарантирует от попадания воздуха и влаги с полотна внутрь мотора. Эта схема требует большого давления и может выполняться только у быстроходных Э. т. Для высоковольтных Э. т. особое значение приобретают чистота охлаждающего воздуха и отсутствие в нем металлич. пыли и влаги. Поэтому забор воздуха для вентиляции высоковольтных Э. т. производится или из кузова или с крыши вагона. Вентиляционные схемы коллекторных Э. т. переменного тока несколько сложнее,

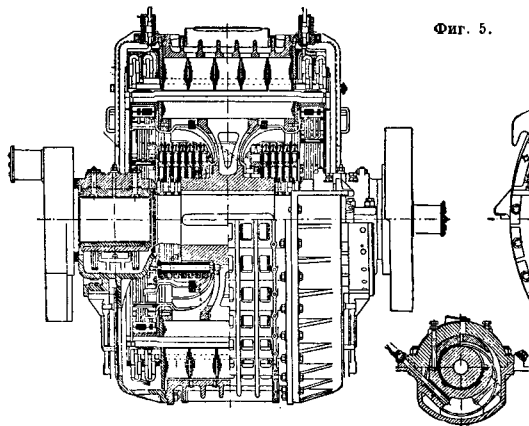
так как распределение потерь в объеме двигателя иное, чем у Э. т. постоянного тока. Однако и здесь в большинстве случаев применяется параллельная схема (фиг. 4—однофазный сериес-двигатель 209 kW, 1700 об/мин., 345 V, 16 2/3 Hz). Двигатели небольшой мощности с самовентиляцией выполняются с параллельной всасывающей вентиляционной схемой и вентилятором со стороны коллектора. Последнее диктуется тем обстоятельством, что у Э. т. переменного тока происходит значительное выделение щеточной и медной пыли, подлежащей уносу из двигателя. Одна часть воздушного потока проходит под якорь. Другая омывает головки статорной обмотки, спинку и каналы статора, головки со стороны коллектора, коллектор и через вентилятор выходит наружу. При принудительной вентиляции применяется аналогичная схема. Для Э. т., расположенных на раме, устраи-

вается раздельный вход воздуха под якорь и в статор. Направление струй здесь целесообразно устраивать встречное, впуская воздух под якорь



Фиг. 4.

со стороны коллектора и в статор с обратной стороны. Часто применяется комбинированная само- и принудительная вентиляция. Асинхронные Э. т. выполняются с принудительной вентиляцией и радиальными каналами в статоре и роторе (фиг. 5—асинхронный Э. т. 1 200 kW, 250 об/мин., 3 600 V,  $16\frac{2}{3}$  Hz). Перепады дав-



Фиг. 5.

ления в моторе с принудительной вентиляцией колеблются в пределах 40—100 мм Н<sub>2</sub>O. Потери давления от местных сопротивлений в Э. т. могут быть подсчитаны по специальным таблицам [6].

Нагрев обмоток Э. т. подчиняется классич. законам нагревания однородного тела [7, 8]. При  $I$  и  $E = \text{Const}$  перегрев в ф-ле времени выражается ф-лой

$$\tau = \tau_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{T}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{\Delta t}{T}}, \quad (3)$$

где  $\tau$  — перегрев обмоток за период времени  $\Delta t$ ;  $\tau_{\infty}$  — установившийся перегрев и  $T$  — постоянная времени при данных  $I$  и  $E$ ;  $\tau_0$  — начальный перегрев. Влияние режима работы ( $I$  и  $E$ ) на перегрев м. б. учтено, если положить

$$\tau_{\infty} = \frac{I^2}{B}, \quad (4)$$

где  $B$  — эквивалентная теплоотдача двигателя

W/°C при данном режиме. Поскольку в этой ф-ле нагревание полагается зависящим от квадрата тока (омические потери), то коэф.  $B$  должен

учитывать влияние магнитных потерь и не является физич. теплоотдачей. Коэффициенты  $B$  и  $T$  меняются в функции скорости. Для определения  $B = f(v)$  з-дом д. б. даны длительные мощности при нескольких напряжениях (скоростях). Для определения  $T$  исходят из ур-ия

$$\tau_2 = \frac{I_2^2}{B_2} \left(1 - e^{-\frac{60}{T_2}}\right), \quad (5)$$

откуда

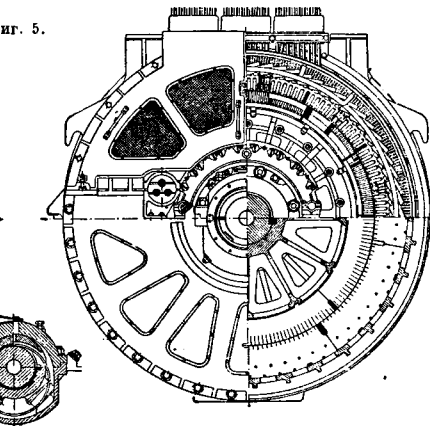
$$T_2 = \frac{60}{2,3 \lg \left(1 - \frac{\tau_2 B_2}{I_2^2}\right)}. \quad (6)$$

Здесь  $\tau_2$  — перегрев при часовом токе,  $B_2$  — эквивалентная теплоотдача, определенная по построенной кривой  $B_2 = f(v)$  при  $v = v_{\text{час}}$ .

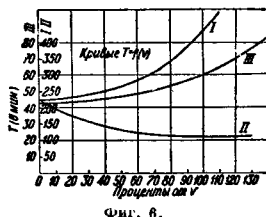
Вследствие того что

$$B \cdot T = A, \quad (7)$$

где  $A$  — теплоемкость,  $T = \frac{A}{B}$ , откуда м. б. построена зависимость  $T = f(v)$ . Приблизительная зависимость указана на фиг. 6 (кривая I — для закрытых Э. т., II — для Э. т. с самовентилля-



цией, III — для Э. т. с независимой вентиляцией). Этот простой метод, указываемый во всех классич. трудах по электрич. тяге, дает однако



Фиг. 6.

грубые ошибки, тем большие, чем значительнее уд. в. магнитных потерь [9]. Более точно перегрев м. б. определен, если положить [10] для обмоток

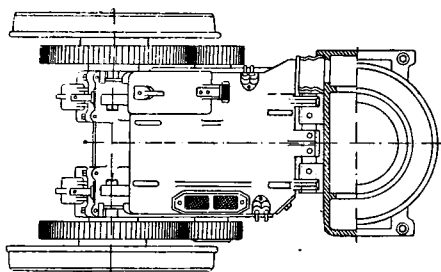
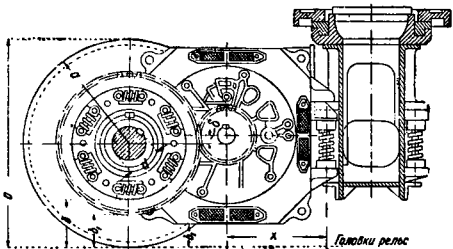
ротора (и статора у Э. т. переменного тока)

$$\tau_{\infty} = \frac{I^2 R_0 + W_{жс}}{B - I^2 R_{0a}}; \quad (8)$$

для катушек полюсов Э. т. постоянного тока

$$\tau_{\infty} = \frac{I^2 R_0}{B - I^2 R_{0a}}. \quad (9)$$

Здесь  $W_{жс}$  — греющие железные потери при данных  $I$  и  $E$ ;  $\alpha$  — температурный коэф. материала обмотки;  $R_0$  — сопротивление соответствующей обмотки (холодное);  $B$  — физическая теплоотдача,



Фиг. 7.

зависящая исключительно от вентиляции. Для Э. т. с принудительной вентиляцией при  $E = \text{Const}$  установившиеся перегревы относятся:

$$\frac{\tau_{\infty}}{T_{\infty}} = \left( \frac{I_{\infty}}{I} \right)^{1.5}. \quad (10)$$

Конструкция и габарит Э. т. определяются принятой системой передачи крутящего момента и подвески Э. т. Выбор этой системы решает вопрос о количестве Э. т. и наличии редуктора. Тем самым определяется мощность и степень быстроходности Э. т. Вопрос о концентрации мощности в одном-двух или многих Э. т. зависит от характеристики Э. т. При Э. т. с сериес-характеристикой в современной технике ясно намечается тенденция к применению индивидуального привода, когда каждая ось приводится от одного-двух Э. т. При этом получаются легкие быстроходные Э. т. Удешевляются производство и эксплуатация. Удешевляется оборудование депо [11]. Дробление мощности облегчает применение редукторов, входящих в большинство систем индивидуального привода. При Э. т. с шунтовой характеристикой плохое распределение нагрузок заставляет концентрировать мощность в немногих Э. т., приводящих в движение группу осей. Концентрация мощности приводит часто к отказу от включения редукторов. Из большого разнообразия

систем индивидуального привода отметим следующие: 1) Трамвайный привод. Э. т. с помощью разъемного «моторно-осевого» подшипника опирается на скат и другой стороной через пружины на раму (фиг. 7). Шестерня на валу двигателя сцеплена с зубчаткой, сидящей на оси ската. Максимальный размер зубчатки и передаточное число ограничиваются нормированным расстоянием от нижней точки кожуха передачи до головки рельса  $b_1$ . Этот размер при неизменных бандажах д. б. не меньше 120 мм по габариту НКПС-2В и 100 мм для трамваев (у амер. трамваев  $b_1$  доходит до 70 мм). Централь  $a$  связана с diam. ротора  $D_a$  эмпирич. соотношением:

$$D_a = (1 \div 1,16)a. \quad (11)$$

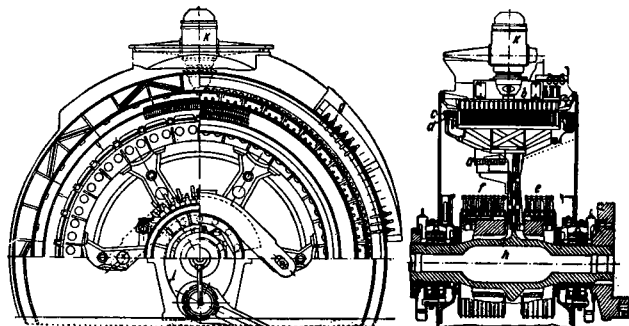
Увеличение diam. колес дает возможность увеличить зубчатку, центральный и diam. ротора. Характерные соотношения трамвайного привода даются ф-лой [12]:

$$D_a = \frac{D - (2b + 2s + d)}{1 - \frac{v_{max}}{3,6v_{amax}} \left(1 - \frac{2b}{D}\right)}. \quad (12)$$

В этой ф-ле  $b$  — расстояние от головки рельса до начальной окружности зубчатки,  $s$  — расстояние от поверхности ротора до поверхности оси ската,  $v_{max}$  — максимальная скорость на окружности колеса км/ч,  $v_{amax}$  — максимальная скорость на окружности ротора м/сек. При проходе неровности пути перемещения ската вызывают перемещения ц. т. двигателя и угловое ускорение ротора (закручивание). Чем больше эта величина, тем значительнее усилия в моторно-осевом подшипнике на зубцах редуктора и воздействие мотора на путь (и обратно). Уменьшение расстояния  $x$  уменьшает смещения ц. т. и увеличивает угловые ускорения. Наивыгоднейшее расстояние зависит от передаточного числа, махового момента ротора, наличия пружин в передаче и колеблется от  $x = \frac{a}{2}$  при достаточно мягкой пружинной передаче до  $x = \frac{a}{2} \left(1 + \frac{u^2}{16}\right)$  (при беспружинной передаче), где  $u$  — передаточное число [13]. Ц. т. мотора располагают обычно выше горизонтальной плоскости, проходящей через центр оси ската. Это превышение, имеющее порядок  $\frac{1}{16} a$ , диктуется желанием уменьшить разрывные усилия в болтах моторно-осевого подшипника и необходимо выдержать размер  $b_2$  ( $> 140$  мм по габариту НКПС). 2) Индивидуальный привод с расположением мотора на раме [12] (полый вал, система Бюхли и др.). В этих системах Э. т. менее подвержен толчкам и ударам, т. к. не имеет жесткой связи со скатом. Эти системы обычно применяются при значительных скоростях движения, требующих значительных мощностей. Последнее требование разрешается применением двоясных Э. т. «блинцов», работающих на общую зубчатку. Такие Э. т. могут быть введены более быстроходными и лучше использовать габарит [17]. По конструкции эти Э. т. не отличаются от Э. т. трамвайного (за исключением остова). 3) Индивидуальный привод через кардан [14] находит себе применение в троллейбусах и трамваях. 4) Индивидуальный привод выполняется фирмой «Дженерал Электрик». В этой системе якорь двухполюсного Э. т. постоянного тока непосредственно сидит на оси ската. Все двигателя одной тележки приводятся общим маг-

нитным потоком, замыкающимся на раму. Необходимость выполнять двигатели двухполюсными, большой воздушный зазор и низкое число оборотов роторов ведут к большим затратам меди и значительному весу роторов. Поэтому несмотря на замечательную простоту конструкции ее в настоящее время не выполняют. Существует обрессоренный безредукторный индивидуальный привод.

Конструкции Э. т. показаны на фиг. 3, 4, 5, 8 (на фиг. 8: *a* — ротор, *b* — статор, *c* — трех-



Фиг. 8.

фазная обмотка, *d* — шестифазная обмотка, *e* — кольца трехфазной обмотки, *f* — кольца шестифазной обмотки, *g* — выводы статора, *h* — вал, *i* — кривошип, *k* — вентилятор). Механич. расчет ведется для режима, соответствующего максимальному усилию тяги при коэф. тяги  $0,33 \div 0,5$ , и для режима, соответствующего испытанию на разнос. Вал Э. т. конструируется по возможности гладким с минимальными ступенями (фиг. 3) во избежание концентрации напряжений в переходах и разрушений «усталости» [18]. Материал вала имеет характеристики: временное сопротивление  $60-70 \text{ кг/мм}^2$ , предел упругости  $45 \div 50 \text{ кг/мм}^2$ , удлинение  $12 \div 14\%$ . При расчетном режиме напряжение вала  $6 \div 9 \text{ кг/мм}^2$ . Д diam. вала по месту посадки втулки (железа) м. б. взят по ф-ле

$$d = (17 \div 19) \sqrt[3]{\frac{kWh}{n_{\text{час}}}} \text{ см.} \quad (13)$$

Роторные втулки (звезда) у быстроходных двигателей сажаются без шпонки «прессовой посадкой». Тихоходные Э. т. получают шпонку. У Э. т. постоянного тона значительная высота железа ротора заставляет при  $D_a < 300$  обойтись без втулки. Наличие втулки позволяет производить смену валов без разборки ротора. У небольших Э. т. без втулки предусматривается специальное болтовое скрепление, дающее возможность сменить вал. Подшипники применяются скользящие и качения. Скользящие подшипники с баббитовой заливкой, причем толщина баббитового слоя у Э. т. постоянного тока берется обычно меньше междужелезного пространства. У асинхронных Э. т. малое междужелезное пространство (от 1 до 2 мм) заставляет прибегать к устройству регулируемых подшипников с вкладышем из нескольких частей (фиг. 5). Смазка — фитилем (трамподвеска) и кольцами (обрессоренные двигатели). Характеристика грея  $pv < 50 \text{ км/см}^2 \cdot \text{сек}$ . При столь высоких характеристиках грея особое значение приобретает интенсивная подача масла.

Это требование выполняется устройством бункера с постоянным уровнем масла (фиг. 9), где 1 — резервуар для масла, 2 — шерстяная навивка, 3 — ниппель для регулирования уровня, 4 — коническое отверстие для вставки шланга, 5 — шланг, 6 — прорез для контроля заполнения. Подшипники качения применяются роликовые с цилиндрич. роликами и бортами на наружном кольце. Этот тип дает наибольшее удобство разборки [17]. Для аксиальной фиксации один из подшипников получает внутреннее закрытое кольцо или оба получают полузакрытые кольца. Посадка колец на вал — без всяких промежуточных втулок — простым подогрвом кольца. Зубчатые редукторы имеют обычно корегированный профиль (АЕГ, Маг и др.), дающий возможность иметь на шестерне до 12 зубьев без подрезания ножки. При малом числе зубьев на шестерне часто применяется косой зуб. При консольном расположении шестерен ширины их берут не больше 150 мм, т. к. изгиб конца вала нарушает прилегание зубьев на больших длинах [18]. Если крутящий момент настолько велик, что по условиям уд. давления требуется

значительная ширина, целесообразнее применить двухстороннюю передачу, облегчающую к тому же вал Э. т. Для выравнивания давлений на зубцы в этом случае в передачу включают пружины [19] или применяют косой зуб. В последнем случае вал получает аксиальную игру ( $\pm 3 \text{ мм}$ ). Пружинная передача применяется и при одностороннем выполнении для смягчения динамич. усилий. Для тех же целей и для уменьшения шума шестерня делается иногда неметаллической. Материал шестерен и зубчаток имеет характеристики: временное сопротивление  $120-70 \text{ кг/мм}^2$ , предел упругости  $80-50 \text{ кг/мм}^2$ , удлинение  $8-10\%$ , твердость  $600-300$  по Бринелю. Рабочие поверхности зубцов цементируются и шлифуются. Расчет ведется на напряжение в основании зуба по ф-ле

$$C_1 = \frac{P}{bl} \quad (14)$$

и на удельное давление на единицу длины зуба

$$C_2 = \frac{P}{b}; \quad (15)$$

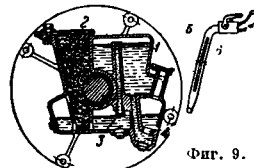
при расчетном режиме (коэф. тяги —  $0,33 \div 0,5$ ) допускается

$$C_1 < 4 \text{ 500 кг/см}^2, C_2 < 700 \text{ кг/см}^2.$$

Приближенная зависимость между модулем и давлением на ось (индивидуальный привод) видна из след. данных:

Давление в ат	Модуль	Давление в ат	Модуль
5-8	7	15-20	10
8-11	8	20-25	11
11-15	9	25-30	12

Обмотка роторов коллекторных моторов — ду-слойная, шаблонная. Часто применяется ступен-

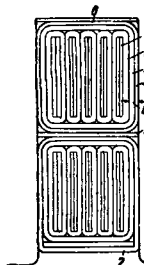


Фиг. 9.

чатая обмотка из шаблонных полусекций с пайкой в лобовых частях. У быстроходных Э. т. с высокими стержнями стержни для уменьшения добавочной потерь разделяются по высоте (четырёхслойная обмотка). При ступенчатой разрезной обмотке стержни транспрозируются. Толщина пазовой изоляции на сторону

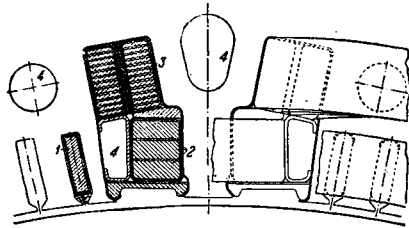
$$\Delta \cong 1,4 + \frac{E}{5000}, \quad (16)$$

где  $E$  — наибольшее напряжение между обмоткой и корпусом [фиг. 10, пазовая изоляция класса «В»: 1 — медь, 2 — изоляция стержня, микалента 0,1 мм, 1 оборот в полуперекрышку, 3 — общая изоляция, микалента 0,15 мм, число оборотов в зависимости от напряжения по ф-ле (16), 4 — защитная изоляция, асбестовая лента 0,4 мм, 1 оборот без перекрышки, 5, 6, 7 — прокладки из микалента 0,5 мм]. Вылет лобовой части м. б. приблизительно взят  $l = 0,25 \tau$ . Уравнительные соединения располагаются на съёмном фланце со стороны, противоположной коллектору. Крепление обмоток — бадажками и клиньями. Коллекторы — из твердоточной меди. У быстроходных Э. т. (индивидуальный привод) диаметр якоря близок к диаметру коллектора. Пластина и петушок делаются в этом случае из одного куска. Сдвигающий нажимные шайбы болт из хромоникелевой стали получает значи-



Фиг. 10.

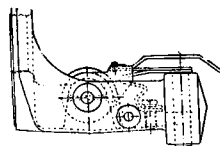
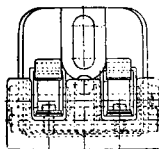
метр якоря близок к диаметру коллектора. Пластина и петушок делаются в этом случае из одного куска. Сдвигающий нажимные шайбы болт из хромоникелевой стали получает значи-



Фиг. 11.

тельную длину для компенсации тепловых удлинений пластин (фиг. 3, а). При режиме, соответствующем испытанию на разнос, допускаемое напряжение на изгиб ласточкинских хвостов  $9 \text{ кг/мм}^2$ . Статоры Э. т. постоянного тока — литые из мягкой магнетной стали. Химический состав в %: углерод  $0,07 \div 0,12$ , кремний  $0,2 \div 0,3$ , марганец  $0,5 \div 0,8$ , фосфор  $< 0,06$ , сера  $< 0,05$ . Механич. характеристики: временное сопротивление  $35\text{--}40$ , удлинение  $20\%$ , твердость (Бринель)  $115$ . Магнитные свойства: при  $25 \text{ аи/см}$  индукция не менее  $14500 \text{ Г}$  (согласно ГОСТ 5578 гаусс обозначается Г), при  $100 \text{ аи/см}$   $17500 \text{ Г}$ . При  $2p=4$  остовы получают восьмигранную форму, хорошо использующую габарит (фиг. 3). Остовы малых моторов фирма Вестингауз изготовляла штамповкой. Применение сварки находится в стадии разработки [20]. Корпусы статоров Э. т. переменного тока — литые в старых моделях и сварные в новых — имеют обычно круглую форму (фиг. 4). Железо статора однофазного Э. т. показано на фиг. 11, где 1 — компенсационная обмотка, 2 — дополнительные полюсы, 3 — обмотка возбуждения, 4 — вентиляционный канал. Железо имеет цифру потерь

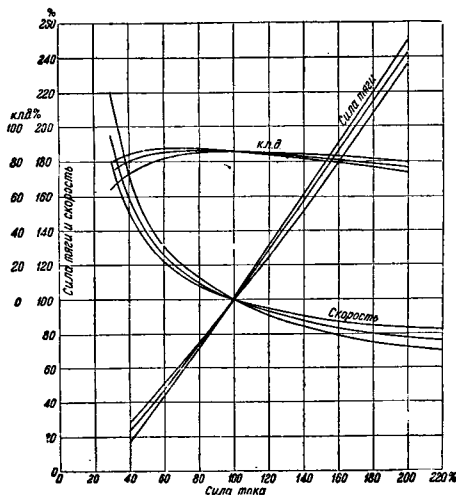
$2,5 \div 3,3 \text{ Вт/кг}$  при  $10000 \text{ Г}$ . Щеткодержатели особо массивной конструкции. Основные требования, предъявляемые к щеткодержателю Э. т.: 1) постоянная нажима на щетку независимо от сработки щетки, 2) эластичная передача давления от главной пружины к щетке, 3) хорошие антикоррозийные качества материала. Уд. давление на щетку  $350\text{--}500 \text{ в/см}^2$ . У однофазных Э. т. при большом числе щеток иногда



применяется на щеткодержателе общая нажимная эластичная балочка, уравнивающая сработку щеток. Для осмотра щеткодержателей при большом их числе (однофазные Э. т.) щеткодержатели крепятся на кольце, которое по разъединении двух трещальтером может быть повернуто на полный оборот, давая удобный осмотр щеткодержателей через один люк. Типовые конструкции щеткодержателей показаны на фиг. 12.

Фиг. 12.

Э. т. постоянного тока [41]. Универсальная характеристика Э. т. постоянного тока м. б. взята на фиг. 13. Регулирование скорости



Фиг. 13.

производится изменением напряжения на коллекторе и магнитного потока Э. т. Изменение напряжения на коллекторе достигается последовательно параллельной группировкой Э. т., а в период пуска — включением сопротивлений в цепь Э. т. Изменение потока достигается выключением части витков обмотки возбуждения, закорачиванием части витков или шунтировкой

всей катушки возбуждения специальным индуктивным шунтом [21]. Введение индуктивного шунта улучшает коммутацию Э. т., так как во время нестационарного режима при отрыве и обратном включении токоприемника наличие индуктивности в цепи шунта заставляет ток проходить через обмотку возбуждения и поддерживать поле Э. т. Под «степенью шунтировки»  $a$  подразумевается отношение  $\frac{\text{ток возбуждения}}{\text{ток в роторе}}$  или в случае выключения части витков отношения

$$a = \frac{\text{рабочие витки}}{\text{полные витки}}$$

Пересчет характеристик при изменении напряжения на коллекторе с  $E$  до  $E_1$  м. б. произведен:

$$\frac{n_1}{n} = \frac{E_1 - IER}{E - IER} \approx \frac{E_1}{E} \quad (17)$$

при  $I = \text{Const}$ ;

$$\frac{M_1}{M} = \frac{n}{n_1} \frac{E_1 I_1}{E I} \quad (18)$$

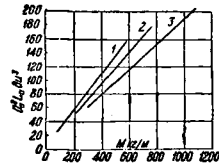
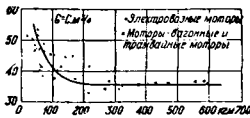
где  $\eta$  — вкл. Пересчет характеристик при шунтировке (степень шунтировки) производится следующим образом. Если при токе  $I$  — число оборотов  $n$ , а при токе  $\frac{1}{a}$  — число оборотов  $n_a$ , то, пренебрегая изменением реакции ротора, имеем

$$\frac{n_a}{n} = \frac{E - \frac{1}{a}(R_a + R_{gn} + R_{en})}{E - I(R_a + R_{gn} + R_a)} \approx \frac{E}{E} = 1 \quad (19)$$

Момент на валу подсчитывается по ф-ле (18). Вес и габарит двигателя определяются его моментом. Вес м. б. определен по ф-ле

$$G = kM^{3/4} \text{ кг} \quad (20)$$

( $M$  — момент в кэм, часовой режим). Весовая постоянная  $k$  и приведенная кубатура якоря, характеризующие использование, м. б. взяты по кривым фиг. 14 а и б [25], причем на фиг. 14а — кривая для весовой постоянной, а на фиг. 14б — кривые для приведенной кубатуры якоря: 1 — для моторов с самовентилирующей, 2, 3 — для моторов с независимой вентиляцией. Окружная скорость якоря при максимальной скорости  $\leq 50$  м/сек. Номинальная скорость 0,45—0,5  $v_{max}$ . Число полюсов  $4 \div 6$ .



Фиг. 14а и 14б.

Максимальная длина железа ротора зависит от колел, типа вентиляции, передачи и м. б. ориентировочно взята из табл. 2.

Табл. 2. — Длина железа ротора (в мм).

Колеса, мм	Передача	Вентиляция	Длина железа
1000	Одностор.	Самовент.	250
1524		Принудит. Самовент.	450
		Двустор.	350

Диам. якоря может быть определен по формуле

$$D_a = 0,8 \div 0,9 \sqrt{\frac{kW_{\infty}}{n_{\infty}}} \text{ м} \quad (24)$$

(для стационарных электромашин с пониженной

нормой перегрева  $D_a = 1,2 \sqrt{\frac{kW}{n}}$ ) (48). Диам. коллектора  $D_k = 0,8 \div 0,95 D_a$ . Число коллекторных пластин

$$K = \frac{2pE}{e_{cp}} \quad (22)$$

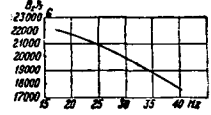
Коллекторное деление  $\tau_k \geq 3,5$  мм. Среднее межсекментное напряжение  $e_{cp}$  колеблется в пределах 10—21 В и выбирается в зависимости от возможности перенапряжения на коллекторе. Поэтому для трамвайных Э. т., рассчитанных на реостатное торможение, при котором возможно значительное перенапряжение  $e_{cp} = 10 \div 14$  В и для Э. т., рассчитанных на рекуперацию,  $e_{cp} = 14 \div 18$  В. Линейная нагрузка  $A$  м. б. взята по кривой



фиг. 15а. Произведение величины  $AS e_{cp}$  [22] является «параметром коммутации», определяющим надежность коммутации двигателя. Физически произведение этих двух величин дает мощность, приходящуюся на пару параллельных ветвей обмотки и на каждый сантиметр полного деления. Величина этого произведения должна быть

- AS · e<sub>cp</sub> < 7 000 — нормальная обмотка } часовой режим.
- AS · e<sub>cp</sub> < 9 000 — ступенчатая обмотка }

Обмотка большинства Э. т. постоянного тока — последовательные,  $2a = 2$ , что объясняется их относительной высоковольтностью. При этой обмотке число щеткодержателей м. б. сведено к двум, что значительно облегчает уход в эксплуатации. Сокращение числа щеткодержателей требует однако увеличения рабочей длины коллектора и некоторого понижения плотности тока под щеткой, что по условиям габарита не всегда выполнимо. Э. т. с мощностями  $> 500$  kW выполняются с параллельной обмоткой. Для улучшения коммутации часто применяется ступенчатая обмотка. Число проводов  $N = \frac{\pi D_a A S}{c}$ ;



Фиг. 16.

число секций  $S = K$ ; число витков  $w = \frac{N}{2S}$ . При мощностях  $< 70$  kW  $w = 2 \div 3$ , при мощностях  $> 70$  kW  $w = 1$ . Число пазов м. б. взято по кривой фиг. 15б. Отношение  $\frac{\text{высота паза}}{\text{ширина паза}} = 2,5 \div 4,5$ . Плотность тока в роторе —  $4,5 - 5,5$  А/мм<sup>2</sup>. Объем тока на паз — 1 000 — 15 000 А. Покрытие — 0,65  $\div$  0,7. Насыщение магнитной системы выбирается по возможности большим с целью уменьшения габаритов. Индукция на  $\frac{1}{2}$  высоты зубцов м. б. взята по кривой фиг. 16. Индукция в полюсе 16 000  $\div$  17 000 Г, в якорь — 13 000  $\div$  15 000 Г, ярма 13 000  $\div$  14 000 Г. Насыщение ярма берется невысоким с целью улучшить работу дополнительного полюса. Воздушный зазор обеспечивается коэф. «устойчивости»

$$K_y = \frac{AW_{воздз} + w_{обм}}{AW_{рот}} \geq 1.$$

Щетка перекрывает 2,5  $\div$  3,5 пластины. Плот-

ность тока под щеткой  $\leq 10 \text{ А/см}^2$ . Величина реактивной эдс проверяется ф-лой Пимель Майера. Тепловые нагрузки частей Э. т., так наз. «факторы нагрева»  $\Phi H$ , представляющие собой плотность теплового потока на теплоотсеивающих поверхностях, подсчитываются по условным формулам, т. к. учесть действительные условия теплоотдачи невозможно [23]. Однако при условии постоянства метода они приобретают большую сравнительную ценность

$$\Phi H \text{ ротора} = \frac{\text{потери в меди} + \text{тренище железные потери}}{\text{поверхность железа ротора}} = \frac{W_{\text{м}} + W'_{\text{ж}}}{\pi D a l} \quad (23)$$

Тренище потери  $W'_{\text{ж}} = 0,3 \div 0,7 W_{\text{ж}}$  и м. б. с достаточной точностью приравнены к потерям в зубцах  $W_z$ .

$$\Phi H \text{ катушек} = \frac{\text{потери в меди катушек}}{\text{полная поверхность катушки}} = k(I)^{1,5} \sqrt{\frac{AIV}{1000} W_{\text{ж}} \text{см}^2} \quad (24)$$

Коэф.  $k$  зависит от формы катушки,  $I$  — плотность тока. При соотношении сторон сечения катушки  $1/1 \div 1/5$   $k = (2 \div 1,4) \cdot 10^{-3}$ . Это малое изменение  $k$  дает возможность пользоваться ф-лой до выяснения точных размеров катушки.

$$\Phi H \text{ паза} = \frac{\text{потери в меди паза}}{\text{площадь железных стенок}} \quad (25)$$

$$\Phi H \text{ коллектора} = \frac{\text{потери в перех. слое} + \text{тренище}}{\text{поверхность коллектора}} \quad (26)$$

Факторы нагрева при длительном режиме прямо пропорциональны  $t^0$  (при неизменной вентиляции). Для перегрева  $105^\circ$  (длительный режим) допустимы (ориентировочно) следующие значения потерь (табл. 3).

Табл. 3.— Допускаемые значения потерь

Деталь	$\Phi H$ в $W/\text{см}^2$	
	самовент.	принудит.
Ротор	0,8	1
Катушки ГЛП	0,16	0,2
Дополн. полюс	0,1	0,12
Паз	0,07	0,1
Коллектор	1	2

Потери. Высокие насыщения и большая быстроходность Э. т. имеют следствием появление значительных добавочных потерь [24]. Эти добавочные потери складываются из: 1) потери на вихревые токи в меди при коммутации, 2) потери в меди от вытеснения силовых линий в паз, 3) потери в железе от искажения поля. Потери в железе м. б. определены по ф-ле

$$W_{\text{ж}} = 0,3 f^{1,5} \left[ \left( \frac{B_z^{3/2}}{10000} \right)^3 V_z + \left( \frac{B_a}{10000} \right)^3 V_a \right] W. \quad (27)$$

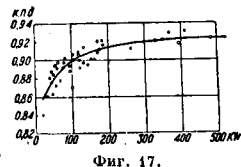
$V_z$  и  $V_a$  — объем железа зубцов и якоря в  $\text{дм}^3$ ,  $B_z^{3/2}$  и  $B_a$  — индукция на  $1/2$  высоты зуба и в якорю, причем формула учитывает добавочные потери второй группы. Потери в железе обратно пропорциональны 1,5 степени числа оборотов при  $E = \text{Const}$  и прямо пропорциональны 1,5 степени напряжения при  $I = \text{Const}$ . Потери 1 и 3 групп могут быть учтены надбавкой на железные потери по данным АИЕЕ (за 100% взяты железные потери при часовом режиме, табл. 4). Потери на трение составляют при часовом режиме  $0,5 \div 1\%$  подводенной мощности. Потери на трение прямо пропорциональны числу оборотов. Потери на вентиляцию у самовентилирующихся

Табл. 4.— Потери в передаче и добавочные потери.

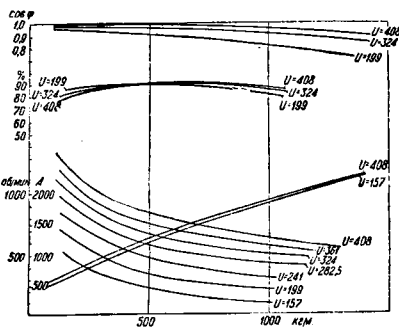
Потери в передаче в % от подводенной мощности	Тон в % от часового	Добавочные потери в % от железных
3,5	200	65
3,0	150	45
2,5	100	30
2,5	75	25
2,2	50	23
1,8	25	22

машин составляют  $0,5\%$  при часовом режиме и пропорциональны третьей степени числа оборотов. Кпд на валу может быть взят по кривой фиг. 17 [25].

Однофазные коллекторные Э. т. 1. Серии двигатели. Регулирование скорости производится посредством изменения напряжения на коллекторе (характеристики, фиг. 18). Основной недостаток двигателя — тяжелая коммутация при пуске из-за появления трансформаторной эдс  $e_t$  в короткозамкнутой секции. Улучшение пусковой коммутации идет за счет 1) уменьшения питающей частоты до  $16 \frac{2}{3} \div 25$  Нз, 2) уменьшения потока на полюс и 3) минимального числа витков в секции  $W = 1$ . Уменьшение



Фиг. 17.



Фиг. 18.

питающей частоты — наиболее нежелательный метод улучшения коммутации, т. к. удорожается питание дороги и утяжеляются трансформаторы на локомотивах. Уменьшение потока на полюс м. б. достигнуто за счет уменьшения момента Э. т. путем увеличения его быстроходности и за счет распределения потока на большое число полюсов. Эти характерные тенденции м. б. выражены отношением

$$\frac{\text{число оборотов} \cdot \text{число пар полюсов}}{\text{питающая частота}} = \frac{\text{число пар полюсов}}{\text{число в роторе}} = \frac{f_k}{f} \quad (28)$$

носпидим название «сверхсинхронизма». Увеличение этого отношения и лежит в основе значительного совершенствования однофазных Э. т. за последние годы [26, 27]. Высокие числа оборотов номинального режима, на к-рые строятся Э. т. однофазного тока, объясняются тем обстоятельством, что соотношение между максимальным и номинальным числом оборотов может быть взято



достаточно низким, так как регулирование скорости трансформатором позволяет поднять точку выхода на автоматическую характеристику ближе к максимальной [28]. Т. о. если Э. т. постоянного тока и однофазные Э. т. имеют одинаковую максимальную окружную скорость якоря, лимитируемую механик. прочностью ротора и коллектора, то однофазный Э. т. имеет номинальный режим при  $v \cong 0,7 v_{max}$ , в то время как у Э. т. постоянного тока  $v \cong 0,5 v_{max}$ . Это и позволяет строить однофазные Э. т. высоко быстроходными. Произведение мощности в kW на число оборотов может иметь максимальное значение [29]

$$kWh = 2AS \cdot v_{ef} \cdot \frac{f}{f} = 1 \cdot 10^6.$$

Отсюда

$$n_{max} = \frac{10^6}{kW}. \quad (29)$$

Характерные тенденции увеличения сверхсинхронизма иллюстрируются табл. 5.

Табл. 5. — Данные о сверхсинхронизме.

Электрическая железная дорога	Число полюсов 2р	Номи. число об. п	Число периодов вращения $f_T$ в Гц	Сверхсинхронизм	Трансф. эдс $e_T$ в В	Полюсное деление $\tau$ в мм	Диаметр D в мм
Lötschberg (Швейцария)	8	225	163/3	1	12	590	1500
Bitterfeld (Германия)	16	200	26,6	1,6	7	420	2140
Pressburg (Австрия)	24	180	36	2,15	4	210	1600
Halle (Германия)	40	175	58	3,5	2	189	2400

При  $e_T > 4$  В для улучшения коммутации соединения секций с коллектором производилось с помощью сопротивлений, ограничивавших ток короткого замыкания. В последних моделях однофазных Э. т. стремятся понизить  $e_T < 4$  В и соответственно избежать выключения сопротивления. Как на паллиативную меру улучшения пусковой коммутации можно указать на применение слоенных щеток с большим сопротивлением поперечным токам [30]. Особое значение для коммутации и износа щеток приобретает максимальное значение  $e_T$  и тока короткого замыкания. Так как при наличии высших гармоник амплитуды значительно больше, чем у синусоидального тока с тем же эффективным значением, то особое внимание уделяется борьбе с высшими гармониками. По данным Касперовского снижение величины третьей гармонической с 11 до 3% снижает износ щеток со 100 до 48%. Как меры борьбы с третьей гармонической применяют небольшие насыщения и шунтировку поля дросселем. Для уничтожения пазовых гармоник, влияющих на провода связи, применяют в роторе пазы, скошенные на одно зубцовое деление [31, 32]. Малый поток на полюс имеет следствием низкое напряжение на коллекторе

$$E = e_T \frac{v_k}{\pi b f} \leq 600 \text{ В при } f = 16\frac{2}{3} \text{ Гц.} \quad (30)$$

Увеличение питающей частоты снижает напряжение на коллекторе и утяжеляет Э. т. Двигатели с добавочным сопротивлением имеют более высокое напряжение на коллекторе. Обмотка ротора — петлевая. Число пазов на пару полюсов нечетное целое — 19 ÷ 31. Уравнительные соединения — по одному на паз. Коэф. мощности двигателя м. б. выражен ф-лой

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\pi}{2} \frac{a}{b}\right)^2}}, \quad (31)$$

где  $a$  — отношение числа витков возбуждения к числу витков якоря,  $b$  — сверхсинхронизм.

Увеличение частоты ухудшает коэф. мощности. Для улучшения коэф. мощности и коммутации Э. т. снабжаются компенсационной обмоткой и добавочными полюсами. Дополнительные полюса шунтируют бифилярным сопротивлением или (реже) получают компаундное возбуждение. Вес двигателя м. б. рассчитан по ф-ле, где весовой коэф.  $k'$  больше коэф.  $k$  (фиг. 14, а) на 10% при  $f = 16\frac{2}{3}$  Гц. При одинаковом объеме, весе и стоимости мощности двигателей при частоте 16 $\frac{2}{3}$ , 25 и 50 Гц относятся, как 100 : 85 : 55. При питании Э. т. постоянным током мощность его ~ 1,3 от мощности при  $f = 16\frac{2}{3}$  Гц. Мощность на пару полюсов

$$kW_0 = \frac{A \cdot S \cdot e_T \cdot v}{30f}, \quad (32)$$

где  $AS$  — линейная нагрузка ротора, колеблющаяся в пределах 350—600 А/см, при мощностях 100—2000 kW,  $v$  — окружная скорость ротора. При максимальной скорости  $v_{max} \leq 60$  м/сек  $v = 0,6 \div 0,7 v_{max}$ . Максимальная окружная скорость коллектора  $v_{kmax} < 50$  м/сек. Трансформаторное напряжение  $e_T \leq 2 \div 3,5$  В. Число пар полюсов

$$p = \frac{kW}{kW_0}; \quad (33)$$

поток на полюс

$$\Phi = \frac{e_T \cdot 10^8}{\frac{2\pi}{\sqrt{2}}}. \quad (34)$$

Длина железа м. б. взята по табл. 2. Индукция в воздухе колеблется в пределах 5000—7000 Г [33]. Покрытие — 0,6—0,7. Полюсное деление  $\tau = \frac{v}{a \cdot l \cdot B_l}$ . Диаметр ротора  $D_a = \frac{2pr}{\pi}$ . Диаметр коллектора  $0,75 \div 0,8 D_a$ . Число пластин  $K = \frac{\pi D_k}{\tau_k}$ ;  $\tau_k \geq 3,5$ . Щетка перекрывает  $2 \div 2,5$  пластины. Напряжение на коллекторе  $E$  см. ф-лу (30). Ток

$$I = \frac{kW \cdot 10^3}{\eta E}. \quad (35)$$

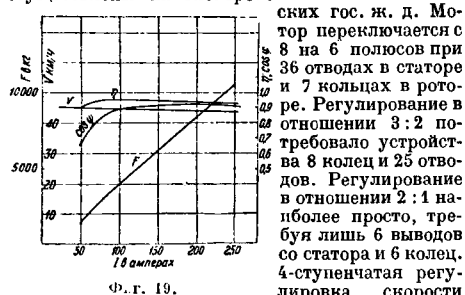
2) Компенсированный репульсионный Э. т. [1, 33] позволяет иметь высокий коэф. мощности и высокое напряжение на статоре. Наилучшая коммутация получается при синхронной скорости. Поэтому двигатель выгодно питать повышенной по сравнению с серийным двигателем частотой  $f = 25$  Гц и выше [34]. Недостатки двигателя заключаются в значительном габарите ротора, на который переносятся потери возбуждения и увеличение числа щеткодержателей.

3) Серийно-репульсионный Э. т. (двигатель двойного питания) позволяет иметь удовлетворительную коммутацию при скоростях выше синхронной. Двигатель м. б. намотан на более высокое, чем серийно-Э. т., напряжение [1, 33].

4) Репульсионный Э. т. с перестановкой щеток (Дери) сильно упрощает регулирование скорости. Однако на ходовых положениях при низких скоростях получается плохая коммутация и низкие коэф. мощности и полезного действия. Двигатель мало распространен [1, 33].

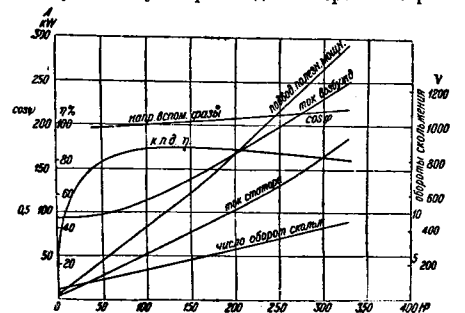
Асинхронные Э. т. [1, 13]. Характеристика трехфазного асинхронного Э. т. указана на фиг. 19. Регулирование скорости производится по методу переключения числа пар полюсов и включением в каскад. Переключение числа пар полюсов производится перегруппировкой катушек обмотки и изменением числа фаз. Это дает 2—3 ступени скорости при одной обмотке и до

4 у двухобмоточных. Трехступенчатая регулировка осуществлена на моторах электровозов серии Е-432 итальянских жел. дор. (фиг. 5) [9]. Мотор переключается с 12 на 8 полюсов при трех фазах и на 6 — при двух фазах. Статор имеет двухслойную обмотку с 53 отводами. Ротор имеет двухслойную обмотку с 13 кольцами по Криди. Двухступенчатая регулировка может быть произведена или в отношении числа пар 3 : 2, или 4 : 3, или 2 : 1. Регулировки 4 : 3 осуществлены на электровозах Е-470 итальянских гос. ж. д. Мотор переключается с 8 на 6 полюсов при 36 отводах в статоре и 7 кольцах в роторе. Регулирование в отношении 3 : 2 потребовало устройства 8 колец и 25 отводов. Регулирование в отношении 2 : 1 наиболее просто, требуется лишь 6 выводов со статора и 6 колец.



Фиг. 19.

4-ступенчатая регулировка скорости требует применения двухобмоточных асинхронных Э. т., у которых каждая обмотка рассчитана на две ступени. Ротор в этом случае делается короткозамкнутым и пуск производится через автотранс-



Фиг. 20.

форматор. Мотор электровоза Кандо [34, 36, 37] 50 Гц выполнен с двумя обмотками в роторе, присоединенными к 16 кольцам (фиг. 8). Питания подводится к ротору. Статор имеет 48 отводов, постоянно подключенных к реостату. Переключение колец ротора дает 72 и 36; 24 и 18 полюсов при питании соответственно трех фаз; трехфазно, шестифазно и двухфазно. Мощность двигателя (часовая) соответственно 1000, 2220, 2500, 2500 л. с. Вес мотора 18,5 т, ротора 10 т.

Однофазный асинхронный Э. т. [34]. Основной недостаток однофазных асинхронных двигателей — отсутствие пускового момента — устранен в этом Э. т. устройством промежуточного свободно вращающегося ротора, возбуждаемого постоянным током. Наличие этого ротора обуславливает образование в двигателе кругового вращающегося поля и кроме того дает возможность регулировать коэф. мощности. Запуск промежуточного ротора производится с помощью вспомогательной фазы, регулирование скорости — переключением числа пар полюсов. Реверсирование м. б. произведено без останова промежуточного ротора переносом питания на

ротор. Кривые Э. т. (Пунга-Шен, 225 л. с.) даны на фиг. 20. Недостаток двигателя — сложная конструкция.

**Вентильный двигатель (см.)** — бесколлекторный двигатель, питаемый через управляемый сетками выпрямитель (см.). Двигатель находится в стадии исследования и разработки [38, 39].

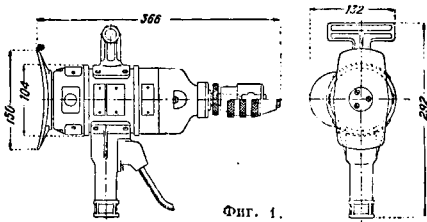
Лит.: 1) Доввер А., Электрический тяга, пер. с англ., М., 1923; 2) М. I. e. e. O. Gestaltungslehre für Fahrzeugmotoren, «Elektrische Bahnen», В., 1934, Н. 6; 3) Гефлингер, Влияние вентиляции на перегрузку тягового электродвигателя, сборн. «Локомотивостроение», М.—Л., 1933; 4) Алексеев А., Тяговые электродвигатели, Л., 1933; 5) H o s e a s o n D., The Cooling of Electrical Machines, «Metro Vickers Gazette», Manchester, 1931, v. 13, 219; 6) Алексеев А., Вентиляция эл. машин, «Вестник эл. промышленности», М., 1933, 2; 7) Лебедев А., Расчеты элементов эл. ж. д., Л., 1930; 8) Шевалин В., Тяговые расчеты эл. ж. д., М.—Л., 1931; 9) Перевосский Н. и Иоффе А., К вопросу о расчете нагревания тяговых электродвигателей, «Электрик. тяга», М., 1933, 2; 10) Камеев Н. и Находкин М., Расчет нагревания тяговых электродвигателей, «Электрик. тяга», М., 1933, 1; 11) Оверсманн, Ueber die elektr. Fahrzeuge, «Elektrische Bahnen», Berlin, 1929, Н. 1; 12) Гартештейн, Трамвайные эл. двигатели, проект стандарта, «Электричество», М.—Л., 1930, 21, вып. 1; 13) S a c h s K., Elektrische Vollbahnlokomotiven, В., 1928; 14) Зюберкрюб М., Тяговые передачи локомотивов, пер. с нем., М.—Л., 1933, 19; 15) Жапонио Ф. и Брава, Эл. тяга в США, пер. с франц., М., 1933, 16; 16) Шенфелер С., Исследования причин поломки валов тяговых электродвигателей, «Электрик. тяга», М., 1933, 6; 17) Погожев С., Основные виды конструкций трамвайных тяговых электродвигателей, «Известия ГЭТ», М., 1927, 8; 18) P a u l f e r, Ueber Zahnradgetriebe bei Bahnmotoren, «Slemens Zeitschrift», В., 1924, Н. 11/12; 19) Тронян А., Эластич. зубч. передачи, «Электрик. тяга», М., 1933, 2; 20) Перевосский Н. И., Основные черты новой серии трамвайных моторов, «Бюллетень Динамо», М., 1932, 1-2; 21) Адлер Л., Шунтировка поля тягового электродвигателя, пер. с нем., М.—Л., 1933; 22) Перевосский Н., К вопросу о характеристиках. Признаках величины вращающихся электрич. машин, «Электричество», М., 1930, 23-24; 23) Романов М., Предпроектирование тягового электродвигателя, «Электрик. тяга», М., 1933, 4; 24) Рубин А., Основные потери в ядрах тяговых электродвигателей, там же, М., 1934, 4; 25) Иоффе А., Основные параметры тягового электродвигателя, там же, М., 1933, 4; 26) D ö g y I w a n, Kritische Bemerkungen über Einphasenbahnmotoren, «E. u. M.», В., 1927, Н. 4; 27) Шенфер К., Последние успехи в области построения однофаз. коллект. двиг., «Электричество», М., 1930, 17-18; 28) Шефелер К., Einphasenbahnmotor für 25 Hertz, «Elektrische Bahnen», В., 1927, Н. 11; 29) N i e t h a m e r F., Fortschritte im Bau elektr. Maschinen, «E. u. M.», В., 1928, Н. 1; 30) K a s p e r o w s k y, Versuche mit neuartigen Kohlenbürsten, «Elektrische Bahnen», В., 1934, Н. 9; 31) T ö f f l i n g e r K., Die Einphasenbahnmotoren, Mech.—B., 1930, 33; 32) Касперовскы, «Elektrische Bahnen», В., 1932, Н. 5; 33) Шенфер К., Коллекторные двигатели перем. тока, М.—Л., 1931; 34) Азизиловы Е. и А. Эл. тяга на однофазном токе нормальной частоты, М., 1934; 35) S a c h s K., Neuere Drehstromlokomotive der italienischen Staatsbahnen, «Elektrische Bahnen», В., 1929, Н. 1 u. 2; 36) Die Umformerlokomotiven, «VDI», В., 1933, 16; 37) Машины электровоза Кандо, «Электрификация ж.-д. транспорта», М., 1933, 7; 38) Дини М., Разработка и характеристика тяговых электродвигателей, «Электрификация ж.-д. транспорта», М., 1933, 10; 39) Губанов М., Рабочий процесс вентильного двигателя, «Электричество», М.—Л., 1933, 3-4; 40) Агеев Е., Рецензия на книгу инж. Захарченко, там же, М., 1933, 1; 41) Иоффе А., О номинальной мощности тягового электродвигателя, «Электрик. тяга», 1934, 4; 42) Жего Ж., Моторы Лакаванской ж. д., «General Electric Review», Schenectady, USA, 1931, November; 43) Перевосский Н., Тяговые электродвигатели, М.—Л., 1933.

Е. Коварский.

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**, см. *Электричество*.  
**ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТ**, инструменты и мелкие переносные станки, приводимые в движение составляющими с ними одно конструктивное целое электродвигателями малой мощности. За последние годы чрезвычайно возрастает применение электроинструментов как на крупных промышленных предприятиях, так и в небольших мастерских. При помощи Э. и. обрабатываются не только черные и цветные металлы и дерево, но и другие материалы, как камень, стекло,

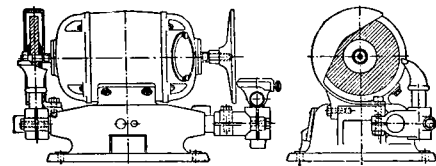
кожа, пластмассы. Успехи в развитии Э. относятся прежде всего к улучшению приводов и к повышению их мощностей и рабочих скоростей. Появились принципиально новые системы привода в виде напр. высокочастотных Э. (см. ниже). Благодаря усовершенствованию привода и самих рабочих элементов в Э. области применения их непрерывно расширяются. В нижеследующем приводится перечень основных применений Э., который не имеет отнюдь исчерпывающего характера. Области применения Э. следующие.

1) Электросверлилки (фиг. 1): а) для металла,



Фиг. 1.

б) для дерева, в) для каменных работ, г) для горного дела, д) для раззенковки и развертки, е) для нарезки резьбы, ж) в качестве электроотверток. 2) Ручные шлифовальные (фиг. 2) и полировочные приборы. 3) Электропилы циркулярные и ленточные, передвижные ножовки и цепные пилы. 4) Переносные фрезерные станки для дерева. 5) Переносные строгальные станки — ручные (рубанки) и настольные. 6) Инструменты с гибкими валами: сверла, фрезы, напильники, рашпиль, шлифовальные и полировальные круги, пилы, напильники, гладилки, ножницы, приспособления для чистки котлов. 7) Инструменты, действующие ударом: молотки всякого рода — клепальные, отбойные для ударных работ, молотки для шпалоподбойки, молотки-пистолеты малого размера для легких работ по металлу и каменной зубила (чеканки). Отличительным признаком Э. по сравнению например с металлорежущими станками является легкая транспортная способность в первую очередь зависит от рода привода. В понятии транспортабельность нужно различать перемещение самого рабочего инструмента и перемещение приводного двигателя. В качестве примера первого рода (перемещение одного только инструмента) можно назвать шлифовальный круг, приводимый во вращение с помощью длинного гибкого вала (см. ниже); примером второго рода (рабочий инструмент и двигатель перемещаются вместе) может являться ручная электросверлилка (электродремель). Промежуточное положение между этими двумя группами занимают Э., в к-рых к двигателю присоединяется гибкий вал, сам же двигатель может перемещаться, перевозиться или подводиться на какающемся кронштейне лишь в ограниченных пределах. Второй суще-



Фиг. 2.

ственный признак Э. — удобство в обращении. Эта сторона зависит от габаритных размеров, веса, формы и спокойного, безвибрационного хода Э. При сравнении различных типов Э. для одного и того же назначения решающее значение имеет не абсолютный вес, но относительная мощность, к-рая приходится на единицу веса, т. е.  $W/kg$ . Для работы в пустотелых предметах и на краях отверстий применяются Э. короткие и специальной формы (с односторонним выступом). При конструировании Э. стремятся к непосредственному соединению рабочего шпинделя с валом двигателя без включения промежуточных передач. Однако последние во многих случаях оказываются неизбежными. Так напр., в инструментах для обработки дерева, для шлифовки и для сверления небольших отверстий применяются ускорительные передачи от вала двигателя к шпинделю, в то время как в инструментах для нарезания резьбы и в электроотвертках требуются замедлительные передачи.

Экономичность Э. повысилась за последнее время благодаря улучшению кпд двигателя и передачи, далее благодаря малым потерям на холостой ход, а главное благодаря возможности всестороннего применения и полного использования инструмента. Последним обстоятельством особенно содействуют как повышение мощности двигателей, так и сравнительно большое число ступеней скорости у шпинделя (см. ниже), а также высокие скорости вращения рабочего шпинделя, в силу чего не только возрастает производительность, но и улучшается качество обработанной поверхности. Удобство обращения и производительность Э. сильно возрастают с понижением веса самого рабочего орудия, находящегося в руках у пользующегося Э. Выполнение этого условия обеспечивается применением а) гибких валов с инструментами-насадками, б) Э. повышенной частоты и в) специальных конструкций для подвеса Э. нормальной частоты, вес к-рых не поддается дальнейшему облегчению; так напр., если работа производится на одной и том же месте, то Э. подвешивают на спиральной пружине, компенсирующей его тяжесть. Иногда инструмент укрепляют на конце балансирующего рычага, другой конец к-рого снабжается противовесом. При отпуске Э. он поднимает-

Табл. 1. — Сравнение производительности ручных и электрических стальных пил (в см/мин).

Толщина доски, мм	Ручная пила		Ручная электропила	
	Ель	Дуб	Ель	Дуб
15	100	65	30-80	140-160
20	80	45	200-950	100-400
30	45	25-30	125-4-0	45-3-0
40	35	—	80-380	—
Характеристики	Ручная обыкновенная пила	Ручная электропила	Станочная со столом круглая пила	
Рабочее время, затраченное на 20 распилов, в мин. . . . .	32,45	8,06	6,25	
Величина усталости между 11-й и 20-й доской в %	18,5	7,7	6,5	
Отношение производительности работы пил с электродвигателем к производительности при ручной пиле . . .	1	4	5,2	

ся на рычаге вверх, тем самым освобождая рабочее место. В табл. 1, 2, 3 и 4 приводятся данные по производительности и экономичности

Табл. 2. — Сравнение экономичности работы пневматическими и электрическими сверлилками.

Характеристики	Диаметр сверления в мм		
	23	32	50
Пневматич. сверлилки			
Расход воздуха в м <sup>3</sup> /мин	0,85—1,0	0,85—1,1	1,0—1,3
Средний расход воздуха в м <sup>3</sup> /мин	0,9	1,0	1,3
Соответств. мощность в W (1 м <sup>3</sup> /мин воздуха = 5 000 W)	4 500	5 000	6 500
Электросверлилки			
P—полезная мощность электроинструмента в W	180—1 000	330—1 700	440—1 900
Средняя полезная мощность в W	500	700	1 000
Принятый кпд электроинструмента	0,67	0,70	0,73
Полная потребная мощность электроинструмента в W	750	1 000	1 400
Превышение расхода энергии, затрачиваемой пневматич. инструментом, по сравнению с электроинструментом в %	500	400	350

в сравнении с другими типами инструментов и с работами вручную в условиях западноевропейской практики.

гателя выбирается как можно более высоким. Материалом для корпуса служат почти исключительно легкие металлы, а в новейшее время в инструментах малого типа — пластмассы; корпуса отливаются преимущественно в изложницах или под давлением. Стенки корпуса обычно усиливаются ребрами, учитывая грубые условия работы Э. Вал изготавливается чаще всего из хромоникелевой стали и помещается в шариковых подшипниках. Шихтованные части набираются из листов высококачественного легированного динамного железа с удельными потерями 3,0—3,6 W/кг, штампуемых цельным куском. Для лучшего использования паза изоляции его выбирается возможно более тонкой; провода применяются с двойной шелковой или хлопчатобумажной изоляцией минимальной толщины. Качество изоляции д. б. высокое, имел в виду условия обращения с Э., вибрации и т. д. То же самое требование относится к пропитке и к сушке обмоток, так как Э. бывает подвержен часто действию влажности, паров, дымовых газов и масел. При конструировании универсальных двигателей для Э. принимаются в расчет высокие механич. напряжения, возникающие в роторе от центробежной силы; например при  $\varnothing$  ротора в 40 мм сейчас обычные скорости в 14 000—18 000 об/м., что соответствует окружным скоростям в 23—35 м/сек. Поэтому обмотки на таких роторах помимо скрепления лаком предохраняются еще от разноса бандажами. Именно у таких универсальных двигателей за последнее время мощность существенно увеличилась благодаря повышенной скорости: в то время как раньше двигатель в 60 W вместе с редуцирующей передачей весил 3 кг, сейчас

Табл. 3. — Сравнение производительности ручных и электрических отверток.

Наименование материала, в который свертались винты и шурупы	Размеры винтов и шурупов		Время свертывания от руки, сек.		Время свертывания электроотверткой, сек.	
	диаметр нареза	длина, мм	ключом или отверткой	торцевым ключом *	100 W	160 W
Шурупы с шестигранной головкой						
Сталь прочностью 50 кг/мм <sup>2</sup>	5/16"	24	22—59	7—13	2	2
То же	3/8"	24	28—42	7—13	2,5	2
То же	7/16"	24	17—43	12	—	2
Шурупы с утопленной головкой						
Твердое дерево, предварительно не просверленное	5,5 мм	45	Не вверт.	10—12	3,5—4	3
» предварительно просверленное	5,5 »	45	»	»	»	»
» $\varnothing$ 3,9 мм	5,5 »	45	33	7—12	3	2,5
Твердое дерево не просверленное	6,5 »	65	Не вверт.	Не вверт.	5,7	3—4
» просверленное $\varnothing$ 4,9 мм	6,5 »	65	65—73	12—16	5	3—4
» просверленное	7 »	80	Не вверт.	Не вверт.	—	5—6
» просверленное $\varnothing$ 5,5 мм	7 »	80	75	15—25	—	3,5—5
Мягкое дерево не просверленное	8 »	90	(неудачно)	72—95	10—13	3,5—8
						4,5—5

\* Или приспособлением для вращения.

Требования, предъявляемые к двигателям для Э. таковы: высокая перегрузочная способность, возможно меньший вес, небольшие габаритные размеры и легкая приспособляемость их к специальной форме самогo инструмента. Поэтому двигателями для Э. изготавливаются из высококачественных материалов, предельно использованных в электрич., магнитном и механич. отношениях, и по весу они оказываются на 20—40% легче соответствующих двигателей нормального типа. Число об/м. дви-

машинка в 120 W весит, включая передачу, всего 2,5 кг, что соответствует повышению мощности с 20 до 50 W/кг. Существенную роль в снижении веса и размеров двигателей играет встроенный вентилятор, который охлаждает не только обмотку, но и подшипник, а также препятствует попаданию стружек внутрь Э. Необходимо, чтобы все роторы при изготовлении подвергались статич. и динамич. балансировке на балансировочных станках. Следующее требование — возможность изготовления Э. для всех ходовых нап-

Табл. 4.—Увеличение производительности при применении Э. по сравнению с ручной обработкой.

Род обработки	Увеличение производительности в %
<b>А. Обработка металлов при помощи инструментов, действующих ударом (электрощематически)</b>	
Клепка конструкций (диаметр заклепки до 38 мм) . . . . .	30—100
Клепка котлов и судов (диаметр заклепки до 25 мм) . . . . .	50—100
Холодная клепка, заклепки из красной меди, латуни, алюминия, железа (диаметр заклепки до 10 мм), а также закрепление болтов в толках котлов . . . . .	100—200
Обрубочные работы зубцами, чистка литых, сдавливание поверхностей . . . . .	200—400
Полбенные работы, чеканка . . . . .	100—300
Удаление заклепок, риквачины, вырубка, разрушение металлич. листов . . . . .	100—300
<b>Б. Обработка металлов при помощи инструментов, работающих от гибких валов</b>	
Шлифовка, полировка, чистка шестками . . . . .	100—2000
Сверление, работа развертками и отвёртками . . . . .	
<b>В. Обработка камней при помощи инструментов, действующих ударом (электрощематически)</b>	
Сверление в породах до 1,5 м глубиной пустотелым сверлом с 6 или 8 резами, смотря по породе . . . . .	400—700
Камнетесные работы . . . . .	200—500
Разные скульптурные работы . . . . .	100—300
Вырубка надписей . . . . .	200—300
Геология и палеонтология, работы . . . . .	200—300
Насечка мельничных жерновов, вырубка отверстий для дюбелей и канавок в стенах . . . . .	300—600
<b>Г. Обработка камней при помощи инструментов, работающих от гибких валов</b>	
Шлифовка, полировка, разрезание литой и выделка канавок, а также сверление, фрезеровка . . . . .	100—1000

ряжений и родов тока (постоянный, однофазный, трехфазный). Отсюда вытекает задача стандартизации габаритных размеров различных типов электродвигателей в связи с необходимостью приспособления их к одному и тому же инструменту. Э. постоянного тока применяется гл. обр. на строительстве, питающихся от собственной станции постоянного тока. Количество находящихся в обращении Э. постоянного тока можно оценить не более чем в  $\frac{1}{10}$  от соответствующего количества Э. на трехфазном токе. Нормальной конструкцией при трехфазном токе является двигатель с короткозамкнутым ротором, причем предельная мощность здесь около 2500 W. Э. на однофазном токе встречаются в двух исполнениях: 1) с короткозамкнутым двигателем со вспомогательной фазой, пуск которого должен производиться сравнительно медленно и осторожно помощью двухступенчатого выключателя для вспомогательной фазы обмотки; мощность такого двигателя на 25—30% меньше мощности трехфазного двигателя с такими же габаритными размерами; 2) с универсальным двигателем для постоянного и однофазного тока, причем один и тот же Э. в однофазной сети развивает мощность на 10—30% меньшую, чем в сети постоянного то-

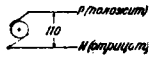
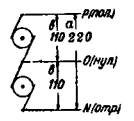
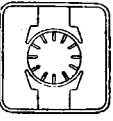
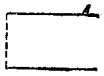

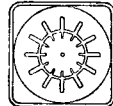


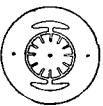
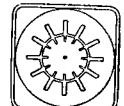


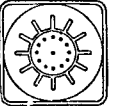

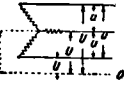
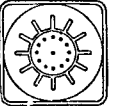
ка. Статор двигателя этого типа собирается при малых мощностях из листов в виде выступающих полюсов (табл. 5), при больших мощностях из листов в виде нормального статорного железа с радиальными пазами (табл. 5). Верхняя граница мощности для универсальных двигателей составляет в настоящее время 500—600 W. Этот тип двигателей получил исключительно большое распространение: почти все Э. малого размера (за исключением ручных шлифовалок) снабжаются универсальными двигателями и удобны в том отношении, что могут включаться непосредственно в два провода осветительной сети.

Характеристики этих двигателей, а следовательно и их типы д. б. сообразованы с условиями работы инструмента; так например, для шлифовки желательнее сохранение постоянной скорости, между тем как для сверлилок считается желательным изменение скорости резания в зависимости от нагрузки, т. е. в последнем случае наиболее пригодны двигатели с сериейной характеристикой. Общий обзор и характеристики двигателей, применяемых в Э., даны в табл. 5.

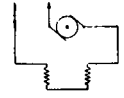
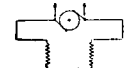
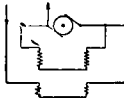
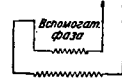
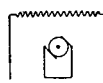
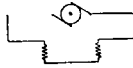
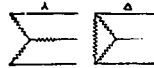
Особенности в новейших конструкциях электросверлилок. Фирма Schumann недавно стала выпускать электросверлилки малого типа (сверло  $\varnothing$  до 2 мм) с переключением обмоток двигателя на 2 скорости: 2500—3500 об/м. Фирма Fein сконструировала комбинированную электросверлилку с электрич. переключением на 3 скорости, допускающую присоединение гибкого вала для шлифовальных и полировочных работ. Завод Krupp встраивает в свои электросверлилки специальный защитный выключатель, который автоматически выключает ток при возникновении момента опасной величины на шпинделе.

Высококачественные электроинструменты. Практическая необходимость в получении высоких чисел оборотов для приводов в некоторых отраслях промышленности (прядильная, изготовление шелка, деревообделочная, ручные переносные инструменты и т. п.) заставила уже несколько лет тому назад обратиться к использованию преимуществ тока повышенной частоты. Т. о. появились Э., рассчитанные на 100—150 и 200 Hz в Европе и на 120—180 Hz в Америке и питаемые от специальных преобразовательных частот. В одних случаях (текстильная, деревообделочная пром-сти) высокооборотные электродвигатели упрощают и удешевляют привод, позволяя обходиться без промежуточных ускорительных передач и избегнуть потерь в них. В других случаях при применении высокооборотных двигателей в переносных Э., каковы например электросверлилки, электрич. молотки и пр., цена и вес при одной и той же мощности уменьшаются, в то время как портативность и удобство обращения сильно возрастают, что создает уже весьма ощутительный эффект в самом производстве. По сравнению с инструментами с нормальными 50-перiodным двигателем у высокочастотных Э. мощность и число об/м. повышаются в отношении частот, т. е. в 3—4 раза при 150—200 Hz. Перед универсальными коллекторными двигателями, очень распространенными в Э., высокочастотные двигатели с их простым короткозамкнутым ротором имеют преимущество в смысле большой надежности; кроме того их число об/м. остается практически постоянным, т. к. скольжение при наибольшей нагрузке составляет всего 10—12%. Шлифовальные круги с 8500 об/м. шпинделя м. б. непосредственно без

Табл. 5.—Общий обзор и характеристика двигателей,

Род тока	Обозначения	Нормальные напряжения в V	Схема включения	Схематический разрез пазов в статорах и роторах (якорях)
1	2	3	4	5
Постоянный ток	—	110/220/440	<p>Двухпроводная схема</p> <p>1) </p> <p>Трехпроводная схема</p> <p>2) </p> <p>а) Напряжение берется между внешними проводами. б) Напряжение берется между внешним и средним проводом</p>	<p>Стальное литье: корпус и полюсные наконечники</p>  <p>Якорь с коллектором, 2 полюса для 3 000 об/м. (и 1 500 об/м.)</p>
			<p>Двухпроводная схема</p> <p>3) </p> <p>Величины <math>\chi</math> и <math>U</math> см. ниже в графе «Трехфазный ток»</p>	<p>Якорь с обмоткой в виде беличьего колеса (короткозамкнутый ротор), без контактных колец. Вспомогательная обмотка в статоре</p>  <p>Якорь с коллектором и щетками</p>  <p>Короткозамкнутый</p>
Однофазный переменный ток		127/220 (110/190)	См. схемы в графах 	<p>Якорь с коллектором. Обмотка с последовательным возбуждением</p>  
Постоянный для однофазный переменный ток (так наз. универсальный двигатель)		115/220 Высший предел 250	См. схемы в графах 	<p>Якорь с обмоткой в виде беличьего колеса (короткозамкнутый ротор)</p>  <p>Без контактных колец, 2 полюса, 4 полюса для 3 000 об/м. для 1 500 об/м.</p>
Трехфазный ток		127/220/380 (110/190) (380/660)	<p><math>u = U\sqrt{3}</math>; напр. <math>u = 220</math> V, <math>U = 127</math> V</p> 	<p>Якорь с обмоткой в виде беличьего колеса (короткозамкнутый ротор)</p> 

применяемых в электроинструментах по Файну.

Схема включения проводников	Изменение направления вращения достигается	Характеристика и примечания	Применение
6	7	8	9
<p>Последовательное возбуждение</p> 	Изменением направления тока в якоре	Высокое число оборотов при холостом ходе, но значительное падение скорости при нагрузке; большой пусковой момент	Воздуходувки, грузоподъемные устройства, вагоны электр. до- рог
<p>Шунтовое возбуждение</p>  <p>Возбуждение—компаунд</p> 	(Перестановка проводника у щеток)	<p>Постоянное число оборотов</p> <p>Хороший пусковой момент. Комбинирование по желанию свойств последовательного и шунтового возбуждения</p>	<p>Приводные двигатели для различных станков, двигатели шлифовальных электроинструментов</p> <p>Электросверлилки. Специальные приводы без пускового реласта</p>
<p>Однофазный короткозамкнутый электродвигатель</p> 	Переключением вспомогательной фазы	Слабый пусковой момент; пуск в ход только при помощи вспомогательной фазы; постоянное число оборотов; мощность на 20–30% ниже, чем у такого же электродвигателя трехфазного тока	Для шлифовальных электроинструментов
<p>Репульсионный двигатель</p> 	Перестановкой щеткодержателей	Медленно возрастающий вращающий момент при пуске в ход электродвигателя. Число оборотов как при возбуждении компаунд	В случае необходимости получения хорошего вращающего момента при пуске в ход электродвигателя и нежелательности повышения числа оборотов при холостом ходе
<p>Последовательное возбуждение</p> 	Перестановкой проводников у щеток с перемещением щеткодержателей	Значительный пусковой момент; высокое число оборотов при холостом ходе; сильное падение числа оборотов при повышающейся нагрузке	Электросверлилки, отвертки, электродвигатели малой мощности
<p>Звезда или треугольник</p>  <p><math>\Delta</math> при 380 V, <math>\Delta</math> при 220 V</p>	Перестановкой 2 проводов подвода к электродвигателю	Число оборотов зависит от частоты. Большой пусковой момент	Электросверлилки, двигатели для шлифовки. Специальные установочные мощностью до 3 kW

всех передаточных соединениях с двигателем 150 Вт. Электросверлилки со сверлами  $\varnothing$  до 70 мм, инструменты для нарезки винтов  $\varnothing$  до 120 мм могут снабжаться двигателями повышенной частоты. Мощность на единицу веса в высококачественных инструментах повышается до 100 Вт/кг. Кпл высококачественной сверлилки со сверлом  $\varnothing$  32 мм составляет 0,7—0,75. Основные показатели по высококачественным инструментам в сравнении с другими типами Э. приведены в табл. 6.

разделах: 1) Правила для оценки и испытания шлифовальных и полировочных машин 1927 г. (VDE 0741, 1927) и 2) «Предписания для электроинструментов для напряжений до 250 В по отношению к земле» 1932 г. (VDE 0740, 1932). Ниже приводятся важнейшие положения из этих правил и норм. Все Э. должны быть приспособлены для заземления или зануления всех их металлич. частей, доступных прикосновению; для этой цели д. б. предусмотрен заземляющий

Табл. 6. — Сравнение основных показателей для трех типов ручных сверлилок

Показатели	Тип	Диаметр сверл в мм					
		10	15	23	32	50	70
Число об/м.	Эл.	400—650	225—300	110—220	120	70—100	45—90
	Пн.	700	195—500	155—225	180—210	145—180	45
	Вч.	900—1 200	500—700	280	280	160	110
Равняемая мощность в Вт	Эл.	100—150	150—250	300—500	850	1 200	1 600—1 800
	Пн.	250	415—550	550—700	800—1 300	1 000—1 800	2 000
	Вч.	200—300	450—1 000	1 000	2 000	2 000—3 000	3 000
Вес в кг	Эл.	4—6,7	7—7,5	14—15	18,5—24	33—34	55—80
	Пн.	4,2	5,9—8,4	9,7—10,5	13—18,5	20,5—25	33,5
	Вч.	3,5—4,5	4,2—9,5	10	18	19,5—28	30

Данные относятся к нормальным, зарекомендовавшим себя образцам. Обозначения: Эл.—электрические для 50 Гц, Пн.—пневматические, Вч.—высококачественные.

Для получения тока повышенной частоты при наличии сети 50 Гц необходимо пользоваться асинхронными преобразователями частоты, состоящими из асинхронного двигателя и асинхронного генератора. При наличии в установке только сети постоянного тока повышенная частота м. б. получена от соответствующего одноактного преобразователя, работающего с постоянным током на переменный. Для того чтобы избежать специальной проводки для сети повышенной частоты, иногда пользуются не стационарными, а передвижными преобразовательными агрегатами на тележке, что особенно выгодно при разбросанных местах работы. Очевидно преобразование частоты для одного только Э. экономически себя не оправдывает. Однако уже при 8—10 Э. установка преобразователя вполне себя окупает, т. к. производительность высококачественного Э. оценивается приблизительно на 50% выше, чем у нормального. Существуют промышленные предприятия, работа которых в сильной степени зависит от пользования электрическими переносными приборами, применяемыми на этих предприятиях в сотнях и тысячах штук. Напр. сюда относятся автомобильные и самолетостроительные заводы, цеха для изготовления металлич. конструкций и т. п. предприятия, где переносные Э. служат для сверления и развертывания дыр в металле, для навивания гаек, для шлифовки и т. д. Возможность в подобных условиях пользоваться более легким инструментом, построенным на повышенной частоте, настолько понижает удельную стоимость рабочего и повышает его производительный эффект, что всякие соображения о дополнительных потерях энергии на преобразование частоты тока отходят на задний план. Все новейшие предприятия вышеуказанного типа, построенные в последние годы (в том числе заводы Форда в США, Англии и Германии — в Кельне) и Горьковский автозавод в СССР оборудовали у себя специальными установками с преобразователями частоты, питающими отдельные сети с переносными электрич. инструментами.

Правила и нормы для конструирования и испытания Э. в наиболее подробной форме разработаны и изданы «Союзом германских электротехников» в двух

контакт на корпусе Э., а соединительный провод должен содержать кроме токоподводящих жил специальный провод для заземления. Провода с металлич. оплеткой или броней не разрешается применять в качестве токоподводящих. При наличии у Э. гибкого вала изолирование последнего от двигателя не требуется. Измерение номинальной мощности электросверлилок производится торможением шпинделя по следующей таблице осевых давлений:

Диаметр сверла, мм	Осевое давление, кг	Диаметр сверла, мм	Осевое давление, кг
6	50	23	300
10	75	32	500
15	150	50	750

Указанные давления сверла на обрабатываемый предмет относятся к скорости резания до 18 м/мин. При скорости резания свыше 18 м/мин приведенные осевые давления при испытаниях м. б. снижены до  $\frac{2}{3}$ . Машини с номинальной мощностью свыше 150 Вт подлежат испытанию в течение 1 часа, ниже 150 Вт — в течение  $\frac{1}{2}$  часа. Измерение и оценка мощности шлифовальных и полировочных машин производятся с учетом характерного для Э. режима работы (прерывистая работа при длительной включенной обмотке возбуждения). Двигатели д. б. так рассчитаны, чтобы после 2-часового вращения холостую они могли развивать номинальную мощность в течение 15 мин. при номинальной мощности до 250 Вт или в течение 30 мин. при номинальной мощности свыше 250 Вт, не нагреваясь выше допустимого предела. Число оборотов электрич. полировочных инструментов не должно ни в каком случае, в том числе и при холостом ходе, превышать более чем на 20% номинального числа оборотов, указанное на табличке двигателя.

Стандартные напряжения для электроинструментов. Постоянный ток: 110 и 220 В, а при мощности от 200 Вт и выше также 440 и 550 В. Переменный однофазный ток: 125 и 220 В. Трехфазный ток: 125, 220 и 380 В.

Нормальная шкала мощностей для двигателя Э. (по «VDE»).

Вт. . . . .	125	300	350	500	800	1 100	1 500	2 300
л. с. . . . .	0,17	0,37	0,45	0,7	1,1	1,5	2,0	3,0

Предельной мощностью двигателей для Э. считается 3 л. с., или 2 200 Вт.

Гибкие валы для Э. Вследствие незначительного места, занимаемого гибкими валами, и их малого веса они особенно пригодны для работ в неудобных местах и на большой высоте. Гибкие валы являются хорошим средством передачи высоких чисел оборотов. При скоростях ниже 1000 об/мин. гибкие валы имеют тяжелую конструкцию. Гибкие валы состоят из сердечника, защитной оболочки, соединительного приспособления и насадки с инструментом и рукояткой для управления им. Сердечник состоит из свернутых винтообразно стальных проволок без промежутка между ними (однако существуют и пустотелые сердечники). Вращение гибких валов должно соответствовать направлению закручивания витков. В табл. 7, 8 и 9

Табл. 7. — Диаметры сердечников гибких валов в мм.\*

Передач. мощность, л. с.	Число оборотов в минуту			
	800—1000	1400—1600	2000	3000
1/30	7—5	5	5	5
1/10	10	8	8	8—5
1/6	12,5	12—10	8	8
1/4	15—12	12,5	10	10—8
1/3	15—12	15—12	12—10	12—10
1/2	20	15—12	12,5	12
3/4	25—20	20—15	15,5	15
1,0	30—25	20	15	20—15
1,5	30	25—20	20	25—20
2,0	35—30	25	20	25—20
2,5	40—25	30	25	25—20
3,0	45—40	35—30	30	25

\* По справочнику «Schurardt und Schütte» и по данным фирм. Валы для мощностей до 0,5 л. с. выполняются длиной 1,6—1,8 м; выше 1/3 л. с.—1,8—2,0—2,5 м длины.

Табл. 8. — Влияние изгибов на кпд гибких валов.

Положение вала	Кпд для вала диаметром	
	13 мм	8 мм
Прямолинейное . . . . .	0,97—0,99	0,90—0,95
Изогнутос на 90° . . . . .	0,92—0,96	—
» 180° . . . . .	0,90—0,94	0,87—0,92

На основании опытов с валами длиной 1,5 м при 3 000 об/м.

Табл. 9. — Допустимые величины крутильных моментов в кгм для гибких валов:

Сорт	Диам. вала в мм.	Прямой вал	Изогнутый вал; радиус кривизны в см							
			50	38	25	20	18	15	13	10
H	1/30	4,6	3,7	3,23	2,88	2,54	2,08	1,73	1,27	0,46
	1/4	23,0	18,5	16,2	12,7	10,0	8,2	5,76	2,3	—
	3/8	56,5	41,5	35,8	25,4	17,3	11,5	4,82	—	—
	1/2	90,0	61,2	50,7	31,2	18,2	5,77	—	—	—
	5/8	130,0	81,0	63,5	32,3	7,5	—	—	—	—
S	1/30	175,0	99,0	69,2	39,3	—	—	—	—	—
	1/4	2,65	2,3	2,08	1,96	1,73	1,62	1,38	1,18	0,58
	1/4	12,7	10,4	9,7	8,2	7,05	6,28	5,20	3,70	1,5
	3/8	30,0	23,0	20,6	16,2	12,7	10,6	7,51	2,88	—
	1/2	57,5	44,0	38,0	28,8	21,9	16,2	9,8	—	—
5/8	86,5	62,3	54,2	39,2	26,6	18,5	7,27	—	—	

Указанные в таблице моменты допустимы для валов длиной до 7,5 м и для вращения в сторону, в которую закручены внутренние жилы сердечника. При вращении в обратную сторону величины моментов снижаются на 20—5%. Пропуски в таблице означают, что радиус кривизны является недопустимым для данного диаметра и сорта вала.

приведены основные характеристики изготавливаемых в настоящее время гибких валов для Э. В то время как еще 2 года тому назад предельной скоростью для гибких валов считалось 40 000 об/м., сейчас благодаря особой конструкции сердечника и применению ускоряющих зубчатых передач достигнуты скорости в 50 000 и даже 60 000 об/м.

Электрoинструменты, действующие посредством удара. Особую категорию Э. составляют инструменты, действующие посредством удара, которые в свою очередь можно разделить на 4 группы: 1) молотки с механической передачей, 2) молотки электромагнитные, 3) молотки с электромеханической передачей и 4) инструменты электропневматические.

Молотки с механич. передачей. Действие этих молотков основано на применении кривошипного механизма, вращающегося от гибкого вала или непосредственно от электродвигателя. Удар производится либо действием кулачковой шайбы или пружины либо особыми деталями, находящимися под действием центробежной силы. В качестве буфера между ударником и механизмом служит пружина или воздух.

Молотки электромагнитные. В корпусе такого инструмента устроен электромагнит с двумя катушками, действующий как соленоид на железный сердечник молотка. Такие молотки распространены сравнительно мало из-за искрения и износа аппаратов при переключении направления тока в электромагнитах, нагревания инструмента и необходимости источника постоянного тока или уформера (см. *Преобразователь*). В новейшее время для этой цели применяются переносные газотронные выпрямители (см.). Из молотков данной категории наиболее известность получили молотки типа «Синтрон». Ряд оригинальных конструкций разработан во Всесоюзном электротехнич. ин-те (ВЭИ) в Москве.

Молотки с электромеханич. передачей. Действие этих молотков основано на применении электродвигателя в сочетании с специальным механизмом, позволяющим преобразовывать вращательное движение в прямолинейно-возвратное. Недосток этих молотков заключается в сложности их механизма, большом общем весе, валичи высоких механич. напряжений от ударов и в сотрясении и износе электр. части — контактов, обмоток и т. д. Все это, вместе взятое, ведет к сокращению срока службы рассматриваемых инструментов.

Инструменты электропневматические. Своеобычно пневматическ. инструменты требуют для своего действия наличия стационарных громоздких установок (компрессор, воздушный резервуар, воздухопровод и пр.), применение которых для одного такого инструмента было бы экономически невыгодно. Электропневматич. инструменты работают скатым воздухом, но по иному принципу, т. е. не постоянным давлением сжатого воздуха, но столбом сжатого воздуха, меняющим свое направление в механизме инструмента; сжатый воздух вырабатывается в переносном воздушном насосе с приводом от электродвигателя. Общий кпд электропневматической установки определяется сравнением затрачиваемой электроэнергии с силой удара молотка, присоединенного к воздушному насосу, и равняется, смотря по величине молотка, от 0,23 до 0,27. Общий кпд чисто пневматич. установок (двигатель, компрессор, воздушный резервуар и т. д.) меньше электропневматич. и равен от 0,07 до 0,11. Тем не менее при уче-



те всех эксплуатационных факторов решительно-го вывода в пользу электропневматических (или чисто электрических) инструментов сделать нельзя, и в общем инструменты, действующие посредством удара, являются той областью, где электрические инструменты не получили еще окончательного перевеса над пневматическими. Для привода инструментов, действующих ударом, электродвигатели применяются сравнительно редко. Из случаев применения можно указать электропневматический молоток для клепки и долото сравнительно большой мощности 850 W (фирмы Fein), а также электротрамбовальный инструмент (для трамбовки), эксплуатация которого уже в течение ряда лет доказывает практичность пригодность электродвигателя для тяжелого ударного режима работы. В этом инструменте (вес 18 кг) с помощью двигателя в 0,5 л. с. рабочий орган совершает 550 ударов в минуту. Благодаря конструкции короткозамкнутого ротора двигатель безопасно выдерживает все толчки в работе. Электротрамбовальный инструмент находил до сих пор применение преимущественно при изготовлении труб, но т. к. насадка для трамбовки (колотушка) легко сменяется на другую помощью конуса Морзе, то этот же инструмент пригоден для целого ряда иных работ.

Присоединение к сети. Как при оценке Э., например в сравнении с пневматическими инструментами, так и при эксплуатации первых необходимо придавать особое значение присоединительным проводам с их арматурой и выключателям; статистика показывает, что от 60 до 80% общего числа повреждений Э. приходится именно на указанные части. Поэтому провода или кабели, а также арматура для присоединения (штепсельные вилки, муфты и т. п.) должны выбираться особенно надежной и безупречной конструкции. Во время работы присоединительные провода, находящиеся на полу, следует защищать от повреждений, перелома, наезда на них тяжелых платформ, тележек и т. д., располагая кабели соответствующим образом или прикрывая их сверху защитными мостками или досками. Наилучший способ подвода к Э. кабеля — сверху так, чтобы он не лежал на полу или на самом рабочем месте. Существует целый ряд конструкций выключателей на Э. в виде кнопок, четырехсторонних крылаток, рычажков, причем все они помещаются на корпус вблизи ручек, служащих для переноса или поддержки инструмента, т. ч. обслуживающие выключатели рукой остаются вполне удобными. В электросверлилах малого типа включение происходит при нажатии на рукоятку инструмента сверху; при освобождении рукоятки подача тока мгновенно прекращается, т. к. рукоятка механически заблокирована с пружиной выключателя. Такая блокировка высвободит безопасность обращения с электросверлилой.

Лит.: Грюнбаум, Электромоторные приводы с высоким числом оборотов, «Русско-герм. вестник науки и техники», 1933, 4, стр. 3—14; Москвитин и А., Электромеханический или соленоидный молоток, «Электричество», 1934, 5 и 6; Fein H., Die elektrische Ausrüstung der Elektrowerkzeuge, «ETZ», 1933, 41, p. 1003; Steinhart R., Hochfrequenz Elektrowerkzeuge, «Der Bosch-Zeitung», 1933, p. 115; Reichert W., Kraftwerkzeuge, «Bosch-Zeitung», 1932, p. 423—42; Fein H., Die Stafts in Electrical Machine Design, «Electr. Manufacturing», 1932, Dec., p. 13—17; Wislizen F., Bosch-Hochfrequenz-Handbohrmaschinen, «Der Bosch-Zeitung», 1934, 6, p. 112—14; Dalchau, Ueber die Konstruktion von Bremsvorrichtungen zur Prüfung elektr. Handwerkzeugmaschinen, «ETZ», 1928, p. 2; Fein H., Elektr. Handbohrmaschinen, ibid., 1929, 9, p. 43; Fein H., Solenoidstößbohrer mit elektr. Antrieb, «Elektr. Kraftbetriebe u. Bahnen», 1907, p. 1941; Schleiinger E. G.,

Die Bohrmaschine, B., 1925; A very, Fractional HP Motors, L., 1933; Müller O., Die Werkzeuge des Elektromotorenbaus, Frankfurt a/M., 1927; Fein H., Elektrowerkzeuge, B., 1927 (имеется рус. пер.: Фаин Г., Инструменты и станки с электр. двигателями малой мощности, пер. с нем., М.—Л., 1933); Wislizen F., Die Hochfrequenz der Bressluft-Handbohrmaschinen, «Werkstatt und Betrieb», 1934, 3/4. Специальные вопросы об электромолотках посвящены следующие работы: Elektromagnetische Hämmer in Amerika, «ETZ», 1927, 49, p. 1817—18; Der Weinaf-Stosshammer, ibid., 1929, 18, p. 653; Kind H., Der Bego Hammer, «Bergmann-Mitteilungen», 1925, p. 183—87; Schlemann P., Elektromagnetische Schlagwerkzeuge, «ETZ», 1928, 29, p. 1937—3; Schleiinger E. G., elektromagnetische Hammer, ibid., 1914, p. 565 u. 660. J. Feiler.

**ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ ЖЕЛЕЗА**, процессы, имеющие целью получение железа или его сплавов при помощи электрической энергии. Исходными материалами при этом служат железосодержащие руды, соли железа и самое железо или его сплавы как продукт металлургии. пром-сти; в последнем случае имеется в виду рафинирование железа и чугуна. Одна группа электрометаллургических процессов, а именно электролиза водных растворов железных солей, служит для получения железа в состоянии высшей степени чистоты по примесям и имеет в настоящее время очень малое практич. применение; что касается электролиза расплавленных солей железа, то последний совершенно не разработан и в металлургич. практике не применяется. Ко второй группе электрометаллургич. процессов относятся т. н. электротермич. процессы, при которых электрический ток служит средством нагревания электрич. печей, к-рые получили широкое практич. применение в металлургии железа. Сюда относятся электроплавка стали и электроплавка чугуна.

**1. Производство электростали (электроплавка стали).** Под электроплавкой стали разумеется получение различных сортов литого железа и стали на поду электрической печи путем переработки в последней чугуна, железного, стального и чугунного лома, брака и различных отходов металлообрабатывающей пром-сти (концы, обечки, обрезки, стружки и пр.). Электроплавка стали имеет целый ряд следующих преимуществ перед другими способами получения литой стали (бессемеровским, томасовским, мартемовским и тигельным): 1) возможность получения любого сорта стали до самых ответственных высоколегированных сталей включительно; 2) абсолютная гибкость процесса как в химич., так и в термич. отношении; 3) отсутствие окислительной атмосферы в электропечи; 4) возможность работать на шлаках самого разнообразного химического состава (окислительных и восстановительных); 5) возможность работать на трудноплавких сильно основных восстановительных шлаках; 6) лучшая раскисленность и большая чистота металла; 7) компактность и конструктивное совершенство плавильных приборов (электропечей); 8) высокий кпд электропечи; 9) возможность работы сталеплавильных агрегатов (печей) самого разнообразного размера — емкость 25—50 000 кг; 10) легкость и совершенство управления печью; 11) отсутствие процессов горения топлива в рабочем пространстве печи и всех затруднений, связанных с вопросами его сжигания; 12) возможность работы на шихтах, достаточно дешевых и разнообразных как по своему химич. составу, так и по физическ. состоянию; 13) возможность работы как на твердой, так и на жидкой заливке; 14) небольшое количество обслуживающего рабочего персонала; 15) высокая стойкость печей; 16) сравнительно небольшая стоимость установок. Все эти преимущест-

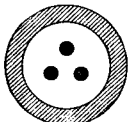
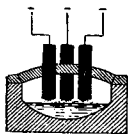
**Опечатка**

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>	<i>По чьей вине</i>
1185	11 сверху	с 0,5 до 22	с 0,5 до 2,2	Ред.

ва привели к тому, что электроплавка является единственным надежным способом производства высококачественных сталей, полностью вытеснившим тигельный процесс. В производстве обычных сортов литого железа и стали удельный вес электроплавки заметно возрастает с каждым годом. Так, процент электростали по отношению к общей выплавке стали в пяти главных промышленных странах (Германия, Бельгия, Франция, Англия и США) за период 1913—29 гг. увеличился с 0,5 до 22. При явно выраженном относительном росте общий процент электростали остается довольно низким вследствие высокой стоимости электроэнергии при современных ценах на нее. Там же, где электроэнергия обходится дешево, общий процент электростали неизмеримо больше. С увеличением числа гидроэлектрич. мощных станций, дающих дешевую электроэнергию, и с улучшением конструкции электропечей развитие электроплавки должно еще более усилиться.

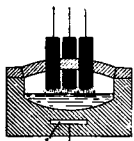
Первая электрич. печь для выплавки стали сист. Стасано была установлена в 1898 г. В 1899 г. во Франции Геру установил электрич. печь своей системы. Обе эти печи работали при помощи вольтовых дуг, дававших необходимое тепло для расплавления металлич. загрузки. Все многочисленные конструкции электропечей, появившиеся за период времени с 1898 г., могут быть сведены к двум практически оправдавшим себя на работе типам электропечей: 1) дуговым электропечаем и 2) индукционным бессердечниковым (бесстержневым) печам.

**Дуговые электропечи.** Нагревание металла в дуговых печах производится вольтовыми дугами, образующимися между электродами или между электродами и металлом. Главнейшие типы дуговых электропечей, применяющихся для плавки стали, следующие: 1) печи с независимой вольтовой дугой; электрич. ток через ванну не проходит (см. *Электрические печи*, фиг. 36 и 37); 2) печи, в к-рых электрич. ток проходит через шлак и часть металлич. ванны (печи сист. Геру, фиг. 1); 3) печи с проводящим подом (сист. Мура, Гринв-Этчельс и др., фиг. 2, где 1 — медный лист); 4) печи с вращающейся вольтовой дугой (системе Евреина и Тельного, фиг. 3, где 1 — витки катушки, 2—вода). Печи первой группы стойкости футеровки

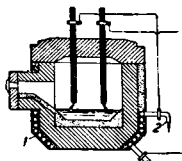


Фиг. 1.

ней, нагреваемой дугами. В табл. 1 приведены стандартные типы печей (сист. Геру), изготовляемые в Англии.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

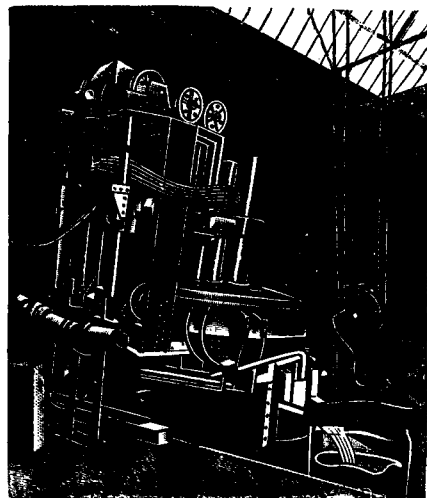
и частых поломок наклонных электродов строятся для небольших садок (обычно не свыше 3 т) и имеют относительно весьма малое применение, все более вытесняясь электропечами второй и третьей групп. Печи с вращающейся вольтовой дугой разработаны в СССР проф. Евреинским и Тельным; эти печи имеют пока малое применение. Наибольшее распространение в электроплавке стали (свыше 50% всех работающих

электропечей) получили печи второй группы сист. Геру. В печах Геру металлич. ванна нагревается в местах соприкосновения со шлаком, вследствие чего химич. реакции между металлом и шлаком идут весьма энергично. Недостатком печей этой системы является худший нагрев нижней части ванны по сравнению с верх-

Табл. 1. — Типы и применение печей Геру.

Емкость печей, т	Мощность трансформатора, кВА	Средняя производительность в т при непрерывной работе в течение 5 1/2 дней в неделю	Применение печей
0,15	90	10	Для производства быстрорежущей и специальной стали, небольших отливок и опытных плавков
0,25	150	15	
0,5	250	25	
1,5	450—600	45—60	Для производства быстрорежущей и специальной стали и легких отливок
3,5	750	75	Для производства слитков и отливок средней величины из углеродистых и специальных сталей
6—7	1 200—1 800	135—165	Для производства больших слитков и отливок из углеродистой и специальной стали
10—12	2 400	230 (при работе на твердой завалке)	Для крупного производства высоко- сортной стали
		1 000 (при работе на жидком металле)	Эти печи часто работают на жидком металле, получаемом от мартеновских печей

ней, нагреваемой дугами. В табл. 1 приведены стандартные типы печей (сист. Геру), изготовляемые в Англии.



Фиг. 4.

Большинство новейших сталеплавильных печей, строящихся в Америке, Англии и Франции,

представляет собой дальнейшее усовершенствование печей сист. Геру. Ниже приводятся данные об электротепчах, изготовляемых фирмой Демаг (фиг. 4) и фирмой Сименса.

м	Мощность трансформатора, kVA	
	печи Демаг	печи Сименса
1	—	700
1,5	—	850
2	—	1 000
3	1 200	1 350
4	—	1 500
5	—	1 800
6	2 000	2 000
8	2 500	2 800
10	3 000	3 500
12	—	4 000
15	5 000	5 000
20	6 000	—

В табл. 2 приводится характеристика советских дуговых электротепчей, изготовлявшихся Электротепзаводом (ГЭП).

Табл. 2. — Характеристика электротепчеплавильных печей ГЭП.

Наименование электротепчей	Ем-ность, т	Мощ-ность, kVA	Марки
Дуговая сталеплавильная (однофазная) . . . . .	0,25	200	ДСО-0,25
Дуговая сталеплавильная (трехфазная) . . . . .	0,5	400	ДСТ-0,5
Дуговая сталеплавильная (трехфазная) . . . . .	1,5	1 000	ДСТ-1,5
Дуговая сталеплавильная (трехфазная) . . . . .	3	1 500	ДСТ-3
Дуговая сталеплавильная (трехфазная) . . . . .	5	2 250	ДСТ-5
Дуговая сталеплавильная с отводным сводом для загрузки сверху (трехфазная) . . . . .	5	2 250	ДСТ-5
Дуговая сталеплавильная (трехфазная) . . . . .	10	8 500	ДСТ-10
Индукционная без железного сердечника (высоко-частотная) . . . . .	0,10	10	ВГ-10
Индукционная без железного сердечника (высоко-частотная) . . . . .	0,25	150	ВГ-150
Индукционная без железного сердечника (высоко-частотная) . . . . .	1,0	600	ВГ-600

Примечание. Выпускаемые тепчеп «Уралэлектротепшина» печи имеют другую тепчеп.

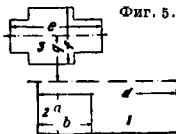
Ориентировочные габариты площадей, необходимые для установки дуговых электротепчей Г.П., приведены в табл. 3 и на фиг. 5, где 1 — печная подстанция, 2 — помещение трансформатора, 3 — фундамент тепчей.

Табл. 3. — Ориентировочные габариты площадей, необходимые для установки дуговых электротепчеплавильных печей ГЭП (по фиг. 5).

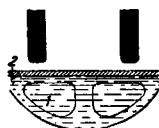
Типы печей	Печная подстанция, размер в м				Фундамент тепчей, размер в м		
	a	b	d	площадь	e	f	g
ДСО-0,25 . . . . .	3,5	2,5	9	32	4,0	2,1	2,5
ДСТ-0,5 . . . . .	3,5	3	9,5	34	4,2	2,6	3,0
ДСТ-1,5 . . . . .	4	4	10	40	6,5	4,0	3,5
ДСТ-3 . . . . .	4	4,5	11,0	44	7,2	4,2	3,5
ДСТ-5 . . . . .	5	5	11,5	57	8,8	4,5	4,0
ДСТ-10 . . . . .	5	5	12	60	10,0	4,0	4,0

Электротепчи с проводящим подом. В печах с проводящим подом (фиг. 2) нагрев металла вследствие вертикального прохождения электрического тока сквозь металл происходит значительно равномернее, чем в печах системы Геру. Являясь вследствие высокого со-

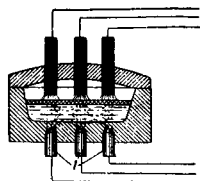
противления буфером, проводящий под смягчает резкие колебания нагрузки, обуславливая более спокойное горение вольтовых дуг. Подогрев подины мешает наставанию на ней козлов тугоплавких добавок (ферровольфрама и феррохрома), которые часто оседают на дно ванны при изготовлении таких сталей, как быстрорежущая, нержавеющая высокохромистая и другие. Кроме этого к достоинствам этого типа печей надо отнести также и самоперемешивание расплавленной ванны в печи вследствие вращения металла (фиг. 6, где 1 — металл, 2 — шлак) под действием вращающегося магнитного поля, создаваемого переменным током. К числу недостатков этих печей относится сложность устройства проводящего пода и меньшая стойкость подины. Наиболее видными представителями этой группы печей являются печи Натануиуса, Гривс-Этчельса и электротепчи Электротеп-



Фиг. 5.



Фиг. 6.



Фиг. 7.

мельт (Мура). В электротепчи Натануиуса три подовых металлич. электротепчи 1 (фиг. 7) заделаны в под тепчи так, что над ними имеется доломитовая набойка толщиной в 30—35 см. Эта тепчи имеет добавочный трансформатор, при помощи которого возможно регулировать поступление электрической энергии к нижним электротепчам. Тепчи системы Гривс-Этчельс (см. *Электрические тепчи*, фиг. 45) имеют проводящий под, выполненный в виде медного листа, положенного на дно железного кожуха и перекрытого сверху чередующимися в последовательном порядке слоями набойки из: 1) смеси графита со смолой, 2) смеси кусочков угольных электротепчей со смолой, 3) доломита с магнетитом мелкой стружки. Верхние слои набойки состоят из смеси доломита с магнетитом на смоле; общая толщина набойки составляет для 3-т тепчи ок. 500 мм. Тепчи имеют 2 верхних электротепчи и третий электротепчи — подовый. Данные о печах фирмы Гривс-Этчельс таковы:

Ем-ность, т	Мощность трансформатора, kVA	Ем-ность, т	Мощность трансформатора, kVA
1/2	300	6	1 500
1	450	10	2 200
2	650	15	3 100
3	900	20	5 500
5	1 300	—	—

Электротепчи системы Мура (Электротепмельт). Подовый электротепчи тепчи Мура состоит из железных тонких (2 мм) пластин, приваренных изнутри но дно кожуха тепчи (см. *Электрические тепчи*, фиг. 46) и расположенных так, чтобы обеспечить плотный контакт между этими пластинами и верхней кладкой из огнеупорного кирпича. Проводящий под (кожух) тепчи Мура соединен с нулевой точкой звезды печного трансформатора. Т. к. под тепчи Мура только в нагретом состоянии проводит ток («проводник 2-го рода»), а при обычной т°

является непроводящим, то эта печь является промежуточной между печами сист. Геру и печами с проводящим подом. Трансформаторы печей Мура имеют большой запас мощности, способствующий быстрой расплавки завалки. Применяются эти печи гл. обр. для изготовления стали для фасонного литья (на кислороду). Характеристика печей Электромель приводится в табл. 4.

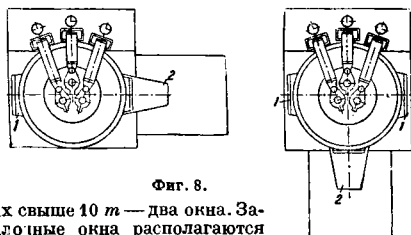
Табл. 4. — Характеристика электропечей Электромель (Мура).

Марка печи	Номинальный тоннаж	Максимальный рекомендуемый тоннаж	Максимальный возможный тоннаж	Средняя потребность в электроэнергии, kVA
T S	1/2	3/4	0,9	150—250
R	1	1 1/4	—	275—375
Q	2	3 1/4	3,9	500—750
P	3	5	6,9	800—1500
O	6	10	12	1500—2500
N	10—12	15	18	2500—5000
	20—24	25	30	5000—7500

Форма рабочего пространства. В горизонтальном сечении рабочее пространство большинства современных печей представляет круг. Подобная форма дает наименьшие потери на лучеиспускание и облегчает циркуляцию расплавленного металла, что особенно важно для печей с проводящим подом. Ванна электрич. печей имеет форму блюда, более глубокого для кислых печей и мелкого для основных печей, что вызывается особенностями рафинирования стали: в основной печи необходимо иметь большую поверхность соприкосновения металла с шлаком в целях более успешного удаления фосфора и серы. Данные о глубине ванн основных электрич. печей приведены ниже.

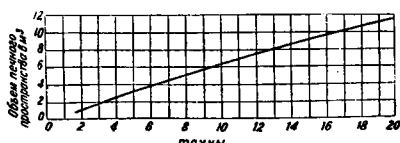
Емкость, т . . . . .	2	4	6—8	10	15
Глубина ванны от уровня порога загруз. окон, мм.	300	375	475	500	600

Число и расположение завалочных окон. В печах вместимостью до 10 т устраивается одно завалочное окно, в пе-



Фиг. 8.

чах свыше 10 т — два окна. Завалочные окна располагаются против выпускного жолоба или по бокам (фиг. 8, где 1 — завалочные окна, 2 — жолоб). Главные размеры рабочего простран-



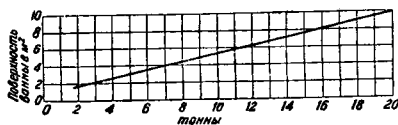
Фиг. 9.

ства и толщина футеровки меняются в зависимости от тоннажа электрических печей. На фиг. 9, 10 и 11 приводятся данные об объеме рабочего

Табл. 5. — Стандартные размеры трехфазных печей Геру.

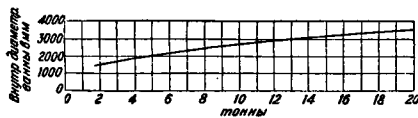
Емкость, т	Диам. электродов, мм.	Внутр. диам. кокуха, мм.	Внутр. диам. футеровки, мм.	Толщина стенок, мм.	Поверхность ванны на 1 т стали, м <sup>2</sup>
0,5	4	1 450	1 040	205	1,7
1,0	8	2 030	1 295	367,5	1,315
2,0	12	2 340	1 680	370	1,083
3,0	14	2 670	1 985	340	1,031
7,0	17	3 350	2 670	340	0,80
10	20	3 600	2 740	430	0,50
15	24	4 120	3 430	340	0,816
20	24	4 420	3 505	457,5	0,482
30—40	24	5 330	4 640	345	0,423

пространства, поверхности ванны и внутреннем диаметре электрич. печей. В табл. 5 приведены



Фиг. 10.

стандартные размеры трехфазных электрич. печей сист. Геру, а на фиг. 12 и в табл. 6 — ра-



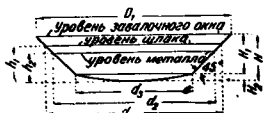
Фиг. 11.

меры ванн для печей различного тоннажа типа Сименс и ГЭП (по А. Н. Соколову).

Табл. 6. — Сводная таблица размеров ванн для печей различного тоннажа типа Сименс и ГЭП.

Емкость, т	Размеры ванны, мм (по фиг. 12)									
	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	
1	250	200	50	1 260	1 220	1 180	860	230	±00	
2	320	260	60	1 520	1 560	1 500	1 100	295	260	
3	360	280	80	1 820	1 780	1 700	1 260	340	300	
6	455	355	100	2 280	2 280	2 180	1 570	430	390	
10	535	435	100	2 610	2 560	2 460	1 740	510	460	
15	580	470	110	3 060	3 000	2 900	2 120	550	500	
20	610	490	120	3 400	3 340	3 240	2 420	5-0	530	
30	650	510	140	3 950	3 890	3 770	2 930	6-0	560	

Электроды. В громадном большинстве случаев количество электродов в современных печах, работающих на трехфазном токе, равно трем, причем электроды располагаются в вершинах равносторон. тр-ка. Отношение диаметра окружности, на которой расположены электроды, к диаметру ванны печи на уровне рабоче-о окна составляет 0,4—0,5. По качеству материала электроды делятся на 2 группы: электроды угольные и электроды графитизированные. Угольные электроды изготавливаются из смеси антрацита или ретортного угля с каменноугольной смолой.



Фиг. 12.

После формовки под прессом эти электроды подвергают обжигу в печах без доступа воздуха. Графитовые электроды изготавливаются из аморфного углерода с переводом последнего путем длительного высокого обжига в кристаллич. графит. Главные свойства электродов приведены в табл. 7. В табл. 8 даны употребительные размеры

Табл. 7.—Свойство угольных и графитовых электродов.

Характеристика	Графитовые электроды	Угольные электроды
Сопротивление 1 см <sup>2</sup> , Ω	0,008—0,0010	0,0030—0,0080
Нормальная плотность тона, А/см <sup>2</sup> . . . . .	15—20	5—7
Отношение поперечных сечений для одинаковых потерь напряжения при одинаковой длине . . . . .	1,0	3,87
Темп-ра окисления на воздухе, °С . . . . .	700	400—600
Средний расход электродов в кг на 1000 kWh (в сталеплавильных печах на твердой завалке) . . . . .	8	20
Содержание зола, % . . . . .	< 1	~ 5

электродов для современных электрич. печей. Расход угольных электродов на 1 т жидкой основной стали при работе на твердой завалке колеблется

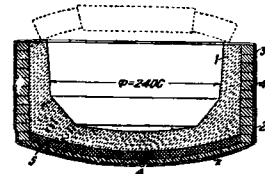
Табл. 8.— Употребительные диаметры графитовых и угольных электродов для сталеплавильных электропечей (в мм).

Ем-кость печей, т	Графит. электрод	Угольн. электрод	Ем-кость печей, т		
			Графит. электрод	Угольн. электрод	Угольн. электрод
1	100—125	200—250	6	200—250	350—400
2	125—150	250—200	10	300—350	450—500
3	150—200	300—350	15	350	—

от 13 до 20 кг, а графитовых — от 6 до 3 кг. В печах с кислым подом эти цифры соответственно равны 7—11 кг для угольных и 4—5 кг для графитовых. При работе на жидкой завалке расход электродов уменьшается в 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> раза. На основных печах сист. Фиаг расход — до 3—4 кг/т.

Футеровка рабочего пространства. В основных печах подина и боковые стены (до уровня несколько выше уровня шлака)

делаются из основных материалов, причем подина, имея выстилку по железному кожуху из двух рядов магнезитового кирпича, в основном выполняется из набивной или наварной магнезитовой или доломитовой массы. Стены выше уровня шлака и свод кладутся из динасового кирпича. В целях экономии магнезитового кирпича часто футеровку стен делают набивной из доломитовой массы 1 (фиг. 13, где 2 — кожух печи, 3 — тепловая изоляция, 4 — шамотный кирпич, 5 — магнезитовый кирпич). В кислых печах подина, стены и свод делаются из кислых огнеупорных материалов. Подина делается набивной или наварной из кварцевого песка, стены и свод — из динасовых кирпичей. Кожух электр.

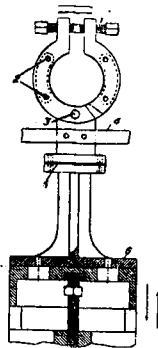


Фиг. 13.

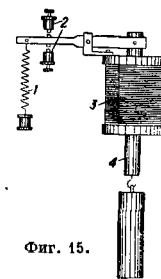
печи выполняется из котельного мягкого железа путем клепки или сварки; сводовое кольцо (арматура свода) выполняется из двух или трех сегментов, соединяемых между собой болтами с прокладками мягкого дерева (липы).

Электрододержатели состоят из 2—3 шарнирно соединенных частей (фиг. 14, где 1 — зажимной винт, 2 — nipple для воды, 3 — шарнир, 4 — шины для подвода тока, 5 — миканитовая изоляция, 6 — подвижная часть, 7 неподвижная часть, 8 — плоскость перемещения). Во избежание нагревания электрододержатели делают полимы с водяным охлаждением; отливаются они из бронзы; электрододержатели изолированы один от другого. Перемещение электрододержателей вверх и вниз происходит при помощи стальных тросов. В печах новой конструкции каретки электрододержателей, двигающиеся в направляющих, помещены в общей раме и отнесены к одной стороне печи. Для автоматического регулирования передвижения электродов при печах устанавливаются быстродействующие электрич. регуляторы, главной частью к-рых является катушка с железным сердечником (фиг. 15, где 1 — пружина, 2 — верхний и нижний контакты, 3 — катушка, 4 — сердечник). При увеличении силы тока катушка втягивает в себя сердечник и этим приводит в соединение верхний контакт (электрод поднимается). Наоборот, при замыкании нижнего контакта электрод опускается.

Для удобства работы по скачиванию шлака и выпуску металла все электрич. печи строятся наклоняющимися. Наклон печей в сторону выпуска металла делается до 45—60°, в сторону спуска шлака (диаметрально противоположную) — в 5—15°. При наклоне на угол, превышающий крайнее

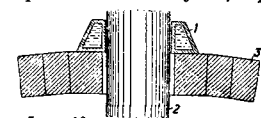


Фиг. 14.

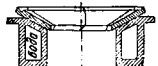


Фиг. 15.

допустимое положение, наклоняющий печь мотом автоматически выключается. Для предотвращения электродов от обгорания и свода от перегрева употребляются сводовые кольца (фиг. 16, где 1 — бронзовое кольцо, внутри к-рого циркулирует вода, 2 — электрод, 3 — свод), поверх которых для лучшего уплотнения помещают уплотняющие разрезные кольца (фиг. 17). Новейшие приспособления для защиты электродов от обгорания называются экономайзерами (фиг. 18). Выходящие из печи газы через зазор 1 попадают в охлаждаемую водой расширительную камеру 2,



Фиг. 16.



Фиг. 17.

Фиг. 18: Diagram of an economizer device showing a gas outlet (1) and a water-cooled expansion chamber (2).

Фиг. 18.

Входящие из печи газы через зазор 1 попадают в охлаждаемую водой расширительную камеру 2,

**Опечатка**

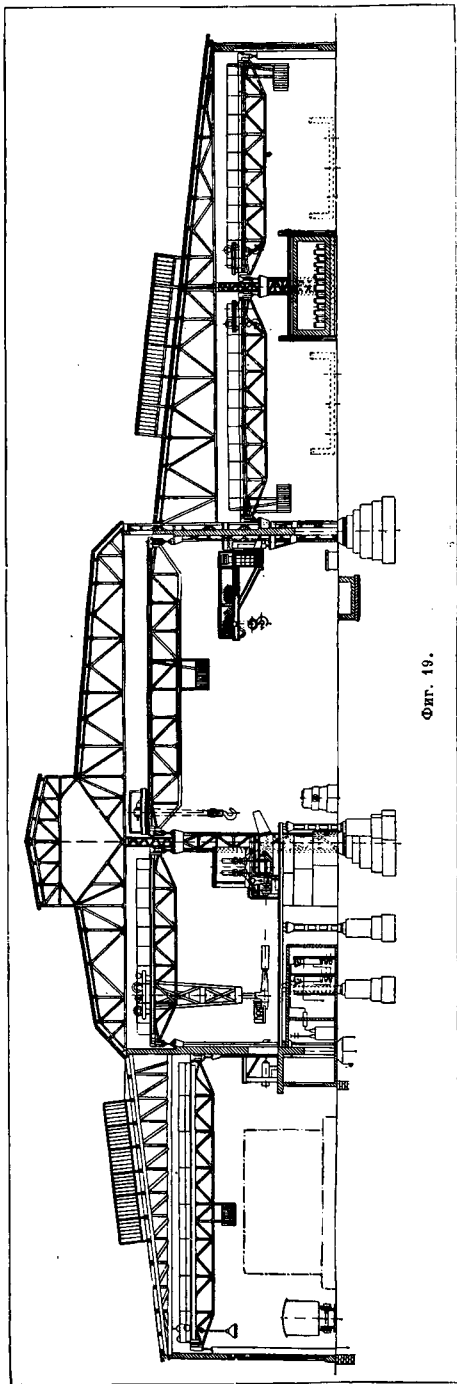
<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>	<i>По чьей винк</i>
1191	Табл. 8, графа 3	250—200	250—300	Ред.

затем через зазор 3 — в большую охлаждающую камеру; понизив в последней еще больше свою  $t^{\circ}$ , газы уже без темп-рого воздействия на электрод уходят в атмосферу.

Электросталелитейные мастерские. Электрич. дуговые печи в сталелитейном цехе располагаются на уровне земли в случае применения электростали для фасонного стального литья и на рабочей площадке — при производстве слитков. Последнее расположение особенно удобно при установке ряда печей. В этом случае планировка цеха отвечает планировке, приводимой на фиг. 19. Шихтовой материал на шихтовом крытом дворе грузится в мулды и устанавливается затем на балконе в пролете шихтового двора. Загрузочная машина нем. типа берет мулды с этого балкона и загружает шихтовой материал через загрузочное окно в печи. В литейном пролете литейные канавы располагаются в сфере действия консольных кранов, к-рые производят всю работу, связанную с подготовкой изложниц и разборкой литейной канавы после отливки. Следующий пролет (или два пролета) служит для отжига слитков в отжигательных печах и последний пролет предназначен для адыостажа и обдирки наружной поверхности слитков.

Процесс рафинирования стали в электрической дуговой печи на основном поду. В отличие от условий плавки в мартеновской печи (см. *Мартеновское производство*) процесс нагревания, расплавления и дальнейшей рафинировки металлической завадки в электрич. печи происходит в нейтральной атмосфере. Поэтому процессы окисления примесей (углерода, кремния, марганца, фосфора, хрома и др.) происходят почти исключительно (если не принимать во внимание некоторого засоса воздуха при неплотно закрытых крышках) за счет кислорода вводимых извне окислителей. С другой стороны, в дуговой электропечи чрезвычайно легко создать условия для раскисления металла путем образования особого раскислительного (см. ниже) шлака, чем в основном и отличается процесс электроплавки от процесса рафинирования на поду мартеновской печи. Сам процесс электроплавки резко делится на два периода: 1) период окислительный: завалка и расплавление шихты, окисление ванны рудой, спуск шлака, кипение ванны (выгорание углерода) и окончательный спуск окислительного шлака и 2) раскислительный период плавки: завалка раскислительного шлака, науглероживание ванны, раскисление и обессеривание металла, доводка металла по анализу и выпуск. Окислительный период плавки в отношении процесса имеет много общего с мартеновским, но вторая половина плавки (раскислительный период) представляет совершенно особый процесс, осуществимый только в условиях нейтральной или восстановительной атмосферы электрич. печи. Из сравнительных кривых выгорания примесей в мартеновской печи (фиг. 20) и электрич. печах (фиг. 21) следует, что содержание углерода марганца и кремния во второй период электроплавки не только не уменьшается, как в мартеновской печи, а вначале повышается (вследствие присадки науглероживателей и раскислителей), а затем изменятся весьма мало в течение нек-рого довольно длительного периода до выпуска.

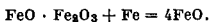
Окислительный период электроплавки. Шихта, состоящая в основном из железа с определенным количеством окислов железа (окалина и ржавчины), марганца, крем-



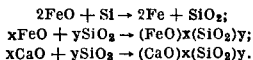
Фиг. 19.



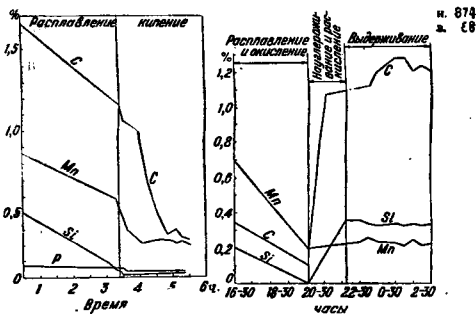
ния, углерода, фосфора, серы и определенного количества флюса (известняка или извести), располагается в печи слоями. Под действием высокой  $t^\circ$  как само железо, так и его примеси соединяются с кислородом воздуха, находящегося в печи, и с кислородом, внесенным окатиной, ржавчиной или рудой, окисляются и выгорают. Окисление железа. При  $t^\circ 425-480^\circ$  железо соединяется с кислородом по реакции  $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 = \text{Fe}_3\text{O}_4$ , образуя закись-окись железа. При  $t^\circ$  выше  $570^\circ$  железо дает окислы типа закиси железа ( $\text{FeO}$ ) по реакции



Образовавшийся закись железа частично растворяется затем в расплавленном металле, а частично переходит в шлак. Выгорание кремния и переход его в шлак идет за счет кислорода закиси железа еще в период расплавления по реакции:

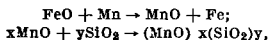


Силикат железа ( $\text{FeO}$ ) $_x \cdot (\text{SiO}_2)_y$  образуется в начале расплавления; позднее под влиянием окис-

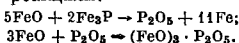


Фиг. 20.

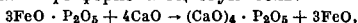
си кальция (флюса) как более сильного основания силикат железа разлагается с образованием силикатов кальция ( $\text{CaO}$ ) $_x \cdot (\text{SiO}_2)_y$  и обратным переходом закиси железа в металл. Выгорание марганца и переход его в шлак идет по реакциям:



т. е. силикаты марганца переходят в шлак. Окисление фосфора идет согласно следующим реакциям:

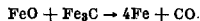


Образовавшийся по последней реакции фосфат закиси железа является непрочным соединением и под влиянием  $\text{CaO}$  извести (флюса) превращается в фосфорнокальциевую соль:



в виде которой фосфор прочно удерживается в шлаке. Выгорание P идет тем успешнее, чем больше окислов содержит металлическая ванна, чем жиже (реакционно способнее) шлак при достаточном содержании  $\text{CaO}$  и чем ниже  $t^\circ$  ванны. Окисление углерода, начинаясь частично еще до полного расплавления, получает развитие после того, как кремний, марганец и фосфор окислены и перешли в шлак, а  $t^\circ$  ванны выше  $1400^\circ$  (реакция эндотермична). Чем выше  $t^\circ$ , тем в присутствии окислов железа скорее идет

окисление углерода в окись углерода согласно реакциям



Выгорание специальных легирующих элементов. В том случае, если в завалке имеются отходы специальных сталей, металлическая шихта может содержать такие элементы, как хром, никель, ванадий, вольфрам и молибден. Из них хром, ванадий и вольфрам в окислительный период окисляются и переходят в шлак, никель и молибден не окисляются и не выгорают. Вследствие особой ценности таких элементов, как V и W, отходы ванадий- и вольфрамосодержащих сталей должны переплавляться особым методом (см. ниже) без наличия окислительного периода. Удаление серы в окислительный период не получает развития и происходит частично лишь за счет удаления и образования нового известково-железистого шлака, когда сернистые соединения железа ( $\text{FeS}$ ) в нек-ром количестве переходят из металла в шлак, удерживаясь в последнем в виде  $\text{CaS}$  по реакции



Эта реакция в окислительный период идет тем успешнее, чем выше основность (содержание  $\text{CaO}$ ) шлака, чем больше марганца в металле и чем выше  $t^\circ$  ванны. Т. к. в раскислительный период электроплавки сера легко и почти полностью удаляется в шлак, заботиться об удалении ее в окислительный период при электроплавке нет никакой нужды.

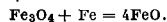
Образование шлака. Окислившись в том или ином количестве (в зависимости от скорости расплавления и количества внесенного извне кислорода) примеси железа и окислы самого железа совместно с введенным в завалку шлакообразующим материалом (известью или известняком) и некоторым количеством материала набойки образуют шлак, покрывающий поверхность расплавленного металла. Состав этого шлака изменяется в зависимости от  $t^\circ$ , состава металлической завалки и количества и качества флюса. Окисление посредством руды. Для ускорения окислительных процессов в электропечи после расплавления подсаживается железная руда. Окись железа руды разлагается по реакции:



причем выделившийся кислород по реакциям



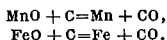
взаимодействует гл. обр. с железом, как основной массой, составляющей расплавленный металл, образуя закись железа ( $\text{FeO}$ ). Магнитная закись-окись железа ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) в результате взаимодействия с железом также образует закись железа по реакции:



Получающаяся закись железа растворяется в шлаке и в металле, взаимодействуя с примесями металлич. ванны и окисляя вначале остатки марганца, хрома и фосфора, а затем по мере поднятия  $t^\circ$  и углерод. Задачей плавильщика в этот период является (путем умелого регулирования количества подсаживаемой руды и извести и «скачивания» шлака) удаление фосфора до возможного минимума и снижение количества углерода до заданного предела без излишнего переокисления ванны к началу восстановительного периода. Перед началом этого периода окислительный шлак в целях освобождения ванны от окислов железа, находящихся в шлаке,

и предотвращения обратного восстановления фосфора из шлака в металл — удаляется начисто из печи путем скачивания.

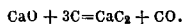
Восстановительный период электроплавки заключается в образовании нового шлака из известки с примесью некоторого количества плавикового шпата и в длительном раскислении этого шлака углеродом угля, ферросилицием или алюминием с доведением содержания в нем закисы железа до 0,8% и ниже. Благодаря поддержанию восстановительного известкового шлака окислы, заключающиеся в металлич. ванне, переходят в шлак, восстанавливаются в нем. Т. о. при наличии восстановительного шлака в течение некоторого (довольно длительного) промежутка времени можно почти полностью раскислить металл и не иметь в нем в то же время продуктов раскисления (кремнезем и др.), как это имело бы место в случае простого раскисления металла ферросплавами (FeSi, FeMn). Одновременно с процессом раскисления происходит процесс дегазации и десульфурации, так как те условия, при которых создается восстановительный шлак, одновременно благоприятствуют и этому процессу. Сюда в первую очередь относятся: 1) минимальное содержание в шлаке закисы железа, 2) присутствие в шлаке углерода угля (кокса или электродного боя), кремния и карбида кальция, 3) сильная основность (известковистость) шлака и 4) высокая  $t^\circ$  ванны. Химизм процесса раскисления, дегазации и десульфурации в электропечи м. б. представлен следующей схемой. Первый известковый шлак, образующийся в печи, сейчас же сильно насыщается окислами из металлич. ванны, к-рые восстанавливаются по реакциям:



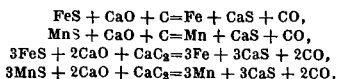
Окись углерода улетучивается из системы шлак-металл, сгорая затем в углекислоту, а восстановительный марганец возвращается в ванну, продолжая в случае наличия в металле закисы железа реакцию раскисления по ф-ле



и переносе все новые и новые порции кислорода из металла в шлак. Этот круговорот марганца продолжится до тех пор, пока ванна целиком не освободится от заключающихся в ней окислов. В этот момент шлак становится белым, рассыпающимся при остывании, а свободная известь (CaO) шлака в случае наличия в шлаке углерода угля или кокса начинает образовывать карбид кальция по у-рию

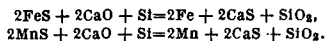


Образование карбида кальция указывает на начало окончательного раскисления и десульфурации металла. Сера удаляется из металла путем перевода ее из растворимых в металле соединений (FeS, MnS) в нерастворимый сульфид кальция по реакциям:

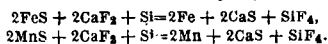


Наличие карбида кальция в шлаке сказывается на его потемнении (серый шлак) и на известном для всех электроплавильщиков запахе ацетилена, получающемся при смачивании шлака водой. В случаях употребления для раскисления

шлака порошка ферросилиция удаление серы идет по реакции:



Прибавляемый для поддержания сильно известкового шлака в жидком состоянии плавиковый шпат также способствует удалению серы:



Образующийся при этой реакции фтористый кремний удаляется из ванны в газообразном виде. В целях создания благоприятных условий для протекания всех приведенных выше реакций непрерывной заботой электроплавильщика является поддержание шлака во все время процесса в раскисленном состоянии и надлежащей консистенции. Присадка алюминия (или же алюминийсодержащих сплавов) в ванну во время рафинирования имеет целью максимально возможную дегазацию металла. После выдержки под белым или карбидным шлаком не менее одного часа в ванну подсаживаются раскислители (FeMn и FeSi) для окончательного дезоксидирования металла и доведения содержания Mn и Si до заданного анализа. После перемешивания ванны металл выпускается в ковш для разливки. Окончательный анализ шлаков электрич. печи характеризуется след. цифрами (состав шлака в %): CaO—57—64, MgO—1—7, MnO—0,1—0,45, FeO—0,3—0,8, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—0,1—0,3, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—следы, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—2—4, SiO<sub>2</sub>—12—30, CaS—1,0—1,7, CaC<sub>2</sub>—0—1,1.

Коэффициент полезного действия и расход электрической энергии дуговой сталеплавильной печи. Тепловой баланс основной электрич. печи при плавке стали с применением окислительного и восстановительного периодов приводится ниже (в %):

#### Приход тепла

Теплота, полаяная в печи током . . . . .	89,10
Теплота окисления железа . . . . .	9,02
Общая теплота образования шлаков . . . . .	1,88

#### Расход тепла

100,00	
Теплота в стали . . . . .	38,89
Теплота в шлаках и летучих телах . . . . .	14,12
Потери тепла в электродах и через сводовые отверстия . . . . .	9,61
Потери в закисах электролов . . . . .	3,49
Общие тепловые потери каркасом печи . . . . .	18,0
На нагревание садки . . . . .	9,18
Потери в проводах . . . . .	1,23
Потери в трансформаторе . . . . .	4,08

99,56

Т. о. тепловой кпд электрич. печи (тепло в стали и шлаках) исчисляется в ~53%. Электрическая энергия участвует в плавке в размере 89,1%; остальное тепло дают химич. реакции окисления железа и образования шлаков. Расход электрич. энергии на 1 т стали в зависимости от качества шихты (твердая или жидкая завалка) и сорта выплавляемой стали и метода рафинирования (с окислительным периодом или без него) колеблется в следующих пределах: а) при твердой завалке от 730 до 1 400 kWh, б) при жидкой завалке (из мартеновских печей или конвертеров) от 180 до 380 kWh.

**Работа электрической печи.** Сушка и разогрев основной печи. По окончании набойки подина печи сушится дровами и коксом; дальнейший разогрев печи производится электрич. током, причем вольтовы дуги образу-

ются между электродами и завалены на подину коксом. Нагрев печи электрич. током вначале ведется на пониженном напряжении и постепенно с выключением тока через каждые 30—45 мин. на 15—20 мин. Затем мощность постепенно увеличивается до 50—60% от нормальной. Продолжительность равогрева печи под электрическим током длится 12—16 ч.; за этот период происходит «провар» огнеупорной навивки печи. Конец разогрева характеризуется началом желтоватого свечения стен печи. Затем на подину бросают мартеновский основной шлак, еще нек-рое время греют пень под коксом для расплавления шлака и пропитывания им подины; по удалении кокса оплескивают жидким шлаком (при помощи скребков) также и возвышенные части подины печи. После удаления с подины избытка шлака печь готова к завалке и плавке. Первые плавки в целях осторожности надо вести с уменьшенной завалкой и ускоренным методом (лучше всего без окислительного периода). Завалка шихты. В малые печи подача шихты производится вручную, в большие (10 т и выше) при помощи особых загрузочных машин герм. типа или при помощи особого жолоба; в последнем случае шихта загружается в этот жолоб, затем жолоб подхватывается за цапфы краном и подносится к завалочному окну печи. При наклонении печи в сторону выпускного отверстия и подъеме краном одного конца жолоба шихта из жолоба высыпается в печь. В печи с отъемным сводом (напр. печи конструкции Демага) загрузка шихты производится сверху при помощи коробов с открывающимися дном. Главной составной частью шихты электрической печи является стальной скрап (~95%) и чугуна (< 5%). Стальной лом для электрич. печи д. б. кусковым и компактным. Он должен быть однородного состава, иметь среднее содержание фосфора  $\geq 0,08\%$ . Наиболее пригоден следующий лом: а) железнодрожный: рельсы, бандаж, накладки, подкладки и пр., б) снаряды, в) отходы прокатных цехов, г) обрезки толстых котельных листов, д) отсортированные отходы кузнечных и штамповальных цехов. В случае применения легированных сталей последние должны строго сортироваться по маркам или группам в соответствии с качеством легирующих элементов. Для более полного удаления из стали газа и неметаллических включений ванну в окислительном периоде необходимо прокипятить, для чего расчетное содержание углерода в шихте должно быть таково, чтобы в период кипения было удалено 0,4—0,7% углерода. Для избежания чрезмерного насыщения металла закисью железа в окислительный период содержание Mn в шихте желательно иметь < 0,6—0,8%. В шихту электрической печи часто вводится обуглероживатель — кокс или древесный уголь. При завалке чугуна кокс и древесный уголь загружаются на подину печи; черновой грузится стальной скрап, переплавляемый для лучшего контакта нек-рым количеством стальной стружки. Для избежания резких колебаний тока в начале расплавления поверх металлич. шихты под каждый электрод забрасывается по одной лопате крупных кусков кокса. Известь при завалке грузится или на подину или размещается по бокам подины, причем не менее половины ее рекомендуется вводить постепенно уже во время самого расплавления под электроды, после того как электроды наплавляют на подине нек-рое количество металла.

Плавление шихты. В начале расплавления шихты дуги, горящие между электро-

дами и шихтой, постепенно прожигают в завалке отверстия, почему электроды мало-по-малу опускаются вниз. Приблизительно через 30—40 минут после пуска тока электроды успевают пройти через всю толщу шихты. Расплавленный металл стекает вниз и собирается на подине. Когда все электроды пройдут через шихту, наплавленный металл соберется в одну лужицу, в это время движение электродов вниз приостанавливается. Находящийся поблизости от электродов скрап плавится и увеличивает объем расплавленного металла. С этого момента электроды начинают постепенно идти вверх, причем шихта, подплавленная снизу, постепенно проваливается и оседает. Когда все электроды поднимутся вверх и примут опять свое нормальное положение, шихта на  $\sim 3/4$  бывает уже расплавлена и лишь на откосах находится остаток скрапа. В этот момент необходимо выключить ток, поднять электроды и сблкнуть с откосов нерасплавленные куски шихты.

Окислительный период рафинирования. Сейчас же после расплавления шихты необходимо тщательно перемешать сперва шлак, затем металл, понизить рабочее напряжение, переключив его с высокой ступени на среднюю, и взять первую пробу металла (в экспресс-лаборатории). Консистенция шлака должна быть такой, чтобы при сливе пробы он хорошо отделялся от металла; при слишком густом шлаке добавляется мелкая руда, при слишком жидком — известь. Затем в печь с небольшими промежутками забрасывается несколько порций руды; часть шлака при этом идет самотеком через порог в шлаковню и часть скачивается гребками. Общее количество скачиваемого шлака в зависимости от содержания фосфора и хрома в металле колеблется от 60 до 90% всего шлака, имеющегося в печи. Руда д. б. хорошо высушена и раздроблена на куски размером не более кулака. После пуска шлака в печь забрасывают соответствующее количество извести и, если нужно, продолжают «рудить» ванну дальше с последующим спуском второго шлака. Последний окислительный шлак скачивается начисто. Для удобства удаления остатков шлака с зеркала ванны надлежит под конец скачивания выключить ток, забросить небольшое количество извести или доломита и поднять электроды. Минут за 20 до скачивания этого последнего шлака прекращают дачу руды, забрасывают в печь ферромарганец и дают ванне спокойно прокипеть. Количество присаживаемого в этот момент марганца зависит от содержания его в готовой стали. Содержание остаточного хрома перед скачиванием последнего шлака д. б.  $\geq 0,15\%$ , что поверяется экспресс-лабораторией. Во все время окислительного периода необходимо строго следить за тем, чтобы шлак был нужной основности, чтобы содержание марганца в ванне не понижалось ниже 0,2% и чтобы кипение было интенсивным. Окислительный период продолжается 1—1 $\frac{1}{2}$  часа.

Раскислительный (восстановительный) период рафинирования. Раскисление стали следует вести сперва электродным боем, древесным углем или коксом, введенным на голую ванну (поскольку содержание углерода в стали это позволяет), затем ввести в печь шлаковую смесь и лишь после образования шлакового покрова дальнейшее раскисление ванны вести коксом или молотым ферросилицием через шлак. В качестве дополнительного средства для раскисле-

ния шлака в случае необходимости ускорить раскисление или же при недопустимости применения порошкообразного ферросилиция и угля (из-за опасности переуглероживания или увеличения процента кремния в металле) рекомендуется дача Боркалька-смеси из порошкообразного алюминия и извести. Раскисления стали кусковым ферросилицием (сейчас же после скачивания шлака) следует избегать; применение его допускается лишь в конце рафинировки в целях окончательной дегазации металла и доведения содержания кремния до заданного. Присадка алюминия на голую ванну после скачивания окислительного шлака в целях предварительного раскисления металла допускается в небольшом количестве ( $< 0,04\%$ ) лишь для конструктивных сталей. Для всех сортов стали рекомендуется присадка алюминия (в количестве  $0,02—0,06\%$ ) в конце рафинировочного периода — перед выпуском при наличии абсолютно раскисленного шлака и металла. Для тех конструктивных сталей, изделия из к-рых должны испытываться на механич. качества с отбором поперечных или тангенциальных проб, присадка алюминия перед выпуском должна производиться осторожно и в небольшом количестве (с минимальным на основании опытных данных расходом алюминия). Науглероживание металла следует начинать сейчас же после скачивания шлака, вводя на голую ванну древесный уголь, электродный бой или кокс в виде кусков размером  $25—50$  мм с таким расчетом, чтобы содержание углерода в стали после науглероживания было примерно на  $0,1—0,45\%$  ниже расчетного. Для раскисления стали и шлака необходимо в течение всего периода рафинировки периодически давать в печь смесь извести с коксом, древесным углем и молотым ферросилицием. Шлак второго периода плавки д. б. слабокарбидный, а для мягких сортов стали (углерода  $< 0,20\%$ ) — белым, рассыпающимся. Конечный шлак рафинировочного периода должен содержать  $< 1,5\%$  закиси железа, а содержание извести в нем д. б. ок.  $60\%$ . Под белым рассыпающимся или карбидным шлаком необходимо выдержать сталь  $< 1—1\frac{1}{2}$  часов. Такое качество шлака должно сохраняться до самого выпуска. Выпускать сталь из печи при испорченном шлаке не следует. Чем ответственнее сорт стали, т. е. чем тщательнее д. б. проведена ее рафинировка, тем дольше д. б. время выдержки металла под этим шлаком. Ферромарганец следует давать в ванну сейчас же после скачивания шлака в таком количестве, чтобы содержание марганца в стали увеличилось на  $0,05\%$  (и во всяком случае, чтобы содержание марганца в стали было после этой присадки  $< 0,20—0,25\%$ ). Дальнейшую присадку ферромарганца до заданного состава задлежит производить в конце плавки. Никель, молибден и медь окисляются значительно труднее, чем железо, и потому вводить их в сталь следует вскоре после скачивания окислительного шлака, т. е. примерно за  $1\frac{1}{2}$  часа до выпуска плавки. Гранулированный никель и электролитический никель и медь необходимо вводить в завалку. Ферровольфрам желательно вводить в раскисленную сталь небольшими порциями и после этого хорошо перемешивать ванну. Феррохром следует вводить в печь тогда, когда шлак начинает рассыпаться, причем дачу его рекомендуется кончать минут за 40 до выпуска. Как правило феррохром необходимо давать в хорошо нагретую ванну, а присадку феррованадия производить минут за  $10—15$  до выпуска

стали. В виде исключения в случае изготовления стали с большим содержанием хрома (нержавеющие стали, нихром и пр.) феррохром допустимо вводить в ванну при нераскисленном шлаке после того, как металл согрется. При введении большого количества феррославо в печь рекомендуется давать их всегда малыми порциями в небольших кусках и в подогретом состоянии. Подогрет феррославо рекомендуется производить примерно докрасна, ферросилиций следует давать в печь в холодном состоянии за исключением плавки трансформаторного железа, для к-рого рекомендуется ферросилиций в подогретом состоянии. Ферромolibден на воздухе при высокой  $t^\circ$  легко может дать летучие окислы. Поэтому рекомендуется давать ферромolibден в печь в холодном или лишь в слабо подогретом состоянии.

Взятие проб металла. Пробы для быстрого химического анализа. Перед взятием пробы ванну тщательно перемешивают длинным металлическим скребком, диаметром шомпола (ручки) в  $30$  мм; этим же скребком пользуются при скачивании шлака. Первая проба по расплавлению на всех марках стали и все пробы во время процесса — на крепких инструментальных и специальных марках для производства химического анализа не сверлятся, а дробятся в стальных ступках. Количество углерода контролируется мастером еще и на-глаз по излому литого квадрата, отливомого, как обычно это делается в мареновских цехах, в угольнике. На остальных марках стали, к-рые поддаются сверлению, проба берется след. образом: металл, зачерпнутый ложкой для проб, сливается в специальный стаканчик квадратного сечения, суживающийся книзу для удобства вынимания пробы. Литая проба без отковки удобна для сверления, так как она имеет гладкую поверхность. Высокомарганцовистую сталь Гадфильда также лют для проб в этот стаканчик, но сверлят металл только тогда, когда проба еще раскалена. Сверление производится простыми сверлами «лопатками». Проба металла на усадку. К концу плавки берется проба металла на усадку. Металл с ложкой сливается в большой стаканчик, который для удобства вынимания пробы не имеет дна и ставится на железную плиту рабочей площадки. Когда проба налита, застывшую корку металла на поверхности протыкают стальным прутком, чтобы видеть характер усадки металла под верхней коркой: металл должен застыть абсолютно спокойно, не выделяя при этом ни одной искры. Проба на ковкость. Металл для проб на ковкость наливается в конический стаканчик. В стаканчик с металлом в момент застывания вставляется согнутый железный прут для удобства поворачивания пробы на  $90^\circ$  (при ковке). Держа за ручку (прут), сперва отковылают из пробы длинный прут ( $20 \times 20$  мм) и затем в середине этого прута оттягивают молотом лепешку. По характеру краев этой лепешки судят о ковкости металла. Если края не рвутся (при правильной  $t^\circ$  ковки), то металл обладает хорошей ковкостью. В окислительном периоде (обычно после «кипа»), когда в металле по расплавлению бывает никеля меньше  $2\%$ , берется проба на краснотомкость. На откованном пруте ( $20 \times 20$  мм) делается небольшой надруб, и проба гнется в горячем состоянии. В месте надруба проба не должна разрываться, а тянуться, как резина. Заправка к пода. При выпуске металла в ковш печь наклоняется в сторону выпускного

отверстия; остающиеся на подине шлак и металл рабочие гонят скребками к выпускному отверстию. Оставшиеся в неровностях подины отдельные небольшие лужицы металла д. б. замешаны с доломитом и в затвердевшем состоянии вытащены скребками из печи. Очистив т. о. подину, приступают к ремонту ее: заправке (доломитом или смесью доломита с магнезитом) ям, подсыпке откосов, сбиванию бугров и пр. Для всех таких работ при печи должен находиться набор необходимых инструментов: лопаты, ломы, скребки, кочержки, ложки для правки откосов и ваяния проб, кувалды, зубила, стаканчики для проб, трамбовки, ключи для электродержателей и др.

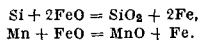
Особые способы и приемы работ. а) Электроплавка с частичным окислением. Этот метод работы применяют в тех случаях, когда идущий в завадку материал содержит фосфор в количестве, лишь немного превышающем заданное. Отличие таких плавков от плавков с полным окислением заключается в том, что окисление ванны прекращают сейчас же вслед за достижением содержания P в ванне меньше заданного на ок. 0,01%. При этом методе плавания руда обычно не утробляется, т. к. для окисления фосфора достаточно бывает тех окислов железа, которые вносятся шихты и к-рые образуются при расплавлении завадки. Для более успешного и скорого удаления фосфора при этом необходимом процессе до скачивания шлака провести при возможно низкой  $t^{\circ}$ . Самый процесс электроплавки ведется при этом по следующей схеме: 1) завадка материалов, 2) плавление, 3) частичное окисление ванны, 4) спуск окисленного шлака, 5) обуглероживание (если это необходимо по содержанию C в ванне) и заброска восстановительного шлака, 6) раскисление и обессеривание, 7) доводка металла по химическому составу и 8) выпуск. Методом частичного окисления особенно экономично изготовлять углеродистые инструментальные стали, а также конструкционные легированные. Необходимо отметить, что при наличии соответствующего качества скрапа этот метод дает сталь наилучшего качества, так как в окислительный период количество окислов, растворяемых в ванне, значительно меньше, чем при плавках с полным окислением.

б) Электроплавка без окисления и я. Электроплавка без окисления применяется гл. обр. для изготовления конструктивных высоколегированных сталей типа нержавеющей и жароупорных, а также легированных инструментальных хромовольфрамовых и высокохромистых. При наличии строго подобранного по маркам скрапа этим методом возможно изготовлять любую марку стали. После расплавления приступают или непосредственно к раскислению шлака и восстановлению из него всех окисленных во время расплавления элементов (способ работы на сталь углеродистую и средней ответственности) или сначала скачивают шлак, заводят новый известковый и лишь затем приступают к раскислению последнего (способ работы на стали легированные высококордные). Необходимое количество углерода по расплавлению достигается регулировкой состава шихты, подсаживая в нее в зависимости от надобности или мягкое чистое по примесям железо, или, наоборот, чистый древесноугольный чугуи, или электродный бой.

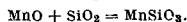
в) Рафинировка жидкого металла. В том случае, когда по тем или другим причинам (экономию электроэнергии и электро-

дов, необходимости резкого увеличения выпуска электростали без увеличения числа электрических печей и пр.) расплавление и предварительное рафинирование металла производится в мартеновской основной печи или конвертере, процесс получения электростали носит название duplex-процесса. По качеству получаемой стали процесс на твердой завалке и duplex-процесс равноценны. Выбор того или иного процесса зависит т. о. от масштаба производства, наличия нужного оборудования и экономичности при данных конкретных условиях. Если жидкий металл поступает в электрич. печь с содержанием фосфора, углерода и марганца, удовлетворяющим предписанным изготовляемой стали пределам (или ниже последних), то в электрич. печи после заливки металла приступают непосредственно к восстановительному периоду путем заведения восстановительного шлака и его дальнейшего раскисления. Если же содержание C, Mn и P повышено, то в электрической печи приходится продолжать окислительный период до получения содержания этих примесей в нужных пределах. Сталь из мартена или конвертера подается в электрич. печь при помощи обычного разливочного ковша и промежуточного жолоба, конец которого отставлен в рабочее отверстие электрич. печи. Время задалживания электрич. печи при применении такого способа работы сокращается обычно не менее чем в  $2\frac{1}{2}$  раза.

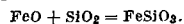
**Электроплавка стали в дуговых печах на холодном поду.** По конструктивным, электротехнич. и другим показателям различия между основными и кислыми печами не существует. Резкая разница в технологич. процессе рафинирования обусловлена кислой набойкой печи. Окислительные процессы. Окисление марганца и кремния. По мере расплавления металла начинают гореть кремний и марганец по реакциям:



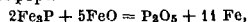
Закись марганца соединяется с кремнеземом набойки и кремнеземом, получающимся от окисления Si, и переходит в шлак в виде прочного соединения силиката марганца:



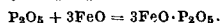
В шлак в виде прочного соединения силиката железа переходит также и закись железа, образовавшаяся в результате окисления железа:



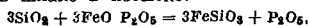
Т. о. окислы железа и марганца поглощаются кислым шлаком и прочно в нем удерживаются. Избыток кремнезема в кислом шлаке гарантирует отсутствие в нем свободных закисей железа и марганца, а отсюда и значительно меньшее растворение последних в металле, т. е. меньшую по сравнению с основным металлом его окисленность. Окисление фосфора. Фосфор в присутствии закиси железа окисляется вычале в окись фосфора



к-рая при дальнейшем взаимодействии с закисью железа образует фосфаты закиси железа:

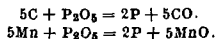


При повышении  $t^{\circ}$  фосфорная к-та вытесняется из этого соединения кремневой к-той, находящейся в шлаке в избытке:



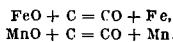
а затем восстанавливается до фосфора находя-

щимися в стали углеродом и марганцем по реакциям:

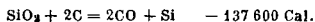


Восстанавливаемый по последним двум реакциям фосфор соединяется с железом, вновь образуя фосфористое железо. Т. о. фосфор при кислотном процессе не выгорает и целиком остается в металле. Полностью остается в металле и сера.

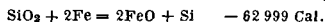
Раскислительный период кислородного процесса. По мере повышения  $t^\circ$  расплавленной стали в ванне начинают возникать и развиваться восстановительные реакции, идущие с поглощением тепла:



Наступает и развивается период кипения стали, ведущий к уменьшению количества углерода в ванне, окислов железа и марганца в шлаке. В конце кипения («затихание» кипения) получают развитие реакции восстановления кремния:



Если продолжать процесс далее без введения извне окислов и с дальнейшим повышением  $t^\circ$  ванны, то восстановление кремния начинает происходить за счет металлич. железа по реакции:

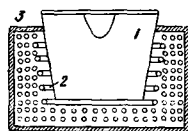


Восстановленный в результате двух последних реакций кремний действует на металл *in statu nascendi* (в момент рождения), раскисляет и дегазифицирует ванну настолько полно, что никаких дополнительных присадок ферросилиция перед выпуском часто не требуется. Количество  $SiO_2$  в шлаках колеблется от 45% (по расплавлению) до 60% (конец процесса), постепенно увеличиваясь до момента затихания кипения и оставаясь затем примерно на одном и том же уровне во весь период восстановления Si. Содержание FeO в шлаке после расплавления, равное 22—24% во весь период кипения, резко падает, достигая своего минимума (4—10%) при затихшем кипении, и затем снова повышается при развитии последней реакции. Цвет шлака из черного или коричневого после расплавления постепенно переходит в темно- и светлозеленый, а консистенция из жидкой постепенно переходит в вязкую, при застывании тянущуюся в нити.

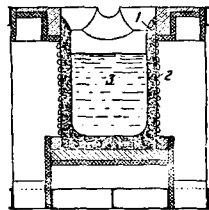
Работа кислой электрической печи. Т. к. в кислотном процессе не происходит удаления фосфора и серы, то содержание последних в шихте д. б. менее допустимого верхнего предела анализа получаемой стали. Наиболее подходящим скрапом являются отходы основных мартовенских сталей, т. к. в них содержание P и S обычно ниже 0,04%. Никакого флюса в шихту не подсаживают, а шлак образуется за счет окисляющихся элементов и кремнезема набойки (песка), известная часть которой при каждой плавке переходит в шлак (приходится подваривать набойку после каждой плавки). Состав шихты регулируют т. о., чтобы по расплавлению шихты иметь содержание углерода, близкое к заданному, но несколько (на 0,05—0,15%) больше. По расплавлению ванны металл перемешивают и берут пробу; если содержание углерода велико, то делают присадку руды небольшими порциями. По достижении нужного содержания углерода подсаживают феррмарганец и ферросилиций, перемешивают ванну и приступают к выпуску. При изготовлении ответственных и специальных сортов стали пе-

риод восстановительный (кипение ванны и восстановление кремния) проводят очень осторожно, тщательно наблюдая за качеством шлака и окисленностью металла. При изготовлении же фасонного стального литья период рафинировки под кислотным шлаком обычно ограничивается только временем, необходимым для нагрева ванны после расплавления до  $t^\circ$  выпуска (обычно время это  $> 30$  мин.). Слишком жидкий шлак в процессе рафинирования исправляется присадками песка или шамота, слишком густой — небольшим количеством известки. После выпуска плавки подина заправляется тем же песком, из к-рого устроена сама набойка. Кислотный процесс в электропечах применяется гл. обр. для получения фасонного стального литья небольшого развеса, а также в тех случаях, когда не требуется сталь с особо низким содержанием фосфора и серы, когда задаваемое содержание углерода, марганца и кремния в стали может колебаться в довольно широких пределах и когда имеется постоянный источник снабжения хорошим скрапом. При этих условиях кислотный процесс рентабельнее, так как расход энергии при нем приблизительно на 10% меньше. Во всех остальных случаях предпочтительнее основной процесс электроплавки.

**Индукционные электрические печи.** Первоначальный тип индукционных электрич. печей — печей с железным сердечником (впервые применил Челлин в 1900 г.) — не получил развития вследствие ряда дефектов и неудобств при производстве технологич. процесса. Изобретение бессердечниковых индукционных печей, обладающих рядом преимуществ, дало за последние 5 лет новый толчок ко все более и более широкому применению этого типа печей. Бессердечниковая индукционная печь новейшей конструкции состоит из тигля, который находится внутри медного змеевика, служащего проводником переменного тока, и железного магнитного ярма из трансформаторного железа. (Фиг. 22). Тигель 1 яв-



Фиг. 22.



Фиг. 23.

ляется плавильным пространством печи, причем помещаемый в тигель металл плавится вследствие возникновения в нем токов Фуко при прохождении переменного тока по катушке-змеевику 2. Магнитное ядро 3 служит для уменьшения сопротивления магнитному потоку и для улучшения коэффициента мощности ( $\cos \phi$ ). При постройке бессердечниковых индукционных печей без магнитного ярма (фиг. 23) основания для них могут быть устроены только из немагнитных материалов: дерева, бетона или немагнитных легированных сталей. Бессердечниковые индукционные печи питаются переменным током 250—2 000 Нз. Электротехнич. оборудование состоит из мотор-генератора, питающего печь электрическим током, и батареи конденсаторов. Эти печи обладают следующими преимуществами: 1) возможность переплава отходов самых мягких по содержанию углерода сталей без вымещения содержания в стали % углерода, что наблюдает-

ся в дуговых электропечах. Это обстоятельство особенно важно при стремлении использовать путем переплава все отходы мягких нержавеющих высококачественных сталей; 2) высокое качество стали вследствие непрерывно идущего в тигле перемешивания металла; 3) высокая производительность печей по сравнению с другими печами, что видно из данных табл. 9. Продолжи-

Табл. 9. — Производительность сталеплавильных печей (для изготовления фасонного стального литья).

Тип печи	Емкость, т	Производительность, т/сутки
Бесстержневая индукционная	1	20—25
Дуговая электрическая	4	25
Мартевская	8	28—40

тельность расплавления в таких печах не превосходит 60 мин.; время последующего рафинирования и доводки по анализу не больше 1 ч. при изготовлении наиболее ответственных легированных сталей. При производстве же стали для фасонного литья продолжительность всего процесса переплава 45—60 мин. В настоящее время бесстержневые индукционные печи строятся вместимостью до 4 т (фиг. 23, где 1 — тигель, 2 — катушка, 3 — металл). Тигель в большинстве случаев выполняется набивным (по шаблону) из мелкого кварцевого песка с примесью 3% порошка буры; эта масса легко схватывается при разогреве тигля до 900°. Загрузка состоит из чистых отходов по возможности той же марки стали, к-рую необходимо получить. По расплавлении металлы нагревают, регулируют содержание примесей (Cr, Ni, Mo и др.), раскисляют присадками ферромарганца и ферросилиция, после чего немедленно (или с выдержкой в случае перегрева металла) приступают к выпуску металла в ковш. Расход энергии — в среднем 750 kWh/1 т стали. В настоящее время в бесстержневых индукционных печах производится сталь для фасонного стального литья, а также высоколегированные специальные стали (нержавеющие, немагнитные, трансформаторные и пр.).

**Статистика производства электростали.** Указанные выше преимущества электроплавки в связи с ростом спроса на качественную и высококачественную сталь для автомобильной, авиационной отраслей и разных видов машиностроения вызвали резкий рост электросталеплавильного дела во всех капиталистических странах. Выплавка электростали в тыс. т приведена ниже:

	1915 г.	1929 г.	1932 г.	1934 г.	1935 г.
США	71	968	245	367	560
Германия	132	174	92	208	331
Франция	27	151	154	198	246
Англия	22	89	56	н. св.	н. св.
Италия	22	253	271	н. св.	н. св.
Швеция	2	113	121	164	»
Австрия	н. св.	93	40	63	»
Канада	н. св.	54	20	24	»
Япония	н. св.	53	н. св.	н. св.	»

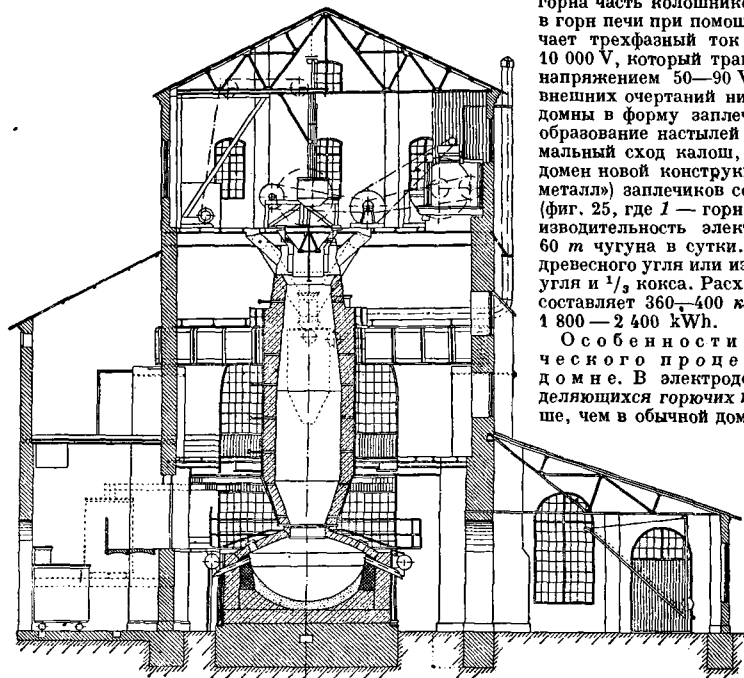
Электрометаллургия капиталистич. стран быстро развилась в послевоенный период и достигла наибольшего развития в 1929 г. Мировой кризис вызвал резкое сокращение Э. ж. к 1932 г., а в последовавшей вслед за кризисом депрессии особого рода производство вновь стало возрастать и к 1935 г. в большинстве стран уже превысило уровень 1929 г. Больше всего от кризиса пострадали США, где выплавка электростали в 1935 г. все еще значительно ниже уровня 1929 г.

Хотя уд. в. электростали в общей выплавке стали и незначителен, составляя в главных металлургических странах около 1,7—2,8%, но в общей выплавке качественных сталей уд. в. электростали весьма значителен и систематически растет: так, в США в 1913 г. из общей выплавки легированных сталей в 714 тыс. т только 41 тыс. т, или 1,5%, приходилось на долю электростали, а в 1929 г. из общего количества выплавленной легированной стали в размере 3 957 тыс. т 510 тыс. т, или 12,8%, приходилось на долю электростали; в 1933 г. из общей суммы в 1 547 тыс. т легированных сталей на долю электростали приходилось уже 296 тыс. т, или 19,1%. Швеция, являющаяся одним из крупнейших в Европе производителей высококачественных сталей, выплавляет больше четверти всей стали в электропечах. Далее Э. ж. приобрело большое значение в странах с наличием дешевой гидроэнергии, как Италия, Франция, Австралия и Канада. В царской России почти не существовало сколько-нибудь значительной Э. ж. Первая электропечь появилась в 1909 г., и к 1913 г. во всей пром-сти было только 7 электропечей с общей суммарной емкостью в 15—16 т. Подлинное развитие Э. ж. получила после Великой Октябрьской революции. В течение первой и второй пятилеток создана заново мощная электрометаллургич. пром-сть, прочно занявшая первое место в Европе, имеющая тенденцию быстро догнать США и занять первое место в мире. К началу первой пятилетки в СССР работало 16 электропечей для выплавки стали с суммарной емкостью в 50 т, а по переписи оборудования на 15 сентября 1934 г. уже было в эксплуатации 140 сталеплавильных электропечей с общим тоннажем в 499 т; сверх того к этому моменту находилась в постройке 71 электросталеплавильная печь с тоннажем в 380 т. На 1 января 1935 г. всего в СССР работало 600 электропечей, из которых большая часть предназначена для плавки цветных металлов, твердых сплавов и карбидов; что же касается сталеплавильных печей, то на 1 января 1935 г. насчитывается 148 электропечей, причем на долю металлургич. заводов приходится 47 печей с общим тоннажем в 203,5 т. Остальные 101 печь размещены по разным машиностроительным з-дам, гл. образом в литейных цехах. Сверх того на 1 января 1935 г. насчитывалось 24 электропечи для выплавки ферросплавов. В 1932 г. пущены первые 10-тонные печи на инструментальном заводе «Запорожсталь», а в 1933 г. пущена первая 15-тонная печь на з-де «Электросталь». Заслуживает внимания то, что большая часть установленных печей — советской конструкции, а в настоящее время наш Союз полностью удовлетворяет свою потребность в оборудовании электропечей. Вновь созданная Э. ж. развивает свое производство невиданными в мировой пром-сти темпами: так напр., в 1927/28 г., накануне первой пятилетки, было выплавлено 18,4 тыс. т электростали, в последний год первой пятилетки, в 1932 г., выплавка электростали возросла до 107,4 тыс. т, в 1934 г. выплавка дошла до 297 тыс. т. К этому году СССР прочно занял первое место в Европе, ибо наша выплавка электростали превышает наивысший уровень любой из европейских стран. В 1935 г. выплавка электростали, включая незначительное количество тигельной стали, возросла до 520 тыс. т и близко подошла к выплавке электростали в США. Характерным показателем высоты развития нашей Э. ж. является также более высокий, чем в капиталистических странах, уд. в. производства электростали

в общей выплавке стали: так, в 1935 г. при общей выплавке в 12 473 тыс. т стали уд. в. электростали составил 4,2%, тогда как в США этот показатель равен 1,6%, в Германии — 2,1% и во Франции — 3,9%. Л. Кафенгауз.

**II. Электроплавка чугуна. Выплавка чугуна из руд в электропечах.** При выплавке чугуна в доменных количествах углерода, расходуемое для нагревания и расплавления материалов, в 1½ раза превышает то количество углерода, которое необходимо для реакции восстановления и науглероживания. Применение электродов особенно важно для стран, где горючее дороже, а электрич. энергия дешева. Первые удачные результаты по выплавке чугуна в электропечах были получены Геру

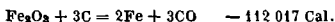
из 2 несвязанных между собой частей: верхней (шахта, распар и заплечики) и нижней (горн). Нижняя часть — горн — перекрыта сводом, в котором устроены отверстия для ввода электродов. Вес шахты и всей верхней части передается на особую опорную конструкцию, так что свод горна никакой нагрузки не несет и его можно ремонтировать независимо от шахты. Под горна навивной — из магнезита со смолой. Для достижения герметичности печи зазор между шахтой и сводом закрывается песчаным затвором. Ток подается в печь посредством 4 электродов, вводимых в свод горна под углом 65° к горизонтали. Для улучшения восстановления руды окисью углерода в шахте печи и для охлаждения свода горна часть колошникового газа вдувается в горн печи при помощи насоса. Печь получает трехфазный ток в 25 периодах при 10 000 V, который трансформируется в ток напряжением 50—90 V. Так как сужение внешних очертаний нижней части электродовны в форму заплечиков обуславливало образование настывей и задерживало нормальный сход калоса, то профили электродов новой конструкции (об-ва «Электрометалл») заплечиков совершенно не имеют (фиг. 25, где 1 — горн, 2 — электрод). Производительность электродомне доходит до 60 т чугуна в сутки. Горючее состоит из древесного угля или из смеси ¾ древесного угля и ¼ кокса. Расход угля на 1 т чугуна составляет 360—400 кг, электроэнергии — 1 800—2 400 kWh.



Фиг. 24а.

Особенности металлургического процесса в электродомне. В электродомне количество выделяющихся горючих газов в 7/8 меньше, чем в обычной доменной печи; поэтому материал шихты в электродомне подогревается гораздо меньше, и падение t° от горна печи к колошнику значительно ниже, т. е. зона, в к-рой имеет место не прямое восстановление в электродомне, значительно меньше, чем в обычной домне, и составляет максимум 17% от всего количества получае-

мого чугуна (восстановленного железа). Т. о. процесс восстановления руды в электродомне идет гл. обр. за счет прямого восстановления твердым углеродом по реакции:



Состав колошникового газа электродомны вследствие главным образом отсутствия вдувания воздуха для горения топлива характеризуется очень большим процентом окиси углерода и малым процентом азота, что видно из анализа, приведенного ниже (в %):

Домны	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
Электродомна . . . . .	63	23,5	10	2	1,5
Коксовая . . . . .	29	10	3	0,5	57,5
Древесноугольная . . . . .	38	12	8,5	1,5	52

Анализ получаемого чугуна колеблется в следующих пределах (в %): 3,6—2,7 C; 0,25—1,22 Si; 2,09—0,22 Mn; 0,02—0,009 S; 0,042—0,019 P.

в Канаде в 1905 г. Дальнейшие опыты (с 1908 г.) выплавки чугуна в таких печах в Норвегии и Швеции (з-ды Domnarfjet и Trollhättan) оказались удачными, вследствие чего электрич. домны нашли себе дальнейшее распространение. В настоящее время насчитывается ок. 50 работающих электрич. доменных печей, из них 23 — в Швеции и Норвегии, 6 — в Италии, 2 — в Бразилии и 2 — в Японии. Количество электродоменного чугуна в Швеции достигает 18% общей выплавки чугуна.

Типы электрических печей для выплавки чугуна из руд. Электрич. печи можно свести к двум типам: 1) электропечи с высокой шахтой (электродомны) и 2) электрические печи с низкой шахтой. Последний тип печей вследствие чрезмерно высокого расхода электрич. энергии на 1 т чугуна распространения не получил. На фиг. 24а и 24б дан чертеж электродомны з-да Trollhättan. Печь состоит



На 1 т чугуна приходится ок. 450 кг шлака. Кнд электродомны ок. 68%.

**Получения синтетического чугуна.** Синтетическим называется чугун, полученный сплавлением в электрических печах железной стружки и мелкого сирапа с коксом, древесным углем, ан-

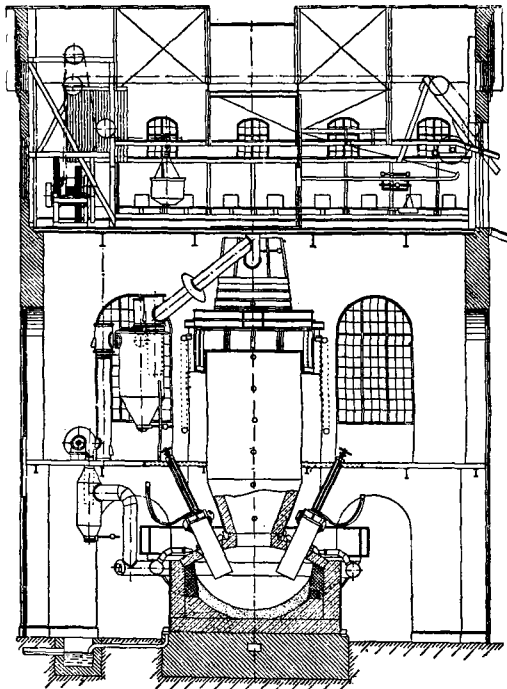
сти (2%). Состав синтетич. чугуна: 2,3—3,2% С; 1—2,5% Si; 0,6—0,8 Mn; < 0,06 P; < 0,05% S.

**Рафинирование ваграночного чугуна.** Для улучшения свойств ваграночного чугуна (в целях обессеривания, раскисления и дегазации) при получении высококачественных отливок значительное распространение получил дуликел-процесс: вагранка, электропечь (последняя гл. обр. основная). Достаточно 50 мин. после заливки чугуна в электрич. печь, чтобы резко снизить процент серы и провести нужное раскисление. Шлак наводится из извести количества коксовой мелочи. Через 50 мин. после заливки чугуна процент серы м. б. снижен с 0,15% до 0,03%, а  $t^{\circ}$  чугуна значительно поднимается, что благотворно скаывается на структуре отливки («термич. улучшение чугуна в расплавленном виде»). Механич. качества чугуна резко возрастают, что видно из следующих данных:

	Сопротивление, кг/мм <sup>2</sup>	Чугун из электр. печи	Чугун из вагранки
Разрыву . . . . .		30—35	ок. 25
Изгибу . . . . .		45—50	30—40
Снятию . . . . .		90—100	70—90

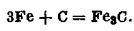
Расход электрич. энергии 100—250 kWh на 1 т рафинированного чугуна.

Лит.: Григорович К., Электрометаллургия железа, ч. 1, Электр. печи, М., 1922; Липин В., Металлургия чугуна, железа и стали, т. 3, ч. 1, Электроплавна, Л., 1926; Малакшиев К. И., Производство электр. сталей, Л., 1927; Керпел К., Практика производства электростали для фас. литья, пер. с нем., Харьков, 1932; Сиско Ф., Производство электростали, пер. с англ., Л., 1927; Барто В. Л., Рафинировка металла в эл. печах, 1929; Болровский М., Электрич. индукц. печи, М.—Л., 1932; Индукционные электрич. печи, сб. ст. под. р. Богорад, М., 1932; Григорович К., Производство стали в эл. печах, М.—Л., 1932; Сперанский В. В., Производство электростали, М.—Л., 1931; Гостев К., Производство спец. сортов стали в март. и электрич. печах, М.—Л.—Свердловск, 1933; его же, Практика производства электростали, М.—Л., 1934; Курьянов И., Электрометаллургия стали, чугуна и др. сплавов, М.—Л.—Свердловск, 1934; Мовшевич Г., Неравновесное железо и сталь, пер. с англ., М.—Л., 1932; Стенсфилд А., Производство чугуна и ферросплавов в электропечах, пер. с англ., М.—Л., 1932; Струмлиня С., Черная металлургия в России и СССР, М., 1935; Институт металлозн. исследований, НКПД, Черная металлургия СССР в 1934 г., М., 1935; Черная металлургия, Статистический справочник 1928—1934, М., 1935; Escard J., L'Electrometallurgie du fer et de ses alliages, P., 1920; Escard J., Les fours electriques industriels et les fabrications electrothermiques, 2 ed., P., 1924; Stansfield A., The Electric Furnace for Iron & Steel, N. Y., 1928; Stansfield A., The Electric Furnace, N. Y., 1934; Gowen C., The Metallurgy of Steel, L., 1921; Крэммер М. и Пейвиг Г., Die Elektro-metallöfen, Mch.—B., 1922; Zellner J., Die Künstlicher Kohlen, В., 1903; Jüptner H., Die Reduktion der Eisenerze in elektrische Ofen, Lpz., 1924; Kuss E., Die Elektrostahtöfen, В., 1918; Clausel de Cousegues, L'Electro-Siderurgie, P., 1923; Соколов А., Определение основных размеров дуговых стал. эл. печей, «Металлургия», 1931, № 4; Соколов А., Кремер М. и Виноградов В. М., Зав. плавки в провадильного стального литья, там же, 1931, № 1; Мюллер-Гауффер, Значение кислого процесса эл. плавки стали, «К. Русск. мет. об-ва», Л., 1927, № 2; Мариенбах Л., Кислый процесс в печах Мура, «Лит. дело», Л., 1931, № 5; Аронов В. Л., Электропечь с вращающейся вольтовой дугой, «Уголь и железо», 1926, № 1—12; Козлов В., Размеры, конструкция, режим и расход электродов в эл. дуговых печах, «Домез», Л., 1932, № 4—5; Боголюбов, Конструкция печи Мура, «Лит. дело», Л., 1931, № 5; Соколов А. и Кремер М., Некоторые данные для проектирования дуговых сталеплавильных печей, «Металлургия», Л., 1927, № 3; Барский В., Устройство современных печей без серицики и их значение в металлургии, сталь, 1932, № 4; Соколов В. В., Высококачественная сталь, «Металлургия», 1933, № 3; Ступарь С., Опыты выплавки бы-

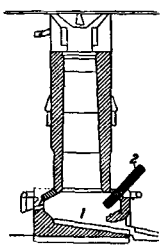


Фиг. 24б.

трацитом или другим науглероживателем. Науглероживание железа идет как до расплавления вследствие процесса цементации, так в особенности после расплавления, когда металл легко растворяет углерод и образует карбид железа по реакции:



**Выплавка синтетич. чугуна** впервые была произведена во Франции Келлером во время войны в электрич. печах шахтного типа с низкой шахтой (см. Электрические печи, фиг. 50). Процесс выплавки в такой печи идет непрерывно со след. показателями на 1 т чугуна: расход энергии 100—600 kWh, науглероживателей (кокса и др.) 70—100 кг. Кроме того расходуется небольшое колич. извести и плавленного шпата, а также ферросилиция и ферромарганца. Кроме низкошахтных печей синтетич. чугун может производиться также и в обычных электродуговых сталеплавильных печах. В этом случае шихта состоит из стружки и мелких обесчек (прославляемых обуглероживателями) и изве-

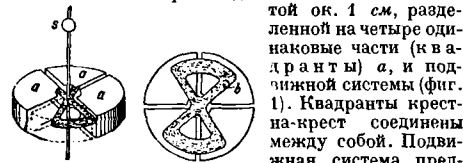


Фиг. 25.

строены, стали по методу работы без окислительного процесса. «Домец». 1932. 3; «Труды 1-го Всесоюзного съезда по качественному стали». М.—Л., 1934; Доргого в Н., Тепловые и материальные балансы, Электротехн., «Вестник металлопромышленности», М., 1929, 8—9, 1930, 3—4, 11—12. Гостев.

**ЭЛЕКТРОМЕТР**, прибор, предназначенный гл. обр. для измерения незначительных разностей потенциалов. Э. относится к приборам электростатич. системы, принцип действия которых основан на электростатич. взаимодействии заряженных проводников. Постоянная область их применения — это измерение небольших разностей потенциалов между какими-либо двумя точками электрической цепи, а также всевозможные измерения электростатич. характера. Э. применяются для измерения как постоянной, так и переменной разности потенциалов, причем в последнем случае показания их не зависят ни от формы кривой тона ни от частоты. Превосходя по своей чувствительности в известных только условиях *гальванометры* (см.), Э. применяются также там, где чувствительность первых в силу налагаемых внешних обстоятельств оказывается недостаточной, напр. при измерениях электропроводности диэлектриков. Наиболее распространенными и совершенными Э., применяемыми в технике, являются квадрантные Э., предложенные впервые В. Томсоном, и Э. струнные.

Квадрант н ы й Э. состоит из неподвижной металлич. коробки диам. ок. 3—5 см, высотой ок. 1 см, разделенной на четыре одинаковые части (квадранты) *a*, и подвижной системы (фиг. 1).



Фиг. 1.

Квадрант н ы й Э. имеет крест соединенный между собой. Подвижная система представляет собой тонкую алюминиевую пластинку *b* (бисквит), имеющую форму восьмерки, к-рая вместе с зеркальцем *s* для отсчета подвешена на тонкой платиновой нити. Нить *d*, б. укреплена точно в центре тяжести бисквита, чтобы последний был строго горизонтален и не касался квадрантов. Вся система закрывается металлич. кожухом—экраном. Существуют три способа включения квадрантного Э.: 1) Квадрантное (гетеростатическое) включение (фиг. 2), где *A*, *A*—квадранты, *B*—бисквит, *D*—экран. Между измерением прибором напряжением  $U_x$  и углом поворота  $\alpha$ , отсчитываемым по зеркальному способу, имеется зависимость

$$\alpha = \frac{1}{c_1} U_n U_x,$$

где  $\alpha = \frac{1}{2} (\alpha_1 - \alpha_2 + \alpha_3 - \alpha_4)$ ;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ —углы отклонения бисквита, соответствующие различным положениям переключателей  $P_1$  и  $P_2$  (переключение необходимо для устранения контактных разностей потенциалов);  $U_n$ —известное напряжение вспомогательной батареи;  $c_1$ —постоянная прибора, определяемая в той же схеме при замене  $U_x$  нормальным элементом (см.). Квадрантное включение применяется для измерения малых напряжений (эдс) в цепях постоянного тока. 2) Бисквитное включение (фиг. 3)

$$\alpha = \frac{1}{c_2} U_n U_x,$$

где  $U_n$ —та часть напряжения батареи *E*, которая подведена к квадрантам и равна

$$U_n = \frac{2r}{R} E.$$

Здесь *R*—сопротивление всего реостата (потенциометра) *ab*,  $2r$ —часть его, соединяемая с квадрантами прибора.

Способ этот применим для измерения больших напряжений. 3) Двойное (идеостатическое) включение. Оба предыдущих случая требуют постороннего источника эдс; если этого желают избежать, то применяют двойное включение (фиг. 4), для чего одна пара квадрантов соединяется с бисквитом, а другая с экраном, к-рый заземляется. В этом случае

$$\alpha = \frac{U_x^2}{c_3}.$$

Этот случай применяется гл. образом для измерения в цепях переменного тока. Чувствительность Э. оценивается с двух точек зрения: по чувствительности прибора к измеряемому потенциалу и по чувствительности его к заряду. За меру чувствительности Э. к потенциалу принимают величину отклонения стрелки прибора, измеренную в мм шкалы на расстоянии 1 м, которое производится приложенным к прибору напряжением в 1 В, т. е. величину

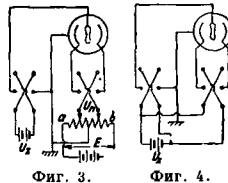
$$S_u = \frac{a}{U}.$$

За меру чувствительности Э. к заряду принимают величину отклонения, происходящего на единичный заряд, сообщаемый квадрантам, т. е. величину

$$S_q = \frac{a}{Q}.$$

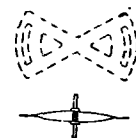
Чувствительность данного Э. зависит прежде всего от материала, длины и толщины подвесной нити. У наиболее чувствительных современных приборов применяются кварцевые нити, покрытые снаружи проводящим слоем.

Число различных систем Э. довольно значительно. Одним из лучших Э. является Э. системы Долеалека—изменение квадрантного Э., предложенного Томсоном. Э. системы Долеалека пользуется значительным распространением на практике главным образом благодаря удобству обращения с ним и высокой чувствительности. Бисквит (фиг. 5) этого Э. изготовляют из позолоченной бумаги или из бумаги, покрытой тонким слоем олова (посеребренная бумага), или же выштамповывается из тонкого алюминиевого листа. Нить подвеса делают из горного хрусталя, покрывая для придания ей проводимости слоем какого-либо гигроскопич. вещества. С этой целью ее погружают в 10—20%-ный раствор хлористого калия, хлористого магния или же фосфорной кислоты; оставаясь все время слегка влажной, нить приобретает известную проводимость. Иногда кварцевую нить покрывают тонким слоем серебра. Когда не требуется особой чувствительности Э., применяют вместо кварцевой нити тонкие бронзовые ленточки. Латунные квадранты Э. монтируются на янтаре



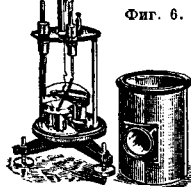
Фиг. 3.

Фиг. 4.



Фиг. 5.

или на кварцевых пластинках. Два соседних квадранта, скрепленных вместе, могут отклоняться в сторону. Латунный футляр служит для предохранения прибора от воздушных течений и внешних электрических полей. При измерении электрострикции футляр соединяется с землей. Бисквит для успокоения не требует особого демпфера, так как сопротивление, испытываемое бисквитом при его движении со стороны воздуха, является для этой цели вполне достаточным. Чувствительность Э. сист. Дюлевалена с кварцевой нитью характеризуется следующими данными: разность потенциалов на квадрантах, равная 0,1V, дает отклонение в 250 мм на шкале в расстоянии 1 м и при



Фиг. 6.

потенциале бисквита, равном 100 V. На фиг. 6 показан общий вид этого Э. (два квадранта отодвинуты в сторону, рядом латунный футляр с окошечком для наблюдений).

**Бинарный Э.** Квадратный Э. обладает некоторыми существенными недостатками в условиях применения его в технике: 1) отклонение бисквита при достаточно высоком потенциале не остается пропорциональным измеряемой разности потенциалов; 2) чувствительность не м. б. легко регулируется одним изменением потенциала бисквита без замены подвижной нити. Бинарный Э. не обладает указанными недостатками. Его коробка разделена на четыре квадранта, а на два равных бинанта  $Q_1$  и  $Q_2$  (фиг. 7). Бисквит представляет собой слегка изогнутый тонкий алюминиевый диск, разрезанный на две равные изолированные друг от друга части. Внутренние поверхности бинантов и поверхности бисквита имеют сферич. форму с центром сферы в точке подвеса нити. Такая форма поверхностей устраняет возможность прилипания бисквита при большом его



Фиг. 7.

потенциале к поверхностям его коробки, что имеет иногда место у квадратного Э. Одной части бисквита потенциал сообщается через подвижную нить, другой части — через тонкую платиновую спираль. При обычном способе включения бинарного Э. (фиг. 8) частям бисквита сообщают равные и противоположные потенциалы. Угол  $\alpha$  отклонения стрелки будет пропорционален приложенной разности потенциалов ( $U_1 - U_2$ ):

$$\alpha = cU(U_1 - U_2),$$

$c$  — постоянная прибора. Чувствительность бинарного Э. к потенциалу при тех же размерах и потенциале бисквита, что и у квадратного Э., раза в два выше. Чувствительность к заряду меньше, чем у квадратного Э.

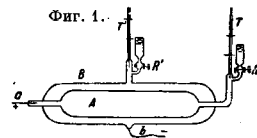
**Струнный Э.** В этой системе Э. бисквит заменен тонкой осеребренной кварцевой или платиновой нитью  $S$  (фиг. 9), натянутой между двумя металлами (ножами)  $A$  и  $B$  ( $q, q$  — кварцевые изоляторы). Натяжение нити, а также расстояние между ножами возможно менять при помощи особых приспособлений.

На нить подается потенциал порядка нескольких сот и больше  $V$ , а измеряемое напряжение присоединяется к ножам. Отклонение нити наблюдается в микроскоп. Эти Э. могут быть включены по одной из схем квадратного Э., но обычно они включаются по схеме фиг. 9. Обладая очень малой инерцией подвижной нити, струнные Э. применяются прежде всего там, где требуется регистрация быстро меняющихся потенциалов. Чувствительность подобного Э. следующая: при потенциале нити в 1500 V и тысячекратном увеличении микроскопа нить смещается в поле зрения на 1 мм шкалы при напряжении в 0,0001 V.

Лит.: Хвольсон О., Курс физики, т. 4, Берлин, 1923; СЭТ, Справочная книга для электротехников, т. 1, Л., 1928; В а з и д е в и ч В., Электротехнические измерения и приборы, Л., 1929; Е р м а к о в В., Основы электрометрии, т. 1, М.—Л., 1927; Э й х е н в а л ь д А., Электричество, 9 изд., М.—Л., 1933; С в и р с к и й Е., Электротехнические измерения и приборы, М.—Л., 1934; П о л о в В., Электротехнические измерения и приборы, М.—Л., 1934. И. Мельников.

**ЭЛЕКТРОСТРИКЦИЯ**, явление упругой деформации различных тел (в особенности диэлектриков) в результате воздействия на них пндермоторных сил, вызванных окружающим электрич. полем. Как известно, на всякое тело, помещенное в электрич. поле, действуют силы электрич. происхождения, стремящиеся вызвать перемещения электрич. зарядов в теле. Однако тогда, когда такого рода перемещения невозможны (напр. в случае диэлектриков, помещенных в электрич. поле), эти электрич. силы действуют на само тело (т. е. становятся пндермоторными). В результате внутри тела (например внутри диэлектрика) появляются натяжения и давления, вызванные как притяжением заряженных тел друг к другу, так и смещением электронов и ионов (под влиянием внешнего электрич. поля), что влечет за собой упругие деформации тела.

Впервые явления Э. констатировал Фонтана в 1831 г. Он заметил, что объем конденсатора в виде лейденской банки (и аналогичного рода приборов) увеличивается при электризации. Первое исследование явления Э. произвел в 1878 году Дутер, использовавший для



Фиг. 1.

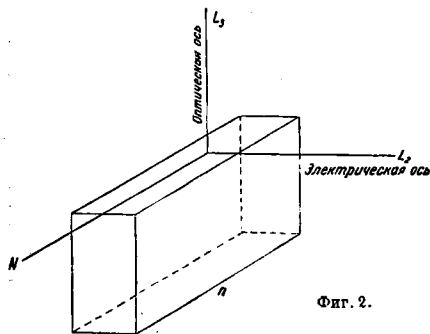
этих целей прибор в виде особого рода лейденской банки (фиг. 1). Прибор состоит из 2 сосудов: 1) внутреннего сосуда  $A$  с капиллярной трубкой  $T$  и с электродом  $a$  и 2) внешнего сосуда  $B$ , также снабженного капилляром  $T'$  и электродом  $b$ . Оба сосуда наполняются подкисленной водой, играющей роль обкладок конденсатора. При заряде такого конденсатора жидкость в капилляре  $T$  опускается, в то время как в капилляре  $T'$  поднимается, что указывает на увеличение объема конденсатора при заряде. В результате различных исследований такого рода и измерений было определено, что изменение объема прямо пропорционально квадрату разности потенциалов и обратно пропорционально квадрату толщины конденсатора  $A$ . Все последовавшие затем многочисленные исследования и измерения величины Э. в статич. полях у изотропных тел (твердых,

жидких и газообразных) показали, что для большинства тел величина деформации пропорциональна квадрату напряженности электрич. поля. Величина  $\Delta$ , вообще говоря, чрезвычайно мала, благодаря чему подробное исследование явления представляет значительные трудности. Относительно большой  $\Delta$  обладают растворы, где замечается сжатие раствора вследствие производимого ионами электролитов притяжения соседних молекул. В газах изменение объема  $\Delta v$  газового конденсатора при возникновении поля  $E$  можно выразить  $\Phi$ -лой

$$\Delta v \cong \frac{V}{8\pi} \cdot \frac{d\epsilon}{d\rho} \cdot E^2,$$

где  $V$  — потенциал конденсатора,  $\rho$  — давление промежуточного газа,  $\epsilon$  — диэлектрич. постоянная газа.

Особые качественные и количественные показатели обнаруживаются у кристаллов, обладающих пьезоэлектрическими свойствами (см. *Пьезоэлектричество и Пьезокварц*). Эти особенности состоят в том, что у пьезоэлектрич. кристаллов



Фиг. 2.

$\Delta$  пропорциональна первой степени напряженности электрич. поля и что в различных направлениях величина  $\Delta$  различна. Первая особенность, делающая у пьезокристаллич. тел эффект  $\Delta$  значительно более заметным, создает условия для более широкого технического использования явления  $\Delta$  этих тел. Вторая особенность дает базу для применения  $\Delta$  в специальных целях. Так напр., если сообщить двум противоположным граням пластинки (вырезанной в форме параллелепипеда согласно фиг. 2 из пьезокварца), нормальным к электрич. оси, разность потенциалов  $V$ , то пластинка получит а) удлинение вдоль по оси электрической:

$$\Delta l_1 = KV$$

и б) укорочение вдоль по нормали  $N$ :

$$\Delta l_2 = -K \cdot \frac{n}{b} \cdot V;$$

в) вдоль же по оптич. оси  $\Delta l_3 = 0$ . Здесь  $K$  — пьезоэлектрич. постоянная кварца,  $b$  — размер параллелепипеда вдоль электрич. оси и  $n$  — то же вдоль оси  $N$ . При  $V \cong 6000$  В  $\Delta l_1 \cong \cong 1,2 \cdot 10^{-6}$  см; если же изготовить кварцевую пластинку так, чтобы  $n = 100 b$ , то

$$\Delta l_2 \cong -1,2 \cdot 10^{-4} \text{ см.}$$

Следовательно даже у пьезокристаллов, обладающих большим эффектом  $\Delta$ , изменения размеров при  $\Delta$  оказываются столь малыми, что для их определения и измерения являются недостаточно точными даже оптич. методы. Здесь

получили применение специальные приборы, разработанные Кюри, в частности так наз. пресс с пьезоэлектрич. манометром и прибор с увеличивающим рычагом и микроскопом. Если к рассмотренной выше пластинке пьезокварца, вырезанной в форме параллелепипеда, приложить переменное электрическое поле, то пластинка будет деформироваться одновременно с изменением этого поля, т. е. начнет вибрировать. Амплитуду колебаний пластинки (параллелепипеда) можно значительно увеличить, если приложить переменное поле частоты, равной собственной частоте пластинки (см. *Резонанс*). Гл. обр. на последнем явлении и основано большинство практич. применений  $\Delta$ . Согласно данным теории упругости  $\Phi$ -ла, связывающая размеры и свойства упругости стержня или пластинки, отвечающей укороченному стержню (если на концах пластинки находятся пучности акустич. волны, а узел лежит в середине стержня), имеет вид:

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E \cdot g}{\rho}},$$

где  $N$  — число продольных колебаний в ск.,  $l$  — длина пластинки в направлении колебаний в см.,  $E$  — модуль упругости,  $g = 981$  см/сек и  $\rho$  — плотность вещества пластинки. (Та же  $\Phi$ -ла действительна и для случая, когда у широких граней пластинки получаются узлы стоячей полуволны, а у середины ее толщины — пучность.) Таким обр. для вырезанной из кристалла пьезокварца пластинки толщиной  $l = 1$  см при  $\rho = 2,65$  и  $E_{\text{кв}} = 7850$  кг/мм<sup>2</sup> имеем:  $N = = 269,531$  колебаний в ск. Пластинка, имеющая форму параллелепипеда, как известно, обладает тремя собственными частотами и значительным количеством обертонов. Пластинки, имеющие круглую форму, также имеют три собственные частоты. Эмпирические  $\Phi$ -лы, определяющие собственные частоты пластинки, вырезанной перпендикулярно электрич. оси кристалла так, что оптич. ось кристалла является одним из диам. диска, имеют следующий вид:

$$N_1 = \frac{2870}{d}; \quad N_2 = \frac{2715}{D} \quad \text{и} \quad N_3 = \frac{3830}{D},$$

где  $N$  — частота в kHz,  $d$  — толщина диска в мм и  $D$  — диаметр диска в мм. Наконец следует иметь в виду, что кварцевые пластинки обладают еще рядом собственных частот, гораздо меньших, чем те, которые зависят от длины стоячей акустич. волн в них, обусловливаемых поперечными колебаниями пластинки, аналогичными колебаниям струны.

Эффект  $\Delta$  в сочетании с пьезоэлектрич. эффектом встречается в пьезоэлектрических кристаллах и находит применение в целом ряде областей современной техники. Из всех известных пьезоэлектрич. кристаллов особо широкое применение нашел кварц ( $\text{SiO}_2$ ) и в меньшей мере турмалин и сегнетова соль ( $\text{Na}_2\text{K}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Последнее обуславливается значительными пьезо- и электростриктивными эффектами, большой механич. прочностью, а также рядом других качеств (малый темп-рный коэф., наличие относительно богатых месторождений и т. п.), свойственных пьезокварцу. Большинство практич. применений эффекта  $\Delta$  кварца связано с явлением увеличения  $\Delta$  при резонансе в несколько тысяч раз по сравнению с  $\Delta$ , создаваемой статич. полем. Так напр., на эффекте увеличения емкости пьезокварцевого конденсатора по мере приближения частоты внешнего поля к одной из частот пластинки кварца основаны различные ва-

рианты некоторых из современных типов чувствительных частотомеров (см. *Частоты измерения*). Современные эхо-толы для определения морских глубин и нахождения различных тел, а также ультразвуковая подводная связь и ряд других приборов целиком основаны на мощном акустическом излучении со стороны кварца при резонансном эффекте Э. Так, в частности уже при напряжении на электродах кварцевой пластинки порядка 30—40 kV в воде создается звуковой луч, убивающий рыбу и вызывающий реакцию боль в руке, поставленной в направлении луча. Современная техника ультразвуковых волн (см. *Ультразвуковые колебания*) и ее развитие в большой мере связаны с Э., в частности с явлением Э. кварца, дающего новое мощное орудие для широких акустич. и ультразвукустич. исследований. Сюда относятся также кварцевые телефоны, репродукторы, специальные осциллографы (с чувствительностью, дающей на шкале, стоящей на расстоянии 1 м от зеркала, смещение в 1 см при напряжении в 2,5 V), специальные стабилизаторы частоты в радиотехнике (см. *Стабилизация частоты*), вольтметры высокого напряжения и т. п.

Лит.: Х в о л ь с о н О., Курс физики, т. 4, стр. 258, Берлин, 1923; Б о л ь д ь р е в А., Кристаллография, 3 изд., Л., 1934; S a c e r d o t e, «*Journal de Phys.*», P., 1899, t. 8, p. 457; *ibid.*, 1899, p. 200; «*Phil. Mag.*», 1901, v. 1, p. 357; К е м б л е, «*Physical Review*», 1916, v. 7, p. 614. А. Вайнберг.

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА СЛАБЫХ ТОКОВ**, область электротехники, которая в своем историч. развитии ограничивалась сначала технич. применением токов сравнительно небольшой силы. Уже в 80-х годах прошлого столетия можно проследить деление электротехники на электротехнику слабых и электротехнику сильных токов, причем под Э. с. т. понималось гл. обр. применение электротехники для служб связи (телефон, телеграф). Удельный вес Э. с. т. по сравнению с электротехникой сильных токов, сначала небольшой, быстро растет и к концу первого десятилетия нашего века по технич. объему становится почти равнозначущим ей. В настоящее время к Э. с. т. относят: а) первичные, или гальванические, элементы и вторичные элементы, или аккумуляторы (принадлежность к-рых только к Э. с. т. впрочем не вполне правильна); б) электрич. телеграф со всеми его модификациями, начиная от аппарата Морзе до быстродействующих буквенечатающих аппаратов; в) телефон, т. е. техника электрич. передачи человеческой речи; г) телефонирование и телеграфирование несущими токами, или т. н. многократное высокочастотное телефонирование; д) простейшую сигнализацию всех видов — мильдикую, пожарную и т. д., и наконец е) выделившуюся теперь в самостоятельную область радиотехнику (см. *Техника высокой частоты*). За последние годы к Э. с. т. относят также: ж) передачу изображений на расстоянии, з) электроакустику в области звукозаписи и электрич. воспроизведения записанного звука, а также в области расчета и конструирования электрич. звукоприемников и звукопередатчиков, и) телемеханику.

Теоретич. развитие свое Э. с. т. (исключая радиотехнику) получила в работах Меркаде, Присса, Пуанкаре, Хвисайда, Дено-Шарбонелл, Брейзига и Вагнера. В последние годы к этим именам следует добавить Кюпфмюллера, Фельдкеллера, Грина. В настоящее время в теоретич. части Э. с. т. можно различать следующие разделы: теория устанавливающегося и установившегося режима при распространении быстропеременно-

го тока по проводам, теория четырехполюсника и как приложение ее — теория фильтрующих контуров (см. *Телефонная передача и Электрические фильтры*). Через применение высокой частоты Э. с. т. тесно связалась с теорией электронных ламп (см. *Лампа электронная и Электронная лампа*), изучая и применяя их как для телефонирования и телеграфирования несущими токами, так и для усиления телеграфных и гл. образом телефонных сигналов (см. *Усилитель*). Новейшие области Э. с. т., как то: передача изображений на расстоянии (см. *Фототелеграфия*), телевидение (см.), электрич. звукозапись и электрич. воспроизведение записанного звука, связали Э. с. т. с теорией ламп с тлеющим разрядом, с фотоэлектрич. эффектом (см. *Фотоэлектричество*, *Фотополемента*) и с акустикой. Технически Э. с. т. разделяется на следующие главнейшие разделы.

1. Телеграфия. Сюда относится передача на расстояние записанной человеческой мысли, получаемой на приемном конце телеграфной линии также в виде записи. Характерным для этой области является следовательно ручное или же автоматическое превращение букв алфавита, служащего для записи человеческой мысли, в условные электрич. сигналы, которые регистрируются на приемном конце и также вручную или автоматически превращаются в буквы алфавита, составляя в конечном счете передаваемое сообщение. В связи с только что изложенной системой ручной или автоматической записи различают телеграфные аппараты, записывающие по условному коду, запись к-рых потом вручную или автоматически превращается в печатный текст, и буквопечатающие. По пропускной способности выделяют особо быстродействующие аппараты и многократные системы, дающие возможность передачи по одному проводу нескольких телеграмм одновременно.

2. Телефония имеет задачей передачу на расстояние человеческой речи с воспроизведением ее на приемном конце в виде человеческой же речи. Здесь в отличие от телеграфии физическое явление, которое представляет собой человеческая речь, не м. б. превращено ни в какую условную запись, как в телеграфии, а д. б. передано и воспроизведено, как таковое. Становясь в последнее время в полном смысле слова предметом домашнего обихода, телефония в настоящее время м. б. разделена на три основные области: а) область аппаратостроения, задачей которой является улучшение микрофонов и телефонов, т. е. приборов, превращающих акустич. энергию в электрическую и обратно, и улучшение и удешевление самих телефонных аппаратов в целом как с точки зрения схемы, так и с точки зрения конструкции, для того чтобы возможно облегчить и улучшить действительно массовое производство этих аппаратов, а также облегчить пользование ими совершенно необученным широким слоям населения; б) область строительства телефонных станций, позволяющих с максимальным удобством и дешевой гарантией в наиболее короткий срок возможность всех требуемых соединений, и в) область дальнего телефонирования, исследующая вопрос установления телефонной связи на любые расстояния.

3. Телефонирование и телеграфирование несущими токами является продуктом борьбы за дальность телеграфно-телефонных сообщений и вместе с тем продуктом борьбы за наиболее компактное использование дорого стоящих длинных телефон-

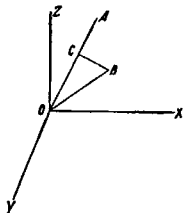
ных и телеграфных линий. Пользуясь методом передачи на различной несущей частоте путем разделения этих частот при помощи фильтрующих контуров, этот способ позволяет наложить на 1 провод до 3, а по последним амер. данным до 5 телефонных разговоров и еще более значительное количество телеграфных связей на 1 провод. Отсюда неправильное, но часто встречающееся наименование этого метода методом *многократного телефонирования и телеграфирования* (см.).

4. Сигнализация и блокировка на ж. д. относятся также к области Э. с. т. на основании единства метода передачи условных сигналов по сравнительно длинным линиям при помощи слабых токов, хотя приборы, непосредственно управляющие железнодорожными приспособлениями, по потреблению тона относятся несомненно к приборам силовоточным. То же самое следует сказать о множестве других сигнализационных устройств, как то: сигнализации пожарные, тревожные, милицейские, шахтные и т. п.

5. Передача изображений на расстояние, телевидение и электроакустика — области, которые теснейшим образом связывают Э. с. т. с вышедшей в самостоятельную область радиотехникой. Содержание первой из этих отраслей Э. с. т. ясно из самого ее названия. Телевидение имеет задачей передачу живых движущихся изображений. Если здесь позволительна аналогия, то телевидение можно уподобить телефонии, тогда как передача изображений на расстояние есть область, аналогичная телеграфии. Электроакустика охватывает собой, с одной стороны, область изучения электрич. передачи и воспроизведения человеческого голоса и звука вообще, являясь т. о. теоретич. базой телефонии, с другой стороны, задачей электроакустики является запись звука и последующее его воспроизведение (аналогия телеграфии) и наконец, особенно, изучение способов громкого воспроизведения человеческого голоса и музыки — область, уже целиком связанная с техникой высокой частоты.

А. Эльвинг.

**ЭЛЛИПСОИД ИНЕРЦИИ**, поверхность, которая дает картину изменения величин момента инерции тела в зависимости от изменения направления оси, проходящей через начало координат. Взяв на расстоянии  $r$  от начала координат произвольную переменную точку  $B$  тела, имеющую массу  $dm$ , выразим момент инерции тела относительно оси  $OA$  (см. фигуру):



$$I_A = \int \rho^2 dm,$$

где  $\rho$  — расстояние  $BC$  точки  $B$  от оси  $AO$ . Если  $\alpha, \beta, \gamma$  — углы, образуемые осью  $OA$  с осями координат, и  $x, y, z$  — координаты точки  $B$ , то, как известно,

$$OC = x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma$$

и

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2.$$

Определяя  $\rho$  из тр-ка  $OBC$

$$\rho^2 = r^2 - \overline{OC}^2,$$

получаем для момента инерции выражение

$$I_A = \int [(x^2 + y^2 + z^2) - (x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma)^2] dm.$$

После очевидных преобразований подинтегральная ф-ия примет вид:

$$(1 - \cos^2 \alpha) x^2 + (1 - \cos^2 \beta) y^2 + (1 - \cos^2 \gamma) z^2 - 2yz \cos \beta \cos \gamma - 2zx \cos \alpha \cos \gamma - 2xy \cos \alpha \cos \beta.$$

На основании известного соотношения

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

заменяем коэф-ты при  $x^2, y^2, z^2$  соответственно черз

$$\cos^2 \beta + \cos^2 \gamma, \cos^2 \alpha + \cos^2 \gamma, \cos^2 \alpha + \cos^2 \beta$$

и группируем, вынося за скобки  $\cos^2 \alpha, \cos^2 \beta, \cos^2 \gamma$ :

$$\begin{aligned} & (y^2 + z^2) \cos^2 \alpha + (x^2 + z^2) \cos^2 \beta + \\ & + (x^2 + y^2) \cos^2 \gamma - 2yz \cos \beta \cos \gamma - \\ & - 2zx \cos \alpha \cos \gamma - 2xy \cos \alpha \cos \beta. \end{aligned}$$

А т. к.

$$\begin{aligned} \int (y^2 + z^2) \cos^2 \alpha dm &= \cos^2 \alpha \int y^2 dm + \\ & + \cos^2 \alpha \int z^2 dm = \cos^2 \alpha (I_y + I_z) = I_x \cos^2 \alpha, \\ \int (x^2 + z^2) \cos^2 \beta dm &= I_y \cos^2 \beta, \\ \int (x^2 + y^2) \cos^2 \gamma dm &= I_z \cos^2 \gamma, \end{aligned}$$

то

$$I_A = I_x \cos^2 \alpha + I_y \cos^2 \beta + I_z \cos^2 \gamma - 2I_{yz} \cos \beta \cos \gamma - 2I_{xz} \cos \alpha \cos \gamma - 2I_{xy} \cos \alpha \cos \beta, \quad (A)$$

где  $I_{xy} = \int xy dm$  и т. д. Итак, первые 3 коэф-та — моменты инерции относительно координатных осей, последние же 3 коэф-та — центробежные моменты инерции; они не зависят от направления оси  $OA$ . Т. о., зная  $I_x, I_y, I_z, I_{yz}, I_{xz}, I_{xy}$ , можно определить момент инерции относительно любой оси, проходящей через начало координат.

Главная часть выражения (A) напоминает поверхность 2-го порядка, притом не имеющую бесконечно удаленных точек, так как  $I_A$  вообще не может обращаться в нуль (ва исключением случая, когда тело имеет форму бесконечно тонкого стержня и  $I_A$  берется относительно направления этого стержня). Такой поверхностью м. б. только поверхность эллипсоида (в частном случае сферич. поверхность), поэтому преобразуем выражение (A), умножив обе части его на произвольный множитель  $k^2$ , на который наложим требование  $I_A \cdot k^2 = 1$ , откуда

$$k = \frac{1}{\sqrt{I_A}}.$$

Выражение (A) примет вид:

$$\begin{aligned} & I_x k^2 \cos^2 \alpha + I_y k^2 \cos^2 \beta + I_z k^2 \cos^2 \gamma - \\ & - 2I_{yz} k \cos \beta \cdot k \cos \gamma - 2I_{xz} k \cos \alpha \cdot k \cos \gamma - \\ & - 2I_{xy} k \cos \alpha \cdot k \cos \beta = 1. \end{aligned} \quad (A')$$

Далее, если на оси  $OA$  отложить от начала координат отрезок длиной  $k$ , то

$$k \cos \alpha = x, \quad k \cos \beta = y, \quad k \cos \gamma = z,$$

где  $x, y, z$  — координаты конца, отрезка, и (A') преобразуем в

$$I_x x^2 + I_y y^2 + I_z z^2 - 2I_{yz} yz - 2I_{xz} xz - 2I_{xy} xy = 1. \quad (A'')$$

Полученное ур-ие определяет поверхность, носящую название Э. и. Эту поверхность опишет конец отрезка  $k$  при изменении направления оси  $OA$ .

Если координатными осями будут служить три взаимно перпендикулярных направления

главных диаметров поверхности, то, как известно, уравнение эллипсоида принимает более простой вид:

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 = 1. \quad (B)$$

Если ур-ие Э. п. приведено к виду (B), то координатные оси называют главными осями инерции для данного начала координат, а соответствующие им моменты инерции — главными моментами инерции, следовательно в ур-ии (B)  $A$ ,  $B$  и  $C$  — главные моменты инерции. По отношению к главным осям центробежные моменты инерции равны нулю. Главные оси инерции, проходящие через центр инерции тела, называют главными центральными осями инерции, а моменты инерции относительно их — главными центральными моментами инерции. Обыкновенно в случае трехосного Э. п. координатные оси располагают так, чтобы  $A > B > C$ , т. е. чтобы большая ось шла по  $OZ$ , средняя по  $OY$  и наименьшая по  $OX$ ; действительно, если уравнение Э. п. написать в виде

$$\frac{x^2}{\left(\sqrt{\frac{1}{A}}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\sqrt{\frac{1}{B}}\right)^2} + \frac{z^2}{\left(\sqrt{\frac{1}{C}}\right)^2} = 1,$$

то полуосями Э. п. будут являться

$$\frac{1}{\sqrt{A}}, \frac{1}{\sqrt{B}}, \frac{1}{\sqrt{C}}.$$

Если  $A = B$ , то Э. п. будет эллипсоид вращения; при  $A = B = C$  он превращается в шар, т. е. три главных момента инерции в любой точке тела одинаковы:  $I_1 = I_2 = I_3 = I$ . Так, для однородного круглого цилиндра (см. *Момент*, табл. 2) главные центральные моменты инерции таковы:

$$I_1 = I_2 = \frac{1}{4} Mr^2 + \frac{1}{12} Ml^2; \quad I_3 = \frac{1}{2} Mr^2.$$

Условием равенства моментов является равенство

$$Mr^2 + \frac{1}{12} Ml^2 = \frac{1}{2} Mr^2,$$

откуда

$$\frac{r}{l} = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

При указанном соотношении высоты и радиуса основания цилиндра его центральный Э. п. обращается в сферу радиуса  $\frac{\sqrt{2}}{r\sqrt{M}}$ , ур-ие к-рой

$$x^2 + y^2 + z^2 = \frac{2}{Mr^2}.$$

Для прямого круглого конуса его центральный Э. п. обращается в сферу при условии

$$\frac{r}{h} = \frac{1}{2}.$$

Э. п. может служить только такой эллипсоид, коэф-ты ур-ия к-рого удовлетворяют соотношениям между моментами инерции:

$$A + B > C, \quad B + C > A, \quad C + A > B.$$

Так, для эллипсоида вращения сжатие ограничивается определенным пределом. Действительно, если положить  $A = B$ , то  $2A > C$ , и если  $a$  и  $c$  — длины полуосей эллипсоида, то

$$A = \frac{1}{a^2}, \quad C = \frac{1}{c^2},$$

и следовательно

$$\frac{2}{a^2} > \frac{1}{c^2}$$

или

$$\frac{c}{a} > \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Отсюда величина сжатия выразится соотношением

$$\frac{a-c}{c} < \frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}} \quad \text{или} \quad \frac{a-c}{c} < \frac{2-\sqrt{2}}{2},$$

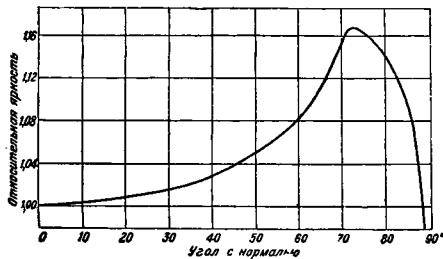
которые показывают, что эллипсоид вращения не м. б. очень сплюснутым, растянутым же м. б. беспредельно (в случае бесконечно тонкого стержня Э. п. превращается в бесконечный круговой цилиндр). Т. к. радиус-вектор точек поверхности эллипсоида (следовательно и соответствующий момент инерции) имеет экстремальные значения в направлении главных осей, то, если Э. п. дан ур-ием (A'), нахождение главных осей инерции сводится к нахождению экстремальных значений  $\phi$ -ии (A), для чего можно приравнять нулю полный дифференциал:

$$\frac{\partial I}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial I}{\partial \beta} d\beta + \frac{\partial I}{\partial \gamma} d\gamma = 0.$$

Лит.: см. *Момент*.

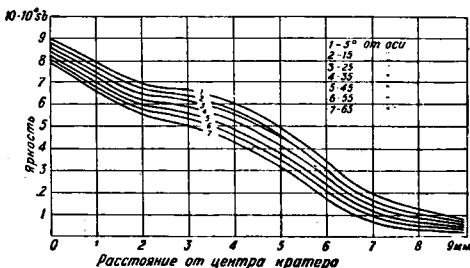
В. Никаноров.

**ЯРКОСТЬ**, отношение силы света в данном направлении к проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к тому же направлению (ОСТ 7637). Яркими м. б. тела самосветящиеся, светящиеся отраженным светом и пропускающие свет. Я. самосветящегося твердого тела, нагретого до высокой  $t^{\circ}$ , зависит от вещества тела, его  $t^{\circ}$ , формы, состояния поверхности и других причин. На фиг. 1 показано распреде-



Фиг. 1.

ление относительной Я. накаливаемого вольфрама в зависимости от угла с нормалью к поверхности излучения. Я. по направлению нормали принята



Фиг. 2.

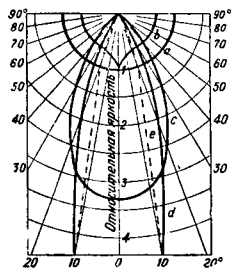
равной единице. На фиг. 2 приведено распределение Я. кратера высокоинтенсивной дуги. Ниже приведена сводка данных о величинах яркости различных, главным образом самосветящихся тел в зените — от стеариновой свечи до солнца в зените

Источники света

Яркость в стильбах (sb)

Стеариновая свеча . . . . .	0,592
Сальная свеча . . . . .	0,666
Керосиновая лампа . . . . .	0,557—1,35
Сироголазная лампа . . . . .	2,22
Газовая горелка . . . . .	0,476—1,12
Газокалильная лампа обычной . . . . .	2,87—5,12
Газокалильная лампа инвертная . . . . .	5,78
Ацетиленовая лампа . . . . .	5,4—8,1
Угольная лампа накаливания 3,87 W/св. . . . .	63,7
Лампа Периста . . . . .	144—405
Вольфрамовая лампа пустотная 25 W . . . . .	214
Вольфрамовая лампа газонаполненная 100 W . . . . .	722
Вольфрамовая лампа газонаполненная 2000 W . . . . .	1 680
Кратер дуговой лампы с чистыми углями . . . . .	13 900
Анод дуговой лампы Бена . . . . .	112 000
Кратер дуговой лампы Люмера при 7600° K и 22 atm . . . . .	255 000
Трубки Мура . . . . .	0,18
Неоновые трубки для рекламного освещения . . . . .	0,225
Гелиевые трубки . . . . .	0,9
Ртутные трубки 3A . . . . .	1,8
» » 100A . . . . .	13,5
Натриевые трубки . . . . .	5,4
Неоновые трубки 2A . . . . .	1,8
» » 100A . . . . .	13,5
Неоновый разряд в вольфрамовой трубке . . . . .	27,9—270
Неоновый разряд в оболочке из вольфрамовой сетки . . . . .	60
Неоновый разряд в трубке с диафрагмами . . . . .	540
Нормальное синее небо . . . . .	0,15
Облачное небо . . . . .	0,08—3,1
Солнце на горизонте . . . . .	360
» в зените . . . . .	90 000—135 000

Единица Я. стильб — Я. равномерно светящейся плоской поверхности в нормальном к ней направлении, испускающей в том же направлении свет силой в 1 св/см<sup>2</sup> (ОСТ 4891).



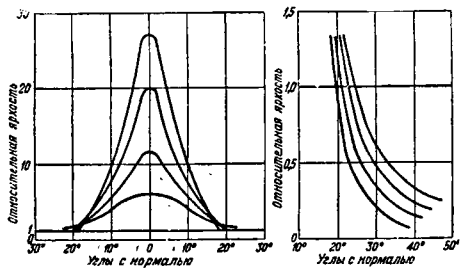
Фиг. 3.

Я. освещенных поверхностей зависит от величины освещенности, состояния поверхности, коэффициента отражения и пр. Для зеркальных поверхностей зависимость Я.  $V_n$  их от  $V_n$  источника выражается соотношением  $V_n = \rho_e V_n$ , где  $\rho_e$  — коэффициент зеркального отражения данной поверхности. Для диффузных поверхностей Я.  $V_n$  их связана с освещенностью  $E$

их и коэффициентом отражения  $\rho_0$  след. соотношением:

$$V_n = \frac{eE}{\pi}$$

Я. такой поверхности одинакова по всем направлениям. Обычно в практике поверхности имеют смешанное (зеркальное и диффузное) отраже-



Фиг. 4.

ние, благодаря чему распределение Я. поверхности по различным направлениям м. б. самым разнообразным. На фиг. 3 приведено относительное распределение Я. различных покрасок:



Фиг. 5.

а — идеально рассеивающая белая покраска, б — белая бумага, в — матовая алюминиевая покраска, д — алюминиевая покраска по ткани, е — гладкая алюминиевая покраска. Для средних пропускающих свет, Я. зависит от их освещенности, коэф-та пропускания, строения средин и пр. На фиг. 4 и 5 приведено распределение Я. у матовых и молочных стекол с различной степенью пропускания при освещении их узким пучком параллельных лучей. Второй чертёж фиг. 4 даёт часть кривых первого чертёжа в увеличенном масштабе (ось ординат). Я. при полном рассеянном пропускании без поглощения и отражения условно принята равной единице (прямая 1,0).

В. Федоров.



26р40к

Список опечаток в Дополнительном томе Т. Э.

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
100	5 сверху	$K = C_y C_x$ — аэродинамич. качество.	$K = C_y / C_x$ — аэродинамич. качество.	Тип.
171	16 "	ф-лы (4). рубка Пито,	ф-лы (4). Трубка Пито,	"
222	27 "	(Cu и латунию	Cu) и лагунию	"
239	3 снизу	$x = \frac{h_0}{i_0} \left\{ \eta_a - \eta_1 - \left( 1 - \frac{ac_0^2}{g} \frac{\theta}{g} \right) \dots \right.$	$x = \frac{h_0}{i_0} \left\{ \eta_a - \eta_1 - \left( 1 - \frac{a^2 i_0}{g} \right) \dots \right.$	"
240	8 сверху	$-\left( 1 - \frac{ac_0^2}{g} \cdot \frac{b_c}{x_c} \right) \dots$	$-\left( 1 - \frac{ac_c^2}{g} \cdot \frac{b_c}{x_c} \right) \dots$	Корр.
245	4 снизу	$I_{cp.} = \frac{(u \cdot s)_{cp.}}{\Sigma R}$	$I_{cp.} = \frac{(u - e)_{cp.}}{\Sigma R}$	Ред.
294	25 "	$x = \frac{1}{b} \ln (\dots) = \frac{2,3}{b} (\dots)$ .	$x = \frac{1}{b} \ln (\dots) = \frac{2,3}{b} \lg (\dots)$ .	Тип.
314	1 "	имеется две трудящиеся части	имеются две трущиеся части:	"
315	1 "	прямоугольного диффузора	прямоугольного диффузора	"
432	10 "	При осуществлении И. п.	При преобразовании И. п.	Ред.
442	8 "	на пробивались	и пробивались	Тип.
672	4 сверху	... действующей стихой	... действующей «тихой	"
1059	29 "	$P_a = \frac{P_a}{\pi r^2}$ и равна:	$P_a = \frac{P_a}{\pi r^2}$ и равна:	"
1087	25 "	... и при $Z_R \neq Z$ .	... и при $Z_R \neq Z_s$	"
1094	11 снизу	$+ j \cos^{-1} \sqrt{(x-1)^2 + 4x \cos^2 \dots}$	$+ j \cos^{-1} \sqrt{(x-1)^2 + 4x \cos^2 \dots}$	Корр.