K
T38
No5

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БАХ А. Н., БУХАРИН Н. И., ВИЛЬЯМС В. Р., ГЕНДЛЕР Е. С., ГУБКИН 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 Б. Э.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Л. К. МАРТЕНС

ТОМ ДВАДЦАТЬ ПЯТЫЙ

ФИТОПАТОЛОГИЯ — ШАРНИРНЫЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ СЛОВАРНО-ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»
МОСКВА ✧ ОГИЗ РСФСР ✧ 1934

ГОС ПУБЛИЧНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА СССР

954 | 50
59

К
Т382
N25

ГОСУДАРСТВЕННОЕ СЛОВАРНО-ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

XXV том сдан в производство 28 августа 1933 г.;
подписан к печати 20 июня 1934 г.

Набор текста и верстка, печать, брошировочно-переплетные работы выполнялись в 16-й типографии треста «Полиграфкнига» под общим наблюдением директора 16-й типографии Дьячкова А. Н. и помощников директора Моргунова Н. В. и Зудина В. П. Набор и верстка произведены под руководством Колобашкина И. Г. и Самойлова И. К. Верстали Горшков М. С. и Егоров П. А. Печатью руководил Майоров С. Г. Брошировочно-переплетные работы выполнялись под общим наблюдением Баранова В. В., Курчева Н. Н., Овсянникова М. П., Костюшина П. И. и Комарова И. М. Тиснением руководил Александров А. А. Клише для тиснения на переплете гравировано Законовым Г. А. Клише выполнялись типографией ОГИЗ «Печатный двор», 1 Образцовой типографией Огиз и типографией «Красный пролетарий» Партиздата. Бумага бумажной фабрики Вишхимза. Дерматин фабрики Инкоптруд. Картон Миропольской фабрики и Балахнинского комбината.

В XXV томе ТЭ помещено 835 иллюстраций в тексте и 5 вкладок к статьям: «Фитопатология» — 1, «Форсунки» — 1, «Фруктоводство» — 2 и «Цементация» — 1.

Адрес Редакции Технической Энциклопедии: Москва, Остоженка, 1.
Адрес Издательства: Москва, Остоженка, 1.

16-я типография треста «Полиграфкнига», Москва, Трехпрудный пер., 9.
Уполномоченный Главлита В 72 436. Гиз 23. Э-00 г. Заказ № 1353.
Бумага 72×108/16. 28 печ. листов текста × 99 500 знаков, 5/8 печ. листа вкладок. Всего в томе 70,2 авт. листа. Тираж 31 500 экз.

НЕОБХОДИМЫЕ ИСПРАВЛЕНИЯ В ТОМАХ Т. Э.

Том XI.

Столб.	Строка	Напечатано	Следует читать
289	37-я снизу	А. Сушилин и Г. Кернер	А. Сушинин и Г. Кернер
671		фиг. 4	фиг. 5
671		фиг. 5	фиг. 4
760	13-я сверху	жирные	тощие или полутощие
766	6-я сверху	$\frac{\frac{g}{\eta}\cdot\frac{v_m^2}{a}}{\frac{v_m}{a^2}}=\frac{\gamma v_m a}{g\eta}=E=\text{Const},$	$\frac{\frac{\gamma}{\eta}\cdot\frac{v_m^2}{a}}{\frac{v_m}{a^2}}=\frac{\gamma v_m a}{g\eta}=E=\text{Const},$
776	18-я снизу	$\mu_0=\frac{2\pi\cdot n\cdot h}{\ln\frac{1}{2\sin\pi\cdot n\cdot a}}\cong\frac{2\pi\cdot n\cdot h}{\ln\frac{1}{\pi\cdot n\cdot a}}\,z$	$\mu_0=\frac{2\pi\cdot n\cdot h}{\ln\frac{1}{2\sin\pi\cdot n\cdot a}}\cong\frac{2\pi\cdot n\cdot h}{\ln\frac{1}{\pi\cdot n\cdot a}}$
792	1-я снизу	$V_a=j\omega MI_L$	$V_g=j\omega MI_L$
803	26-я снизу	$\Delta I_a=I_d$—это	где $\Delta I_a=I_d$
865—866	(Из таблицы графа Al)	Марганцовистая (и железная) бронза . . 0,5—0,5	Марганцовистая (и железная) бронза . . . 0,5—1,5
880	8-я снизу	головы и хвоста макрели	головы наваги и хвоста макрели

Том XII.

91	3-я сверху	Метосоматизма	Метасоматизма
92	21-я снизу	Pencillium	Penicillium
450	8-я снизу	Mg_3P	Mg_3P_2
451	10-я сверху	MgC	MgO
451	16-я сверху	(от SiH_4 до Si_6H_{14})	; см. *Карбиды*

Том XIII.

856	30-я сверху	Принята Всесоюзным водопроводным и санитарно-техническим съездом	Предложена Всесоюзному водопроводному и санитарно-техническому съезду
876	20-я сверху	Inferno-Lurgi-Udhe	Inferno-Lurgi-Uhde
878	16-я снизу	*17*—теплоуловитель	*17*—пеплоуловитель

Том XIX.

580	23-я снизу (в первой части тиража)	q_1—вес ремня 1 *м* длины и 1 *см*² поперечного сечения принимают в 1,25 *кг/м см*² для ремней без резиновой обкладки и в 1,5 *кг/м см*² для ремней с резиновой обкладкой	q_1—вес ремня 1 *м* длины для одной прослойки его шириною в 1 *см* и толщиною в 0,125 *см*. При удельном весе ремня без обкладки, равном 1,25, и резинового ремня с обкладкой, равном 1,5, значения q_1 будут соответственно равны 0,0156 *кг/м см* для ремня без обкладки и 0,0188 *кг/м см* для ремня с обкладкой.
910	16-я снизу	$S_2=S_4=\ldots=S_{2n}=-1$	$S_2=S_4=\ldots=S_{2n}=0$

Том XXIV.

96	24-я снизу	фиг. 7 и 8	фиг. 8 и 9

Том XXV.

481	(Табл. 4)	Степень прочности	Степень прочеса
450	5-я снизу	сдвигания	сдваивания

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Закончив редакционную обработку первого издания «Технической Энциклопедии» и сдав в производство весь материал, редакция Т. Э. посвящает свой многолетний труд вождю мирового пролетариата и неустанному организатору индустриализации и коллективизации СССР **тов. И. В. СТАЛИНУ**, чей лозунг об овладении техникой воодушевлял работников Т. Э. в их стремлении вооружить технические кадры промышленности СССР новейшими данными мировой техники.

Редакция Т. Э. заверяет партию и тов. Сталина, что приложит все усилия к использованию приобретенного в процессе создания Т. Э. опыта для дальнейшего углубления работы по созданию новых технических энциклопедий и в первую очередь «Рабоче-колхозной технической энциклопедии» в целях технического вооружения всей массы рабочих и колхозников СССР.

Редакция Технической Энциклопедии

РЕДАКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ

РЕДАКЦИОННОЕ БЮРО

Главный Редактор—проф. **Л. К. Мартенс.**

Зам. Глав. Редактора—инж. **Б. Э. Шпринк.** | Зав. ГСЭИ—**Б. П. Рогачев.**
Пом. Глав. Редактора—**А. А. Дашкевич.** | Ученый Секретарь—**Н. П. Ракицкий.**

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ

Арманд Н. Е.; Ельцина Н. М.; инж. **Знаменский А. А.; Мельников И. И.;** инж. **Мушенко И. Н.; Никаноров В. М.;** инж. **Павлушков Л. С.; Ракицкий Н. П.; Татаринов Б. Н.;** инж. **Фрязиновский И. А.;** инж. **Шпринк Б. Э.**

Зав. библиографией: инж. **Таубман С. И.;** Технические Редакторы: **Кеандрова Е. Т.; Никаноров В. М.; Сергеева Т. Н.**

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СЕКТОР

Зам. Зав. ГСЭИ по производственной части, руководитель Произв. Сектора: **Татиев Д. Ц.;** Зам. руководителя Произв. Сектора: **Маркус В. А.;** Технический Редактор по иллюстрациям: **Тавастшерна В. Я.;** Зав. Технической Редакцией при типографии: **Кулешов Н. З.;** Технический Редактор при типографии: инж. **Сакмаров Н. Г.;** Зав. Корректорской: **Бокшицкая Л. И.;** Старший корректор: **Полякова В. М.**

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*).
тμ	миллимикроны (0,001 *μ*).
μμ	микромикроны (0,000001 *μ*).
км²	квадратные километры.
га	гектары (квадратные гектометры).
а	ары (квадр. декаметры).
м²	квадратные метры.
м³	кубические метры.
дм³	» дециметры.
см³	» сантиметры.
мм³	» миллиметры.
т	метрич. тонны (1 000 *кг*).
ц	центнеры (100 *кг*).
кг	килограммы (1 000 *г*).
г	граммы.
дг	дециграммы (0,1 *г*).
сг	сантиграммы (0,01 *г*).
мг	миллиграммы (0,001 *г*).
μг	микрограммы (0,001 *мг*).
к	караты (200 *мг*).
кл	килолитры (1 000 *л*).
гл	гектолитры (100 *л*).
дкл	декалитры (10 *л*).
л	литры.
дл	децилитры (0,1 *л*).
сл	сантилитры (0,01 *л*).
мл	миллилитры (0,001 *л*).
тм	тонометры.
кгм	килограммометры.
т/м²	тонны на кв. метр.
кг/см²	килограммы на кв. сантим.
м/сек	метры в секунду.
п. м	погонные метры.
рег. т	регистровые тонны.

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.
sin	синус.
tg	тангенс.
sc	секанс.
cos	косинус.
ctg	котангенс.
csc	косеканс.
arc sin	арксинус.
arc tg	арктангенс.
sh	гиперболический синус.
ch	гиперболич. косинус.
th	» тангенс.
∅	диаметр.
e	основание натуральных логарифмов.
lg	логарифм десятичный.
ln	» натуральный.
lim	предел.
Const	постоянная величина.
$\sum$	сумма.
$\int$	интеграл.
~	приблизительно.
∞	бесконечность.
d	полный диференциал.
∂	частный »

III. Международные символы.

а) Единицы.

A	ампер.
Ah	ампер-час.
W	ватт.
Wh	ватт-час.
kW	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.
Å	ангстрем.
D	дина.
Cal	калория большая.
cal	калория малая.
HP	лошадиная сила.
lm	люмен.
lx	люкс.
m	мюрг.
Hz	герц.

б) Величины.

$t°$	температура обыкновенная.
$T°$	» абсолютная.
$t°_{кип.}$	» кипения.
$t°_{пл.}$	» плавления
$t°_{заст.}$	температура застывания.
$t°_{отв.}$	» отвердевания.
$t°_{крит.}$	» критическая.
atm	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	боковая частота.
λ	длина волны.
φ	сдвиг фазы.
L	самоиндукция.
C	емкость.
R	сопротивление активное (ваттное).
ε	диэлектрич. постоянная.
μ	магнитн. проницаемость.
ϱ	удельное сопротивление.
σ	удельная проводимость.
δ	декремент затухания.
Φ	магнитный поток.
H_{B_r}	твердость по Бринелю.
$A_{c_1}, A_{c_2}, A_{c_3}$ / $A_{r_1}, A_{r_2}, A_{r_3}$	критические точки железных сплавов.
g	ускорение силы тяжести.
l	длина.
m	масса.
$D\frac{t_1}{t_2}$	уд. вес при $t_1°$ по отношению к воде при $t_2°$.
$[\alpha];[\alpha]_D$	угол вращения плоскости поляризации.
C_H'; [H']	концентрация водородных ионов.
pH; P_H	водородный показатель.
$^1/_1N$	нормальный раствор.
$n_D^{t°}$	коэф. преломления.

IV. Основные сокращения.

фт.—футы.	
дм.—дюймы.	
нц.—килоцикл.	
ц.—цикл.	
св.—свеча.	
об/м.—обороты в минуту.	
п-вс.—пудоверсты.	
п-фт.—пудофуты.	
фт/ск.—футы в секунду.	
чв-д.—человекодни.	
чв-ч.—человекочасы.	
долл., $—доллары.	
мар.—марки.	
фн. ст., £—фунты стерлингов.	

фр.—франки.
шилл.—шиллинги.
млн.—миллионы.
млрд.—миллиарды.
ч.—часы.
м., мин.—минуты.
ск.—секунды.
°Bé—градусы Боме.
°Э.—градусы Энглера.
Градусы температурных шкал:
°К—Кельвина.
°С, °Ц.—Цельсия (100°-ной).
°Р.—Реомюра.
°Ф.—Фаренгейта.
t°—темп-ра по 100°-ной шкале (С).
t° Р.—температура по Реомюру.
t° Ф.—температура по Фаренгейту.
абс. ед.—абсолютная единица.
ат. в.—атомный вес.
Aufl.—Auflage.
B.—Band, Bände.
v.—volume, volumes.
вкл.—включительно.
гг.—годы, города.
д.—деревня, долгота.
д.—б. должно быть.
ж. д., ж.-д.—железная дорога, железнодорожный.
з.-европ.—западноевропейский.
з-д—завод.
изд.—издание.
ин-т—институт.
Jg.—Jahrgang.
кпд—коэфициент полезного действия.
к-рый—который.
к-та—кислота.
Lfg—Lieferung.
м—мета (хим.).
м. б.—может быть.
м. г.—минувшего года.
меш (mesh)—число отверстий в ситах на лин. дюйм.
мн-к—многоугольник.
мол. в.—молекулярный вес.
нек-рый—некоторый.
о—орто (хим.).
об-во—общество.
о-в—остров.
п—пара (хим.).
p.—pagina, paginae (лат.—страница, страницы).
пром-сть—промышленность.
проф.—профессор.
SK—зегеровские конусы.
С., Ю., В., З.—север, юг, восток, запад.
с.-з., ю.-в.—северо-западный, юго-восточный.
стр.—страницы.
т.—том, томы.
t.—tome, tomes.
T.—Teil, Teile.
тв.—твердость.
т-во—товарищество.
темп-ра—температура.
т. н.—так называемый.
тр-к—треугольник.
уд.—удельный.
уд. в.—удельный вес.
ур-ие—уравнение.
У. П.—Урочное положение.
u. ff.—und folgende.
ф-ия—функция.
ф-ка—фабрика.
ф-ла—формула.
H.—Heft, Hefte.
хим. сост.—химический состав.
ц. т.—центр тяжести.
Ztg—Zeitung.
Ztrbl.—Zentralblatt.
Ztschr.—Zeitschrift.
ш.—широта.
эдс—электродвижущая сила.
эфф.—эффективный.
Ан. П.—английский патент.
Ам. П.—Американский »
Г. П.—германский »
Р. П.—русский »
Сов. П.—советский »
Ф. П.—Французский »
B.—Berlin.
Brschw.—Braunschweig.
L.—London.
Lpz.—Leipzig.
Mch.—München.
N. Y.—New York.
P.—Paris.
Stg.—Stuttgart.
W.—Wien.
Wsh.—Washington.
Л.—Ленинград.
М.—Москва.
П.—Петроград.
СПБ—Петербург.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ НАЗВАНИЙ РУССКИХ И ИНОСТРАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ, ОБЩЕСТВ, ФИРМ

«АзНХ»—Азербайджанское нефтяное хозяйство, Баку.
«ВВФ»—Вестник воздушного флота, Москва.
«ВИ»—Вестник инженеров, Москва.
«ВС»—Вестник стандартизации, Москва.
«ВТ»—Вопросы труда, Москва.
«ГЖ»—Горный журнал, Москва.
«ГТ»—Гигиена труда, Москва.
«Ж»—Журнал Русского физико-химического общества, Ленинград.
«ЖРМО»—Журнал Русского металлургического общества, Ленинград.
«ЖХП»—Журнал химической промышленности, Москва.
«ИТИ»—Известия Теплотехнического института им. Ф. Дзержинского, Москва.
«МС»—Минеральное сырье, Москва.
«МХ»—Мировое хозяйство и мировая политика, Москва.
«НИ»—Нерудные ископаемые, Ленинград.
«НХ»—Нефтяное хозяйство, Москва.
«ОСТ»—Общесоюзные стандарты, Москва.
«ПТ»—Промышленность и техника, СПБ.
«ПХ»—Плановое хозяйство, Москва.
«СГ»—Социальная гигиена, Москва.
«СП»—Строительная пром-сть, Москва.
«СТ»—Санитарная техника, Москва.
«СХ»—Социалистическое хозяйство, Москва.
«ТиТбП»—Телеграфия и телефония без проводов, Н.-Новгород.
«Труды ГЭЭИ»—Труды Гос. экспериментального электротехнического института, Москва.
«Труды НАМИ»—Труды Научного автомоторного института, Москва.
«Труды НИУ»—Труды Научного института по удобрениям, Москва.
«Труды ЦАГИ»—Труды Центрального аэрогидродинамического института, Москва.
«УФН»—Успехи физических наук, Москва.
«AAZ»—Allgemeine Automobil-Zeitung, Wien.
«A. Ch.»—Annales de Chimie et de Physique, Paris.
AEG—Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.
AGFA—Aktien-Gesellschaft für Anilin-Fabrikation, Berlin.
«Am. Soc.»—Journal of the American Chemical Society, Easton, Pa.
«Ann. d. Phys.»—Annalen der Physik, Leipzig.
«Ann. Min.»—Annales des Mines, Paris.
«B»—Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft, Berlin.
BAMAG—Berlin-Anhaltische Maschinenbau - Aktien - Gesellschaft, Dessau.
BASF—Badische Anilin- und Soda-Fabrik, Ludwigshafen a/R.
BEAMA—The British Electrical and Allied Manufacturers Association, London.
«B. u. E.»—Beton und Eisen, Berlin.
Bayer—Farbenfabriken vorm. Fr. Bayer & Co., Köln a/R.
«Ch.-Ztg»—Chemiker-Zeitung, Cöthen.
«Ch.-Ztrbl.»—Chemisches Zentralblatt, Berlin.
DIN—Deutsche Industrie-Normen.
«EChZ»—Elektrochemische Zeitschrift, Berlin.
«EMA»—Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau, Berlin.
«EuM»—Elektrotechnik und Maschinenbau, Wien.
«ETZ»—Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.
«GC»—Génie Civil, Paris.
«I. Eng. Chem.»—Industrial and Engineering Chemistry, Easton, Pa.
I. G. Farben—Interessengemeinschaft Farben - Industrie A.-G., Leverkusen b. Köln a/R.
«JAIEE»—Journal of the American Institute of Electrical Engineers, New York.
«J. Ch. I.»—Journal of the Society of Chemical Industry, London.
«Mitt. Forsch.»—Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Berlin.
NDI—Normenausschuss der deutschen Industrie.
«PeKa»—Fachblatt für Parfümerie und Kosmetik, München.
«RGE»—Revue Générale de l'Électricité, Paris.
«Soc.»—Journal of the Chemical Society, London.
«St. u. E.»—Stahl und Eisen, Düsseldorf.
Ullm. Enz.—Enzyklopädie der technischen Chemie, herausgegeben von F. Ullmann, Wien—Berlin, 1 Auflage, 1915—23, 2 Auflage erscheint ab 1928.
«WeTeZ»—Westdeutsche Textil-Zeitung, Elberfeld.
«Z. ang. Ch.»—Zeitschrift für angewandte Chemie, Berlin.
«Z. d. VDI»—Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Berlin.
«ZFM»—Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, München.

Ф

ФИТОПАТОЛОГИЯ, наука о болезнях растений и о мерах борьбы с ними.

Среди различных категорий болезней наибольшее значение имеют те болезни с.-х. культур, к-рые вызываются растительными паразитами. Болезни эти часто носят массовый характер, вызывая т. н. эпифитотии.

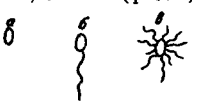
Образ жизни паразитов и их отношение к питающим их растениям весьма многообразны, но по степени паразитизма все паразиты распадаются на два типа: или они существуют исключительно за счет живых тканей растений и вне таковых погибают, и в таком случае их называют облигатными паразитами, или же они могут питаться и на мертвых тканях, и таких называют паразитами факультативными. Те сородичи паразитов, которые живут исключительно на мертвой материи, вызывая ее разложение, называются сапрофитами, или облигатными сапрофитами. Факультативные паразиты, равно как и полные сапрофиты, м. б. разводимы в лабораториях в чистом виде на искусственных средах, каковы напр. отвары разных растительных продуктов, часто сгущенные агар-агаром, а также сами эти продукты, или мясной бульон, иногда сгущенный желатиной, или же синтетически составленные среды из питательных солей. Для надобностей культур все такие питательные среды стерилизуются паром в специальных стерилизаторах и содержатся в пробирках или плоских чашечках (чашечках Петри), в к-рых потом и делаются рассадки или посев грибков и бактерий. Методом чистых культур пользуются для того, чтобы сохранить тот или иной микроорганизм на постоянное время. По этим же культурам изучают систематич. положение микроорганизмов и при посредстве их искусственно заражают здоровые растения для выяснения причинной связи между паразитом и заболеванием и для изучения хода самой болезни.

За немногими исключениями паразиты на растениях представляют собой организмы микроскопические из отдела криптогамных растений. Только сравнительно небольшое число их относится к группе высших, или цветковых, растений. Примерами этих последних могут служить повилика (Cuscuta), заразиха (Orobanche) и омела (Viscum). Паразиты этой группы обладают способностью присасываться к телу растения-хозяина и т. о. извлекать из последнего частично или полностью нужные им для роста питательные вещества и воду.

Криптогамные, или нецветковые, паразиты распадаются на несколько больших групп в зависимости от их развития и строения. Среди них совершенно самостоятельное положение занимают слизевики, принадлежащие к классу Mukomyceteae. Сюда относится Plasmodiophora brassicae Wor., вызывающий хорошо известную огородникам и распространенную во всем мире капустн. килу. На фиг. 1 показаны прорастающие споры Plasmodiophora brassicae и выходящие из них амебовидные тельца, миксомонады, позже превращающиеся в миксамебы. Внедрение и развитие паразита в тканях растения-хозяина ведет к образованию вздутий и желваков на его корнях, в сильной степени уменьшающих жизнеспособность и полезность пораженного растения. Принадлежащий к тому же отделу микроорганизм Spongospora subterranea (Wallr.) John. причиняет порошистую паршу картофеля.

Фиг. 1.

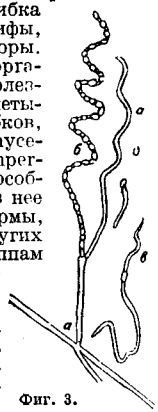
Другую обособленную группу паразитов составляют бактерии. Это — одноклеточные микроскопич. организмы, размножающиеся путем деления. По форме и строению они подразделяются на 3 типа: coccus, имеющий вид шариков, bacillus (фиг. 2, *в*), bacterium (фиг. 2, *б*) и aplanobacter (фиг. 2, *а*), представляющие собой б. или м. короткие «палочки», и spirillum, имеющий вид спиралей. Под именем aplanobacter объединены формы неподвижные, тогда как в группы bacillus и bacterium включены все движущиеся формы (по Смиту). Движение бактериальных клеток происходит при посредстве прикрепленных к ним жгутиков. Если эти жгутики находятся на одном конце, то такие формы составляют группу bacterium; если же на обоих концах или по сторонам,— то bacillus. До сих пор только представители типа палочек известны как серьезные вредители растений. Этими микроорганизмами вызываются некоторые формы загнивания овощей и плодов. Кроме того ими возбуждается не мало очень серьезных заболеваний (напр. загнивание стебля и клубней картофеля, т. н. «черная ножка»).



Фиг. 2.

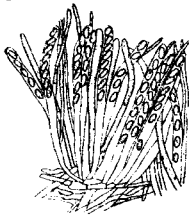
Одно время близкими к бактериям и даже тождественными с ними считались актиномицеты (Actinomyces), «лучистые грибки», но в последнее время определенно выяснена была их принадлежность к грибкам в собственном смысле слова, хотя и занимающим своеобразное по-

ложение. Они являются везде присущими обитателями почвы, и нек-рые их виды замечательны как причинители одной из форм картофельной парши, т. н. обыкновенной парши. Они размножаются путем спорообразных клеток, образующихся на концах их вегетативных нитей, или гиф. Частички грибницы также способны дать начало новым колониям. На фиг. 3 изображены споры (конидии) грибка Actinomyces scabies, где *а*—гифы, *б*—споры, *в*—прорастающие споры.



Фиг. 3.

Самое большое число микроорганизмов, способных вызывать болезни растений, принадлежит к четырем группам настоящих грибков, именно: Phycomyceteae, Ascomyceteae, Basidiomyceteae и Fungi imperfecti. Последняя группа стоит особняком от трех других, т. к. в нее вошли разные смешанные формы, не включенные в состав других классов. Общим всем этим группам грибков является то, что их организмы представляют собой системы нитей, или гиф, которые в своей совокупности образуют грибницу, или мицелий, представляющий вегетативную форму грибков. Мицелий бывает или одноклеточным, т. е. без поперечных перегородок, или же многоклеточным, т. е. имеющим эти перегородки. Частички такого мицелия, будучи пересажены в благоприятные условия, часто могут дать начало развитию новых грибниц. Но этот вегетативный способ не является главным способом размножения грибков. Обычно они рассеменяются путем специальных клеток — спор, образующихся на вегетативных мицелиях в огромных количествах. Известно сравнительно небольшое число форм, у которых спорообразование не открыто. Среди таковых тоже имеется несколько серьезных вредителей, напр. виды Rhizoctonia, Sclerotium. Нек-рые типы спор образуются непосредственно на вегетативных гифах, представляя собой как бы их продолжение и являясь т. о. органами бесполого размножения, в то время как другие формируются в результате контакта двух клеток, принадлежащих двум различным особям, и являются т. о. органами полового размножения. Способы образования спор, их формы, группировка и вместилища отличаются чрезвычайным многообразием. Есть однако некоторые общие признаки, по которым грибки делятся на группы. Одним из самых важных признаков является присутствие или отсутствие спороместилищ. У фикомицетов многочисленные споры помещаются внутри особой большой круглой клетки, образующейся на вертикальной гифе. Такая клетка называется спорангием, а несущая ее гифа—спорангиеносцем. У аскомицетов споры образуются в продолговатых сумках — аскусах (фиг. 4, грибок Sclerotinia libertiana), по несколько спор в каждой сумке, причем сумки в свою очередь бывают заключены в большинстве случаев в особые округленные вместилища, называемые апотециями и перитециями, у базидиомицетов споры образуются не во вместилищах, а на особых отростках, возникающих на специальных утолщенных клетках (базидиях). У несовершенных грибов споры (конидии) образуются непосредственно на концах вегетативных веток, или конидиеносцев, причем эти ветки м. б. или совершенно открыты [фиг. 5, споры грибка Gibberella saubinetti («пьяный хлеб»)] или же сгруппированы в особых вместилищах (пикнидах), похожих на апотеции и перитеции, но без сумок [фиг. 6, образование спор (конидий) в пикнидах у грибка Cryptosporella viticola]. У нек-рых грибков образуется специальная покоящаяся стадия в виде склероций, представляющих собой твердые темные уплотнения коротких гиф. Эти склероции, прорастая, дают начало молодой грибнице, которая затем может поражать встречающиеся на ее пути органы растения, по преимуществу его подземные части [вкл. л., *6*, покоящаяся стадия (склероции) бесплодного грибка Sclerotium Ralfsii]. У нек-рых грибков, раньше принадлежавших к группе несовершенных, были открыты сумчатые стадии, и они были переведены в соответствующую группу грибков совершенных. Бесполые формы также относятся к Fungi imperfecti. Каждая спора, освободившись от своего вместилища или отшнуровавшись от своего спороносца, способна прорасти и дать начало новому мицелию со всеми стадиями его развития. Успешное внедрение паразита в клетках хозяина называется заражением (инфекцией).


Фиг. 4.

Фиг. 5.

Фиг. 6.

Существуют также болезни и непаразитические, т. е. вызываемые какими-нибудь физич. или химич. факторами. К болезням этого рода относили сначала и т. н. вирусные болезни, но теперь им дают совершенно особое место, причем нек-рые исследователи полагают, что они тоже обязаны паразитам, но лишь ультрамикроскопич. характера. Отличительной особенностью этой группы является то, что соки пораженного растения, будучи переведены в здоровое растение, дают начало заболеванию этого последнего той же болезнью. Нек-рые из этих болезней можно передать совершенно механич. путем, тогда как для других болезней требуются специальные передатчики—особые виды насекомых. Примером первого типа болезни может служить мозаичность листьев всевозможных культурных растений. Вторую группу можно иллюстрировать примером желтухи (ксантозы) нек-рых растений, напр. желтухи томатов. До сих пор болезни эти успешно передавались только при посредстве насекомых из семейства Cicadellidae (jassidae). Непаразитных болезней в собственном смысле слова немного, если не включать сюда всевозможных внешних повреждений. Сюда м. б. отнесены недомогания, вызываемые не-

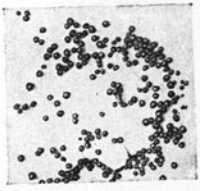
1

2

3

4

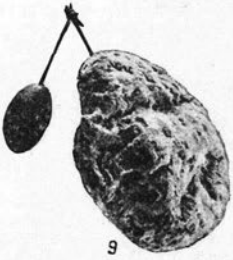
5



6

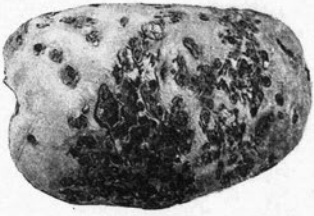
7

8



9

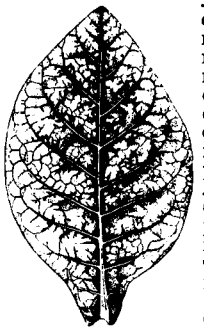
10



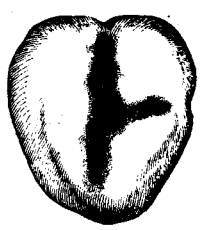
11

1—Спорынья на ржи (Claviceps purpurea); *2*—головня кукурузы (Ustilago Zeae); *3*—фасциация спаржи; *4*—пятнистость листьев вишни, причиняемая грибком Cylindrosporium; *5*—пятнистость стручка фасоли, вызванная грибком Colletotrichum Lindemuthianum; *6*—склероции, или покоящаяся стадия бесплодного грибка Sclerotium Ralfsii; *7*—парша яблок, причиняемая грибком Venturia pomi; *8*—обыкновенная зеленая плесень (Penicillium), вызывающая гниение яблок; *9*—кармашки на плодах слив (Exoascus pruni); *10*—картофельная парша обыкновенная, вызываемая грибком Actinomyces scabies; *11*—парша порошистая, причиняемая грибком Spongospora subterranea.

достатком какого-нибудь питательного элемента в почве. Так напр., недостаток железа, кальция или магния вызывает разные формы хлороза или пожелтения листьев (фиг. 7, хлороз листьев табака) и также обеднение роста и уменьшение урожая. Недостаток калия при обилии азота у некоторых видов вызывает сперва ненормально быстрый рост, который затем сменяется преждевременным упадком и смертью растения. В плохо вентилируемых погребах, особенно при высокой температуре, происходит почернение внутрен. тканей картофельных клубней, приписываемое недостатку кислорода (фиг. 8). Фитопатологам приходится также уделять немало внимания и разным повреждениям, не представляющим собой болезней в строгом смысле слова, например повреждениям от мороза, химических составов, зайцев, ветра, молнии и т. п. Очень выдающимися по своей серьезности и широкой распространенности повреждениями этой группы являются расстройства, причиняемые нематодами, микроскопическими червеобразными существами, отчасти свободно живущими в почве, отчасти паразитическими. Паразитирующие виды нападают как



Фиг. 7.



Фиг. 8.

Фиг. 9.

на подземные, так и на надземные части растений. Поселяясь в тканях растения-хозяина, они вызывают вздутие соответственных частей его. Наиболее часто встречающимися являются вздутия корней, очень похожие на капустную килу (фиг. 9).

Формы болезней растений очень разнообразны и зависят как от природы вредителей, так и от органов, к-рые они поражают. Некоторые болезни охватывают все растения—общие или системные заболевания; другие же охватывают только часть растения и называются местными. Все вирусные болезни—общего характера, т. к. инфекционное начало находится в самом соке растения и быстро распространяется по всему организму (фиг. 10, мозаичная болезнь картофеля, где *А*—больное растение, *Б*—здоровое растение). Из бактериальных и грибных болезней к системным относятся все болезни увядания, происходящие от инфекции сосудистых пучков. Паразит проникает в сосудистые ткани через корни и, размножаясь, вырабатывает определенные яды, которые и отравляют растение. Полагают, что именно это токсич. действие выделений грибка является непосредственной причиной увядания, а не просто механическое закупоривание пучков мицелием.

Местные болезни очень многочисленны по своим формам и симптомам. Наиболее локализованной можно считать болезнь пятнистость. Этот вид болезни может появиться на всех частях растения: на листьях (фиг. 11, пятнистость листьев клевера, вызванная грибком Pseudopeziza trifolii, и вкл. л., *4*, пятнистость листьев вишни, причиняемая грибком Cylindrosporium sp.), на стеблях и плодах (вкл. л., *5*, пятнистость стручка фасоли, вызванная грибком Colletotrichum Lindemuthianum).

Каждое пятно в этих случаях соответствует растущей колонии грибка или бактерии. Несмотря на небольшой размер отдельных пя-

Фиг. 10.

тен общее число их на отдельном хозяине бывает часто так велико, что растение сдается и погибает. Пятнистость—распространенная форма заболевания. Нек-рые формы пятнистости называют паршей, например хорошо известная парша груш и яблок (вкл. л., *7*). Отличной от этой парши плодов является парша подземных органов растений корней и клубней, напр. парша картофеля, обыкновенная (вкл. л., *10*) и порошистая (вкл. л., *11*). Эти последние причиняются паразитами, живущими исключительно в почве. Т. н. «ржавчина» растений поверхностно до некоторой степени напоминает обыкновенную пятнистость, но по существу очень глубоко отличается от последней. Грибки ржавчины принадлежат к особой группе ржавчинных грибов из класса базидиомицетов. Они являются облигатными паразитами и на мертвых тканях не живут. Развиваясь на поверхности тканей растений-хозяев, они дают начало маленьким язвочкам, заполненным бесчисленными спорами, имеющими в массе желтобурый цвет, отчего болезнь и получила название ржавчины. В нек-рых стадиях однако споровые массы принимают черный цвет.

Фиг. 11.

Ржавчинные грибы имеют своеобразный цикл развития с несколькими стадиями, причем часто различные стадии не развиваются на одном и том же хозяине. Такие паразиты называются разнохозяйственными, напр. у распространенного грибка Puccinia graminis, вызывающего линейную ржавчину пшеницы, начальные стадии развития проходят на барбарисе (Berberis vulgaris), а позднейшие на пшенице. Нек-рые паразиты способны заражать преимущественно молодые сочные ткани растений, откуда получаются специальные формы заболеваний. Так,

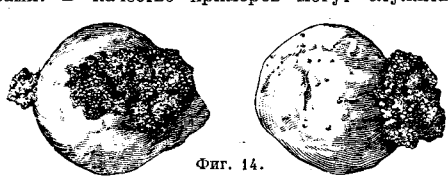
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПУБЛИЧНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА СССР
954/50
59

молодые сеянцы подвергаются часто загниванию у поверхности почвы из-за нападения нек-рых населяющих почву грибков, а молодые побеги плодовых деревьев страдают от т. н. ожога, примером к-рого может служить бактериальный ожог (фиг. 12, ожог молодых побегов груш и яблонь). Более короткие побеги отмирают до самого ствола, где часто образуется впоследствии одна из форм рака (фиг. 13). Существуют и такие формы болезней, к-рые выражаются в разных вздутиях и на-

Фиг. 12.

Фиг. 13.

ростах, напр. рак картофеля (фиг. 14), кармашки слив (вкл. л., *9*), капустная кила. Эти образования мешают правильному отправлению функции и могут приводить к отравлению токсинами, которые вырабатываются паразитами, или к гибели отдельных пораженных органов, а также и всего растения. Своеобразными вздутиями сопровождается очень распространенная на ржи спорынья (Claviceps purpurea, вкл. л., *1*), а также нек-рые формы головни (вкл. л., *2*, головня кукурузы), при к-рых вместо зерна получается твердая или порошкообразная масса, состоящая почти исключительно из образований самого паразита. Плоды и овощи, иногда еще в продолжение их роста, но чаще после снятия, т. е. в перевозке и в хранении, подвержены заболеваниям того или иного вида гнили. Гниль вызывается разного рода факультативными паразитами—как бактериями, так и грибками. В качестве примеров могут служить



Фиг. 14.

гниль картофеля (грибок рода Fusarium, фиг. 15) и гниль яблок (обыкновенная зеленая плесень—Penicillium, вкл. л., *8*).

Очень своеобразной формой заболевания являются мучнистые и ложномучнистые росы. Они сопровождаются тонким белым налетом на пораженных частях растений, представляющим грибницу и спороношение паразита. При благоприятных условиях болезни этой группы действуют со страшной быстротой и разрушительностью. Мучнистые росы вызываются грибками из семейства Erysiphaceae; примерами могут служить мучнистая роса крыжовника (Sphaerotheca morsuvae) и мучнистые росы разных огородных культур (Erisiphe sp.). Ложномучнистые росы вызываются видами совершенно иной группы, Peronosporales, какова например ложномучнистая роса огурцов (Peronoplasmopara cubensis). Сюда же в сущности относится и разрушительная «картофельная болезнь» (Phytophthora infestans) и «мильдью» винограда (Plasmopara viticola). Особенного внимания заслуживает загнивание стволов деревьев и срубленного леса, причиняемое видами класса базидиальных, трутовиками и шляпочными грибами. Трутовики представляют очень знакомое явление в каждом лесу. К этой же категории относится и *гриб домовый* (см.), Merulius lacrymans. Из группы шляпочных грибов наиболее серьезным считается один опенок (Armillaria millea). Опенок нападает на корни многих плодовых и декоративных растений, вызывая их гниение, которое ведет к смерти самих растений.

Рассеменение болезней растений происходит при посредстве всевозможных агентов и факторов, способных переносить от больных растений к здоровым споры грибков или бактерии или заразное начало вирусных болезней соответственно типу болезни. Насекомые служат передатчиками огромного числа заболеваний всех этих трех категорий. Нужно заметить однако, что передача болезней вирусной группы при участии насекомых зависит от способности последних делать ранки на растении-хозяине и связана лишь с некоторыми специальными видами их. Большинство же бактериальных и грибных болезней этого специального метода передачи не требует. Пчелы, шмели и осы, перелетая весной по цветущим яблоням и грушам от цветка к цветку и не нанося им непосредственно никакого вреда, тем не менее могут разносить ужасную заразу бактериального ожога, которая в несколько дней может уничтожить целый сад, если имеются налицо очаги заразы. Ветер способен разносить споры грибков на большие расстояния, но не играет непосредственной роли в распространении вирусных болезней. Ветер с дождем благоприятен для рассеменения как бактериальных, так и грибных болезней. Сам человек и животные могут разносить заразное начало (споры, бактерии, вирус) или непосредственно или при посредстве зараженного материала. Болезни подземных органов и другие болезни, связанные с заражением почвы, напр. увядание, могут распространяться через заражение раньше незараженных участков грунта, что может произойти при посредстве с.-х. орудий, удобрений (гл. обр. навоза и компоста) и семян, если они заражены каким-нибудь паразитным организмом.

Фиг. 15.

Существуют болезни наследственные, т. е. передающиеся через посредство семян или другого посевного материала (клубни картофеля), причем почва может и не играть посредствующей роли: такая вирусная болезнь, как мозаичность картофеля, передается новому поколению через посредство посевных клубней, взятых от зараженных кустов, но почва этой болезнью не заражается. С другой стороны, увядание картофеля также может передаваться при посредст-

ве больных клубней, но при этом и почва заражается вследствие посадки таких клубней. Кроме того споры паразитных грибков могут находиться на поверхности семян, происходящих от больных растений, и т. о. дать начало заболеванию молодых сеянцев. напр. в случае с головней хлебов. Споры грибков и бактерий, приходя тем или иным образом в соприкосновение с здоровыми тканями, должны проникнуть внутрь этих тканей, чтобы заболевание могло возникнуть. В нек-рых случаях это достигается при посредстве вырабатываемых грибками энзим, к-рые растворяют клетчатку клеточных стенок. Группа актиномицетов, некоторые представители которой способны причинять паршу картофельных клубней, представляет собой яркий пример таких разрушителей клетчатки. В большинстве случаев однако для проникновения прорастающих спор и бактерий внутрь тканей хозяина требуются либо ранки либо естественные поры или поверхности, не защищенные кутикулой, как устьица, чечевички, водяные поры и канал завязи. Многие возбудители плодовой гнили способны проникать только через раны. Возбудители пятнистости мучнистой росы и ржавчины во многих случаях проникают через естественные поры. Большинство бактериальных заражений происходит этим способом. Бактерии ожога деревьев кроме того проникают через цветок. Одна возможность внедрения паразита в ткани растения еще не достаточна для полного развития болезни. Требуются еще и другие благоприятные условия. Прежде всего окружающая питательная среда или соки растения должны быть благоприятны для развития паразита; в противном случае ростки грибка могут замереть вскоре после их образования.

Из внешних условий очень важными являются влажность и $t°$. Обычно более высокая влажность благоприятна всем микроскопическим паразитам, но в отношении $t°$ существуют все градации от сравнительно очень низких $t°$ до очень высоких. В жизни каждого паразита отмечается своя оптимальная $t°$, при к-рой он достигает своего наибольшего развития, а также $t°$ кардинальные, т. е. минимальная, или самая низкая, и максимальная, или самая высокая, за пределами к-рых роста не наблюдается. Однако оптимальные условия развития грибка в чистой культуре и оптимальные условия заражения и хода болезни не всегда совпадают. Не всегда также совпадают эти последние с оптимальными условиями развития растения-хозяина. В нек-рых случаях слабые растения более легко подвергаются заражению, напр. в случае паразитов, причиняющих разложение тканей или гниль, тогда как в других случаях (заражение ржавчиной) страдают повидимому более здоровые экземпляры.

Возраст растения играет немалую роль в развитии нек-рых болезней. Одни поражают только очень молодые сеянцы или молодые сочные побеги, другие же опасны для цветения, третьи—для плодов и т. д. Нек-рые вирусные болезни, как желтуха (ксантоза) томатов, легче поражают растения в более молодом возрасте, чем позже. Способ воздействия на клетки растения-хозяина у различных паразитов не одинаков. Одни разрушают гл. обр. или исключительно клеточные оболочки (актиномицеты—возбудители картофельной парши), другие ограничиваются по преимуществу межклеточными пространствами (бактерия ожога), третьи проникают внутрь клеток и по преимуществу уничтожают крахмал или азотистые вещества (многие возбудители гнили спелых продуктов).

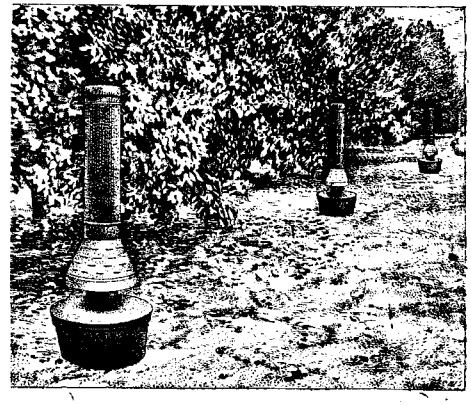
В зависимости от способа воздействия паразитов или других возбудителей болезней на растение стоит и совокупность тех симптомов или признаков болезней, к-рыми данное растение отвечает на поражение. Эти признаки обыкновенно характерны для каждой данной болезни и состоят из всевозможных вариаций окраски пораженных частей (при местных или локализованных заболеваниях) или всего растения (при системных болезнях), омертвения (некроза) или распадения (гнили) тканей, прекращения роста, образования наростов и т. д. Характер и сочетание признаков меняются также и в зависимости от тех внешних условий, при которых данная болезнь протекает. Так например, мозаичность листьев картофеля маскируется в жарких и сухих климатах, а желтуха томатов при тех же условиях бывает наиболее ярко выраженной.

Меры борьбы с болезнями растений относятся гл. обр. к категории предупредительных, направленных к тому, чтобы помешать началу болезни. Иногда однако можно и стóит приостановить начавшуюся болезнь и дать растению возможность развиться нормально в последующий период. Сгнивший плод нельзя вылечить, но гниению можно до известной степени помешать предупредительными мерами. Гнилостную ранку на дереве можно залечить, и дерево может в дальнейшем развиваться нормально. Развитие мучнистой росы можно в известных случаях приостановить и т. о. спасти оставшуюся часть урожая. Следует отметить один случай, когда хирургия, или удаление пораженных частей, нашла себе особенно удачное применение, это—случай бактериального ожога плодовых деревьев. Весной, когда эта болезнь начинает развиваться с быстротой пожара, обрезка и сжигание пораженных побегов и ветвей считаются единственным средством, могущим спасти сады от окончательного опустошения. При этом ножи и ножницы, к-рыми пользуются во время этой операции, нужно всегда держать в дезинфицирующем составе, чтобы не перенести заражение с больных веток на здоровые. К числу главных предупредительных мер борьбы с болезнями растений принадлежат разные химич. составы. Однако первым условием успешного контроля этих болезней является предоставление растению надлежащих санитарных условий для его развития. Т. к. жизнь растения начинается с семени (или другого органа, заменяющего семена), то прежде всего считается необходимым иметь здоровый посевной материал. Для этого он должен происходить от здоровых родителей и не приходить в соприкосновение с источниками заражения. Если существует подозрение, что семена поражены какой-нибудь наследственной болезнью, то таких семян, за редкими исключениями, вовсе не следует употреблять для посева. Исключениями являются те случаи, когда какими-нибудь мерами можно значительно понизить заключающуюся в семенах инфекцию. Так, в борьбе с головневыми грибками можно нагревать зерно, в сухом или мокром виде, до $t°$, не опасной для прорастания зерна, но гибельной для грибка. Если же имеется материал, свободный от наследственных заболеваний, но пришедший в соприкосновение с каким-либо источником заражения (зараженной почвой, больными ра-

стениями и т. д.), то такой материал можно сделать годным для посева после надлежащей дезинфекции.

Наиболее употребительными дезенфицирующими материалами служат сулема (и другие ртутные соединения) и формалин. Дезинфекция химич. путем возможна также и в случае легких поверхностных поражений, напр. при неглубоких и немногочисленных язвочках обыкновенной картофельной парши. Сравнительно небольшие количества картофеля можно легко и удобно протравливать в бочках. Для значительных количеств и для разных других надобностей существуют другие технич. приспособления. Здоровые семена следует сажать и сеять в здоровую почву. Когда дело идет о болезнях, передаваемых через почву, то всегда следует избегать зараженных участков. Если же это будут болезни, поражающие только определенные растения, то рекомендуется применять такой севооборот, к-рый позволил бы в течение нескольких лет иметь культуры, не подверженные данному заболеванию. Поэтому в почвах, зараженных нематодами, не следует сеять корнеплодов и других восприимчивых к этому повреждению видов, но можно сеять кукурузу или другие зерновые растения, так как они устойчивы против нематод. После нескольких лет такого севооборота степень зараженности почвы значительно понижается. Дезинфекция почвы в больших размерах очень дорога и затруднительна, но возможно дезинфицировать почву в рамах, парниках и теплицах. В таких случаях почву протравливают формалином или стерилизуют паром. В последнем случае требуются специальные приспособления в виде камер или колпаков для почвы, парового котла и т. д. Удобрение, поливка и уход за растениями в общем д. б. таковы, чтобы способствовать их наилучшему развитию. Считается очень важным соблюдать во всех случаях строго санитарные условия, чтобы избежать передачи и распространения болезней; остающийся в поле больной материал советуется сжигать; обрезки от больных плодов и овощей не бросать в навоз или компост; с.-х. орудия после употребления в зараженной почве промыть, а то и продезинфицировать, прежде чем переносить на здоровую почву, и т. п. Но т. к. существуют и другие источники и агенты распространения заразы, кроме тех, которые м. б. легко уничтожены человеком, то для предупреждения заболеваний приходится применять разные химич. составы, т. н. фунгисиды. Задача состоит в том, чтобы по возможности все органы растения покрыть тонкой оболочкой, образующейся из этих составов, так чтобы споры паразитов или вовсе не могли прорастать или же погибали бы, как только ростки придут в соприкосновение с фунгисидами. Известно много разных фунгисидов. Из них самым широким распространением пользуется **бордосская жидкость**—смесь медного купороса и извести в определенном количестве воды. Довольно широким распространением пользуется также и смесь серы и извести. В прежнее время почти исключительно пользовались жидкими фунгисидами, т. е. применение их сводилось к опрыскиванию. В более позднее время стали тщательнее разрабатываться методы опыления с целью применения фунгисидов в виде порошка. Более широко однако этот метод применяется в области энтомологии, чем Ф. Для успешного применения фунгисидов эту операцию необходимо приурочить как к развитию паразита, так и к развитию растения-хозяина, например опрыскивание деревьев осенью с целью помешать плодовой гнили было бы бесполезно; его следует делать весной, перед тем как споры грибка, освобождаясь в огромных количествах из своих вместилищ, начнут заражать молодые побеги. Для разумного же выбора фунгисидов необходимо знать природу заболевания. Бесполезно протравливать каким-нибудь составом картофельные клубни против таких глубоко сидящих в них паразитов, как возбудители увядания или гнили, так как растворы не могут проникнуть достаточно глубоко в ткани, чтобы убить этих паразитов. Как для опрыскивания, так и для опыливания требуются специальные приборы. Их размеры и конструкции очень разнообразны, применительно к площади и разнообразию культур. Для огородных культур в небольшом размере можно пользоваться небольшими ранцевыми опрыскивателями, тогда как для больших площадей необходимо прибегать к конным и моторным машинам. Кроме того опрыскиватели (см. *Опрыскивание*) приспособлены к характееру культур, напр. для низко растущих растений, как картофель, требуются одни приборы, тогда как для высоких деревьев—другие.

В недавнее время опыливание в нек-рых случаях стали производить при помощи аэропланов. Такой метод главным образом важен там, где требуется покрыть большую площадь в ограниченный промежуток времени. Химич. способы борьбы не применимы к болезням непаразитическим. Их можно избежать, устранив те факторы, которыми они вызываются (улучшение вентиляции в погребах в случае с внутренним почернением картофельных клубней), или поставив растения в такие условия, в которых вредные факторы отсутствуют (перенесение культур в климатич. условия, благоприятные для их развития).



Фиг. 16.

В нек-рых случаях бывает возможно и изменить неблагоприятные естественные условия. Сюда относятся такие меры, как дренаж, искусственное орошение и искуственное согревание. Благодаря искусственному согреванию садов в США удается разводить подтропич. культуры в таких местах, где иначе они погибли бы от заморозков. Главнейшим материалом для сжи-

гания служит нефть, к-рая сгорает в специальных печках (фиг. 16). Существует нек-рое разнообразие типов этих печей, причем лучшими считаются те, к-рые позволяют наиболее полное сгорание, выделяя наименьшее количество дыма и копоти. В тех случаях, когда опасная паразитич. болезнь существует в какой-нибудь определенной местности, но не существует в других районах или странах, зараженная местность подвергается карантину, т. е. воспрещается ввоз из этой местности в еще не зараженные округа тех культур, к-рые подвержены данному заболеванию. Карантин бывает международный и местный, в границах известного государства. Система карантина особенно широко развита и широко практикуется в США. Расходы, связанные с борьбой против болезней растений, очень велики, но потери от этих болезней еще значительнее. Точного учета этих потерь еще нигде не имеется, но довольно хороший приблизительный подсчет ведется в США, где процент потерь в 1925 и 1926 гг. для 12 важнейших культур определен в следующем приблизительном размере:

	1925 г.	1926 г.		1925 г.	1926 г.
Пшеница . .	8,3	7,1	Сладкий картофель (Ipomoea batatas)	7,5	6,7
Рожь	1,84	1,0			
Ячмень . .	11,2	5,9			
Овес	7,3	10,3			
Кукуруза .	8,1	12,8	Яблоки . . .	12,1	10,8
Фасоль . . .	10,2	5,9	Персики . . .	6,0	7,8
Хлопок . .	9,1	11,9	Груши	15,12	8,0
Картофель .	21,9	18,2			

Т. о. в среднем почти $^1/_{10}$ всего возможного урожая от этих культур была в эти годы в США потеряна вследствие разных заболеваний в тех случаях, когда меры борьбы или не были применены или же не оказались достаточно успешными. Отсюда понятно внимание, к-рое уделяется Ф. во всем мире. При Международном ин-те сел. х-ва в Риме имеется отдел болезней растений. Во всех странах при высших с.-х. учебных заведениях имеются кафедры по Ф. При с.-х. опытных станциях имеются отделы Ф. Задачей этих отделов являются постановка опытов с целью разрешения насущных фитопатологич. проблем, по преимуществу касающихся данного района, и фитопатологич. помощь населению. В СССР и в Европе вообще работа по фитопатологич. исследованиям не всегда организована в виде отделов при опытных станциях, а часто в виде самостоятельных станций защиты растений от болезней. В Америке же принято во внимание то, что Ф. строго соприкасается со многими другими отраслями науки, как физиология, химия, агрономия и т. д., и что очень часто для успешного разрешения фитопатологич. проблем требуется совместное сотрудничество работников из нескольких таких областей. Поэтому там считают наиболее целесообразным не выделять фитопатологич. опытную и исследовательскую работу в особые независимые станции, а организуют ее при общих с.-х. станциях. Границы территории, находящиеся в ведении станций, совпадают с границами административных подразделений, хотя правильнее, чтобы границы определялись естественными географич. и климатич. условиями.

Лит.: Наумов Н., Общий курс фитопатологии, 2 изд., М.—Л., 1926; Бондарцев А., Болезни культурных растений и меры борьбы с ними, 2 изд., Л., 1927; Heald F., Manual of Plant Diseases, N. Y.—L., 1926; Eriksson J., Fungoid Diseases of Agricultural Plants, L., 1912; Bourcart E., Les maladies des plantes, P., 1910; Kister E., Pathologische Pflanzenanatomie, 3 Aufl., Jena, 1925; Sorauer P., Handb. d. Pflanzenkrankheiten, 1924, B. 1—5, 4 Aufl., 1922—26; Massee G., Diseases of Cultivated Plants a. Trees, 2 ed., L., 1915; Ferraris T., Trattato di Patologia e Terapia Vegetale, 1926—27. **М. Шапошников.**

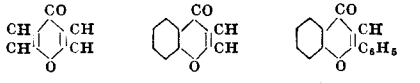
В СССР исследовательская работа по Ф. сосредоточена во Всесоюзном ин-те защиты растений (ВИЗР) при Академии с.-х. наук им. Ленина и его филиалах, а также в отделах защиты растений специализированных ин-тов Академии с.-х. наук (ОЗРАСИ) и при кафедрах с.-х. вузов. Фитопатологич. исследования в части, касающейся изыскания и первоначального лабораторного и лабораторно-полевого испытания новых фунгисидов, проводятся ин-том инсектофунгисидов (НИИФ). Испытание и оценка фунгисидов в условиях авиационного их применения против болезней с.-х. растений проводятся ин-том с.-х. авиации (ВНИИСХА). Авиахимметод испытан в СССР при борьбе с бурой листовой ржавчиной пшеницы, оидиум и мильдью винограда. При разработке методов борьбы с болезнями растений изучению экономии и биологии паразитов, вызывающих то или иное заболевание, отводится в СССР подобающее место, однако все работы по Ф. проводятся в тесной увязке с с.-х. производством, причем особенное внимание обращается на возможность использования при борьбе с болезнями растений мощной аппаратуры и химич. метода. Социалистич. реконструкция с. х-ва на базе крупного обобществленного производства позволяет не только широко изучать отдельные фитопатологич. проблемы, но и дает возможность ВИЗР разработать стройную систему мероприятий против наиболее вредоносных болезней. За последнее время разработана система мероприятий по борьбе с головней (опубликовано в постановлении НКЗ СССР от 4/VIII 1931 г.), разрабатываются системы мероприятий по борьбе с ржавчиной зерновых культур и спорыньей. Касаясь отдельных моментов в развитии Ф. в России и СССР, необходимо отметить деятельность А. Ячевского, благодаря инициативе которого в 1901 г. была учреждена в Ленинграде при Ботанич. саде Центральная фитопатологич. станция. В 1906 г. было учреждено при Ученом комитете Министерства земледелия Бюро по микологии и фитопатологии с прекрасно оборудованной лабораторией и библиотекой, впоследствии влившейся в ВИЗР. Был издан ряд монографий по отдельным группам паразитов, грибов, организован «Ежегодник сведений о болезнях и повреждениях растений» и опубликованы материалы по Ф. и микологии России. Необходимо указать на целый ряд крупных русских исследователей в области Ф. и микологии: Ячевский, Воронин, Потебня, Траншель, Наумов и др. Благодаря исследованию русских фитопатологов значительно продвинулось вперед изучение ржавченников (изучение разнохозяйственных видов); большие успехи достигнуты и в деле изучения *головни* (см.) зерновых культур, в особенности следует отметить изыскание новых фунгисидов для протравливания (препарат АБ, ПД, талькарсин).

Путем привлечения к работе по борьбе с болезнями крупных инженеров-конструкторов удалось создать советские мощные машины для протравливания (машины ОБВ1, машины для комбинированного протравливания С. Попова). Из других фитопатологических работ, произведенных русскими фитопатологами, нужно указать на работы по болезням клевера. В 1912 г. описана новая болезнь цветов красного клевера—«цветочная плесень». Позднейшими работами намечена возможность успешной борьбы

с этой вредоносной болезнью (путем прогревания семян). Научные работы по Ф. публикуются в СССР в журнале «Защита растений», в трудах по защите растений и в сборниках ВИЗР, а также в трудах специализированных ин-тов. Организация и проведение оперативных мероприятий по Ф., а также и энтомологии и борьба с грызунами возложены на «Объединение по борьбе с вредителями и болезнями сельского и лесного хозяйства» (ОБВ) при НКЗ СССР. В задачи ОБВ и его филиалов на местах входит оперативная работа по договорам с хоз. системами и машино-тракторными станциями (МТС). Массовые истребительные кампании проводятся за счет государства. Непосредственную работу на местах ведут машино-истребительные станции (МИС ОБВ), снабжая колхозы и совхозы фунгисидами и необходимой аппаратурой и проводя инструктаж силами своих специалистов и бригадиров. Наиболее важной фитопатологич. кампанией, проводимой ОБВ, является борьба с головней путем протравливания семенного зерна. В 1931 г. ОБВ, МТС, колхозы и совхозы протравили сухим и влажным способом 1867 тыс. *т* зерна, в 1932 г.—3 432 тыс. *т*, а только весной 1933 г. свыше 3 000 *т*. При планировании оперативных работ по Ф. большое значение имеет Служба учета, выделенная в особое управление (УСУ) при ОБВ. Задачей Службы учета является изучение порайонного распространения и выявление запаса болезней и вредителей с. х-ва. В своей работе СУ опирается на сеть корреспондентов в совхозах и колхозах. Не менее важные функции в деле борьбы с болезнями и вредителями с.-х. растений несет Служба карантина, контролирующая ввоз посевного и посадочного материала (клубни, луковицы, черенки) из-за границы, с целью охраны СССР от завоза иноземных, не встречающихся у нас болезней и вредителей. С этой целью семена и посадочный материал подвергают анализу в специальных лабораториях и *доставляют адресату лишь в случае отсутствия* заражения болезнями и вредителями карантинного характера. Кроме того Служба карантина следит за карантинным законодательством других стран, издает списки карантинных объектов и содействует изучению вредоносности и разработке мер борьбы с ними. В случае заноса карантинных объектов Служба карантина принимает меры к их ликвидации; поэтому в функции карантина входит и внутрисоюзный контроль. Работа Службы карантина на местах осуществляется карантинной инспекцией.

Лит.: Ячевский А., Современное положение фитопатологии у нас и за границей, Л., 1929; Зеленухин И. и Клименко Д., Два года борьбы и побед на фронте защиты социалистич. урожая, М.—Л., 1931; К десятилетию с.-х. авиации СССР, М., 1933; Васильевский Н. и Каракулин Б., Роль отдела фитопатологии Главного ботанического сада в развитии фитопатологического дела в СССР, «Болезни растений», Л., 1927, *1*. **А. Бухгейм.**

ФЛАВОН, *α*-фенилхромон, хромон, или *γ*-бензопирон, соединение, молекула которого состоит из бензольного ядра, конденсированного с ядром *γ*-пирона



Присутствием производных флавона (главным образом его оксипроизводных) объясняется желтый цвет многих растительных красителей (рамнетин, кверцетин); см. *Красящие вещества естественные* и *Антоцианы*.

ФЛАММЕ, фасонная пряжа, состоящая из ровницы, обвитой нитью. При крутке такой нити ровница вытягивается неравномерно и местами образует утолщения, которые придают ткани определенный эффект. Ровница окрашивается обыкновенно в яркий цвет. Ф. также называют ткани с пропуском отдельных нитей основы, окрашенных в различные яркие цвета и придающих ткани определенный эффект.

ФЛАМСКОЕ ПОЛОТНО, льняная гладкая, толстая и прочная ткань простого вида переплетения, вырабатываемая из более низких номеров пряжи, напр. № 16—20. Ткань выпускается как суровой, так и беленой. **С. Молчанов.**

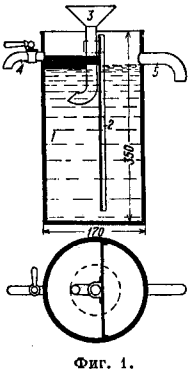
ФЛАНЕЛЬ, хл.-бум. и шерстяные ткани рода бумазеи, имеющие простое гладкое (полотняное) или, реже, саржевое переплетение. Хл.-бум. Ф. вырабатывается шириною от 71 до 80 *см* из основы №№ 18, 24, 32 и утка №№ 4, 6, 8, 10 и 20. Хл.-бум. Ф. выпускается в различных сортах: толстая, средняя и тонкая, гладко окрашенная и набивная в клетку и рисунок. Ткань с двух сторон начесывается. Грубая и средняя идет на подкладку, а тонкая—на платья и теплое белье. Фланель шерстяная вырабатывается из кардной и камвольной пряжи. Ткань слегка валеная, ворсовая и нестриженая. **С. Молчанов.**

ФЛЕР, шелковая ткань тафтяного (полотняного) переплетения, которую чаще всего называют крепом. Характерный для этой ткани вид и соответствующая жесткость получаются как от изготовления, так и отделки этого рода ткани. Ф. вырабатывается шириною примерно в 52 *см* из невареного крученого шелка, причем нити утка располагаются по отношению основных нитей в ткани не прямолинейно, а несколько волнообразно благодаря особому берду. При отделке Ф. пропускается между горячими цилиндрами, поверхность к-рых имеет продольные *рифли и выемки*, что и способствует приданию ткани как бы гофрированного вида и одновременно жесткости. Наиболее типичная ткань выпускается черного цвета и употребляется как траурная материя. Ф. вырабатывается и шерстяным.

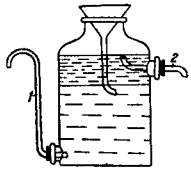
ФЛОРЕНС, флорентин, легкая, гладкая шелковая ткань полотняного переплетения из тонких сортов шелка. Ф. вырабатывают обычно *в светлых цветах; применяется при пошивке* женского платья и блузок или как подкладочная ткань. Ф. может заменять тафту, от которой отличается бо́льшим блеском, получаемым как благодаря особой отделке Ф., так и тем, что флоренс вырабатывается из хорошо отваренного шелка. **Н. Арманд.**

ФЛОРЕНТИНСКИЕ СКЛЯНКИ, сосуды, применяемые для автоматич. разделения несмешивающихся жидкостей. Употребляются гл. обр. при перегонке для разделения смеси жидких погонов, получающихся после конденсации паров в холодильнике. Действие Ф. с. основано на разности уд. в. жидкостей: жидкости с бо́льшим уд. в. собираются внизу Ф. с., более легкие—вверху; после разделения жидкостей их отводят из Ф. с. при помощи спускных труб, сифонов, кранов и т. д. в отдельные приемники. Существует несколько типов Ф. с. Напр. при перегонке эфирных масел (скипидара и др.) с водяным паром получаемая после конденсации паров жидкая смесь эфирного масла и воды разделяется при помощи Ф. с. (фиг. 1),

состоящей из бака, по большей части прямоугольного, с двумя сообщающимися внизу отделениями *1* и *2*. Каждое отделение снабжено спускной трубой, причем труба в отделении *2* поставлена приблизительно на 5 *см* ниже уровня трубы в отделении *1*. Жидкая смесь эфирного масла и воды, вытекающая из трубы холодильника через воронку *3*, попадает в отделение *1*, причем эфирное масло, имеющее более низкий удельный вес по сравнению с водой, всплывает наверх и вытекает по трубе через кран *4*, а вода переходит в отделение *2* и вытекает из него по спускной трубе *5*. В кустарных производствах, например для отделения смолы, масел и т. д., применяют-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

ся сосуды, состоящие из бочки, в к-рую на небольшом расстоянии от дна помещают другую бочку меньшего диам. с обрезанным дном, т. н. о б р е з. Жидкая смесь поступает во внутреннюю бочку, из к-рой более тяжелая жидкость переходит в пространство между бочками и удаляется отсюда при помощи спускной трубы, а более легкая жидкость скопляется во внутренней бочке и удаляется из нее в отдельный приемник. Часто применяются флорентинские склянки (фиг. 2), состоящие из широкогорлого стеклянного или металлич. сосуда, снабженного снаружи вертикальной трубкой *1*, начинающейся у дна сосуда. Трубка, не доходя до верха сосуда, загибается в сторону и служит для отвода из Ф. с. жидкости с более высоким уд. в.; когда сосуд наполняется доверху более легкой жидкостью, последняя отводится из него при помощи трубы *2*. Флорентинские склянки различного устройства применяются также при перегонке с водяным паром бензола, толуола, ксилола, сольвент-нафты и других углеводородов для отделения каменноугольных, нефтяных и других масел, а также для разделения различных жидкостей в лабораторной практике. **П. Черенин.**

ФЛОРЕТ, шелковые угары; отдельные волокна, снимаемые с коконов при сборе, а также угары, получаемые из попорченных и проткнутых коконов; Ф. носит также название г а л л е т-ш е л к а. Применяются Ф. для выработки ф л о р е т-ш е л к а; для этой же цели применяют также спутанные отходы, получаемые при разных стадиях первичной обработки шелка.

ФЛОРИДИН, ф л о р и д и н о в а я, или с у к н о в а л ь н а я, г л и н а, наиболее ценная разновидность отбеливающих земель (Фуллонова земля, Фуллерова земля, гумбрин и др.), отличающаяся коллоидальной структурой, высокой пористостью и в связи с этим энергичной способностью извлекать из смесей отдельные составные части, гл. образом основные красящие пигменты; на этом основано применение (как адсорбента) природного Ф. в технике для очистки растительных, животных и минеральных масел, также жиров, воска и т. п. Термин флоридин применяется теперь ко всем адсорбентам, проявляющим поглотительные свойства в естественном виде без предварительной «активизации». Химический состав флоридиновых глин характеризуется следующими данными: 56—65% SiO_2, 10—20% Al_2O_3, 2—6% $FeO+Fe_2O_3$, 2—5% CaO, 2—7% MgO, 2—4% щелочи, 13—23% H_2O.

Внешний вид и физич. свойства Ф. разнообразны; часть их близка к типичным каолинам. Цвет Ф. серый, коричневый, зеленовато-белый, иногда почти белый, оливковый. Пластичностью Ф. не обладают, в воде иногда рассыпаются в тонкий порошок. Главные мировые месторождения: в Сев. Америке (штаты: Флорида, Георгия, Техас, Южная Дакота), в Англии (Серрей, Сомерсет), в Германии (Ландау, Моссбург и др.). В СССР месторождения глин флоридинового типа известны в Московской обл. (Тульский и Рязанский районы), на Украине (около Днепропетровска) и в других местах. Исключительные по мощности месторождения высокосортной флоридиновой глины открыты (и обследованы Ин-том прикладной минералогии) в Грузии (селения Гумбри, Мелаури и Хони) и в 12 *км* от г. Минусинска на левом берегу р. Енисея. Опыты по очистке «гумбрином» сырого хлопкового масла, керосина, бензина, вазелина, соляровых масел, церезина, парафина, дельфиньего жира и других веществ показали превосходные качества грузинского адсорбента. На основе этих опытов, проверенных в Центральном ин-те Азнефти, в Кутаисе построен опытный з-д. Адсорбционная способность минусинской глины для нефти по данным Теплотехнич. ин-та лишь немного ниже америк. Ф. Запасы гумбрина равны 3 млн. *т*. Запасы минусинской флоридиновой глины не установлены. См. *Глина*, г л и н ы с у к н о в а л ь н ы е; там же литература. **Н. Федоровский.**

ФЛОРОГЛЮЦИН, симметрия, триоксибензол, 1, 3, 5-$C_6H_3(OH)_3$; см. *Фенолы*.

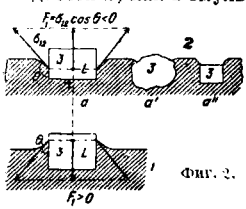
ФЛОТАЦИЯ, процессы молекулярного прилипания частиц твердого тела (минералы) к поверхностям раздела двух фаз. Ф. применяется в качестве одного из наиболее общих и совершенных методов обогащения полезных ископаемых, т. е. выделения одного или последовательно нескольких ценных минералов (с е л е к т и в н а я Ф.) из заключающей их породы.

Ф и з и к о-х и м и ч е с к и е о с н о в ы п р о ц е с с о в Ф. Наиболее обычные процессы Ф. заключаются в прилипании тяжелых минеральных частиц (плотностью $D > 1$) к поверхности раздела водная среда — пузырек воздуха (п е н н а я Ф.) или водная среда—масло, керосин (м а с л я н а я Ф.). Эти процессы длительного (иногда вполне равновесного) удерживания тяжелых частиц в пограничном (поверхностном) слое основаны на н е с м а ч и в а н и и или н е п о л н о м с м а ч и в а н и и частицы минерала водной средой (см. *Смачивание, Капиллярные явления*). При этом силы смачивания, направленные из водной среды (в масло или воздух), обусловливают возможность

Фиг. 4.

равновесия частицы в поверхностном слое, уравновешивая силы тяжести; по законам же гидростатики, игнорирующим молекулярные силы, проявляющиеся в смачивании, частицы тела, удельно более тяжелого, чем вода, не могут (из-за действия силы тяжести) оставаться в равновесии в поверхностном слое.

При рассмотрении явлений на поверхности раздела двух фаз поверхностное натяжение как избыток свободной энергии, запасенной в молекулах 1 *см*² пограничного слоя, не вызывает никаких направленных сил, которые бы действовали напр. на каплю жидкости *1* в среде жидкости *2*, как в эмульсиях. Поэтому на свободные частицы дисперсных систем действует только сила тяжести; при появлении же линейной границы трех фаз сразу возникают (фиг. 1 и 2) направленные «флотационные силы»; при этом, если представить себе частицу минерала, находящуюся в поверхностном слое—горизонтальной поверхности раздела «жидкость *1*—жидкость или газ *2*», то на 1 *см* периметра длиной L_{12} флотационная сила, обусловленная явлениями смачивания, выразится через



Фиг. 2.

$$F_1 = \sigma_{12}\cos(\theta + \psi),$$

а на всю частицу действует сила

$$F = F_1 \cdot L_{12}. \qquad (1)$$

При этом предполагается, что боковая поверхность частицы вдоль всего периметра наклонена под углом ψ к вертикали (фиг. 1). Это всегда имеет место, если частица является телом вращения вокруг вертикальной оси (шар, усеченный конус, прямой цилиндр). В простейшем случае прямого цилиндра с вертикальной образующей (фиг. 2) $\psi = 0$ и

$$F_1 = \sigma_{12}\cos\theta,\ F = L_{12}\sigma_{12}\cos\theta \qquad (2)$$

при $B = \cos\theta > 0$, т. е. при несмачивании, или в общем случае при $\cos(\theta + \psi) < 0$, т. е. при $\theta + \psi > 90^\circ$ ($\theta > 90^\circ - \psi$), сила $F < 0$, т. е. направлена вверх и стремится удержать частицу в поверхностном слое против действия силы тяжести (см. случаи *a*, *a'*, *a''* фиг. 2). Поверхностная энергия σ_{12}, т. е. поверхностное натяжение, на границе двух жидких фаз или жидкости и газа, к-рые мы только и можем определить экспериментально, представляется теперь в виде силового вектора в вертикальной плоскости, нормальной к периметру, и действующего вдоль периметра смачивания на каждый *см* его вектора, направление к-рого определяется краевым углом θ (фиг. 1—2). При одном и том же числовом значении σ_{12} направление и величина флотационной силы, т. е. возможность Ф., будут определяться знаком и величиной смачиваемости B, т. е. молекулярной природой твердой поверхности (фиг. 1—2). При направлении вверх флотационная сила $F < 0$ будет удерживать частицы в поверхностном слое (в случае их несмачивания) и, наоборот, при смачивании, особенно вблизи полного смачивания, $\theta \cong 0$, $B \cong +1$ и сила $F > 0$, направленная вниз, будет вместе с силой тяжести P содействовать погружению минеральной частицы (фиг. 1 и 2, случай *b*—отсутствие Ф.). Т. о. не величина σ_{12}, определяемая только молекулярной природой жидкой границы *1—2* (т. е. водной среды), является основным физико-химич. фактором Ф., а направление вектора σ_{12}, определяемое смачиваемостью и зависящее преимущественно от молекулярной природы минеральной поверхности.

Классический опыт с намасленной, т. е. несмачиваемой, иглой, плавающей на поверхности воды, дает пример флотационного равновесия (случай т. н. пленочной Ф.). Чтобы минеральная частица длительно удерживалась флотационными силами в поверхностном слое, необходимо выполнение условия:

$$F + P \leqslant 0;\ \left|\frac{F}{P}\right| \geqslant 1;\ \frac{F}{P} < 0.$$

При этом

$$P = g[V_1(D_3 - D_1) + (V - V_1)(D_3 - D_2)]; \qquad (3)$$

V—весь объем частицы, V_1—часть его, погруженная в фазу *1* (водную среду), D_1, D_2, D_3—плотности соответствующих сред. Когда фазой *2* является воздух, то $D_2 \cong 0$, $P = g(VD_3 - V_1D_1)$. Считая, что $D_1 = 1$ при полном несмачивании (фиг. 2), имеем $V_1 \cong V$ и

$$P = gV(D_3 - D_1) \cong gV(D_3 - 1).$$

Условия флотируемости сводятся к тому, что: 1) $F < 0$; 2) F по абсолютной величине д. б. равно (не менее) P. Для флотируемости частиц простейшей формы (прямого цилиндра, фиг. 2)

$$F = L_{12}\cdot\sigma_{12}\cos\theta = L_{12}\cdot\sigma_{12}\cdot B < 0;$$
$$P = k\cdot V > 0; \qquad (4)$$

P—сила тяжести, пропорциональная объему частицы, причем k (D_1, V_1)—коэф., зависящий от плотностей и степени погружения частицы в водную среду. Из (4) видно, что F пропорционально длине периметра, т. е. 1-й степени линейных размеров (среднего радиуса) частицы r, а P пропорционально объему частицы, т. е. r^3; поэтому отношение

$$\frac{F}{P} = \frac{\sigma_{12}}{k}\cdot B\,\frac{L_{12}}{V} \cong \frac{\sigma_{12}}{k}\cdot B\,\frac{1}{r^2}, \qquad (5)$$

определяющее флотируемость, возрастает обратно пропорционально квадрату радиуса с уменьшением линейных размеров флотируемых частиц. Исходя из этого, можно сформулировать два следующих условия флотируемости для приведенной простейшей схемы. 1) Физико-химическое условие—минеральные частицы д. б. несмачиваемыми водной средой: $B < 0$; $F < 0$. Они м. б. или первоначально несмачиваемыми или это условие м. б. достигнуто в результате соответствующих изменений молекулярного слоя, прилегающего к их поверхности (напр. в результате адсорбции). 2) Механическое условие—в результате дробления частицы д. б. доведены до таких средних размеров (критич. минимальная дисперсность, $2r_k$), чтобы F сделалось больше P по абсолютной величине, т. е. чтобы удовлетворилось условие:

$$\frac{F}{P} = -1,\ \text{или}\ \frac{\sigma_{12}B}{k_1}\cdot\frac{1}{r_k^2} = -1 \qquad (6)$$

(условие флотационного равновесия); k_1—коэфициент, зависящий от формы частицы, степени ее погружения и плотностей. Отсюда можно определить $2r_k$, т. е. наибольший размер частиц минералов, которые еще могут флотироваться. По уравнению (6)

$$2r_k = \sqrt{\frac{4\sigma_{12}|B|}{k_1}}. \qquad (7)$$

Здесь $|B|$—абсолютное значение смачивания. Для цилиндра с высотой $h \simeq 2r$, равной диаметру основания,

$$V = 2\pi r^3;\ L_{12} = 2\pi r;\ P = g(2\pi r^3 D_3 - V_1),$$

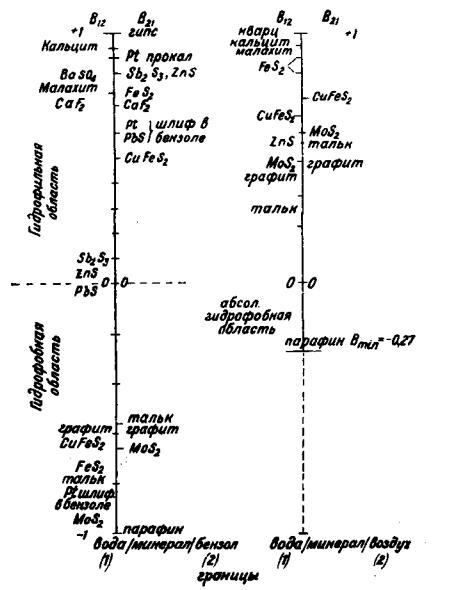
при полном несмачивании $B = -1$, $|B| = 1$, считая $V_1 \cong 0$, откуда

$$\frac{F}{P} = \frac{\sigma_{12}}{g(D_3 - D_1)} \frac{1}{r^2};\ 2r_k = \sqrt{\frac{L_{12}}{g(D_3 - D_1)}}. \quad (8)$$

Тот же результат получится и для кубич. частицы, напр. кристаллика PbS с ребром $a = 2r$. Подставляя в ур-ие (8) $g \simeq 1000$, $D_1 = 1$, $\sigma_{12} = 60$ (примерное поверхностное натяжение пульпы в абсолютных единицах), получим (при $D_3 = 3$) $2r_k \cong 3$ *мм*, (при $D_3 = 8$) $2r_k \cong 2$ *мм*. Если же принять, что $B > -1$, т. е., что полное несмачивание отсутствует, значения $2r_k$ получатся значительно меньшими.

В действительности максимальный размер зерна, флотируемого из пульпы, всегда $< 2r_k$, т. к. для минеральной частицы, не подносимой сверху к жидкой поверхности, как при пленочной Ф., т. е. не сухой, а уже находившейся некоторое время в агитируемой водной среде пульпы, обычно $B > -1$, т. е. $|B| < 1$. Условие (7), являясь только грубо схематическим, дает лишь верхний предел для размеров флотируемых частиц. Нижний же предел никоим образом не связан с этой ф-лой и устанавливается из совершенно иных коллоидно-химич. соображений. При значительном увеличении степени дисперсности, т. е. уменьшении размеров частиц, при переходе в область шламов (вблизи коллоидной области) флотируемость всегда обращается в нуль. Т. о. достаточно прочное прилипание минеральной частицы к пузырьку воздуха, являющееся основным условием возможности пенной Ф., тем более вероятно, чем более понижена с м а ч и в а е м о с т ь $B = \cos\theta$ минеральной части водной средой, т. е. чем менее г и д р о ф и л ь н о й (или, наоборот, более аэрофильной) является ее поверхность. Классификация минералов по смачиваемости, т. е. по молекулярной природе их поверхности, имеет решающее значение для Ф. и других процессов обогащения минерального сырья. Эта «молекулярная классификация» минералов представлена схематически на фиг. 3. Значения B отложены по отрезку прямой от 0 вверх до $+1$ ($B>0$) и вниз до -1 ($B<0$). Слева дана диаграмма избирательного смачивания в условиях минерал—вода *1*—бензол *2*, справа—то же в условиях минерал—вода *1*—воздух *2*. Минералы гидрофобные, т. е. расположенные в нижней части левой диаграммы ($B<0$), при переходе направо перемещаются вверх (в область $B>0$), т. ч. нижняя часть правой диаграммы остается незаполненной. Тела, показывающие и в условиях минерал—вода—воздух отрицательную смачиваемость $B<0$ ($\theta > 180°$), могут быть названы абсолютно гидрофобными. Наиболее абсолютно гидрофобным телом является парафин ($B = -0{,}27 = \min$).

Современной техникой в значительной степени уже достигнута возможность флотировать все минералы, в особенности же вести селективную флотацию. Это основано на возможности чувствительно регулировать смачиваемость поверхности каждого данного минерала руды и достигается образованием на ней гидрофобизирующего ее адсорбционного слоя молекул флотационного реагента—к о л л е к т о р а, ориентирующихся полярной группой к поверхности минерала, а углеводородной (неполярной) частью в окружающую среду. Такая нормальная ориентация всегда понижает смачиваемость поверхности минерала, причем особенно сильное действие оказывают реагенты, полярные группы которых вступают в «поверхностные химич. соединения» с металлическими атомами минерала, тем самым «закрепляя» нормально ориентированный адсорбционный слой, т. е. создавая «прочное намасливание» мине-

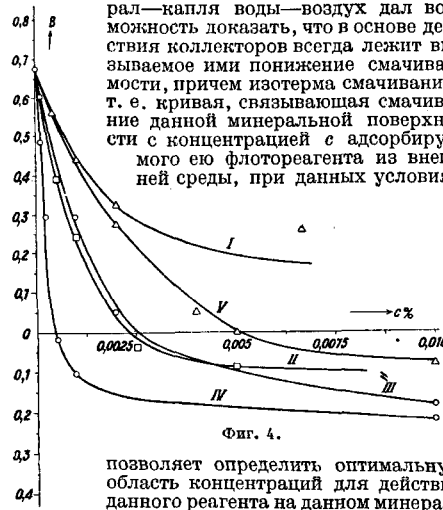


Фиг. 3.

ральной частицы. Такими специфич. реагентами—коллекторами—являются ксантогенаты R—O—CSSMe (R—углеводородный радикал, Me—металл), а также т. н. аэрофлоты $(RC_6H_4O)_2$ PSSH, особенно прочно гидрофобизирующие сульфидные минералы, и окисленные минералы тяжелых металлов после предварительной сульфидизации их действием Na_2S, жирные кислоты и их соли (мыла) $C_nH_{2n+1}COO(H,Me)$ по отношению к щелочноземельным (флюорит, барит, апатит) окисленным минералам и самородным металлам (платина). Весьма ценными реагентами оказываются дешевые продукты окисления парафина и нефтяных масел (Липец, Ребиндер и Римская), получаемые для изготовления синтетич. мыл и представляющие собой смеси высших жирных кислот (карбоновых и оксикислот), причем особенно ценным коллектором является смесь карбоновых к-т, извлекаемая из этих продуктов растворением в петролейном эфире.

В виду отсутствия до сих пор достаточно четких представлений о физико-химич. сущности флотационного процесса подбор реагентов и их оптимальных концентраций производился чисто эмпирически в результате т. н. ф л о т а ц и о н н ы х о п ы т о в, т. е. воспроизведением сложного флотационного процесса лишь в уменьшенном, лабораторном, масштабе. Такие исследования, кроме их громоздкости, обладают еще тем существенным недостатком, что не дают представления о физико-

химич. природе действия данного реагента и тем самым не позволяют обобщить полученный результат, т. е. сделать из него выводы применительно к другим рудам. Разработанный в настоящее время в Лаборатории теории Ф. и поверхностных явлений (Центральный ин-т цветных металлов в Москве) метод изотерм избирательного смачивания и гистерезисных изотерм смачивания (см. *Смачивание*) на границе минерал—капля воды—воздух дал возможность доказать, что в основе действия коллекторов всегда лежит вызываемое ими понижение смачиваемости, причем изотерма смачивания, т. е. кривая, связывающая смачивание данной минеральной поверхности с концентрацией *c* адсорбируемого ею флотореагента из внешней среды, при данных условиях

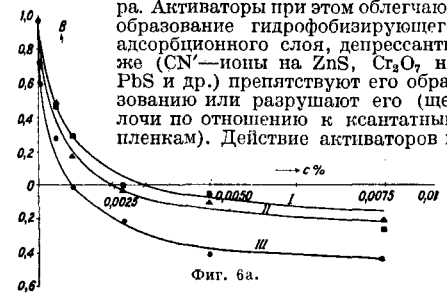


Фиг. 4.

позволяет определить оптимальную область концентраций для действия данного реагента на данном минерале (см. фиг. 4—9). Для измерения этих изотерм данная минеральная поверхность (средний шлиф или грань спайности) подвергается адсорбции данного реагента из водного раствора при данных условиях и в течение определенного промежутка времени (напр. в условиях флотационной практики). Затем обработанный шлиф тщательно просушивается фильтровальной бумагой и на него в горизонтальном положении наносится капля воды. Проектируя контур капли на экран при помощи параллельного светового пучка, легко определить по проекции контура краевой угол вдоль периметра смачивания, т. е. вдоль линейной трехфазной границы минерал *3*—капля воды *1*—воздух *2* (фиг. 1). По углу θ определяют и смачиваемость $B = \cos\theta_{12}$. Производя измерения при разных концентрациях раствора, из которого происходит предварительная адсорбция, можно построить всю изотерму $B_{12} = f(c)$.

Фиг. 5.

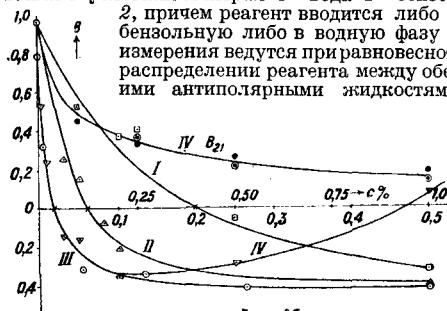
Для весьма тонкого регулирования условий смачивания, а следовательно и флотации различных минеральных компонентов, в особенности в случае одновременного присутствия довольно близких по молекулярной природе поверхности минералов (при селективной Ф.), важную роль играет регулирование условий адсорбции коллектора специальными реагентами, б. ч. электролитами, т. н. активаторами и депрессантами, роль к-рых сводится либо к изменению поверхности минерала образованием на ней тонкого слоя как бы нового минерала (сульфидизация окисленных минералов с образованием слоя сульфида на их поверхности, активация цинковой обманки ZnS Cu^{++}-ионами с образованием слоя CuS) либо к размыванию—разрушению—адсорбционного слоя коллектора. Активаторы при этом облегчают образование гидрофобизирующего адсорбционного слоя, депрессанты же (CN'—ионы на ZnS, Cr_2O_7 на PbS и др.) препятствуют его образованию или разрушают его (щелочи по отношению к ксантатным пленкам). Действие активаторов и



Фиг. 6а.

депрессантов совместно с коллекторами тоже м. б. изучено с помощью метода изотерм смачивания, причем минерал обрабатывается данным регулирующим реагентом до, одновременно или после действия коллектора. Кроме представлений америк. исследователей школы Taggart'a и Gaudin'a о чисто химич. природе действия активаторов и депрессантов это действие м. б. объяснено (по Фрумкину) влиянием адсорбции ионов электролита, вызываемым ими изменением электрич. заряда поверхности, на адсорбцию нейтральных молекул поверхностно активного коллектора.

Другим аналогичным методом является метод измерения изотерм избирательного смачивания в условиях минерал *3*—вода *1*—бензол *2*, причем реагент вводится либо в бензольную либо в водную фазу и измерения ведутся при равновесном распределении реагента между обеими антиполярными жидкостями

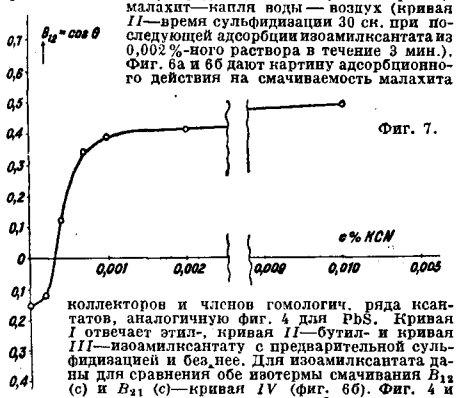


Фиг. 6б.

(см. *Смачивание*). Т. о. получаются изотермы смачивания для обоих случаев: $B_{12} = f_{12}(c)$—капля воды на минеральной поверхности, предварительно погруженной в неполярную фазу (бензол), и $B_{21} = f_{21}(c)$—капля бензола, наносимая под поверхность минерала, предварительно смоченную водной средой *1*. Все эти виды изотерм оказываются, вообще говоря, идущими параллельно кривым флотационного извлечения в опытах Ф. данного чистого минерала в лабораторных агитационных или пневматических машинках.

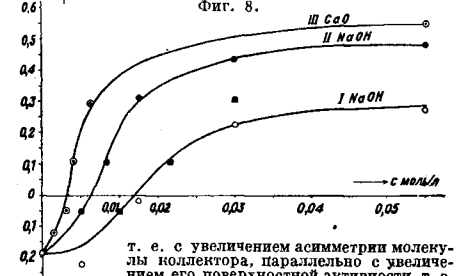
На фиг. 4 представлены изотермы смачиваемости $B_{12} = f(c)$ на границе шлиф свинцового блеска—капля воды—воздух после предварительной адсорбции в течение 5 минут при погружении этого шлифа в водные растворы гомологич. ряда ксантатов; кривая *I* отвечает этиловому ксантату C_2H_5OCSSK; кривая *II*—бутилксантату C_4H_9OCSSK; кривая *III*—изоамилксантату $C_5H_{11}OCSSNa$; кривая *IV*—то же, что и кривая *III*, но после предварительной сульфидизации (5 мин. в 0,05 %-ном Na_2S). Кривая *V* дает то же, что и кривая *I*, но после предварительной активации об-

работкой 0,045%-ной $HgCl_2$ (10 мин.). Фиг. 5 показывает возможность изучения сульфидизации малахита по методу изотерм смачивания на границе малахит—вода—бензол (кривая *I*—время сульфидизации 15 сек.) и на границе малахит—капля воды — воздух (кривая *II*—время сульфидизации 30 сек. при последующей адсорбции изоамилксантата из 0,002%-ного раствора в течение 3 мин.). Фиг. 6а и 6б дают картину адсорбционного действия на смачиваемость малахита



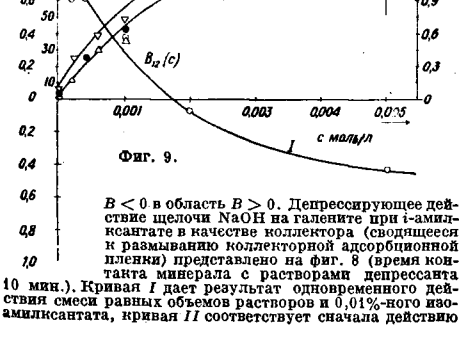
Фиг. 7.

коллекторов и членов гомологич. ряда ксантатов, аналогичную фиг. 4 для PbS. Кривая *I* отвечает этил-, кривая *II*—бутил- и кривая *III*—изоамилксантату с предварительной сульфидизацией и без нее. Для изоамилксантата даны для сравнения обе изотермы смачивания B_{12} (c) и B_{21} (c)—кривая *IV* (фиг. 6б). Фиг. 4 и 6 показывают, что коллекторная способность, выражаемая обратной величиной концентрации в точке инверсии смачивания $a=\frac{1}{c_i}$ (см. *Смачивание*), всегда растет в гомологич. ряду с удлинением углеводородной цепи,



Фиг. 8.

т. е. с увеличением асимметрии молекулы коллектора, параллельно с увеличением его поверхностной активности, т. е. способности понижать поверхностное натяжение, адсорбируясь на границе водный раствор—воздух. На фиг. 7 дан пример исследования депрессирующего действия KCN на цинковой обманке ZnS по таким же гистерезисным изотермам смачивания. Шлиф ZnS последовательно погружается при этом на 10 мин. в водные растворы: 1) 0,001%-ной $CuSO_4$ 5 aq., 2) KCN разных концентраций (отложены по оси абсцисс) и 3) 0,005%-ного изоамилксантата. При этом получается точка обратной инверсии смачивания при переходе из области



Фиг. 9.

$B<0$ в область $B>0$. Депрессирующее действие щелочи NaOH на галените при i-амилксантате в качестве коллектора (сводящееся к размыванию коллекторной адсорбционной пленки) представлено на фиг. 8 (время контакта минерала с растворами депрессанта 10 мин.). Кривая *I* дает результат одновременного действия смеси равных объемов растворов и 0,01%-ного изоамилксантата, кривая *II* соответствует сначала действию 0,01%-ного ксантата, а затем погружению в раствор и кривая *III*—то же, что и кривая *I*, но заменено CaO. На фиг. 9 представлен параллелизм кривых флотационного извлечения при Ф. чистого малахита гептиловой к-той в обычной лабораторной флотационной машинке типа М и гистерезисных изотерм смачивания B_{12} (c) или, лучше, кривых $\Phi(c)=1-B_{12}$ (c)—черные кружки. Флотационная кривая *II* соответствует 10 мин. агитации и 15 мин. Ф., а кривая *III* соответствует 5 и 3 мин.

Сравнительные флотационные активности коллекторов, *определенные по изотермам смачивания (по точкам инверсии)*, сопоставлены в таблице.

Сравнительные флотационные активности коллекторов.*

Минерал и реагент	Концентрация в точке инверсии: в %	Концентрация в точке инверсии: в g/m воды	Флот. активность $a=\frac{1}{c_i}$
I. Малахит $CuCO_3Cu(OH)_2$			
Этилксантат	0,198	1 980	5
То же после сульфидизации 0,01%-ным Na_2S	0,0032	32	313
n-бутилксантат	0,065	650	15
То же после сульфидизации	0,0021	21	475
Изоамилксантат	0,023	230	43
То же после сульфидизации	0,0011	11	909
Гептиловая к-та	0,0234	234	43
Технич. смесь карбон. к-т из твердых окислов парафина (адсорбция из бензола)	0,0016	16	625
II. Галенит PbS			
Этилксантат	∞	—	~0
То же после активации 0,01%	0,0050	50	200
n-бутилксантат	0,0023	23	435
Изоамилксантат	0,0025	25	400
То же после сульфидизации 0,05%	0,00049	4,9	2 040
Технич. смесь карбон. к-т (адсорбция из бензола)	0,0030	30	333
Аэрофлот креазиловый №25 (заграничный препарат)	0,0107	107	93
III. Сфалерит ZnS			
Изоамилксантат	∞	—	~0
То же после активации 0,1*N* HCl	0,0063	63	158
То же после активации 0,1%-ным $CuSO_4$ 5aq.	0,0013	13	769
Технич. смесь карбон. к-т (адсорбция из бензола)	0,0040	40	250
IV. Пирит FeS_2			
Изоамилксантат после активации 0,1 *N* HCl	0,0117	117	85
Гептиловая к-та	0,0102	10 2	98

* Получены по концентрациям инверсии изотерм смачивания $B_{12}(c)$ на границе «минерал—капля воды—воздух» после предварительной адсорбции (Ребиндер, Липец и Римская).

Даже простейшие случаи пенной Ф. являются чрезвычайно сложными комплексными процессами, к-рые д. б. разбиты для их физико-химич. обоснования на несколько отдельных стадий. В готовой пульпе (т. е. сложной суспензии минеральных компонентов руды) флотационный процесс, обусловленный в основном селективным несмачиванием частиц флотируемого минерала, состоит из следующих стадий. 1) Избирательная адсорбция поверхностно-активных флотореагентов поверхностью частиц данного минерала и вызываемое этим изменение молекулярной природы этой поверхности. В результате адсорбции минерал делается гидрофобным, т. е. поверхность его становится равновесно несмачиваемой водою или б. ч. гистерезисно несмачиваемой (смачиваемость ее значительно замедляется и ухудшается). Это обусловлено ориентацией адсорбирующихся полярных молекул полярной группой к минералу, а углеводородной цепью—в наружную

среду. Ионы электролитов пульпы, изменяя заряд поверхности частиц и условия адсорбции, могут значительно изменить возникновение несмачиваемости. Особенно же сильное влияние оказывают химические взаимодействия полярных групп ориентированных молекул флотореагента в адсорбционном слое с поверхностным слоем адсорбирующего минерала. Образование при этом нерастворимых «поверхностных химических соединений» как бы цементирует адсорбционный слой молекул, ориентирующихся углеводородной частью в наружную среду, закрепляя их ориентацию и тем делая гидрофобность минеральной частицы более резко выраженной и более устойчивой. 2) *Диспергирование воздуха* (*образование эмульсии* пузырьков воздуха в пульпе) в процессе аэрации в связи с адсорбцией реагентов пенообразователей на границе вода—пузырек. Образование адсорбционного слоя на этой границе препятствует слиянию отдельных пузырьков и тем стабилизует соответствующую дисперсную систему. 3) Соприкосновение частиц минерала с пузырьками воздуха в перемешиваемой пульпе с образованием периметра смачивания, т. е. линейной границы соприкосновения 3 фаз: минерал—пузырек воздуха—водная среда, с появлением краевого угла смачивания и связанных с этим флотационных сил (избирательное «прилипание» частицы данного минерала к пузырьку—решающий момент флотационного процесса). Равновесие флотационных сил и силы тяжести определяет максимальный размер флотируемых частиц, причем решающую роль в выражении флотационной силы играет специфический физико-химический фактор—ухудшенная смачиваемость, вызванная адсорбционной или адсорбционно-химической обработкой поверхностного слоя. Избирательное прилипание частиц данного минерала к газовым пузырькам ведет к образованию из обеих обычных дисперсных систем, образующихся в пульпе (суспензии минеральных частиц и эмульсии газа в водной среде), новой трехфазной системы—флотационной эмульсии, в к-рой пузырьки газа бронированы—покрыты прилипшими к ним частицами минерала. Такие представления допустимы однако только для довольно грубо дисперсных частиц. Нефлотируемость же высокодисперсных шламовых частиц связана с их характером, переходным к коллоидному (качественными изменениями природы поверхности и образованием гидрофильной оболочки). 4) Процессы подъема минерализованного пузырька в пульпе и образование слоя минерализованной пены на поверхности пульпы; устойчивость флотационной пены при этом повышена флотируемыми минеральными частицами и наличием адсорбционных слоев.

Кроме коллекторов, активаторов, депрессантов и «флотационных ядов», изменяющих условия смачиваемости минеральных частиц, весьма важную роль в Ф. играют вспениватели, или пенообразователи (см. *Цены*). Их главная роль сводится к образованию устойчивой высоко дисперсной эмульсии пузырьков воздуха при аэрации пульпы, но многие из вспенивателей (флотационные масла, *напр. сосновое масло — pine oil*) *обладают* и коллекторными свойствами.

Лит.: Ребиндер П. и др., Физико-химия флотационных процессов, М., 1933; Гельд Н., Материалы по обогащению полезных ископаемых, Л., 1931; Ребиндер П., «Журн. физ. химии», М., 1930, т. 1, вып. 4—5, стр. 553; его же, «Научн. слово», М., 1929, *1*, стр. 3; Таубман А., «Журн. физ. химии», М., 1930, т. 1, вып. 4—5, стр. 573, Серия работ под названием «Физико-химия флотационного процесса в применении к технике»; Липец М. и Римская М., «Цветные металлы», М., 1931, *5*, стр. 594, *8*, стр. 990, *11*, стр. 1432; 1932, 7—*8*, стр. 12; Липец М., Ребиндер П. и Римская М., там же, 1932, *3*, стр. 288; Лубман Н., там же, 1931, *7*; 1932, 7—*8*, стр. 28; 1933, *1*; «Журн. физ. химии», М., 1932, т. 3, вып. 2—3, стр. 204; Талмуд Д., «Цветные металлы», 1930, *1*, стр. 68; «Журн. физ. химии», М., 1930, т. 1, вып. 4—5; «Журн. техн. физики», М., 1931, т. 1, стр. 67; Талмуд Д. и Лубман Н., «Журн. физ. химии», М., 1930, т. 1, вып. 3, стр. 412; «Koll.-Ztschr.», Dresden, 1929, B. 48, p. 165, B. 50, p. 159; Талмуд Д., Суховольская С. и Лубман Н., «Цветные металлы», М., 1930, прилож. к *10*; «Ztschr. f. phys. Chemie», Lpz., 1930, A, B. 151, p. 219; «Журн. физ. химии», М., 1931, т. 2, стр. 31; Фрумкин А., «Труды Урало-Кузн. сессии Акад. наук СССР», Л., 1932; Фрумкин А. и др., «Журн. физ. химии», М., 1932, т. 3, стр. 516; «Phys. Ztschr. d. Sowietunion», Харьков, 1932, B. 1, H. 2, p. 255; Luyken W. u. Bierbrauer E., Die Flotation in d. Theorie u. Praxis, B., 1931; Gaudin A., Flotation, N. Y.—L., 1932; Valentiner S. u. Schrautz H., «Metall u. Erz», Halle a/S., 1914, B. 11, p. 455, 462; «Phys. Ztschr.», Lpz., 1914, B. 15, p. 425; Batsch O., «Kolloid-Ztschr.», Dresden, 1926, B. 38, p. 321; Bierbrauer E., «Ztschr. f. techn. Physik», Lpz., 1929, B. 10, p. 139; Coghill W. a. Anderson C., «Bureau of Mines», Techn. Pap., Wsh., 1929, *262*; Berl K. u. Pfannmüller W., «Kolloid-Ztschr.», Dresden, 1924, B. 34, p. 328, B. 35, p. 34; Berl E. u. Schmitt B., ibid., B., 1930, B. 52, p. *331*; Oswald W., *ibid.*, *1933*, B. 53, p. 179, B. 60, p. 324, 337; Rehbinder P. u. Wenström, ibid., 1930, B. 53, p. 145; Alejnikoff N., «Kolloidchemische Beihefte», Dresden, 1932, B. 36, p. 1—3. **П. Ребиндер.**

ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ, см. *Люминесценция*.

ФЛЮОРИТ, см. *Плавиковый шпат*.

ФЛЮСЫ, плавни, минеральные вещества, добавляемые в шихту металлургич. печей для получения *шлаков* (см.) определенного химич. состава и требуемых физич. свойств. Добавка флюсов имеет своей целью как понижение, так и повышение $t°_{пл.}$ шлака. Сообразно с характером шлаков Ф. обычно делятся на кислые и основные, реже применяются Ф. глиноземистые. В исключительных случаях (например катастрофич. неполадки) приходится прибегать к сильно действующим Ф., позволяющим получить легкоплавкие шлаки для быстрого исправления ненормальной работы печей или ненормального состояния их огнеупорной футеровки. Подобными же Ф. пользуются и систематически для получения достаточно жидкоплавких (подвижных), а следовательно более активных шлаков. Однако в этих случаях ограничиваются применением только весьма небольших количеств таких сильно действующих Ф.

Ф. в металлургии черных металлов. При металлургических процессах получения (и нагревания) черного металла (чугуна, железа и стали) обычно пользуются следующими Ф. Кислые Ф. (кварц, кварцит, кварцевый песок, бой динасового, кремнистого кирпича, бой красного кирпича) применяются сравнительно редко и в ограниченном количестве. Это объясняется главн. образом тем обстоятельством, что *большинство железных руд и почти все сорта* минерального горючего (кокс, антрацит) имеют кремнистую или кремнисто-глиноземную пустую породу и требуют обычно не кислого, а основного Ф. Кислый Ф. вводится в шихту в виде бедных руд с кремнистой пустой породой (железистые кварциты) или кислых передельных шлаков (бессемеровский шлак, шлак сварочных печей, нагревательных колодцев и *так далее*). *Иногда* бедные кремнистые руды или передельные кислые шлаки даются в шихту одновременно с основными Ф. в целях увеличения общего количества шлака. Это делается напр. в доменном производстве при выплавке литейных чугунов для более

успешного восстановления кремния при увеличенном количестве шлака. Такой же прием целесообразно применять и для наводки нового шлака в мартеновских печах. Кремнистые Ф. (кварцевый песок, молотый кварцит) часто служат также достаточно дешевым и быстродействующим средством для разжижения густых шлаков и для разъедания («стравливания») основных настылей и твердых образований на поду основных мартеновских печей или в горне (в шахте) печей доменных. В этих случаях пользоваться кислым Ф. следует с большой осторожностью (во избежание разъедания стен и пода печи). Кислым же Ф. (кварцевым песком) обычно пользуются для легкого удаления окалины в виде жидкого шлака из нагревательных колодцев и сварочных печей в том случае, если работа на «сухой подине» (сделанной из магнезитового кирпича или талькового камня) считается менее удобной.

Глиноземистые Ф. применяются еще реже, чем Ф. кислые. Это происходит не только потому, что чистые глиноземистые Ф., напр. бокситы, довольно редки и достаточно дороги, но и потому, что в большинстве случаев практики естественное содержание глинозема в шлаках получается вполне достаточным с точки зрения их физич. качеств. С химич. же точки зрения содержанию глинозема в шлаках обычно не придается большого значения. Практически в качестве глиноземистых Ф. приходится применять бой шамотного кирпича или глину. Это приводит к тому, что вместе с глиноземом вводится значительное количество кремнекислоты, т. е. дается кремнисто-глиноземистый Ф. Несмотря на кажущуюся нерациональность добавки таких Ф. применение их в нек-рых случаях вполне оправдывается. Так, при работе древесноугольных доменных печей на рудах с сильно магнезиальной пустой породой добавка глины или глинистого сланца дает возможность получить вполне нормальный по жидкоплавкости шлак (прежняя работа доменных печей на штирийской руде, современная работа Забайкальского Петровского з-да на рудах Балягинского месторождения). Глиноземистые Ф. оказывают весьма благотворное влияние и на свойства шлаков сталеделательных производств. Этим иногда пользуются при работе в тиглях, в кислых мартеновских печах и в печах электрических. Добавку глиноземистых материалов одновременно с основными Ф. следует считать вполне рациональной мерой для наводки конечных шлаков в основных мартеновских и электрич. печах. Такая добавка целесообразна во всех тех случаях, когда приходится заботиться об увеличении количества шлака для понижения концентрации тех его составных частей, к-рые являются слишком трудноплавкими и делают шлак слишком густым. В качестве примера можно привести шлаки основных мартеновских печей, перерабатывающих большие количества хромистых возвратов (шлаки, настыли, печные выломки и др.) или ведущих передел чугунов с высоким содержанием хрома (халиловские чугуны с 2,5—3,0% хрома). Добавка глиноземистых Ф. (боя посуды с фаянсовых фабрик) практикуется иногда и для сварочных печей (сварка мелких труб из бессемеровской полосовой заготовки на американских заводах).

Основные Ф. играют в черной металлургии значительно более важную роль. В числе последних следует отметить: известняк, известь и доломит. Расход основного Ф. (известняка и извести) на современных металлургич. з-дах достигает огромных цифр, о чем можно судить напр. по следующим данным: на 1 *т* чугуна, выплавляемого в коксовых доменных печах, расходуется от 0,40 до 0,80 *т* известняка; на 1 *т* основной мартеновской стали расходуется ок. 0,10—0,12 *т* (т. е. ок. 10—12%) известняка, а на 1 *т* томасовской стали около 0,12—0,15 *т* (т. е. 12—15%) обожженной извести. Такое широкое применение основного Ф. в черной металлургии объясняется не только тем, что кремнисто-глиноземистая пустая порода руды и зола кокса требуют значительного количества основных окислов для своей флюсовки, но и тем, что большинство производственных процессов черной металлургии имеет своей главной задачей борьбу с вредными примесями—серой и фосфором. Успешное выполнение этой задачи возможно только при условии работы на основных шлаках, для образования к-рых необходима добавка значительных количеств основного (известкового) Ф. В качестве основного Ф. коксовой (а иногда и древесноугольной) доменной плавки обычно применяется известняк. Он д. б. достаточно дешев и чист в отношении содержания кремнекислоты, серы, фосфора, мышьяка и других примесей (содержание SiO_2 в пределах 1—3%), свободен от примазки земли и глины, достаточно прочен. Известняк применяется в дробленом виде (куски размером до 150 *мм* в поперечнике) с обязательным отсевом от мелочи и мусора. При коксовой доменной плавке часть известкового Ф. может быть с успехом заменена доломитом, к-рый применяется в таком же виде, как и известняк. Замена известкового Ф. доломитом допускается на $^1/_4$—$^1/_5$ (до содержания около 10% MgO в доменном шлаке) и дает улучшение физич. качеств шлака (увеличение жидкоплавкости при той же $t°_{пл.}$). Это значительно облегчает работу доменной печи, особенно при достаточно вязких глиноземистых шлаках. Однако применение доломита в нек-рых районах затрудняется более высокими ценами (транспорт) на доломит по сравнению с известняком. Такое неблагоприятное соотношение наблюдалось на всех наших южных з-дах. Нек-рые америк. з-ды (Пенсильвания), наоборот, имеют возможность получать доломит по очень низким ценам (доменные печи нек-рых з-дов построены на доломитовой скале) и широко используют эту возможность для улучшения физич. свойств доменных шлаков. С этой точки зрения можно считать вполне целесообразным применение в доменных печах доломитизированных известняков, т. е. известняков, содержащих нек-рое количество магнезии. Применение обожженной извести или обожженного доломита в качестве Ф. доменной плавки не допускается, т. к. не м. б. оправдано никакими соображениями. В качестве суррогата основного Ф. в доменных печах, чугуноплавильных вагранках и в газогенераторах, работающих с выпуском жидкого шлака, с успехом применяется основной мартеновский шлак, содержащий достаточно высокий % извести и магнезии (в сумме до 50%) при довольно значительном содержании металлич. окислов (сумма окислов железа и марганца 20—25% и выше). Такой оборотный шлак является своего рода бедной железной рудой с основной пустой породой и с повышенным содержанием марганца и фосфора. Утилизация оборотного

мартеновского шлака в доменном производстве повышается с каждым годом и дает значительные экономические преимущества. Сравнительно редко представляется возможность использовать в качестве основного Ф. пустую породу руды или золу топлива. Однако и эти случаи встречаются в нек-рых металлургич. районах. Так, мощные залежи оолитовых бурых железняков «минетт», находящиеся в Эльзас-Лотарингии, Бельгии и Люксембурге, содержат сорта руды как с кислой, так и основной пустой породой. Это позволяет вести плавку смеси этих руд без добавки Ф. (известняка) или с незначительным его количеством. Получение такой самоплавкой шихты не только устраняет затраты на покупку известняка, но значительно улучшает общие технико-производственные показатели работы доменных печей. Иногда кокс (напр. в Верхней Силезии) содержит в золе значительное количество основных окислов (CaO и MgO). Зола этого кокса может считаться самоплавкой, что значительно уменьшает расход основного Ф. (известняка) по сравнению с работой на обычном коксе (кремнисто-глиноземистая зола).

Расход основного Ф. в *доменном производстве* (см.) зависит от богатства руды, состава ее пустой породы, относительного расхода кокса, содержания в нем золы, состава последней и т. д. При плавке бурых железняков Клевеленда (Англия) расход известняка доходит до 0,8—1,0 *т* на 1 *т* чугуна. К основным Ф., применяемым в сталеделательных производствах, предъявляются те же требования, как и в доменном производстве, в смысле небольшого содержания серы, фосфора, мышьяка и нерастворимого осадка ($SiO_2+Al_2O_3$). Но в отличие от Ф. доменной плавки известняк, идущий в мартеновские печи, не должен содержать заметных количеств магнезии (не выше 2—3% MgO), а доломит совершенно не допускается в качестве Ф. мартеновского процесса, т. к. содержание магнезии в основных мартеновских шлаках достаточно высоко вследствие разъедания основной (магнезитовой или доломитовой) наварки подины и откосов печи. Вместо известняка в основной мартеновской печи частично, а в электропечах и томасовском конвертере всегда, применяется обожженная известь. Выгодность применения извести мотивируется следующими соображениями. 1) Разложение известняка требует довольно значительной затраты тепла по реакции:

$$CaCO_3=CaO+CO_2 \quad -43\,920 \text{ Cal.}$$

Эту простую операцию выгоднее производить в специальной известково-обжигательной печи, а не в таком дорогом производственном агрегате, каким является мартеновская печь. 2) Реакции шлакования известняком в конце операции идут с большим поглощением тепла, требуют больше времени и сильно студят ванну, т. е. в конечном счете уменьшают производительность печи. 3) При высоких t° мартеновского процесса углекислота, выделяющаяся при разложении известняка, может окислять примеси металла, напр. углерод по реакции:

$$2C+2CaCO_3+(FeO)_2\cdot SiO_2=$$
$$=(CaO)_2\cdot SiO_2+4CO+2FeO \quad -161\,816 \text{ Cal,}$$

тогда как при работе с известью можно было бы ожидать протекания реакции по следующему ур-ию:

$$2C+2CaO+(FeO)_2\cdot SiO_2=$$
$$=(CaO)_2\cdot SiO_2+2CO+2Fe \quad -62\,196 \text{ Cal,}$$

т. е. с значительно меньшей затратой тепла и с бо́льшим выходом металла вследствие того, что окисление углерода идет за счет кислорода руды и сопровождается восстановлением железа (вместо 12 весовых частей углерода восстанавливается 56 вес. ч. железа). Однако работа с обожженной известью также имеет свои недостатки: 1) требует установки известково-обжигательных печей, 2) вызывает необходимость иметь крытые склады и специальный подвижной ж.-д. состав, 3) удорожает значительно стоимость Ф., что не всегда покрывается преимуществами работы на обожженной извести, 4) затрудняет хранение на складах, 5) ухудшает санитарно-гигиенич. условия рабочего персонала, 6) уменьшает интенсивность перемешивания ванны при разложении («кипении») известняка. Работа в основных мартеновских печах с применением обожженной извести широко практикуется на герм. з-дах; на з-дах США, наоборот, работа в таких печах ведется почти исключительно на сыром известняке. Исследования, проведенные отдельными америк. заводами, говорят даже за то, что в условиях америк. практики применение извести в мартеновских печах при работе дуплекс-процессом не дает даже увеличения производительности и представляется менее выгодным по сравнению с работой на сыром известняке. Вопрос о применении известняка или извести должен разрешаться для каждого частного случая отдельно с учетом всех местных технико-экономич. условий. Однако нет никаких сомнений в том, что во второй половине процесса плавки в печь должна задаваться только обожженная известь. Возможно, что такой комбинированный метод работы с дачей сырого известняка в завалку и обожженной извести для окончательной доводки шлака может оказаться наиболее рациональным и рентабельным для большинства случаев практики. Высказанное положение не противоречит тому факту, что в условиях америк. практики при работе в кислой мартеновской печи в конце плавки иногда производят добавку сырого известняка в целях торможения кремневосстановительного процесса. Такая добавка производится в очень незначительных количествах и имеет своей целью не только уменьшить концентрацию свободной SiO_2 шлака (что можно было бы сделать и при помощи добавки CaO), но вместе с тем стремится понизить и t° металлич. ванны за счет затраты тепла на нагревание и разложение $CaCO_3$. Незначительная добавка основного Ф. довольно существенно меняет состав кислого мартеновского шлака и обычно практикуется с таким расчетом, чтобы в шлаке содержалось 5—8% CaO. Обожженная известь для томасовского и мартеновского производств должна содержать ⩾2—3% SiO_2, ⩾0,2 % серы, ⩾2—3% MgO, д. б. свежеобожженной, без пыли и мелочи, в кусках размером 75—150 *мм*, причем допускается недожог ее (содержание CO_2 до 2—4%). Для электропечей известь должна храниться в закрытых бункерах и подаваться к печам с возможно меньшим содержанием поглощенной из воздуха влаги.

Наиболее эффективным Ф. основного мартеновского процесса является *плавиковый шпат* (см.), или фтористый кальций (CaF_2). Применение CaF_2 основано на его способности сильно увеличивать жидкоплавкость основного мартеновского шлака, а следовательно значительно повышать его активность и ускорять

реакции взаимодействия между шлаком и металлом, напр. при удалении серы в основной мартеновской печи путем реакций:

$$FeS+CaO=CaS+FeO \quad +6\,573\ Cal,$$
$$MnS+CaO=CaS+MnO \quad -13\,481\ Cal.$$

Благотворное влияние плавикового шпата на удаление серы сказывается еще и в том, что фтор повидимому способен давать с серой летучие соединения (предположительно SF_6) и т. о. окончательно выводить часть серы из баланса мартеновской плавки. Расход плавикового шпата в зависимости от качества получаемой стали обычно колеблется в пределах 0,1—0,4% от веса металлич. садки. В особо трудных случаях работы с густыми шлаками (высокое содержание окислов хрома и т. д.) расход CaF_2 повышается до 2% и более (халиловские плавки). Как показали опыты, проделанные герм. техниками (Schleicher и другие), увеличение содержания CaF_2 в шлаке свыше $2^1/_2$% (от веса шлака) не приносит заметной пользы, но начинает сильно сказываться на стойкости динасовой кладки стен и свода мартеновской печи, что можно объяснить образованием летучего соединения SiF_4 по следующим реакциям:

$$2\,CaF_2+2\,H_2O=2\,CaO+4\,HF,$$
$$4\,HF+SiO_2=2H_2O+SiF_4,$$
$$2\,CaF_2+SiO_2=2\,CaO+SiF_4.$$

Плавиковый шпат представляет собой реагент, достаточно удобный для хранения и обращения с ним. Единственным недостатком является его сравнительная дороговизна (довоенная цена плавикового шпата, ввозимого из Англии и Богемии, была на наших з-дах в пределах 35—50 коп. за пуд). Плавиковый шпат д. б. чист в отношении SiO_2 и не должен содержать включений пирита, ясно видимых невооруженным глазом. В настоящее время CaF_2 получается нашими заводами из Забайкалья. Аналогично плавиковому шпату (CaF_2) действует и хлористый кальций ($CaCl_2$), применение которого в сталеплавильном производстве было предложено англичанином Санитером. Однако по своим природным свойствам $CaCl_2$ является значительно менее удобным реагентом при высоких $t°$. Применение его давало более пестрые, менее устойчивые результаты и вскоре было совсем оставлено. К сильно действующим щелочным Ф. следует отнести также целый ряд патентованных средств, известных под различными промышленными названиями и применяемых для обессеривания жидкого чугуна, выпущенного в ковш из доменной печи или чугуноплавильной вагранки. В состав таких десульфаторов обычно входят: известь, плавиковый шпат, сода, иногда хлористый кальций или хлористый натрий и другие соединения, дающие очень легкоплавкий шлак, хорошо перемешивающийся с металлом и способный легко образовывать достаточно прочные соединения серы со щелочами (CaS, Na_2S и т. д.). Уже незначительное количество такого энергичного реагента (до 0,1% от веса чугуна) способствует значительному переходу серы из металла в шлак (до 35—50% и даже выше всей серы). Легкоплавкими щелочными Ф. (напр. каменной солью NaCl) иногда пользуются для быстрого исправления ненормальностей работы доменных печей при загромождении горна трудноплавкими настылями. Обычно введение NaCl производилось через фурмы в очень небольших количествах при помощи специальных аппаратов путем подачи соли в струю воздуха (доменного дутья). Заметное содержание щелочей в шихте доменных и коксовальных печей действует разрушающе на огнеупорную кладку, почему и нельзя рекомендовать применение щелочных Ф. (Na_2O и K_2O). На этом основании приходится признать нерациональным и введение NaCl в виде соленого кокса (напр. при опытных плавках халиловских руд). Иногда в качестве Ф. могут применяться окислы железа и марганца, обычно служащие окислителями для примесей металлич. ванны. Марганцовистая руда может с успехом применяться для получения значительных количеств сменных (с п у с к н ы х) марганцовистых шлаков при переделе сильно сернистых чугунов (опыты Шелгунова), а также для разъедания («травления») трудноплавких настылей в кислых (бессемеровских) ретортах и в шахтах доменных печей. В последнем случае часто пользуются марганцовистыми доменными шлаками, полученными при выплавке ферромангана. Сильножелезистые шлаки стараются получить во всех тех случаях, когда невозможно или нежелательно поднять $t°$ процесса. В частности добавкой небольших порций железной руды можно, так же как и добавкой извести, затормозить процесс восстановления кремния в конце кислой мартеновской плавки. Этим обстоятельством и пользуются при англ. способе выплавки малоуглеродистой стали в кислых мартеновских печах.

Химически чистый известняк состоит из 56% CaO и 44% CO_2; лучшие сорта известкового Ф. содержат около 1% нерастворимого остатка ($SiO_2+Al_2O_3$), средние до 3%, худшие до 5%. Химически чистый доломит содержит: 30,45% CaO, 21,75% MgO и 47,80% CO_2. Обычно доломиты менее чисты, чем известняки, и содержание в них $\Sigma(SiO_2+Al_2O_3)$ доходит до 5% и выше. Доломиты с высоким (нормальным) содержанием магнезии (18—20% MgO) чаще идут в качестве огнеупорного материала и реже употребляются в качестве магнезиального Ф., для чего обычно употребляют доломитизированные известняки с содержанием MgO до 12—15%.

Общий расход известняка как Ф. черной металлургии доходит до 50—60% от веса выплавляемого чугуна, причем ок. $^3/_4$—$^4/_5$ этого количества падает на Ф. для доменной плавки. Сравнительная оценка известкового Ф. должна производиться в зависимости от состава того шлака, на к-рый ведется флюсовка. Для упрощения контроля за химич. составом Ф. в известняке обычно определяют только количество нерастворимого остатка $R=\Sigma(SiO_2+Al_2O_3)$. Количество свободного $CaCO_3$ (и $MgCO_3$ для доменной плавки) будет определяться в зависимости от состава шлака ф-лой:

$$CaCO_3\ \text{своб.} = 100-\left(K\cdot\frac{100}{56}\cdot R+R\right)=100-(1{,}8\,K+1)\,R,$$

где K—соотношение между $\Sigma(CaO+MgO)$ и $\Sigma(SiO_2+Al_2O_3)$ в шлаке, R—количество нерастворимого остатка в известняке, а $\frac{100}{56}\cong 1{,}8$ — приближенное соотношение между $CaCO_3$ и CaO. Для доменных шлаков коксовой плавки $K\cong 1$, и ф-ла принимает вид:

$$CaCO_3\ \text{своб.} = 100-2{,}8\,R.$$

Кроме этой ф-лы имеются более сложные ф-лы для коммерческой оценки Ф.

Лит.: П а в л о в М., Металлургия чугуна, Л., 1924; е г о ж е, Расчет доменных шихт, П., 1914; Л и п и н В., Металлургия чугуна, железа и стали, т. 1, 2 и 3, Л.,

1925—27; Карнаухов М., Металлургия стали, т. 1 и 2, вып. 1, 2 и 3, Л., 1924—29; Селиванов Б., Металлургия чугуна, Л., 1933; Osann B., Lehrbuch d. Eisenhüttenkunde, B. 1, 2, Lpz., 1923; Schleicher, «St. u. E.», 1921, p. 357—364. **М. Пильник.**

Ф. в металлургии цветных металлов. В качестве Ф. применяются почти те же материалы, что и в металлургии черных металлов. Наиболее распространенными Ф. являются: известняк, доломит, железные руды, марганцовые руды, кварц и алюмосиликаты; кроме того в качестве Ф. употребляются: плавиковый шпат, сульфиды (напр. пирит), гипс и барит. Влияние кремнекислых материалов и известняка на образование шлаков см. выше. Сульфиды употребляются с целью сульфуризации, т. е. для образования *штейна* (см.), во избежание перехода в шлак ценных металлов в случае руд, содержащих мало серы. Известь в металлургии цветных металлов может оказаться полезной только в специальных условиях при высоких фрахтах на Ф. В свинцовой плавке известь (известняк) вводится, заменяя железо в шлаках по ур-ию:

$$4FeO\cdot2SiO_2+2PbS+2CaO+2C=$$
$$=2Pb+2FeS+(2CaO\cdot SiO_2+2FeO\cdot SiO_2)+2CO.$$

Кроме того известь, являясь сильным основным Ф., способна вытеснять из силикатов большую часть других оснований, например по реакции:

$$ZnO\cdot SiO_2+CaO=CaO\cdot SiO_2+ZnO.$$

Железные руды применяются для Ф. в виде FeO и Fe_2O_3. Закись железа (FeO) является весьма дешевым компонентом шлака, образуя жидкие и легкоплавкие шлаки, но увеличивает уд. в. шлака и переход в него Cu_2S. Железистый Ф. является основанием для силикатной руды:

$$FeO\cdot SiO_2+FeO=2FeO\cdot SiO_2.$$

При восстановлении углеродом или окисью углерода окислы железа действуют в качестве осадителя по отношению к свинцу по реакциям:

$$2PbS+4FeO\cdot SiO_2+C=2Pb+2FeS+2FeO\cdot SiO_2+CO_2$$

или

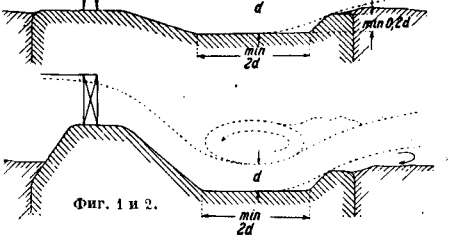
$$4PbS+2Fe_2O_3+3C=4Pb+4FeS+3CO_2.$$

Флюсующая способность железной руды тем выше, чем чище последняя. Присутствующая в руде SiO_2 не только связывает часть окиси железа, но и расходует нек-рое количество CaO для образования соответствующего шлака. В качестве Ф. употребляются следующие железные руды: гематит Fe_2O_3, лимонит $Fe_2O_3\cdot nH_2O$ и реже—сидерит $FeCO_3$. Целесообразность употребления Fe_3O_4 (магнитного железняка) в ряде случаев оспаривается, так как иногда затрудняет ведение процесса плавки. Окись железа (Fe_2O_3) не образует силикатов и шлакуется с образованием последних после восстановления до FeO. Если Fe_2O_3 переходит в шлак без восстановления, то шлак делается густым. С основаниями окись железа образует тяжелые по уд. весу и весьма тугоплавкие ферриты, что отзывается на свойствах шлака. Окись марганца (MnO) подобна окиси железа и замещает последнюю в шлаках в эквивалентных количествах. Шлаки, содержащие MnO и FeO, обладают большей текучестью, чем шлаки с одной FeO. Наиболее распространенным Ф. является перекись марганца (MnO_2)—пиролюзит. Окислы марганца окисляют ZnS и уменьшают растворяющую способность шлака в отношении ZnO, MgO и BaS. Гипс и барит дают серу, необходимую для образования штейна, и в то же время—CaO и BaO, переходящие в состав шлака. Плавиковый шпат плавится при $t°$ 1 378°; он весьма жидок в расплавленном состоянии и растворяет тугоплавкие составные части руды. В настоящее время плавиковый шпат почти не употребляется в качестве флюса. Флюс пробирного анализа см. *Пробирное искусство*.

Лит.: Френкель Ф., Курс металлургии на физ.-хим. основании, М., 1927; Мостович В., Металлургия меди, Томск, 1931; Уразов Г. и Эдельсон, Материалы по металлургии цветных металлов, Л., 1932; Гофман Г., Металлургия свинца, пер. с англ., Москва—Ленинград, 1932; Hofman H., General Metallurgy, New York, 1913; Hofman H., Metallurgy of Copper, New York, 1924; Hofman H., Metallurgy of Lead, New York, 1918; Guillet L., Traité de Métallurgie Générale, Paris, 1921; Tafel V., Lehrbuch d. Metallhüttenkunde, Leipzig, 1927—28. **И. Плаксин.**

ФЛЮТБЕТ, искусственное ложе водяного потока. В разборчатых плотинах Ф. расположен между опорами плотины; он служит здесь основанием разборчатых частей и должен так направлять поток в речное русло, чтобы не происходило размыва речного дна. Флютбет воспринимает опорные реакции расположенных на нем частей плотины и взвешивающее давление фильтрационной воды, служит для защиты дна реки от размыва и образует часть фильтрационной линии.

На Ф. разборчатых плотин имеется порог, на котором покоится разборчатая часть плотины. С верховой и низовой сторон Ф. ограничивается *шпунтовыми стенками* (см.), запущенными в грунт. Поперечное сечение Ф. построенных плотин отличается своим разнообразием. При определении этого сечения стремились всегда придать ему такую форму, к-рая давала бы возможность избежать размыва русла реки ни-

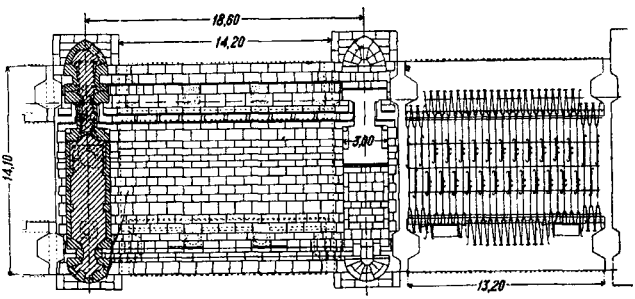


Фиг. 1 и 2.

же плотины. Опыт показал однако, что этой цели достигали в редких случаях. Наиболее целесообразными в этом случае оказались конструкции, показанные на фиг. 1 и 2.

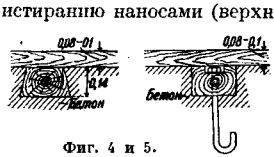
Часть Ф., приходящаяся под разборчатой частью плотины (порог плотины), делается приблизительно горизонтальной. Следующая за порогом часть Ф. опущена ниже старого ложа реки на длину, равную приблизительно двойной глубине водяного потока в этом месте. Значительно бо́льшая длина водобойного колодца не достигает цели предохранения ложа реки от размыва и лишь удорожает сооружение. Образование вальцов над поверхностью Ф. не играет никакой роли в вопросе размыва русла реки, но существование таких надфлютбетных вальцов может отразиться на прочности Ф., если текущие через последний воды будут нести с собой лесные материалы и лед; при происходящем круговороте воды (вследствие наличия вальцов) последние трудно высвобождаются, ударяются о Ф. и могут повредить его. На низовом конце Ф. снабжается уступом

или другим приспособлением, отклоняющим водяной поток опять вверх. Этот уступ имеет высоту, равную не менее 0,2 глубины водяного потока над водобойным колодцем. Т. к. уступ особенно подвержен стачивающему действию наносов, он д. б. сделан весьма прочным. Наконец часть Ф. должна иметь очертание, близкое к параболе или более пологое, дабы избежать



Фиг. 3.

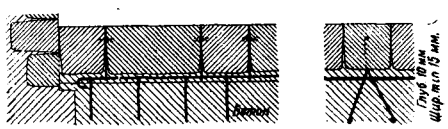
образования вакуума под струей. В зависимости от мероприятий по уплотнению грунта под Ф. последний испытывает большее или меньшее взвешивающее (фильтрационное) давление, заставляющее Ф. работать на изгиб. Последнее обстоятельство выставляет требование снабжать флютбет необходимой арматурой (фиг. 3). Но и тогда, когда Ф. не передаются какие-либо моменты, полезно хотя бы незначительно армировать его, чтобы избежать образования трещин. Толщина Ф. должна быть достаточна, чтобы сопротивляться во всяком случае вибрационному действию высоких вод. В том случае, когда Ф. не лежит на скале, ему придают толщину не менее 0,5 *м*. При больших подпорных глубинах толщина Ф. д. б. не менее $^1/_4$—$^1/_5$ разности высот между подпорным горизонтом и Ф. Флютбет д. б. особенно прочно связан с уплотнительными устройствами под ним. Все плоскости плотины, подверженные истиранию наносами (верхняя поверхность Ф. и нижние возвышающиеся над Ф. части опор), д. б. одеты деревом или квадрами из твердого камня (фиг. 3). Той же цели достигают покрытием этих поверхностей сталебетоном или слоем бетона на высокосортном кремнеземистом цементе. В исключительных случаях применяют стальные плиты. Деревянная одежда состоит из толстых досок толщиною 8—10 *см*, причем дерево д. б. положено волокнами по направлению движения воды в виду большей сопротивляемости продольных волокон истиранию. Доски прибиваются к лагам трапецоидального (фиг. 4) или прямоугольного (фиг. 5) сечения, заделанным в бетон. В первом случае лаги не заанкериваются (при подпорных высотах до 3 *м*), во втором случае они крепятся к бетонной постели анкерами. При квадровой одежде отдельные квадры соединяются между собой 30-*мм* стальными связями, крепимыми к 24-*мм* стальной арматуре, заложенной в бетонной постели, или к анкерам из 18-*мм* круглой стали (фиг. 6). Толщина квадров берется в пределах 30—60 *см*.



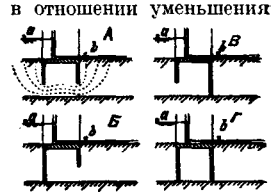
Фиг. 4 и 5.

Квадры д. б. тщательно уложены; между ними оставляется зазор в 1 *см*, заливаемый цементом. Укладка квадров производится посредством подъемных кранов. *Сталебетон* (см.) наносится толщиной от 3—5 *см*; эта работа требует тщательного выполнения. Одежда из стальных плит, устраиваемая в редких случаях, дорога и обладает прочностью лишь в тех случаях, когда эти плиты так заанкериваются, что исключаются всякие вибрации. Всякие неплотности в соединениях д. б. заделаны торкретбетоном. На случай ремонтных работ д. б. предусмотрен спуск воды из водобойного колодца в приямок, из которого воду удаляют насосом.

При проектировании Ф. на пористых размываемых грунтах приходится учитывать движение воды под Ф., движение воды над Ф., устойчивость и прочность Ф. В виду разности напоров в верхнем и нижнем бьефе вода проникает в грунт и медленно движется в толще последнего под основанием плотины из верхнего бьефа в нижний. Усиленная фильтрация воды под Ф. помимо потери воды и уменьшения подпора может вызвать вымыв грунта из-под Ф. и как следствие—катастрофу. Чтобы воспрепятствовать этому, удлиняют искусственно фильтрационный путь. Для удлинения пути фильтрации м. б. устроен п о н у р, к-рый укрепляет в то же время подход русла к основной части плотины. Для защиты дна реки от размыва устраивают впереди основной части плотины рисберму, обычно не входящую в состав фильтрационного пути. Часть рисбермы, ближайшая к основной части плотины, часто устраивается в виде обратного фильтра, чтобы препятствовать выносу частиц грунта. Более существенным мероприятием в отношении уменьшения *фильтрации* (см.) воды под флютбет является сооружение различного вида стенок, соединяющих водонепроницаемый грунтовой слой при доступной глубине его с флютбета или опущенных на достаточную глубину с целью удлинения пути фильтрации и уменьшения таким путем самой фильтрации. На фиг. 7 представлены четыре возможных случая расположения указанных стенок (*a*—уровень воды в верхнем бьефе, *b*—уровень воды в нижнем бьефе). Когда стенки верховая и низовая не доходят до водонепроницаемого слоя (фиг. 7, А), то под плотиной будет происходить фильтрация воды. Если верховая стенка доходит до водонепроницаемого



Фиг. 6.

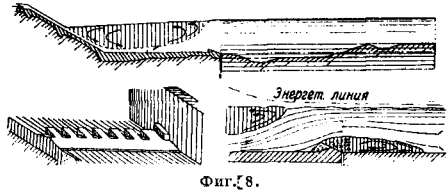


Фиг. 7.

слоя, а низовая не доходит до него (фиг. 7,Б), то фильтрация отсутствует, а на Ф. будет действовать взвешивающее давление воды, отвечающее приблизительно положению горизонта воды в нижнем бьефе. Низовая стенка в этом случае д. б. опущена достаточно глубоко, чтобы не происходило вымывания грунта; она может быть водопроницаема лишь настолько, чтобы через нее не проходили частицы грунта. В тех случаях, когда низовая стенка доходит до водонепроницаемого грунта, а верховая не доходит до него (фиг. 7,В), Ф. будет находиться под фильтрационным давлением, отвечающим приблизительно положению горизонта воды в верхнем бьефе, причем взвешивающее давление будет сравнительно велико. Если и верховая и низовая стенки доходят до водонепроницаемого слоя грунта (фиг. 7,Г), то при совершенно плотных водонепроницаемых стенках взвешивающее давление воды на флютбет будет равно нулю. Однако полной водонепроницаемости стенок достигнуть нельзя. В худшем случае при плотной низовой стенке и неплотной верховой стенке Ф. будет находиться под влиянием верховой воды и испытывать соответствующее взвешивающее давление ее. Расположение противофильтрационных стенок, указанное на фиг. 7,Б, является наивыгоднейшим; от этого расположения приходится отказываться лишь в редких случаях. Наличие верховой стенки понижает взвешивающее давление воды на Ф.; наличие низовой стенки повышает это давление; верховая стенка д. б. водонепроницаема во избежание утраты ею своего значения с точки зрения понижения указанного давления; низовая стенка д. б. щелиста для уменьшения того же давления.

Рассматривая движение воды над Ф., приходится констатировать, что для отнятия у бурного потока излишка кинетической энергии, полученной от понижения уровня воды, целесообразно устраивать Ф. на такой глубине под горизонтом нижнего бьефа, чтобы образовался прыжок. Это достигается устройством во Ф. пониженного участка, заложенного глубже, нежели дно потока. Пониженная часть м. б. сопряжена с бытовым дном плоскостью, имеющей наклон против течения. Для уменьшения необходимой длины Ф. и для защиты неукрепленной части речного дна, примыкающей к Ф., а также при образовании поверхностного вихря над Ф. рекомендуется ввести на конце Ф. такое устройство, к-рое умеряло бы скорости течения непосредственно над незащищенной частью речного дна. Это желательно потому, что благодаря поверхностному вихрю энергия потока перераспределяется к поверхностным слоям, вследствие чего донные скорости по меньшей мере так уменьшаются, что ни в одном из вертикальных сечений потока книзу от поверхностного вихря не встречаются даже средние скорости. Погасители энергии м. б. разделены на такие, у к-рых энергия уничтожается по преимуществу трением, и на такие, у к-рых энергия погашается посредством водяных вальцов. На практике применяются во многих случаях одновременно оба вида погашения энергии потока воды, однако развитие энергопогасителей направлено к тому, чтобы трение для погашения энергии использовалось в зависимости от местных условий для протока воды и чтобы главное внимание было обращено на погашение энергии при помощи водяных вальцов; при таком способе отсутствуют сотрясения частей сооружения и лучше сохраняются омываемые водой плоскости последнего. Имеется целый ряд приемов погашения энергии потока воды. Так, применение мульдообразного верхнего очертания низовой части Ф. способствует ослаблению разрушительного действия воды на низовых по течению участках. Наличие мульды во Ф. создает вращение цилиндра воды в направлении, противоположном течению реки, чем отчасти погашается живая сила потока, в результате чего стремительное движение воды заменяется волнообразным.

В целях сокращения длины Ф. путем устранения образования прыжка воды с большими скоростями течения ее по Ф. американцы в Гатунской плотине применили отдельно стоящие шашки—волнорезы—высотой 2,70 *м* при скоростях течения воды, доходивших до 18 *м/сек.*



Фиг. 8.

Шашки армированы и скреплены с арматурой Ф. Герм. практика выработала несколько методов борьбы с размывом, из которых заслуживают быть особо отмеченными способы Ребока (Th. Rehbock) и Шоклича (A. Schoklitsch). Способ Ребока сводится в основном к устройству зубчатого порога на низовом конце Ф. (фиг. 8). Этот порог способствует образованию донного вальца, благодаря чему происходит перераспределение скоростей,—струя выходит с незначительной донной скоростью. По опытам Ребока для погашения энергии воды, падающей с высоты H, необходимо иметь объем вращающегося цилиндра воды (донного вальца) в пределах от $3{,}6Q\sqrt{\frac{H}{g}}$ до $7{,}2Q\sqrt{\frac{H}{g}}$, где g—ускорение силы тяжести, а Q—расход воды. Зубчатый порог по данным Ребока должен удовлетворять следующим условиям: а) лицевая грань д. б. вертикальна, б) уклон подошвы между зубцами д. б. против течения, в) низовая сторона порога должна иметь плавный небольшой уклон в сторону течения. Этот способ гашения энергии применен с большим успехом в ряде крупных гидросиловых установок. По лабораторным опытам зубчатые пороги при надлежащем подборе их размеров и установке в надлежащих местах уменьшают на 70% глубину размыва неукрепленного дна реки ниже этих порогов. Высота порога установлена до сих пор в лаборатории в пределах $^1/_{24}$—$^1/_{12}$ от высоты перепада воды, а высота зубьев $^1/_8$—$^1/_{12}$ той же величины. Способ Шоклича заключается в устройстве на низовом конце Ф. обратной стенки, очерчиваемой по ломаной линии. Роль обратной стенки заключается в том, что она способствует образованию донного вальца. Хорошие результаты в отношении поглощения энергии воды получаются при применении водобойных устройств в виде подвижных решеток, установленных над защищаемым от размыва местом. В современных лабораториях испытан целый ряд других успокоителей или глушителей энергии водного потока; однако они относятся преимущественно к случаям значитель-

ного падения воды и т. о. мало относятся к Ф. на пористом основании. В этом же последнем случае и при малых напорах гашение энергии воды происходит или водяными подушками или мульдами. При разборчатых плотинах в случае закрытия отверстий плоскими щитами, расположенными в два или несколько ярусов, стремятся маневрировать щитами т. о., чтобы, комбинируя влияние струй, переливающихся через щит и вытекающих из-под него, свести до минимума возможность размыва. При установлении размеров Ф. необходимо произвести также проверку устойчивости его на скольжение и на выпирание грунта в основании. Проверка на опрокидывание Ф. в целом обыкновенно не нужна в виду очевидности запаса устойчивости на опрокидывание.

Лит.: Курс внутренних водных сообщений, т. 2, под ред. К. Акулова, М.—Л., 1928; Ребок Т., Предохранение флютбетов от вредных размывов, пер. с нем., М., 1929; Павловский Н., Теория движения грунтовых вод под гидротехнич. сооружениями и ее основные приложения, П., 1922; Зброжек Ф., Курс внутренних водных сообщений, П., 1897; Анисимов В., Флютбеты плотин, Горки, 1930; Подарев Н., Гидротехнич. сооружения, М., 1924; Фидман А., Об измерении гидравлич. давления под фундаментами плотин, «Труды московского ин-та инж. транспорта», Москва, 1927, вып. 6; «Водный транспорт», М., с 1925 г.; Koechlin R., Mécanisme de l'eau, P., 1926; Rehbock Th., Abfluss, Stau- u. Walzenbildung in fliessenden Gewässern, B., 1917; Safranez K., Wechselsprung u. Energievernichtung des Wassers, «Der Bauingenieur», B., 1927, *49*; Gruner H., Einige Probleme aus dem Wasserbau u. ihre Lösung durch Laboratoriumversuche, «Schw. Bauzeitung», Zürich, 1925, B. 58; Hofbauer R., Ein Mittel zur Bekämpfung d. Wirbelbewegung u. Kalkbildung unterhalb d. Stauwehre, «Ztschr. d. öst. Ing.- u. Arch. Ver.», W., 1915, B. 67; Läufer A., Kolksichere Sturzböden, «Die Wasserkraft u. Wasserwirtschaft», Mch., 1923, *18*; Ludin A., Kalkverhütung an Wehren, «Z. d. VDI», 1927, B. 71; Schoklitsch A., Kalkbildung u. Kalkabwehr, «Wasserkraft u. Wasserwirtschaft», Mch., 1928, B. 23; Rehbock Th., Bekämpfung d. Sohlenauskalkung bei Wehren durch Zahnschwellen, «Z. d. VDI», 1925, B. 69; Schoklitsch A., Geschiebebewegung in Flüssen u. an Stauwerken, B., 1926; Franzius C., Der Verkehrswasserbau, B., 1927; Engels H., Handbuch des Wasserbaues, B. 1—2, 3 Aufl., Lpz., 1923; Schoklitsch A., Der Wasserbau, B. 2, W., 1930; Handb. d. Ing. Wis., T. 3, Der Wasserbau, B. 2, Stauwerke, 4 Aufl., 1913; Handb. f. Eisenbetonbau, hrsg. v. F. Emperger, B. 4, Wasserbau u. verwandte Anwendungen, 3 Aufl., B., 1926; Ludin A., Die Wasserkräfte, B. 1—2, B., 1923; Rimelin Th., Leerschuss u. Sturzbettanordnungen an Wasserkraftanlagen, «Zentralbl. Bauverwaltung», B., 1912, p. 470; «Bautechnik», Hannover, ab 1926; «Z. d. VDI», ab 1927; «Wasserkraft u. Wasserwirtschaft», Mch., 1926, *10*; «Schweizerische Bauzeitung», Zurich, ab 1918.

С. Брилинг.

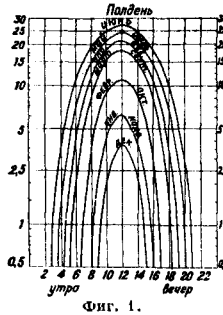
ФОНАРИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ. Освещение дневным светом помещений промышленных зданий с помощью окон, устраиваемых в наружных стенах, нередко представляет большие затруднения или является вовсе неосуществимым при значительной ширине этих помещений и требуемой по условиям производства интенсивности освещения на рабочей площади. Увеличение освещенности глубоких помещений достигается увеличением их высоты при условии соответствующего подъема верхнего края окна над уровнем пола. По действующим в СССР нормам предельное отношение высоты помещения к ширине здания, в случае устройства световых проемов с обеих сторон производственного зала, установлено равным 1 : 6, если в этом помещении происходит работа, требующая удовлетворительных условий дневного освещения. При достаточно большой ширине зданий, каковая присуща многим современным предприятиям, высота фабрично-заводских помещений, определяемая этим условием, может оказаться настолько значительной, что объем, а следовательно и стоимость здания получатся чрезмерными. Поэтому в нижних этажах многоэтажных зданий, где единственно возможным источником дневного освещения являются окна, ширина производственных помещений редко превышает 30 *м*, достигая лишь в исключительных случаях, напр. в прядильных ф-ках, 38 *м*. Верхние этажи многоэтажных зданий и одноэтажные здания в соответствующих случаях снабжаются, в целях улучшения условий освещенности, дополнительными источниками света в виде фонарей, имеющих разнообразные формы и размеры и носящих обобщенное наименование «верхний свет». Надлежащая степень освещенности производственных помещений промышленных зданий имеет значение с гигиенич. точки зрения. Открытие в США способа изготовления оконного стекла, способного пропускать ультрафиолетовые лучи, благотворно влияющие на жизнедеятельность человеческого организма, а также достигнутые в этом отношении в СССР, пока еще в стадии лабораторных опытов, успехи особенно стимулируют, в целях улучшения условий труда, снабжение производственных помещений фабрично-заводских зданий достаточными площадями остекленных поверхностей. Установлено также многочисленными наблюдениями над работой в цехах, имеющих различную освещенность, что производительность труда резко падает с уменьшением этой интенсивности. В капиталистич. странах нередки случаи, когда предприниматели снижают сдельную оплату рабочего в зависимости от увеличения площади остекления фонарей, погашая т. о. свои затраты на устройство фонарей в промышленных зданиях. Равным образом отмечено, что количество брака в цехе также находится в известном соответствии с освещенностью помещения, т. е. с величиной остекленных поверхностей. Эти соображения являются достаточным основанием для сооружения в промышленных зданиях фонарей таких размеров и т. о. сконструированных и расположенных, чтобы была достигнута максимальная освещенность рабочих мест в производственных помещениях. Однако высокая стоимость фонарей удерживает от чрезмерного увеличения верхнего света.

Определение освещенности производится числом фотометрич. единиц, называемых люксами—lx. Под этим наименованием понимают освещенность поверхности площадью в 1 $м^2$, получающей световой поток, равный единице, т. е. одному люмену—lm. Последний, в свою очередь, равняется световому потоку, т. е. сумме световой энергии, исходящему от точкообразного источника света силой в одну международную свечу, заключенного в телесном угле, равном единице. Для определения освещенности горизонтальных плоскостей внутри помещения пользуются предложенной К. Мормоном ф-лой

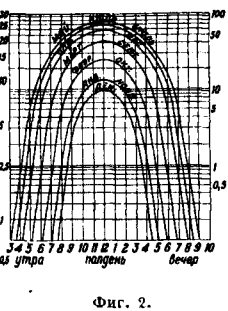
$$E = k \cdot L \frac{F}{a^2} \cdot \sin \alpha,$$

где E—освещенность точки на горизонтальной рабочей поверхности, k—коэф. ослабления силы света при прохождении через световое отверстие от поглощения света стеклами, от переплетов, загрязнения и т. п., L—освещенность от участка небесной сферы в пределах единицы угла, равная $\frac{E_0}{\pi}$, где E_0—освещенность точки под открытым небом, условно принимаемая в 10 000 lx, что соответствует условиям атмосферы в полдень зимнего дня в средней климатич. зоне, F—полезная площадь проекции светового

проема на плоскость, перпендикулярную к осевому лучу, *a*—длина проекции среднего луча на плоскость поперечного разреза, *α*—угол между осевым лучом света и рассматриваемой



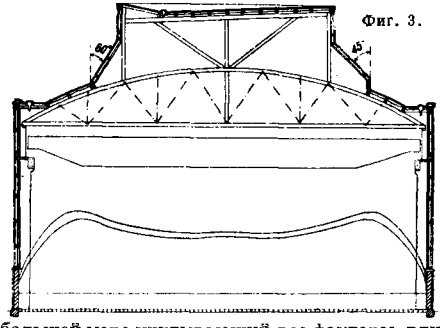
Фиг. 1.



Фиг. 2.

поверхностью. На фиг. 1 представлены годичные кривые дневной освещенности в тыс. lx для гор. Слуцка, составленные Н. Калитиным, а на фиг. 2—такие же кривые Кюля для Потсдама, из к-рых видно, насколько переменной по временам года, особенно по временам дня, является дневная освещенность. Определение освещенности по заданным геометрич. размерам здания и световых проемов с помощью вышеприведенной ф-лы производится графо-аналитически. На фиг. 3 показан разрез кузницы с построенными кривыми освещенности: верхняя кривая для правого типа фонаря с углом наклона в 45°, нижняя—для левого типа с углом наклона в 60°. Это построение представляется достаточно сложным и утомительным, а потому в большинстве случаев задача решается на основе приближенных, добытых опытным путем правил, что впрочем нередко является неправильным. В США принято считать необходимой для производственных помещений фабрично-заводских зданий площадь верхнего света, равную $\frac{2}{9}-\frac{1}{3}$ площади пола этих помещений. Наши «Единые нормы строительного проектирования» предписывают соблюдение соотношений, данных в таблице.

стей определяется интерполяцией. В таблице *α*—угол, образуемый остекленной поверхностью фонаря с горизонтом. При этом полезной горизонтальной проекцией остекленных поверхностей световых фонарей считается та часть их проекций на горизонтальную плоскость, проведенную через нижнее основание остекленных поверхностей, от к-рой беспрепятственно могут падать лучи света на пол освещаемого помещения под углом не менее 60° к горизонту. Принятый для подсчета величины горизонтальной проекции фонарей измеритель, представляющий собой отношение остекленных поверхностей к освещаемым площадям пола, на самом деле не является характерным для отражения истинной физической природы явления. Поэтому во многих случаях «Единые нормы» приводят к неудачным решениям. В настоящее время на основе светотехнич. анализа освещения промышленных зданий, предпринятого в последние годы, выдвинут новый проект норм естественного освещения промышленных зданий, являющийся более сложным для применения при обычном проектировании, но в значительно



Фиг. 3.

большей мере учитывающий все факторы, влияющие на освещенность помещений. Основные положения этого проекта в части, относящейся к Ф. п. з., таковы: 1) нормируется расчетная величина коэф-та естественной освещенности (кео) в %, под к-рым понимается отношение освещенности на данном месте в помещении к горизонтальной освещенности местности под открытым небом; 2) потеря от отражения, поглощения остеклением, пылью и грязью в светопроеме и от затемнения переплетами и элементами конструкции учитывается принятием при ординарном остеклении 0,45, при двойном 0,30 освещенности под открытым небом; 3) в помещениях с верхним светом среднее значение кео в точках условной рабочей плоскости, т. е. на высоте одного *м* над полом, должно равняться 6—8% для I разряда, 4—6% для II и 2—4% для III. К I разряду относятся помещения, в к-рых производится особо точная работа, требующая различения мельчайших деталей (точная механика

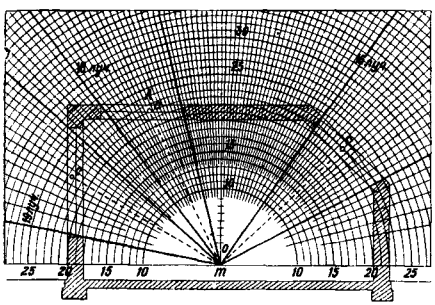
Минимальное отношение горизонтальной проекции полезной остекленной поверхности к освещаемой площади пола.

Расстояние от пола до нижней грани остекленных поверхностей	Отношение расстояния от пола до нижней грани остекленных поверхностей к величине пролета					
	0,50 и менее		1,00		1,50	
	$\alpha \leqslant 60°$	$\alpha > 60°$	$\alpha \leqslant 60°$	$\alpha > 60°$	$\alpha \leqslant 60°$	$\alpha > 60°$
I. Грубая работа						
5 *м* и менее	0,125	0,175	0,100	0,200	0,075	0,225
10 *м*	0,150	0,200	0,125	0,225	0,100	0,250
15 *м* и более	0,175	0,250	0,150	0,275	0,125	0,30
II. Средняя работа						
5 *м* и менее	0,200	0,250	0,175	0,275	0,150	0,300
10 *м*	0,225	0,275	0,200	0,300	0,175	0,350
15 *м* и более	0,250	0,300	0,225	0,350	0,200	0,400
III. Точная работа						
5 *м* и менее	0,250	0,350	0,225	0,375	0,200	0,400
10 *м*	0,300	0,375	0,275	0,400	0,250	0,425
15 *м* и более	0,325	0,425	0,300	0,450	0,275	0,475

Для промежуточных значений величина горизонтальной проекции остекленных поверхно-

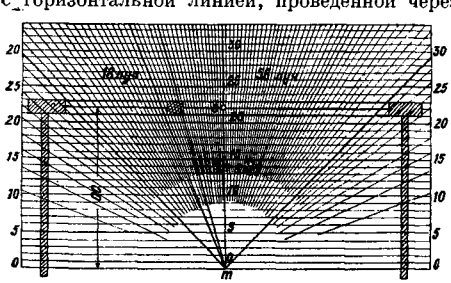
и т. п.); ко II разряду,—не требующая различения мельчайших деталей (основная масса производственных помещений), и к III разряду,—не требующая различения деталей вообще (складские помещения и т. п.).

Независимо от интенсивности освещения чрезвычайно важно обеспечить его равномерность, ибо установлено, что неравномерность освещения в различных точках пола помещения весьма вредно действует на зрение и понижает производительность труда. Недостатки неравномерного освещения увеличиваются по мере уменьшения общей интенсивности света и потому особенно ощутительны в пасмурные дни. В виду этого проектом норм пред-



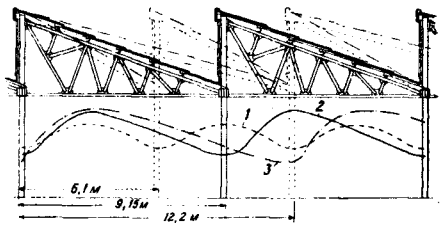
Фиг. 4.

усматривается, что 4) в помещениях, освещаемых верхним светом, значения кео в точках условной рабочей плоскости не должны в одном пролете данного разреза отличаться друг от друга более чем в три раза. Для определения освещенности в любой точке независимо от величины затемнения, причиняемого прохождением света через остекленный проем, применяется приближенный метод, предложенный инж. Данилюком, с помощью построенных им графиков (фиг. 4 и 5). Способ пользования графиками, поясняемый изображенным на чертежах примером, заключается в следующем. Совмещают полюс графика (фиг. 4) с точкой m, для к-рой отыскивается освещенность, путем наложения чертежа поперечного разреза здания, исполненного на прозрачной бумаге, на график т. о., чтобы основание графика совпало с горизонтальной линией, проведенной через



Фиг. 5.

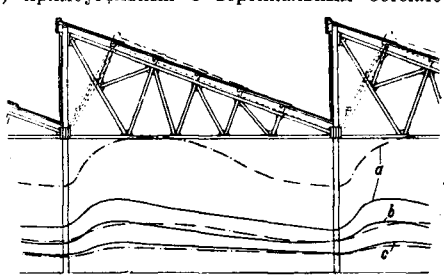
точку m. Отсчитывают число лучей n, попадающих в световые отверстия; в данном случае для проема A (фонарь) $n_1 = 18$. Проводят средний луч mc и замечают, что точка c пересечения луча со средней линией проема находится на 22-й концентрич. окружности. Далее, совмещают продольный разрез с графиком на фиг. 5 т. о., чтобы средняя линия проемов совпадала с прямой 22. Отсчитывают число лучей, попадающих в светопроемы; в данном случае 74. Искомая освещенность, выраженная в %, будет $0{,}01 \times 18 \times 74 = 13{,}32$. Если фонарь снабжен



Фиг. 6.

двойным остеклением, то истинный кео с учетом затемнения от остекления и пр. будет по предыдущему $0{,}30 \times 13{,}32 = 4\%$. Таким же способом определяется освещенность других точек того же поперечного разреза, и затем после отложения на чертеже в определенном масштабе ординат, выражающих число % освещенности, найденные точки соединяются кривой линией, характеризующей освещенность помещения в пределах данного поперечного разреза.

По очертанию поперечного разреза различаются следующие виды и наименования фонарей: 1) шед с вертикальным остеклением, 2) шед с наклонным остеклением, 3) треугольный, 4) прямоугольный с вертикальным остекле-



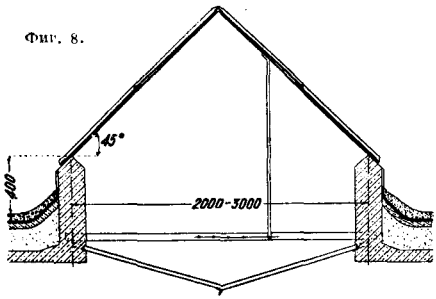
Фиг. 7.

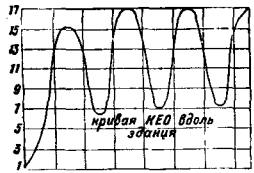
нием, называемый «буало», 5) трапецоидальный узкий, или А-образный, 6) трапецоидальный широкий системы Кана (или монитор) и 7) системы Понд. Кроме того иногда устраиваются фонари комбинированных систем, представляющие собой сочетание некоторых вышеперечисленных типов.

Шедовые фонари, широко распространенные в З. Европе и отчасти в США, хотя и применяются в СССР, однако в виду суровых климатич. условий и снежных зим применение шедового фонаря, способствующего образованию снеговых мешков, затрудняет удаление снега с кровли. Последнее легче разрешается путем устройства внутренних водостоков и неутепленных участков кровли в ее пониженных частях. Шедовые фонари дают равномерную, но недостаточную освещенность; поэтому при этой системе требуется большая высота остекленной части или малая длина пролетов. На фиг. 6 кривые *1*, *2*, *3* характеризуют освещенность помещения соответственно пролетам в 6,1, 9,15 и 12,2 *м*. Во избежание непосред-

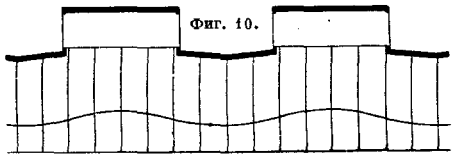
ственного проникания солнечных лучей, раздражающих зрение работающих, остекленные поверхности д. б. обращены на север. Протирка стекол при одиночном остеклении удобно производится снаружи. Теплопотери через охлаждающие поверхности очень невелики. Применение этого типа фонаря м. б. рекомендовано в южной и отчасти средней климатич. зоне; в особенности оно уместно в текстильных ф-ках, а также в цехах по обработке металла или деревянных мелких деталей и в тех производствах, где недопустима капель. Шед с наклонным остеклением (фиг. 7) дает несколько лучшие показатели в отношении освещенности, но обладает рядом недостатков, вообще свойственных фонарям с наклонным остеклением. На чертеже сплошные кривые дают освещенность для вертикального шеда, а пунктирные—для наклонного с углом наклона в 30°. Кривые *a* для чистых стекол, кривые *b* и *c*—для стекол через 3 и 6 месяцев после протирки. Треугольный фонарь (фиг. 8) дает наибольшую освещенность по сравнению с прочими фонарями, однако неравномерность распределения света получается здесь весьма значительной. Будучи наибольшей непосредственно под фонарем, освещенность резко падает по мере удаления от фонаря. На фиг. 9 представлена кривая кео для фабричного помещения, снабженного треугольными фонарями, расположенными поперек здания. Эта кривая показывает, что неравномерность освещенности,

Фиг. 8.



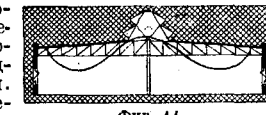


Фиг. 9.

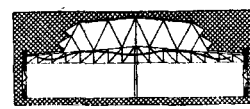


Фиг. 10.

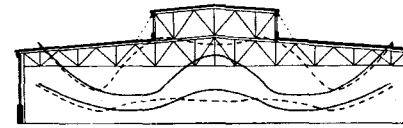
т. е. отношение наибольшей ординаты к наименьшей, более 2,5. Для протирки стекол требуется устройство особой тележки, передвигающейся по путям вдоль фонаря в междуфонарном пространстве. Возможность открывания фонаря для проветривания исключается. Также представляет затруднение устройство для отвода конденсата. Этот тип фонарей в СССР в особенности распространен в зданиях ткацких и отчасти других текстильных фабрик, где тепловой и влажностный режим помещений особо тщательно поддерживается искусственной вентиляцией. Фонарь сист. Буало дает сравнительно слабую освещенность, но весьма удовлетворительную равномерность. На фиг. 10 показаны кривые освещенности здания от фонарей сист. Буало. Протирка производится без помощи каких-либо специальных приспособлений, непосредственно с крыши. Створные переплеты устраиваются по типу оконных, и потому открывание их с целью вентилирования производится без затруднения. Теплопотери в этом типе фонаря значительны. Водонепроницаемость легко достигается. Фонарь сист. Буало находит применение в разнообразных отраслях пром-сти, как то: металлообрабатывающей, текстильной, спичечной и др. А-образный фонарь (фиг. 11) по своим свойствам приближается к треугольному, но обладает преимуществом, состоящим в возможности устройства створных легко открывающихся переплетов. Наилучшим типом фонаря, дающим достаточную освещенность и вместе с тем равномерность в фабрично-заводских зданиях, является трапецоидальный фонарь системы Кана (фиг. 12), который с успехом применяется в цехах, где производятся средние и точные работы в металлообрабатывающей, деревообделочной, кожевенной, пищевой и других видах промышленности. Сопоставление условий освещенности помещений при прямоугольной и трапецоидальной форме фонарей легко усматривается из фиг. 13. Верхние кривые линии соответствуют чистому состоянию поверхности стекла, а нижние—загрязненному, спустя 6 месяцев после их протирки, причем



Фиг. 11.



Фиг. 12.

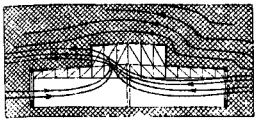


Фиг. 13.

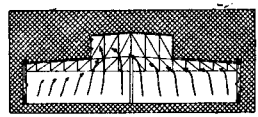
сплошные линии относятся к вертикальному остеклению, а пунктирные—к наклонному. В то время как ординаты верхних кривых значительно отличаются друг от друга, нижние, напротив, почти совпадают. Т. о. преимущества наклонного остекления утрачиваются вскоре после протирки стекол. Наклонные поверхности необходимо застеклять для предохранения от боя более толстым или даже армированным стеклом. Эти соображения часто побуждают к отказу от наклонного остекления.

Фонари со створными переплетами дают возможность использовать их как мощное средство для проветривания заводских помещений и удаления из них вредных газов. Сущность этого процесса, который называется аэрацией, явствует из фиг. 14. При направлении ветра справа налево открывают окна в правой стене здания и в левой части фонаря. Кроме того незначительно приоткрывают окна в левой стене и совершенно закрывают окна правой ча-

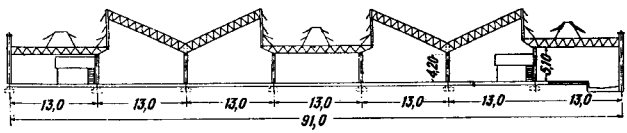
сти фонаря. В таком случае свежий воздух, врываясь в помещение через открытые окна правой стены, проходит через помещение и находит выход в открытые створки левой части фонаря, как показано жирными линиями, изображающими примерное направление движения воздуха. Ветер, обдувающий здание, создает снаружи у левой части фонаря разреженное пространство, куда и устремляется благодаря образованию подпора не только впущенный справа через окна свежий воздух, но также и испорченный воздух из помещения. Для усиления процесса аэрации через нижние створные части окон в левой стене впускается небольшое количество воздуха, засасываемого в помещение благодаря вакууму, образуемому вблизи направления главного потока воздушных струй. Регулируя степень открывания всех створных частей, можно создать надлежащие условия вентилирования фабрично-заводского помещения, вовсе обходясь в течение большей части года без дорого стоящей и несравненно менее эффективной искусственной вентиляции. Аэрация возможна и в безветреную погоду или при слабом ветре. Действительно, благодаря разности $t°$ внутреннего и наружного воздуха возбуждается тяга, заставляющая испорченный теплый воздух выходить из помещения наружу через открытые створы фонаря (фиг. 15). В случае необходимости более эффективной аэрации помещений, напр. кузниц, литейных и других горячих цехов, где происходит выделение значительных объемов вредных газов, применяют фонари сист. Понд (фиг. 16). В многопролетных широких одноэтажных зданиях задача удаления испорченного воздуха через открывающиеся проемы в фонарях решается тем же способом. Что же касается притока свежего воздуха, то в этом случае его неизбежно приходится вводить через фонари, причем для этой цели в промежутках между широкими фонарями устраивают **А**-образные фонари (фиг. 16). При этом надлежит располагать впускные отверстия **А**-образных фонарей на такой высоте, где происходит еще засасывание воздуха внутрь помещения, т. е. ниже нейтральной линии (фиг. 17), разделяющей зоны отрицательного и положительного подпора.



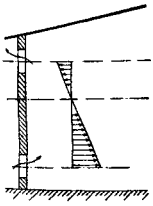
Фиг. 14.



Фиг. 15.

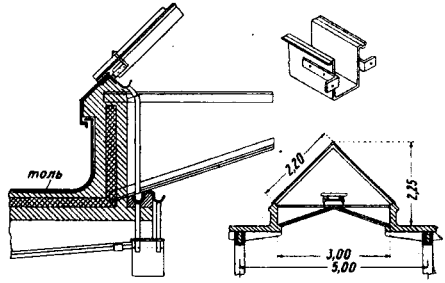


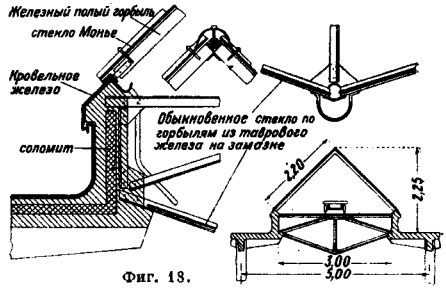
Фиг. 16.



Фиг. 17.

На кровлях прямоугольных и трапецоидальных фонарей обыкновенно не наблюдается скопления снега, к-рый сдувается ветром; поэтому никаких специальных мер и приспособлений для его удаления не принимают. Напротив, в пониженных участках кровли между



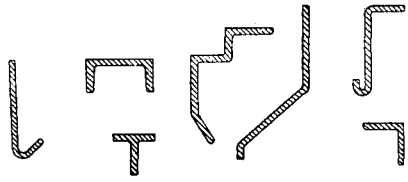


Фиг. 18.

двумя смежными фонарями возможно образование больших снеговых мешков. Во избежание скопления большого количества снега в этих участках кровля проектируется полутеплой с общим коэфициентом теплопередачи 1,1÷1,5; при этом на верхней поверхности кровли темп-ра оказывается выше нуля вследствие влияния тепла, выделяемого помещением, и происходит подтаивание снега, который в виде талой воды удаляется через внутренние водостоки. В фонарях сист. Понд наклонные элементы его также необходимо устраивать полутеплыми.

В соответствии с климатич. условиями СССР остекление фонарей следовало бы устраивать двойным, однако одиночное остекление несмотря на причиняемую им большую теплопотерю имеет большие преимущества, заключающиеся в удобстве прочистки стекол от пыли и грязи, большей светопропускной способности и возможности без больших затруднений устраивать створные открывающиеся переплеты. Кроме того стоимость одиночного остекления значительно ниже, нежели двойного. В треугольных фонарях с двойным остеклением нижнее остекление иногда делают горизонтальным или с небольшим уклоном к краям или к середине. При этом возможно между обоими переплетами устраивать путь для движения вагонетки с целью прочистки стекол, но, с другой стороны, это воздушное пространство в виду его большого объема утрачивает способность теплоизоляции, т. к. в нем возникают воздушные токи, увеличивающие теплопотери. Для удаления с внутренней поверхности стекла конденсационной воды устраивают продольные

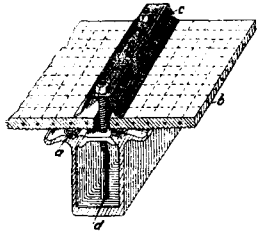
желоба, подвешиваемые к вертикальной стенке вдоль фонаря. При устройстве ската внутреннего стекла к середине желоба для сбора конденсата подвешиваются к середине. Воздушный прослоек между стеклами, из к-рого также приходится отводить конденсационную воду, не должен сообщаться с внутренним пространством помещения, для чего на отводящей трубке



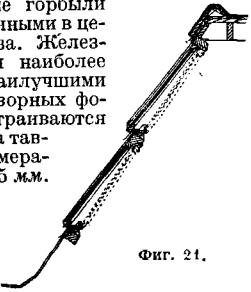
Фиг. 19.

устраивается водяной затвор. На фиг. 18 показаны части конструкции металлич. треугольных фонарей.

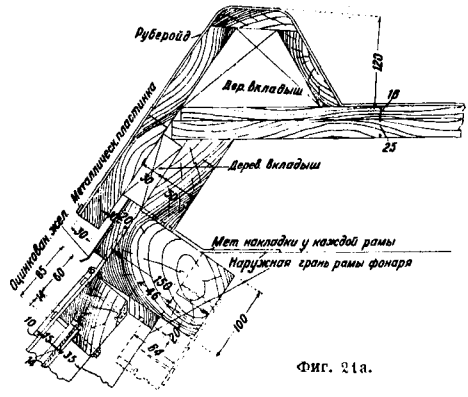
Горбыли фонарей делают деревянными, железными или железобетонными. Выбор рода материала зависит от основной конструкции кровельного перекрытия, от особенностей производственного процесса и экономических соображений. Горбыли створных фонарей обыкновенно делают железные, но в последнее время в СССР их стали с успехом заменять деревянными. Железобетонные горбыли устраиваются в сочетании с армированным стеклом в случае необходимости удовлетворения условий огнестойкости (напр. в огнезащитных зонах), а также если в помещении происходит обильное выделение сернистых газов, водяных испарений, вредно влияющих на деревянные и железные части конструкций. При устройстве глухих фонарей, напр. в текстильных ф-ках, железные горбыли заменяют железобетонными в целях экономии железа. Железные горбыли, будучи наиболее легкими, являются наилучшими в особенности при створных фонарях. У нас они устраиваются из прокатного железа таврового сечения размерами 25 × 25 *мм*—35 × 35 *мм*. В США прокатывают особые профили железа, облегчающие и рационализирующие конструирование фонарей (фиг. 19). В Германии получил распространение представленный на фиг. 20 тип горбыля коробчатого сечения, дающий возможность стеклу, сохраняя плотность стыка, свободно расширяться или сокращаться в зависимости от $t°$-ных колебаний. В бороздки *a* укладывается смоленый шнур, а поверх стекла *b* накладывается колпак *c* из оцинкованного железа, притягиваемый шурупами к горбылю *d*. Шнур заменяет собой водонепроницаемую замазку. На фиг. 21, 21а и 21б представлены детали деревянных горбылей трапецоидальных фонарей, устанавливаемых на деревянных фермах. В виду дешевизны, легкости и возможности обходиться без расходования металла, деревянные горбыли получили весьма широкое распространение в СССР при сооружении фонарей в промышленных зданиях.



Фиг. 20.

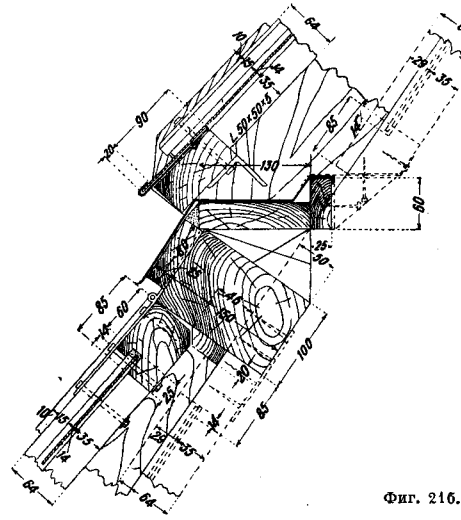


Фиг. 21.



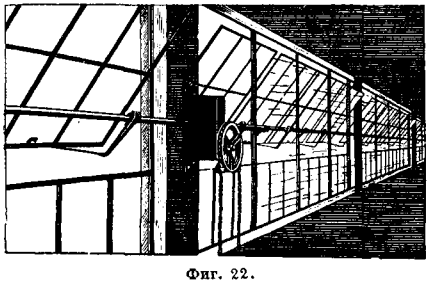
Фиг. 21а.

В тех случаях, когда фонари используются кроме освещения также в целях аэрации, при достаточно большем их протяжении, в Америке и отчасти в Зап. Европе открывание и закрывание створных частей производится механизированным способом. С этой целью непрерывные ряды створных элементов фонарных и оконных переплетов, поворачиваясь вокруг горизонтальной оси с помощью горизонтального вала, зубчатых передач и управляющего механизма, м. б. открываемы на величину, определяемую требованиями интенсивности обмена воздуха, наружной $t°$ и направлением ветра. На фиг. 22 и 23 представлены общий вид и детали описываемого устройства, приводимого в дей-



Фиг. 21б.

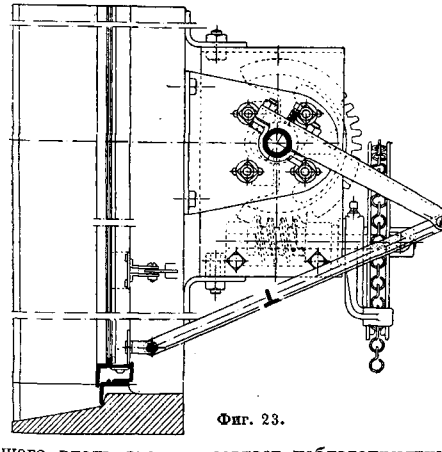
ствие вручную с помощью цепи, огибающей колесо, насаженное на горизонтальную ось с червячной передачей, при помощи к-рой происходит зацепление за зубцы шестерни главного горизонтального вала, поддерживаемого кронштейнами, прикрепленными к простенкам. На главный вал наглухо насажены рычаги, связанные с прикрепленными шарнирно нижними обвязками створных переплетов при помощи тяг с шарнирным закреплением концов. При повороте вала тяга сообщает переплету движение, открывая или закрывая его. При



Фиг. 22.

значительных протяжениях створных частей фонаря открывание иногда производится с помощью электрич. энергии.

Существенное значение имеет правильное расположение фонарей в плане здания, в виду чего применяют продольные и поперечные фонари. Продольные фонари имеют во всех случаях решающее превосходство над поперечными, обусловливаемое гл. обр. несравненно более равномерной освещенностью. Резкое чередование света и теневых частей в помещении с поперечными фонарями в связи с направлением этих световых и теневых полос поперек главного производственного потока, обычно идущего вдоль здания, создает неблагоприятные физиологич. и психологич. условия для работающих. Поперечные фонари по необходимости имеют подъем конька, параллельный скату кровли, что затрудняет конструкцию, приводит к косоугольной форме стекол или отклонению горбылей от вертикальной плоскости и в особенности увеличивает неравномерность освещения. При наличии крановых путей поперечные фонари создают большие конструктивные осложнения. Аэрация может осуществляться только при системе продольных фонарей. С другой стороны, поперечные фонари дают возможность устраивать наружный отвод воды. Этим сомнительным преимуществом объясняется пристрастие ней-рых строителей к поперечным фонарям, к-рые с точки зрения современного взгляда на эту отрасль строительной техники представляют собой устаревшую и нерациональную конструкцию.

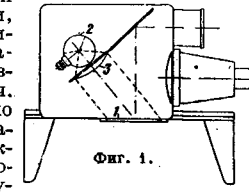


Фиг. 23.

Лит.: Единые нормы строительного проектирования, Комитет по стандартизации при СТО, М., 1930; Цветаев В., Современная фабрично-заводская архитектура, М.—Л., 1932; Штамм Е., Современное промышленное строительство в Америке, М., 1930; Николаев И., Световой анализ фонарей 1932, альбом чертежей (Госпроектстрой); Гофман В., Фабрично-заводская архитектура, ч. 2, Л., 1932; Беляев С., Определение дневной освещенности помещений, Л., 1929; Серк Л., Архитектура промышленных зданий, М., 1928; Майзель С., Основы рационального освещения, М., 1929. Гусев Н. и Шафранов, Проект норм естественного освещения промаданий и руководство по проектированию верхнего света, «Проектирование и стандартизация в строительстве», М., 1932, *2—3*; Гершун А., Расчет естественного освещения, «Труды государств. оптического ин-та», Л., 1929; Яборинский, Графический расчет естественного освещения заводских зданий, «Техника и производство», 1927, *8—9*; Захаров Ф., О проектировании и о строительном оборудовании промышленных гигантов, «Вестник инженеров и техников», 1932, *8*; Ketchum M., The Design of Steel Mill-buildings, N. Y., 1929.

Е. Штамм.

ФОНАРЬ ПРОЕКЦИОННЫЙ, проекционный прибор, аппарат для получения сильно увеличенного действительного изображения прозрачных или непрозрачных рисунков или предметов на какой-либо светлой поверхности (экране), где оно затем рассматривается невооруженным глазом, обычно многими лицами одновременно. Первый Ф. п. описан А. Кирхером (1646); долгое время Ф. п. с картинками, рисованными на стекле от руки, служили исключительно делям забавы, и лишь с появлением фотографич. диапозитивов (около 1850 г.) Ф. п. делается одним из важных культурно-просветительных орудий. Бурное развитие *кинотехники* (см.) направило главную массу работ по усовершенствованию Ф. п. в область кинопроекции, где общая задача Ф. п. усложняется необходимостью получать весьма большие увеличения с маленького оригинала (кинокадра) и наличностью специального механизма для прерывистого продвижения кинопленки.

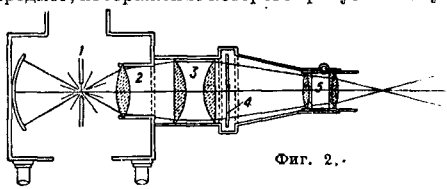


Фиг. 1.

Ф. п. распадаются на две главные категории, работающие по различным принципам: а) приборы для диапроекции, в которых свет источника проходит сквозь прозрачный рисунок или предмет, и б) приборы для эпископической проекции, работающие при помощи света, падающего на непрозрачный рисунок или предмет и отражаемого им. Так наз. эпидиаскопы (фиг. 1) представляют собою соединение в одном приборе двух отдельных проекционных систем—одной для эпископической, другой для диапроекции (на фиг. 1: *1*—освещаемый предмет, *2*—лампа, *3*—конденсор).

Каждый Ф. п. (фиг. 2 и 3) состоит из следующих существенных частей: 1) источника света *1*

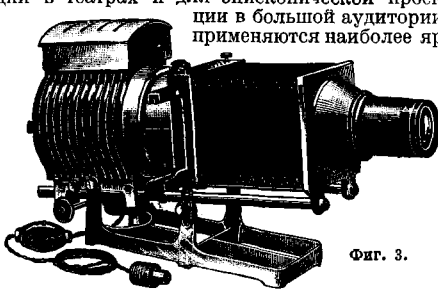
(лампа накаливания или дуга), помещенного в соответствующий фонарь (для защиты глаз зрителей от нежелательного света); 2) осветительной оптич. системы *2, 3* (конденсор), назначение которой состоит в том, чтобы возможно более сильно и равномерно осветить рисунок или предмет, изображение которого требуется полу-



Фиг. 2.

чить; 3) держателя (или подставки) *4* для проектируемого рисунка или предмета, в некоторых случаях снабженного приспособлением для быстрой смены рисунков; 4) проекционного объектива *5*, назначение которого—дать увеличенное, возможно более яркое и свободное от искажений изображение проектируемого объекта. Кроме того необходимую часть проекционного устройства в целом составляет (хотя и не относится непосредственно к Ф. п.) 5) проекционный экран, задача которого состоит в том, чтобы направить в глаз зрителя возможно бо́льшую часть света, попадающего на экран из проекционного объектива.

Источник света для проекционного прибора должен давать возможно больший световой поток при возможно меньшей поверхности, т. е. обладать возможно бо́льшею поверхностной яркостью. Поэтому для наиболее ответственных случаев проекции (для кинопроекции в театрах и для эпископической проекции в большой аудитории) применяются наиболее яр-


Фиг. 3.

кие из искусственных источников света—дуговые лампы. Однако в виду неустойчивости световой точки в дуговых лампах, требующей постоянной регулировки, и других их неудобств для большинства обычных применений проекции (кинопроекции школьной, клубной и домашней, всех видов диапроекции и даже для эпископич. проекции в не слишком бо́льшой аудитории) дуговые лампы уже почти нацело вытеснены лампами накаливания специального проекционного типа (с нитью накала, сконцентрированной в возможно малом объеме), к-рые применяются на мощности от 10 до 500 W, а в отдельных случаях и выше (до 10 000 W). Такие лампы находят применение, когда не имеется электрич. сети, с использованием переносных аккумуляторов или даже небольших динамомашин с ручным приводом. Применение ацетилена, спирто- или керосинокалильного освещения и фитильных керосиновых ламп целесообразно лишь в случаях полной невозможности пользования электрич. источниками света. Т. к. в этих случаях обычно приходится иметь дело с помещениями небольшого размера и с приспособленностью глаз к слабому освещению, то возможно еще получить сносное освещение на небольшом экране для диапроекции.

Осветительная система. Простейшую осветительную систему для диапроекции представляет собою матовое стекло, помещаемое непосредственно сзади объекта (со стороны источника света); эта система имеет целью лишь достижение достаточной равномерности освещения и применяется в случаях, когда можно ограничиться небольшим количеством света, как напр. в проекционных приборах, служащих для увеличения с фотографич. негативов. Наиболее употребительную систему для концентрации света представляет собой *конденсор* (см.). В смысле оптич. качеств требования, предъявляемые к конденсору, обычно весьма невысоки; главнейшее из них состоит в возможном уменьшении сферич. аберрации, которая при больших сравнительно углах захвата (углах между краевыми лучами), обусловливаемых стремлением в максимально возможной мере использовать световой поток источника, уже может сказаться на неравномерности распределения света в освещающем пучке. По этим соображениям в качестве простейшего конденсора обычно предпочитают применять не одну двояковыпуклую линзу, а комбинацию двух плосковыпуклых линз, сложенных выпуклыми сторонами, как дающую значительно меньшую аберрацию при почти одинаковой стоимости. Большее использование источника света можно получить с трехлинзовым конденсором, в к-ром к двум плосковыпуклым линзам добавляется со стороны источника света менисковая; взамен этого применяется также комбинация менисковой линзы с двояковыпуклой. Еще бо́льшие углы захвата и бо́льшую равномерность освещения можно получить лишь за счет замены в конденсоре одной или двух сферич. поверхностей асферическими, что однако связано с значительным удорожанием прибора. Практически с двухлинзовым конденсором можно получить угол захвата 40—45°, с трехлинзовым 60—80°, с трехлинзовым при асферических поверхностях до 110°. Конденсоры для применения с мощными источниками света д. б. рассчитаны на возможность значительного нагревания их инфракрасными лучами источника; в виду этого первую линзу конденсора делают обычно из стекла с большой термич. стойкостью, напр. стекла «пайрекс» или ему подобного. Диаметр конденсора для диапроекции выбирается т. о., чтобы исходящий из него световой пучок с запасом перекрывал диагональ диапозитива. При обычном расположении диапозитива непосредственно сзади конденсора получаются следующие диаметры (в *мм*):

Диапозитив . .	18 × 24	24 × 37	85 × 100	90 × 120
Конденсор . . .	35	60	115	150 — 160

Другим типом осветительной системы, особенно для мощных источников света, является вогнутое зеркало—сферическое или эллиптическое. Применяется также комбинация параболич. зеркала с плосковыпуклой конденсорной линзой. Применение зеркал дает больший угол захвата (100—135°) по сравнению с конденсорами и кроме того уменьшает потери света в осветительной системе вследствие уменьшения числа стеклянных поверхностей. Для эпископической проекции наряду с перечисленны-

ми типами осветительных систем применяется еще т. н. шаровой осветитель, представляющий собою шарообразный (или не слишком сильно отличающийся по форме от шара) кожух, заключающий в себе источники света (практически почти всегда—лампы накаливания, к-рые в этом случае берутся обычного типа); внутренние стенки кожуха делаются с возможно более высоким коэф. отражения, и т. о. на освещаемый предмет помимо прямых лучей от источника попадает также и значительное количество лучей, претерпевших многократные отражения от стенок. При мощных источниках света приходится принимать меры к защите от чрезмерного нагревания инфракрасными лучами источника как освещаемого объекта, так и проекционного объектива. Это осуществляется либо путем поглощения вредных лучей в слое воды (иногда с прибавлением небольшого количества солей), помещаемой в охладительную кювету, либо путем помещения на пути лучей стеклянной пластинки из сорта стекла, особенно сильно поглощающего инфракрасные лучи, либо наконец путем непосредственного охлаждения защищаемых частей струей воздуха от вентилятора.

Размеры поля проекции. Для диапроекции наиболее употребительным размером является 85×100 *мм* (в Германии этот размер является стандартным); употребителен еще 90×120 *мм* как соответствующий одному из ходовых размеров фотографич. пластинок; иногда еще встречается бывший ранее в большом ходу размер 85×85 *мм*. За последнее время все более и более начинают распространяться диапозитивы на кинопленке размером 18×24 *мм*, печатаемые сразу целыми сериями.

Проекционные объективы. Оптич. задача проекционного объектива приблизительно соответствует задаче фотографич. объектива, с той разницей, что объект и изображение меняются ролями. Для проекционного объектива добавляются еще требования достаточно большой светосилы и возможно меньшего числа поверхностей раздела стекло—воздух, вызывающих добавочные потери света на отражение. В соответствии с этим для простейших целей проекции применимы простые ахроматич. линзы. Наиболее употребительны в качестве проекционных объективов объективы типа Петцваля, состоящие из трех линз, из к-рых передняя—склеенная, триплекс-анастигматы типа Кука-Тейлора, состоящие из трех отдельных линз, а иногда и объективы типа «Тессар». Светосилы проекционных объективов обычно лежат в пределах $1 : 4{,}5 \div 1 : 3$; за последнее время для целей кинопроекции на больших экранах начинают входить в употребление объективы с большей светосилой $1 : 2{,}7 \div 1 : 1{,}9$. Для возможности быстрого перехода в одном и том же приборе на объектив с другим фокусным расстоянием (это требуется, когда надо получить одинаковой величины изображения при различных расстояниях экрана) обычно проекционные объективы монтируются в цилиндрич. оправах, имеющих стандартные диам. 42,5, 52,5 и 62,5 *мм* (а для особенно светосильных объективов последнего времени еще 82,5 и 102,5 *мм*).

Экран. Наиболее употребительный тип проекционного экрана делается из белой матовой бумаги или материи, натянутой на рамку; для неподвижных установок приблизительно равноценным экраном является белая гладкая штукатуренная (гипсом) стена. Экраны такого типа приближаются к идеально рассеивающей поверхности и дают почти равномерную освещенность в больших пределах изменения угла зрения. Для случаев, когда требуется максимальное использование света, как для кинопроекции или для эпископич. проекции, применяют металлизированные или иного устройства экраны, дающие значительное сосредоточение отраженного света в направлениях, составляющих небольшие углы с нормалью к поверхности экрана, за счет уменьшения количества света, отражаемого под большими углами.

Расстояние экрана и размер изображения. Если m—линейное увеличение изображения на экране (т. е. отношение линейных размеров изображения к соответствующим размерам проектируемого объекта), f—фокусное расстояние проекционного объектива и s—расстояние экрана от объектива, то

$$s = f(m + 1).$$

Эта ф-ла дает ответ на все возможные вопросы: о выборе фокусного расстояния объектива по заданному размеру и расстоянию экрана, о величине экрана, какой можно покрыть в помещении данной длины объективом данного фокусного расстояния, и т. п.

Кпд и расчет проекционных установок. Из полного светового потока, даваемого источником света, поступает в осветительную систему лишь часть, определяемая углом захвата этой системы (и кривой распределения света источника). Из этой части теряется известный % за счет того, что мы вырезаем из круглого сечения освещающего пучка прямоугольную часть, соответствующую рамке проектируемого изображения; при использовании пучка до углов изображения эта потеря составляет 36%. Далее мы имеем еще потери света в осветительной и проекционной системе, составляющие около 4% на каждую поверхность раздела стекло—воздух на отражение. Предполагается при этом, что не имеется еще потерь за счет неполного использования освещающего пучка проекционной системой. Практически в современных Ф. п. для диапроекции мы получаем при применении конденсоров кпд 3—7%, при применении зеркальной оптики 8—20%; для эпископической проекции 0,2—0,4%. Для ориентировочных подсчетов работы проекционных установок могут служить следующие данные: освещенность экрана в lx д. б. для маленьких экранов не менее 10—20 lx, для больших—в 10 раз больше ширины экрана, выраженной в *м*. Отсюда и из вышеприведенных цифр для кпд можно определить либо величину возможного экрана по заданному световому потоку источника либо величину источника света для данного экрана: $E \cdot S = \Phi \cdot \eta$, где E—освещенность на экране в lx, S—площадь экрана в $м^2$, Φ—световой поток источника в lm, η—коэфициент полезного действия проекционного прибора. Для примерного подсчета светового потока источника можно пользоваться соотношениями: для дуговых ламп $\Phi = 900 \times$ силу тока, для проекционных ламп накаливания $\Phi = 15 \div 20 \times$ мощность в W.

Лит.: Neuhauss R., Lehrbuch d. Projektion, Halle a/S., 1908; Handbuch d. Experimentalphysik, hrsg. v. W. Wien u. F. Harms, B. 11, T. 3, p. 222—234, Lpz., 1931; A Dictionary of Applied Physics, v. 4, p. 514—529, L., 1923; Meinel W., Lichttechnische Untersuchungen am Kinoprojektor, «Ztschr. f. technische Physik», Lpz., 1923, B. 4, p. 379; Ioachim H. u. Schering H., Die Kinoprojektion, ihre lichttechnischen Leistungen u. ihre Grenzen, «Kinotechnik», B., 1930, Jg. 12, p. 31, 59. См. также *Кинотехника*. **Л. Исаков.**

ФОНОГРАФ, см. *Граммофон.*

ФОРМАЛЬДЕГИД, альдегид муравьиной кислоты HCHO, простейшее соединение гомологич. ряда *альдегидов* (см.). При обыкновенной $t°$ Ф.—газ с резким специфич. запахом, сгущающийся при охлаждении в жидкость; $t°_{кип.}$ −21°; D^{-20} 0,8152; D^{-80} 0,9172; уд. в. водных растворов Ф. см. табл. 1; парциальное давление его водных растворов см. табл. 2. При сильном охлаждении жидкость замерзает в твердый Ф. ($t°_{пл.}$ −92°). Жидкий Ф. устойчив только при низких $t°$; уже при $t°_{кип.}$ он со значительным выделением тепла быстро превращается в полимерные модификации. Теплота сгорания газообразного Ф. (при постоянном объеме)

$$CH_2O+O_2=H_2O+CO_2 \quad +134{,}1 \text{ cal.}$$

Теплота образования

$$C_{алмаз}+{}^1/_2O_2+H_2=CH_2O_{газ} \quad +27{,}8\pm0{,}1 \text{ cal (пост. объем);}$$

теплота превращения газообразного Ф. в полимеры (параформальдегид) 12,0 cal. Ф. хорошо растворяется в воде; в нек-рых условиях можно получить водные растворы с содержанием CH_2O до 55%. При нагревании свыше 300° Ф. заметно разлагается по ур-ию: $CH_2O=CO+H_2$. Термич. распад в стеклянном сосуде протекает по нулевому порядку гетерогенно; скорость распада в пределах 300 ÷ 700° возрастает почти в линейной зависимости от $t°$.

Табл. 1.—Уд. вес водных растворов Ф.

Уд. вес D_4^{18}	Содержание CH_2O в г		Уд. вес D_4^{18}	Содержание CH_2O в г	
	в 100 г раствора	в 100 см³ раствора		в 100 г раствора	в 100 см³ раствора
1,000	0,5	0,5	1,065	21,4	22,8
1,005	2,1	2,1	1,070	23,0	24,6
1,010	3,7	3,8	1,075	24,6	26,5
1,015	5,4	5,4	1,080	26,2	28,3
1,020	7,0	7,1	1,085	27,8	30,1
1,025	8,6	8,8	1,090	29,3	32,0
1,030	10,2	10,5	1,095	30,9	33,8
1,035	11,8	12,2	1,100	32,5	35,7
1,040	13,4	14,9	1,105	34,0	37,6
1,045	15,0	15,7	1,110	35,6	39,5
1,050	16,7	17,5	1,115	37,2	41,4
1,055	18,2	19,3	1,120	38,7	43,4
1,060	19,8	21,0	1,125	40,3	45,3

Табл. 2.—Зависимость парциального давления водных растворов Ф. (в *мм* Hg) от $t°$ и содержания Ф. в растворе.

$t°$	Содержание CH_2O в растворе в %						
	5	10	15	20	25	30	35
0		0,070	0,098	0,120	0,110	0,150	
20		0,351	0,487	0,600	0,714		
35	0,605	1,150	1,580	1,960	2,280	2,570	2,850
45		2,21	3,11	3,89	4,56	5,14	5,57

Газообразный Ф. при обыкновенной $t°$ частично полимеризуется, причем полимеризация ускоряется различными примесями, особенно водой. В водных растворах Ф. существует повидимому в виде гидрата $CH_2(OH)_2$ наряду с гидратированными полимерами.

Исследования по разгонке водных растворов Ф. привели к весьма противоречивым результатам. Ледбури и Блэр нашли, что 30%-ный раствор ведет себя, как жидкость с постоянной $t_{кип.}$; по данным других авторов минимум $t°_{кип.}$ соответствует 8%-ным растворам. Циммерли посредством колонки с обратным охлаждением получил из слабых растворов (16—18% CH_2O) концентрированные с содержанием Ф. более 40%. Эти противоречия повидимому объясняются различными степенями гидратации и полимеризации Ф., к-рые зависят не только от наличия примесей в растворах, особенно солей и кислот, но и от продолжительности хранения и ряда других причин. Однако концентрирование слабых растворов Ф. и получение твердых модификаций (параформальдегида) вполне возможно и легко осуществляется с минимальными потерями посредством разгонки слабых растворов Ф. при уменьшенном давлении; при этом концентрат остается в перегонном сосуде.

Водные растворы Ф. с течением времени мутнеют вследствие выделения продуктов полимеризации. Чем выше концентрация и чем ниже $t°$, тем быстрее и полнее протекает полимеризация. В присутствии метилового спирта полимеризация задерживается, поэтому для стабилизации растворов Ф. к ним добавляют некоторое количество метилового спирта. Существующий в продаже ф о р м а л и н (название введено германской фирмой Шеринг) представляет собой водный раствор Ф., содержащий в 100 *см*³ 40 *г* CH_2O (или 37% по весу) и около 12% метилового спирта. На заграничном рынке имеются также 30%-ные растворы Ф. без метилового спирта.

С п о с о б ы п о л у ч е н и я. Ф. образуется при неполном сгорании многих органич. веществ (углеводородов, углеводов, древесины и т. п.). Он является также повидимому одним из первичных продуктов растительного фотосинтеза (ассимиляция углекислоты растениями). Полимерный Ф. (п а р а ф о р м а л ь д е г и д) был синтетически впервые получен Бутлеровым (1859 г.) из иодистого метилена и уксуснокислого серебра. Получение Ф. в чистом виде было осуществлено Кекуле в 1892 г. Обычный способ получения *альдегидов* (см.), путем сухой перегонки кальциевых солей соответствующих к-т, для получения Ф. не пригоден. Лучше, но далеко не удовлетворительно происходит образование Ф. при перегонке формиатов олова. Из различных реакций, ведущих к образованию Ф., с практич. точки зрения заслуживают внимания следующие:

I. $CH_3OH+{}^1/_2O_2=CH_2O+H_2O$,

II. $CH_4+O_2=CH_2O+H_2O$,

III. $CH_2Cl_2+H_2O=CH_2O+2HCl$.

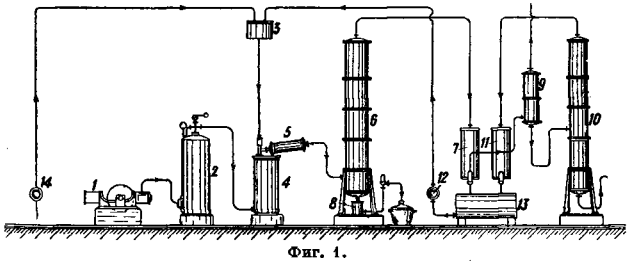
До настоящего времени промышленное получение Ф. велось исключительно из метилового спирта (метанола) на основе реакции (I). Возрастающая с каждым годом потребность в Ф., гл. обр. для удовлетворения нужд пром-сти пластич. масс, заставила заняться детальным изучением реакций, использующих более дешевое и доступное сырье. В результате этой работы были разработаны другие способы, пока еще не получившие полного промышленного оформления, но давшие, по крайней мере в виде модельно-опытных испытаний, вполне благоприятные показатели для их осуществления в промышленно-заводских масштабах.

П о л у ч е н и е Ф. и з м е т и л о в о г о а л к о г о л я. Этот метод заключается в том, что пары метилового алкоголя в смеси с воздухом (кислородом) пропускают при повышенной $t°$ через катализаторы, способствующие окислению метилового спирта в Ф. Первые наблюдения над образованием Ф. из метилового спирта на раскаленной платиновой спирали были сделаны в 1867 г. Гофманом. Толленс и особенно Лев усовершенствовали этот способ, применяя вместо платины медную сетку в качестве катализатора. Основанием для производства в технич. масштабе послужили работы Орлова, который не только ввел существенные аппаратурные усовершенствования, но детально изучил реакцию образования Ф. из метилового алкоголя и определил основные условия ее успешного проведения. При от-

сутствии кислорода реакция протекает обратимо по ур-ию

$$CH_3OH \rightleftarrows CH_2O + H_2$$

с отрицательным тепловым эффектом. При этом катализатор (медь, серебро и т. п.) быстро отравляется, реакция замедляется и наконец почти совсем останавливается. В присутствии кислорода (воздуха), т. е. в тех условиях, как это совершается в технике, реакция становится экзотермичной за счет сгорания водорода и для своего протекания не требует дополнительного наружного обогрева реакционной камеры. Образующаяся при окислении вода служит растворителем для Ф. Наряду с главной окислительной реакцией имеют место различные побочные процессы, из к-рых весьма отрицательную роль играет реакция термич. распада первично полученного Ф. на CO и H_2. Сведение роли этой реакции к минимуму является необходимым условием для нормально протекающего процесса. Катализаторами для получения Ф. из метилового алкоголя могут служить различные металлы, из к-рых наиболее пригодными являются медь и серебро. Последние металлы применяют в виде сеток, обычно плотно свернутых в спирали или цилиндры. Нанесение катализирующего металла на пористые подкладки с целью увеличения металлич. поверхности едва ли целесообразно, т. к. обычные подкладки (пемза и т. п.) обладают относительно малой теплопроводностью и ухудшают условия отвода избыточного тепла. Аппаратура для получения Ф. из метанола показана на фиг. 1. Воздух, сжатый посредством компрессора *1*, из цилиндра *2* направляют в смеситель *4*, в к-ром он подогревается и поступает навстречу метанолу, нагретому до $t°$, обеспечивающей получение смеси необходимого состава, и стекающему из сборника *3*. Смесь поступает в контактный аппарат *5*, где происходит реакция образования Ф.; продукты реакции и часть исходных веществ, оставшиеся неизмененными (N_2; CH_2O; H_2O; CH_3OH; H_2; CO; CO_2), проходят ректификационный аппарат *6*, где происходит разделение на Ф., метиловый спирт и неконденсирующиеся газы; Ф. в виде 40%-ного раствора стекает в *8*, пары метанола сгущаются в холодильнике *7*, откуда посредством насоса *12* снова поступают в сборник *3*. Газы, выходящие из *7*, поступают в промывалку *9*, где освобождаются от оставшихся паров метанола, к-рый концентрируется в колонке *10*, конденсируется в холодильнике *11* и направляется обратно в сборник *3*. Контактный аппарат *5* состоит из шести медных труб (600 *мм* длиною с просветом 50 *мм*), по к-рым распределяется общий поток газовой реакционной смеси; в передней части трубок помещают плотно свернутые контактные сетки длиною в 110 *мм*.



Фиг. 1.

Нагревание осуществляют паяльной лампой или специальными нагревательными приспособлениями. После того как окисление началось, необходимая температура (450—500°) поддерживается теплом самой реакции. Метиловый алкоголь, применяемый для получения Ф., не должен содержать ацетона свыше $1^1/_2$%, так же как и высших кетонов или других органич. соединений, отравляющих катализатор. В случае применения синтетического метанола последний должен быть освобожден от примеси карбонила железа, являющегося сильным каталитическим ядом. Подобными ядами являются также хлор, HCl, SO_2, соединения мышьяка, серы и т. д. На ход процесса окисления и выход Ф. большое влияние имеет состав реакционной смеси. Согласно экспериментальным исследованиям (Леблан и Плашке) оптимальное соотношение по весу между кислородом и метиловым алкоголем следующее:

Кислород : метиловый алкоголь = 0,46 : 1 } катализатор —
Воздух : метиловый алкоголь = 2,3 : 1 } медная сетка
Кислород : метиловый алкоголь = 0,39 : 1 } катализатор —
Воздух : метиловый алкоголь = 2,0 : 1 } серебро

В технике пользуются меньшими количествами кислорода, что несколько уменьшает степень превращения метанола, но вместе с тем ведет к снижению $t°$ процесса, а следовательно и к устранению нежелательных побочных реакций и уменьшению потерь. Наблюдение за успешным протеканием процесса осуществляется путем контроля составных частей отходящих газов, к-рые в случае нормально протекающей реакции должны содержать не более 3,5—4% CO_2 и десятых долей % CO и CH_4. Из 100 *кг* 100%-ного метилового алкоголя должно получиться 93,75 *кг* 100%-ного Ф., что отвечает выходу в 256,9 *кг* 40%-ного (по объему) раствора Ф. Принимая во внимание, что часть метилового алкоголя намеренно оставляют неизменной для стабилизации растворов Ф., максимально возможный выход сокращается до 196 *кг* 40%-ного формалина. При проведении процесса в технике удовлетворительными выходами считают 83—85% теории (163—167 *кг* 40%-ного формалина из 100 *кг* метилового спирта).

Получение Ф. из метана представляет собой один из наиболее рациональных путей химич. использования природных и технич. (газы коксовых печей, газы полукоксования и других пирогенетич. процессов) метансодержащих газов. Несмотря на большое число исследований и обилие патентов вопрос о рентабельном превращении метана в Ф. до сих пор еще нельзя считать полностью решенным. Превращение метана в Ф. возможно двумя путями: 1) непосредственным окислением метана и 2) хлорированием метана и дальнейшим гидролизом полученных хлоропроизводных. Многочисленные попытки западноевропейских исследователей по непосредственному окислению метана в Ф. как без катализаторов, так и в присутствии различных катализаторов в общем привели к мало удовлетворительным результатам: количества полученного Ф. были весьма малы, и большая часть метана непроизводительно окислялась в CO и CO_2. Лучшие результаты были получены америк. исследователями (Бибб, Лэнг, Фролих и др.) при окислении ме-

тана кислородом (воздухом) в присутствии окислов азота. По данным Лэнга при многократном пропускании смеси, состоящей из метана, кислорода и небольшого количества окислов азота (2—5%), через трубки из тугоплавкого стекла или кварца при 690° получается 205 *мг* Ф. на 1 *л* разложенного метана, что при пересчете на взятый метан составляет 13,34%; при этом 75,66% метана превращаются в CO и CO_2.

В результате ряда систематич. исследований, поставленных в физико-химич. ин-те им. Карпова по окислению метана, был разработан новый способ контактного получения Ф. из метана, давший при модельно-опытном испытании весьма благоприятные результаты. В этом способе в качестве катализаторов применяются огнестойкие соли тяжелых металлов, из к-рых наиболее пригодными оказались смешанные фосфаты или бораты железа и олова. Для активирования процесса образования Ф. в реакционную газовую смесь вводят небольшое количество газообразного хлористого водорода (0,1÷0,2% по объему). Смысл прибавления HCl заключается в том, что процесс протекает по следующей схеме (Me—четырехвалентный металл):

$$2Me\begin{matrix}HPO_4\\O\end{matrix} + 4HCl = 2Me\begin{matrix}HPO_4\\Cl_2\end{matrix} + 2H_2O;$$

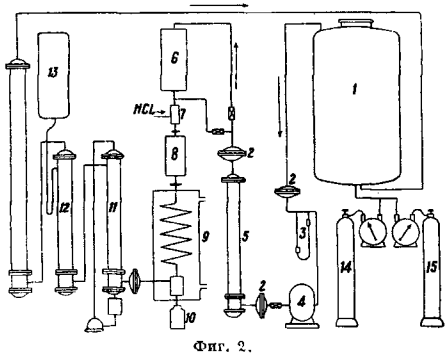
$$2Me\begin{matrix}HPO_4\\Cl_2\end{matrix} + O_2 = 2Me\begin{matrix}HPO_4\\O\end{matrix} + 2Cl_2;$$

$$CH_4 + 2Cl_2 = CH_2Cl_2 + 2HCl;$$

$$CH_2Cl_2 + H_2O = CH_2O + 2HCl.$$

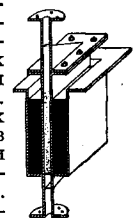
Таким образом HCl, связывающийся в начале процесса, полностью регенерируется в конце, т. е. играет роль катализатора. Образующийся в процессе хлористый метил омыляется в метиловый спирт, к-рый в условиях реакции также превращается в Ф. Существенным отличием этого способа от других методов получения Ф. из метана является то обстоятельство, что образование Ф. представляет собой главную реакцию, а образование CO и CO_2 играет подчиненную роль, и потому для проведения процесса оказалось возможным применить циркуляцию реакционной газовой смеси.

Аппаратура для получения Ф. из метана показана на фиг. 2. Реакционная газовая смесь



Фиг. 2.

из метансодержащего газа и кислорода (или воздуха), находящаяся в замкнутом резервуаре *1*, подается циркуляционным насосом *4* в сушильную колонку *5*, а затем в подогреватель *6* и контактный аппарат *8*. На пути к контактному аппарату в смесителе *7* к газу прибавляется нужное количество хлористого водорода. После контактного аппарата газ поступает в холодильник *9*, в к-ром главная часть Ф. и паров воды конденсируется и стекает в приемник *10* в виде первичного конденсата, содержащего 25—30% CH_2O, 1—2% CH_3OH и 6÷10% HCl, а остаток Ф. удерживается водой в колонке с коксом *11*. Колонка *12*, орошаемая раствором каустика, поступающего из резервуара *13*, служит для удержания CO_2. Отработанный газ, пройдя через ряд колонн, в к-рых подвергается сушке, снова поступает в резервуар *1*, где смешивается с основной массой реагирующего газа и снова подвергается циркуляции. Сокращение объема, являющееся следствием реакции, компенсируется прибавлением новых порций метансодержащего газа и кислорода из баллонов *14* и *15*. Циркуляция продолжается до тех пор, пока разбавление смеси в результате накопления N_2, CO и CO_2 позволяет вести процесс с достаточной производительностью. Установка снабжается необходимыми измерительными, предохранительными (чечевицы *2*, клапаны и т. п.) и саморегулирующими приспособлениями. Один из типов контактного аппарата показан на фиг. 3. Он представляет собой узкую щелевидную камеру прямоугольного сечения (20×200×1 000 *мм*), к-рая заполняется брикетированной контактной массой. Материалом, из которого изготовляют камеру, м. б. железо или, лучше, нержавеющие жароустойчивые сорта стали. Контактная камера находится в бане с расплавленным свинцом, обогреваемой электрич. током, проходящим через хромоникелевую ленту, намотанную снаружи бани и изолированную асбестом; $t°$ контактной массы в течение процесса поддерживают в пределах 595÷615°. Время контактирования ~0,2 ск. Содержание кислорода в газовой смеси поддерживают на уровне 10—15%. Увеличение концентрации метана вызывает повышение производительности процесса. Поэтому эффективность установки в случае применения воздуха и следовательно разбавления смеси азотом несколько меньше, чем при работе с кислородом. Выходы Ф., получаемые по описанному способу, весьма велики: 70—75% CH_4 превращается в Ф. Однако при низкой стоимости метана вести циркуляцию до глубокого его использования нецелесообразно, т. к. наступающее падение концентрации метана в газовой смеси вызывает понижение производительности процесса. Практически использование метана имеет смысл доводить до 30—35% при общем эффекте окисления 65—70%. Средняя производительность при этом составляет 40 *г* CH_2O в 1 час на 1 *л* активного объема контактной массы. Первичный конденсат—светложелтая кислая жидкость с содержанием 20—21% CH_2O—нейтрализуется известью, перегоняется и концентрируется при пониженном давлении. Расход исходных веществ для получения 1 *кг* 40%-ного (по объему) формалина выражается сл. обр.: природного газа (с содержанием CH_4 80—85%) 860 *л*, кислорода 920 *л*, хлористого водорода 70 *л* и извести 150 *г*.



Фиг. 3.

Другой путь возможного получения Ф. из метана заключается в том, что метан подвергается хлорированию: хлороформ и четырех-

хлористый углерод конденсируются, а хлористый метил и дихлорметан подвергаются омылению. В Физ.-химич. ин-те им. Карпова было показано, что омыление можно осуществить и в первой фазе, пропуская смесь из хлористого метила, хлористого метилена и паров воды через контактную массу, состоящую из фосфата олова, отложенного на пемзе или другой пористой подкладке. Этот способ пока еще не прошел стадии опытных испытаний.

Полимеры Ф. При стоянии концентрированных растворов Ф. или при выпаривании образуются высокомолекулярные трудно растворимые модификации Ф.

Параформальдегид получается при выпаривании растворов Ф. или при быстром охлаждении газообразного Ф.; представляет собой повидимому смесь из α-, β- и γ-полиоксиметиленов. Воздушносухой параформальдегид плавится при 150—160°. В спирте не растворяется; 100 ч. воды при 18° растворяют 20—30 ч. параформальдегида. При нагревании полностью деполимеризуется. Хорошие сорта параформальдегида должны содержать не менее 95% Ф. и после сожжения оставлять не более 0,5% золы. α-Полиоксиметилен получается добавлением 1 объема конц. серной к-ты к 10 объемам водного Ф. или из параформальдегида при нагревании последнего с 25%-ной серной к-той или же действием щелочей на 30%-ный раствор Ф.; при нагревании, не плавясь, испаряется: $t°_{пл.}$ 163—168° (в запаянном капилляре). Кристаллич. β-полиоксиметилен—сернокислый эфир полиоксиметилена; получается из концентрированных растворов Ф. при осаждении большим избытком серной к-ты; γ-полиоксиметилен—диметиловый эфир полиоксиметилена, получается при добавлении серной к-ты к растворам Ф., содержащим метанол. Строение δ-полиоксиметилена (получается при кипячении с водой γ-полиоксиметилена) и высокомолекулярного ε-полиоксиметилена до сих пор не выяснено. α-Триоксиметилен $C_3H_6O_3$, полимер Ф. кольцевого строения, получается при пропускании газообразного Ф. в ледяную воду; бесцветные иглы; 100 $см^3$ воды при 18° растворяют 17,2 $г$. В эфире и других органич. растворителях хорошо растворим; $t°_{пл.}$ 63—64° (в запаянном капилляре); $t°_{кип.}$ 114,5°. Сильно летуч при обыкновенной темп-ре; не дает обычных реакций на Ф. и не реагирует с сульфитом. Тетраоксиметилен $C_4H_8O_4$ получается при нагревании в вакууме продуктов взаимодействия между полиоксиметиленом и уксусным ангидридом; длинные иглы; $t°_{пл.}$ 112°. В органич. растворителях растворяется так же, как α-триоксиметилен.

Применение Ф. Особенно большое значение имеют продукты конденсации Ф. с фенолами и крезолами (резолы), ведущей к получению пластич. масс и изоляционных материалов (бакелит, карболит, резинит). Пластич. массы получаются также конденсацией Ф. с казеином (галалит), с *мочевиной* (см.), с клеем, желатиной, альбумином и с другими белковыми веществами. Продукты конденсации с фенолами и мочевиной находят широкое применение в лаковой пром-сти, в приготовлении искусственных дубителей, для проклейки бумаги и т. п. Большое технич. значение имеют препараты Ф.—параформальдегид, гексаметилентетрамин [*уротропин* (см.)] и его бисульфитные и сульфоксилатные соединения. Ф. является также исходным продуктом для получения многих красителей (индиго, розанилин, аурин, акридиновые красители и многие другие). В технике дубления Ф. играет большую роль, особенно при дублении подошвенной кожи (комбинированное дубление). В текстильной пром-сти Ф. применяется для повышения прочности окрасок, для фиксации красителей, пигментов, порошков для облагораживания и отяжеления шелка, повышения прочности искусственного шелка и многих других целей. Широкое применение в крашении, отбелке, печатании находят препараты Ф. — ронгалит, геральдит, декролин и другие соединения с бисульфитом и гидросульфитом. Консервирующие свойства Ф. используются в фотографии и в технике сохранения растительных анатомич. и гистологич. препаратов. Ф. широко применяют как дезинфицирующее средство. В сел. х-ве Ф. применяют для борьбы с вредителями и болезнями растений, для протравливания семян и т. п.

Анализ Ф. Помимо образования характерных соединений с анилином, n-нитрофенилгидразином, дифенилгидразином и т. п. для открытия Ф. служат реакции восстановления аммиачных растворов серебра и многочисленные цветные реакции. Из последних особенно чувствительны: красное окрашивание спиртощелочных растворов флороглюцина, желтое, переходящее в красное окрашивание с резорцином и серной кислотой, реакция с фенилгидразином и нитропруссидным натрием в щелочном растворе и реакция с фуксинсернистой кислотой. Микрохимическое открытие основано на переводе Ф. в характерные кристаллы гексаметилентетрамина. Для количественного определения Ф. особенно пригодны: 1) иодометрич. способ Ромина, основанный на окислении щелочного раствора Ф.,

$$2J+2NaOH=NaOJ+NaJ+H_2O;$$
$$HCHO+NaOJ+NaOH=HCO_2Na+NaJ+H_2O,$$

2) способ окисления Ф. в щелочном растворе перекисью водорода в муравьиную к-ту и определения неизрасходованной щелочи обратным титрованием:

$$2HCHO+2NaOH+H_2O_2=2HCO_2Na+H_2+2H_2O$$

и 3) сульфитный метод, основанный на реакции

$$CH_2O+Na_2SO_3+H_2O=CH_2(OH)\cdot SO_3Na+NaOH$$

(титрование образовавшейся щелочи).

Лит.: Медведев С., Сборник работ Института им. Карпова, М., 1924—25, вып. 3 и 4; его же, Сборник «Природные газы», Москва, 1933; Брюкнер Х., Каталитические реакции в химико-органич. пром-сти, пер. с немецкого, ч. 1, Л., 1932; Goldschmidt K., Formaldehyd, Bonn, 1903; Hess O., Formaldehyd als Desinfektionsmittel, Diss., Marburg, 1898; Hess O., Der Formaldehyd, Marburg, 1901; Klar M., Technologie d. Holzverkohlung unter besonderer Berücksichtigung der Herstellung von sämtlichen Halb- u. Ganzfabrikaten aus den Erstlingsdestillaten, 2 Aufl., B., 1909; Ledbury a. Blair, The Production of Formaldehyde by Oxidation of Hydrocarbons, Special Report 1 Department of Scientific a. Industrial Researche, «Chemistry Research», London, 1927; Lüthy M., Ueber die Konstitution d. polymeren Formaldehyd, Diss., Zürich, 1923; Plaschke E., Ueber die Umwandlung d. Methylalkohols in Formaldehyd nach dem Kontaktverfahren, Diss., Leipzig., 1903; Vanino L. und Seitter E., Der Formaldehyd, 2 Aufl., W.—Lpz., 1927; Merek L. a Hahn D., Oxidation in the Vapor Fase, N. Y., 1932; Rideal E. a. Taylor H., Katalysis in Theory a. Practice, 2 ed., N. Y., 1926.

ФОРМАМИД, амид муравьиной к-ты $HCONH_2$, низший член ряда органич. *амидов кислот* (см.); Ф.—жидкость с $t°_{пл.}$ 2°, $t°_{кип.}$ 193—212°, D^{20}_4 1,139, легко разлагающаяся при перегонке даже при обычном давлении на CO и NH_3. Об остальных свойствах Ф. и его получении см. *Амиды кислот.*

Н. Ельцина.

ФОРМОВКА, см. *Литейное производство.*

ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ в литейном производстве, материалы, из к-рых готовятся формы для отливок; они делятся на две основные группы: а) Ф. м. для разовых форм (гл. обр. формовочные пески, глины и разные формовочные массы) и б) материалы для постоянных и полупостоянных форм (гл. обр. металлы и сплавы, а также шамот, асбест, магнезит, карборунд и т. д.).

1. Ф. м. для разовых форм. Основные требования, к-рым должны удовлетворять Ф. м., сводятся к следующему: зерновая структура, газопроницаемость, связность, огнеупорность, пластичность, податливость, дешевизна и надлежащий химич. состав. Методика испытания Ф. м., принятая в Союзе, базируется на методах, разработанных Америк. ассоциацией литейщиков (A. F. A.). Для определения зерновой структуры употребляется прибор «ротап» (фиг. 1), состоящий из массивной чугунной коробки, в которой помещается передаточный механизм от мотора к вертикальному валику, проходящему внутри задней стойки. Между верхней крышкой и нижней траверсой с одной стороны и двумя боковыми направляющими—с

другой помещаются 9 сит следующих №№: 6, 12, 20, 40, 70, 100, 140, 200 и 270 [номер сита указывает количество отверстий (ячеек) на 1 п. дм.]. Способ определения зернистости сводится к нижеследующему: песок, предварительно освобожденный от глины, высушенный (при $t°$ 110°), просеивается в количестве 50 *г* через все 9 сит, начиная сверху с сита № 6. Определение среднего диаметра производится по принципу определения взвешенного среднего арифметического диаметра. Для этого величину остатка на каждом сите умножают на специальный множитель (приблизительно соответствующий ½ но-

Фиг. 1.

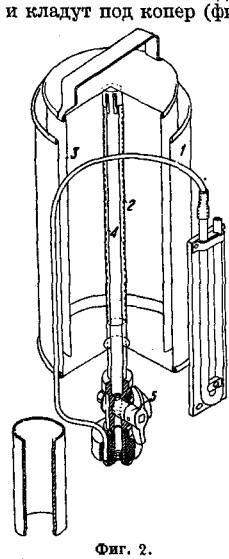
меру предыдущего сита), и частное от деления суммы этих произведений на сумму процентов всех остатков дает средний диаметр, выраженный средним номером сита; т. о. получают ч и с л о з е р н о в о й с т р у к т у р ы. В табл. 1 приведена классификация формовочных песков по содержанию в них глины и по тонкости строения зерновой части (таблицы Америк. ассоциации литейщиков).

Табл. 1.—Классификация формовочных песков.

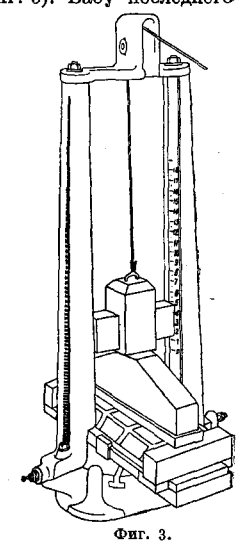
Классы	Содержание глины, %	Классы	Показатель зернистости
A	0,0÷ 0,5	1	200÷300
B	0,5÷ 2,0	2	140÷200
C	2,0÷ 5,0	3	100÷140
D	5,0÷ 10,0	4	70÷100
E	10,0÷ 15,0	5	50÷ 70
F	15,0÷ 20,0	6	40÷ 50
G	20,0÷ 30,0	7	30÷ 40
H	30,0÷ 45,0	8	20÷ 30
I	45,0÷ 60,0	9	15÷ 20
J	60,0÷100,0	10	10÷ 15

О п р е д е л е н и е г а з о п р о н и ц а е м о с т и. Для испытания на газопроницаемость служит следующий прибор (фиг. 2). Медный (луженый) цилиндрич. сосуд *1* имеет идущую от дна к вершине трубку *2*, служащую для выпуска воздуха; внутри сосуда имеется поплавок *3*. От верхней крышки поплавка идет вертикальная трубка *4* внутри трубки *2*. Трехходовой кран *5* закрывает трубку *1* снизу. Отверстие этого крана д. б. не меньше 0,6 *см*² для того, чтобы не было никаких препятствий вытекающему воздуху. Сосуд *1* резиновой трубкой соединяется с цилиндром, в котором помещается проба испытываемого песка; перед испытанием определяется влажность этой пробы. Поплавок *3* градуирован; отметки: X, 0, 1 000, 2 000, что соответствует объему воды в 0, 1 000, 2 000 *см*³. Отметка «X» лежит на 19 *мм* ниже нулевой и имеет целью упростить операции с прибором. При производстве испытания сосуд *1* наполняют водою т. о., чтобы уровень ее отстоял от верхнего края сосуда на 120 *мм*, после чего открывают трехходовой кран *5* до тех пор, пока поплавок *3* не поднимется до отметки «X», после чего кран снова закрывают. Затем сосуд с пробой исследуемого формовочного песка присоединяют к трубке *2*, устанавливают вентиль на средний ход, вследствие чего вытесняемый поплавком воздух должен проходить через пробу песка; при этом отмечают показание манометра. В тот момент, когда поплавок переходит через отметки «0», пускают в ход секундомер. Давление отмечают лишь после того, как оно станет постоянным. В момент перехода поплавка *3* через отметку «2 000» останавливают секундомер, и т. о. устанавливается время, потребное для прохождения воздуха, вытесненного 2 000 *см*³ воды. Для определения газопроницаемости составлены особые таблицы, в к-рых каждому значению давления в приборе дано соответствующее значение газопроницаемости.

О п р е д е л е н и е в я з к о с т и. Метод определения связывающей способности формовочного песка состоит в следующем: приготовленный в количестве 1 000 *г* плюс процентное содержание влаги в пробе испытуемый формовочный песок просеивается через сито в разъемную форму и равномерно распределяется в последней под незначительным давлением при помощи гладилок. Предварительно берется лист промасленной бумаги вдвое большей длины, чем форма, чтобы одна половина его лежала на дне формы, а другая на заглаженной поверхности песка. Затем форму закрывают крышкой с приложенной к ней колодкой из твердого дерева и кладут под копер (фиг. 3). Бабу последнего



Фиг. 2.



Фиг. 3.

весом в 9 070 *г* заставляют падать шесть раз с высоты 40 *см*, затем осторожно разнимают форму и промеряют в трех местах толщину пробного бруска, лежащего на промасленной бумаге. Толщина д. б. по возможности равномерной с отклонениями не более 1,2 *мм* при средней толщине 25,4. Испытание бруска производится

сл. обр.: свободный конец промасленной бумаги закрепляется в прорезе моторного вала; при вращении мотора этому бруску сообщается поступательное движение со скоростью 15 *см/мин*, отчего он отходит от края формы до тех пор, пока не сломается от веса перевисающей своей части; в этот момент мотор выключают, а отломившуюся часть подхватывают предварительно точно вывешенным плоским подносом; затем та же операция продолжается до вторичной поломки и т. д. Если брусок разломается на куски одинакового веса, то все эти куски принимаются в расчет; если же вес какого-либо куска разнится от среднего веса более чем на 10%, то такой кусок отбрасывается; при еще бо́льших отклонениях в весе весь брусок считается негодным. После того как сломаны описанным выше образом 4 бруска, определяют средний вес куска, причем отклонения от него обычно не превышают 5%. Если толщина бруска больше или меньше 25,4 *мм*, то этот вес соответственно пересчитывают, т. е. увеличивают или уменьшают, и затем еще раз пересчитывают т. о., что его относят к сухому песку, для того чтобы получить сравниваемые цифры, относящиеся к различным количествам добавляемой к одному и тому же песку воды, напр.:

Средний вес кусков, *г*	250
Толщина бруска, *мм*	27,9
Вес, пересчитанный на толщину 25,4 *мм*	227,2
Содержание воды в пробе, %	6
Средний вес, пересчитанный на сухой песок, *г*	213,6

Для того чтобы выразить связывающую способность в %, принимают вес отломившегося куска в 500 *г* (чего фактически никогда не бывает) за 100%, т. ч. для данного случая связывающая способность выразится в $\frac{213{,}6 \cdot 100}{500} = 42{,}7\%$.

Испытание на сжатие. Испытание образцов на связность по вышеописанному методу требует большой опытности и занимает сравнительно много времени, поэтому в заводских условиях часто применяется стандартный метод испытания Ф. м. на сжатие (аппарат Адамса, фиг. 4), для чего можно использовать образец после испытания на газопроницаемость, соединив т. о. два испытания в одном. Прибор Адамса для передачи сжимающего усилия на образец использует принцип рычага 1-го рода с меняющейся точкой опоры. Образец устанавливается на площадку *1*, сидящую на одном конце рычага *2* и зажимается верхней площадкой *3*, выдвигаемой из неподвижной траверсы *4*. При вращении ручки *5*, приводящей во вращение винтовой шпиндель *6*, тележка *7*, служащая точкой опоры для рычага *2*, начинает передвигаться влево. При этом плечо неподвижного груза *8* на другом конце рычага *2* начинает увеличиваться, отчего площадка *1* с образцом прижимается все сильнее к неподвижной площадке *3*, пока образец не сломается.

Фиг. 4.

Прочность на сжатие выражается в обычных единицах измерения напряжения материалов, т. е. *кг/мм*^{2} поперечного сечения образца, к-рые отсчитываются по уже готовой разметке на плече прибора. Интересно отметить, что образец ломается наподобие чугунных цилиндрич. образцов на сжатие, т. е. двумя конусами, сложенными у вершин, что характерно для тел с очень низким пределом упругих деформаций. Само испытание очень просто и занимает 2—3 мин., считая изготовление образца. В нек-рых случаях производят испытания формовочного песка на клейкость, поглощение красителей и др. В табл. 2 приведены предельные величины физич. свойств песков, применяемых при различного рода отливках (по данным американской практики).

2. Материалы для полупостоянных (долговечных) форм. Долговечные, или полупостоянные, формы дают целый ряд преимуществ: уменьшение расхода по формовке, очистке и эксплоатации, уменьшение брака и получение мелкозернистых по структуре отливок повышенной прочности. Применение полупостоянных форм может оказаться выгодным даже при малом масштабе производства; в нек-рых случаях такие формы способны дать до 1 000 и более отливок. В случае крупных отливок долговечные формы могут оказаться выгодными даже в случае 3—5 отливок. Для мелких отливок применяются состоящие из двух частей чугунные формы, внутренняя поверхность к-рых имеет огнеупорную футеровку, толщина к-рой зависит от веса отливки. Огнеупорный материал должен обладать следующими качествами: 1) быть достаточно пластичным, 2) обладать таким строением, чтобы не препятствовать отделке формы и легко сохранять острые контуры моделей, 3) сохранять по возможности неизменным свой объем как при сушке, так и при нагревании, 4) давать крепкую и пористую форму с незначительным коэф-том расширения, 5) противостоять химич. и разъедающим действиям расплавленного металла, 6) не растрескиваться при быстром нагревании и охлаждении, 7) обладать низким коэф-том теплопроводности, не развивать при отливке никаких газов и быть совершенно сухим, т. к. только при этом условии возможен значительный подогрев формы. Ниже приведены нек-рые практически испытанные составы для долговечных форм (по работам Смоллея). Состав № 1: 65% гипса, 25% фарфоровой глины, 10% огнеупорной глины (без крупинок). Для улучшения прибавляется немного коровьего волоса. Состав № 2: гипса 10%, фарфоровой глины 36%, хромита 50%, сернистокислого натрия (Na_2SO_3) 4%. Для изготовления состава № 1 на 8 ч. гипса берется 10 ч. воды. Смесь эта д. б. быстро опрыскиваема водой и перемешиваема, пока гипс не начнет подниматься над уровнем воды. Перемешивать надо быстро, но во избежание образования воздушных пузырьков следует избегать вынесения мешалки над поверхностью смеси. Когда смесь приобретет кремообразную консистенцию, немедленно приступают к изготовлению формы. Время осаживания формы 20—30 мин. После этого форма д. б. высушена при 450° в течение 10—20 час., пока не исчезнут все следы влажности, в противном случае форма может лопнуть при отливке. При изготовлении состава №2 гипс, фарфоровая глина и хромит д. б. смешаны сухими, затем сернокислый натрий смешивается с необхо-

Табл. 2.—Предельные величины физических свойств песков, применяемых при отливках (по А. Ф. А.).

Род отливок	Газопроницаемость	Связ. крепость (на излом бруска)	Число зернистости	Содержание связыв. веществ (в %)
I. Легкие отливки серого чугуна				
а) Различное мелкое штучное литье				
Предельные значения	10—20	130—170	150—210	6—14
Крайние величины	6—48	129—246	85—262	4—20
Весьма хорошие результаты (пресс. формовка)	15	138	201	6,6
б) Печные плиты				
Предельные значения	10—15	130—170	180—230	6—14
Крайние величины	7—16	136—181	112—230	9—18
Весьма хор. результ.	12	160	205	14
в) Отливки для плавильных печей				
Предельные значения	15—25	140—180	140—190	8—15
Крайние величины	11—48	130—195	85—234	8—22
Оч. хор. результ. (формов. в почве)	20	160	169	8
II. Средние отливки серого чугуна				
Предельные значения	30—50	150—190	90—140	10—18
Крайние величины	21—49	134—221	86—137	7—25
Оч. хор. результ. (штучное литье)	33	183	127	18
III. Тяжелые отливки серого чугуна				
Предельные значения	60—150	160—220	50— 90	15—25
Крайние величины	39—276	115—247	47—128	10—29
Оч. хор. результ., тяжелое машин. литье (форм. на встряхив. машинах)	96	191	74	21
Оч. хор. результ., тяж. маш. литье (пескомет)	137	131	64	13
IV. Легкие отливки ковкого чугуна				
Предельные значения	5—30	125—180	130—180	6—14
Крайние величины	6—56	118—180	90—292	6—16
Оч. хор. результ., штучн. литье (пресс. формов.)	32	126	130	10
V. Средние отливки ковкого чугуна				
Предельные значения	30—30	130—170	90—130	8—15
Крайние величины	23—49	120—172	82—149	7—16
Оч. хор. результ.	49	160	111	11
VI. Тяжелые отливки ковкого чугуна				
Предельные значения	40— 90	140—180	70—110	8—15
Крайние величины	30—125	124—201	54—136	6—22
Оч. хор. результ., штучн. литье (форм. в почве)	81	180	86	15
VII. Мелк. и средние медные отливки				
Предельные значения	10—25	130—170	190—240	7—12
Крайние величины	5—23	132—221	115—291	7—25
Оч. хор. результ.	22	132	209	9
VIII. Тяжел. медн. отливки				
Судовые отливки	38	135	103	6
Детали насосов	80	191	94	20
Машиностр. литье	36	142	128	10
IX. Алюминиевые отливки				
Предельные значения	5—15	130—170	180—290	8—25
Крайние величины	4—18	140—195	136—294	7—34
Оч. хор. результ.	—	168	188	13

димым количеством воды. Все это смешивается, как и при составе № 1, только здесь рекомендуется более густая консистенция. Сушка д. б. закончена при матовокрасном калении. Оба состава—№ 1 и № 2—хорошо зарекомендовали себя при отливках из алюминия и латуни. Состав № 3: сортированного кокса (керосинового или ретортного) 40—50%, огнеупорной глины 40—50%, фарфоровой глины 5—10%. Для улучшения прибавляется немного коровьего волоса или асбестовой муки. Все смешать до требуемой консистенции с водой или 3-, 8%-ным раствором сернокислого натрия для получения большей прочности. Состав № 4: белый боксит после расплавления его в вагранке дает хороший материал для долговечных форм. Состав его приблизительно таков: Al_2O_3 68,8%; SiO_2 21,4%; окиси титана 3,84%; окиси железа 5,25%; углерода 0,60%; влаги нет. При этом д. б. принято во внимание: 1) усадка этого материала ~ 1%, 2) объем при нагревании почти не изменяется, 3) с водой дает хорошую пластичную массу, 4) д. б. прокален при матовокрасном калении, 5) не растрескивается при повторных нагреваниях и внезапных изменениях $t°$. Для большей прочности формы рекомендуется установка железного каркаса. Состав этот оказался весьма подходящим для отливок из чугуна, бронзы и латуни. Состав № 5: асбеста 2 ч.; фарфоровой глины 0,8 ч.; кварцевого песка 0,2 ч.; глины 1 ч.; раствора Na_2SO_3 5%. Этот состав хорош для легких отливок из бронзы, латуни и чугуна. В качестве огнеупорного материала для более тяжелых отливок из чугуна и стали применяется карборундный песок и сирцит (окись циркония), хотя стоимость долговечных форм из сирцита очень высока. Наиболее выгодными оказались формы из монацитового песка (силикат циркония), к-рый является побочным продуктом при добывании тория и церия. Формы из этого материала не показывают никаких признаков размягчения при $t°$ до 1 500°.

Материалом для постоянных форм служит металл. Основное требование, предъявляемое к таким формам, заключается в том, чтобы $t°_{пл.}$ формовочного материала была выше $t°_{пл.}$ заливаемых металлов. Чем выше $t°$ заливаемого металла, тем большую $t°$-ную нагрузку воспринимает форма и тем скорее подвергается она разрушению. Чтобы увеличить стойкость постоянной формы, разработан ряд мероприятий в зависимости от условий производства. Наиболее простые из них заключаются в том, что форма изнутри, в месте соприкосновения ее с расплавленным металлом, футеруется тонким слоем огнеупорного материала. Иногда форма подвергается искусственному охлаждению сжатым воздухом, водой или специальными маслами с повышенной $t°_{кип.}$ В других случаях прибегают к предварительному подогреву постоянных форм. Интересным с теоретич. точки зрения представляется способ Меерса—пропитывание металлич. формы металлом, обладающим более низкой $t°$ испарения (напр. цинк) по сравнению с $t°$ заливаемого металла. Перед пропитыванием формы протравляют к-той, после чего их помещают в герметически закрытом сосуде с порошкообразным цинком в печь, где этот сосуд выдерживается в продолжение 10—15 час. при $t°$ 500°. Цинк диффундирует вглубь металлической формы и при заливке в последнюю чугуна или стали испаряется, образуя тонкий газовый слой, защищающий

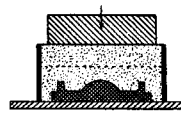
форму от непосредственного воздействия расплавленного металла. Таким способом удается увеличить количество снимаемых отливок с одной формы до 10 000 шт. и более. Не менее интересным является способ увеличения огнестойкости алюминиевых форм, к-рый дает возможность отливать в них стальные отливки. Способ заключается в нанесении (электролитич. путем)на предварительно очищенную поверхность алюминиевой формы тонкой (0,5—0,8 *мм*) пленки окиси алюминия, имеющей $t°_{пл.}$ 2 020°. Тонкий слой окиси алюминия, обладающий помимо высокой огнеупорности еще и минимальной теплопроводностью (коэфициент $\lambda = 0{,}00162$), предохраняет форму от непосредственного соприкосновения с расплавленным металлом и дает возможность получать большое количество стальных отливок.

Главное преимущество постоянных форм состоит в том, что они позволяют в широких пределах изменять скорость охлаждения отливок, а овладеть проблемой управления процессом охлаждения отливок—это равносильно полному освобождению производственников от капризов шихтовки, от случайностей снабжения исходными материалами в деле получения желаемой структуры отливок, а следовательно и в деле получения необходимых механич. свойств отливки. Наиболее распространенными материалами для постоянных форм служат металлы: 1) чугун для отливок с невысокой $t°_{пл.}$ (сплавы свинца, олова и цинка), 2) обыкновенные и легированные стали и специальные сплавы (нихром, бекет-металл и др.) для более тугоплавких металлов (медь, чугун и сталь). Широкое применение постоянные формы нашли в производстве отливок под давлением (чугунные, стальные и из специальных сплавов), в центробежном литье (чугун хромомолибденовый, сталь и пр.). Применение постоянных форм оправдывается в любом случае, когда число отливок, получаемых с одной формы, достаточно велико для того, чтобы окупить повышенную стоимость металлич. формы по сравнению со стоимостью обыкновенной песочной формы.

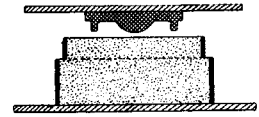
Лит.: Берг П., Курс формовочных материалов, М.—Л., 1933; Карлов К., Формовочные материалы, М.—Л., 1933; Тархов Н., О формовочном песке, М., 1932; Аксенов Н., Оборудование литейных, ч. 1, Механизация приготовления земли, М., 1929; Формовочные материалы, Ленинград, 1930; «Литейное дело», 1928—33. **Н. Рубцов.**

ФОРМОВОЧНЫЕ МАШИНЫ, машины, применяемые в *литейном производстве* (см.) для изготовления разовых форм. Ф. м. в зависимости от рода применяемой энергии можно подразделить на: 1) ручные, 2) гидравлические, 3) пневматические и 4) электрические машины; по технологич. принципу на: 1) прессовые машины, 2) встряхивающие машины, 3) центробежные и специальные машины; по способу освобождения опоки на: 1) Ф. м. с неподвижной подмодельной плитой, 2) Ф. м. с поворотной или перекидной плитой. В Германии предложена следующая классификация Ф. м.: а) машины для ручной набивки форм, в к-рых весь механизм машины состоит из приспособления для подъема опок и опускания модели, б) ручные прессовые, в) механич. прессовые, г) встряхивающие, д) набивочные (штампующие), е) протяжные, ж) центробежные Ф. м. Наибольшее распространение имеют пневматич. Ф. м. вследствие их наибольшей производительности и гибкости. Гидравлич. прессовые машины, обладающие целым рядом преимуществ, в значительной мере вытеснены за последнее время пневматич. машинами.

Вопрос о выборе способа уплотнения формовочной земли (прессованием или встряхиванием) определяется характером и габаритом формуемых деталей. Уплотнение земли при помощи прессовки производится след. образом: наполненная формовочной землей опока с моделью неподвижна, а прессующая колодка нажимом уплотняет землю (фиг. 1а), в этом случае



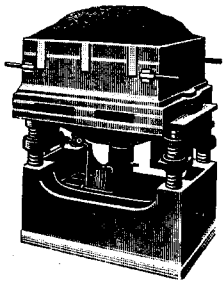
Фиг. 1а.



Фиг. 1б.

уплотнение земли будет максимальным в верхней части опоки и наиболее слабым вокруг модели, в то время как наибольшая плотность формы необходима как-раз в тех слоях формы, к-рые будут непосредственно воспринимать давление расплавленного металла, т. е. в частях, непосредственно примыкающих к модели. Эта разность в уплотнении будет тем больше, чем больше будет высота модели, а следовательно и опоки. Гораздо лучше с производственной точки зрения уплотнение формовочной земли м. б. достигнуто, когда опока, наполненная формовочной землей, прижимается к прессующей доске или же последняя вдавливается в опоку, производя т. о. уплотнение земли (фиг. 1б). В этом случае распределение уплотнения будет более отвечать требованиям технологич. процесса. Во всяком случае уплотнение формовочной земли прессованием применимо и оправдывается полностью лишь при невысоких опоках и при сравнительно несложных по конструкции деталях. Преимущество прессовых машин—исключительно высокая производительность их.

Уплотнение встряхиванием производится сл. образом: опока (фиг. 2), наполненная формовочной землей, ставится на подмодельную плиту, соединенную со столом, к-рый посредством сжатого воздуха может подниматься на определенную высоту, достигнув которой, вследствие прекращения подачи сжатого воздуха, падает, затем следует новый подъем и новое падение и т. д. Под действием толчков земля в опоке уплотняется; схема уплотнения показана на фиг. 3, на к-рой по оси абсцисс отложены уплотнения формовочной земли. Распределение уплотнения в данном случае наиболее отвечает требованиям производства, т. к. максимальная плотность, а следовательно и прочность, будет внизу у модели, т. е. в месте непосредственного соприкосновения расплавленного металла с формой, а к верху опоки плотность постепенно будет уменьшаться. Однако в верхней части опоки, особенно при высоких опоках, степень уплотнения часто бывает настолько незначительна, что требуется дополнительное уплотнение, которое производится или вручную, или пневматич. трамбовкой, или же дополнительным прес-



Фиг. 2.

сованием. Поэтому в смысле производительности встряхивающие машины уступают прессовым, но они являются незаменимыми для формовки больших высоких опок, для которых уплотнение земли прессованием совершенно не подходит. При уплотнении формовочной земли пескометами можно варьировать степень уплотнения в довольно широких пределах путем изменения числа оборотов ковша и скорости прохождения последнего над опокой; обслуживание этих машин производится более квалифицированными рабочими по сравнению с обслуживанием прессовых и встряхивающих машин.

Фиг. 3.

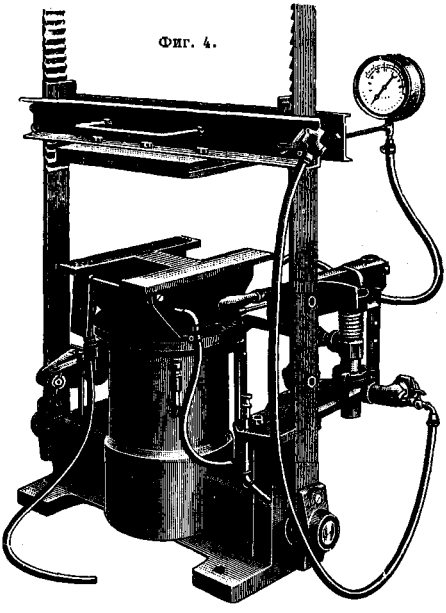
Выбор того или иного способа съема опок с Ф. м. обусловливается исключительно размерами и весом формуемой детали; так напр., если для небольшой опоки с плоской моделью наиболее подходящим способом будет подъем опоки при помощи штифтов, то при высокой модели с тонкими ребрами единственным способом, обусловливающим получение годной отливки, будет применение только протяжной модельной плиты (напр. при формовке ребристых труб). Для формовки нижней опоки целесообразней применять Ф. м. с поворотной плитой; для формовки верхних опок применяют машины с подъемом опок или с протяжной плитой.

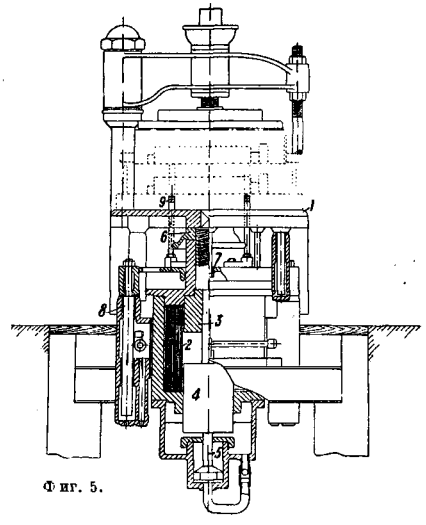
Табл. 1.— Характеристика формовочных машин системы Tabor.

Диам. прессующего цилиндра, мм	Размер опоки, мм	Высота подъема, мм	Вес, кг
250	400×350	75	—
	460×330		500
330	400×350	100	700
	460×330		700
	380×580		700
	510×330		740
	460×350		730
	400×400		750
400	460×460	150	1 100
	420×530		1 160
500	400×660	150	1 400
	460×650		1 450

Из гидравлич. прессовых машин наибольшего внимания заслуживают Ф. м. сист. Зингера (Подольский механич. з-д) как по своей производительности (до 550—600 опок при 3 рабочих в смену), так и по надежности в работе. Пневматич. Ф. м. фирмы Landsberg являются оформлением гидравлич. машин сист. Зингера. Одним из удачных типов пневматич. прессовой машины можно считать Ф. м. сист. Tabor (фиг. 4). Характеристика этих машин приведена в табл. 1. Оригинальной прессовой Ф. м. является выпущенная в Англии электромагнитная машина (фиг. 5). Стол *1* с модельной плитой движется вверх при пропускании тока через соленоид *2*, к-рый состоит из одной или более секций, в зависимости от высоты подъема. Электромагнитный ток намагничивает стационарный *3* и подвижный *4* сердечники. Подвижный сердечник, притягиваясь к стационарному, осуществляет подъем стола *1*. Скорость подъема стола регулируется масляным буфером *5*, а высота подъема определяется расстоянием между стационарным и подвижным сердечниками; это расстояние может изменяться посредством поворачивания маховичка *6*. При своем подъеме стол поднимает вытяжную раму, прикрепленную к столу тягами *7*. Рама наставляется двумя большими штангами *8*, к-рые автоматически захватываются собачками, удерживая раму в верхнем положении. Опока поддерживается штифтами *9*. После

Фиг. 4.



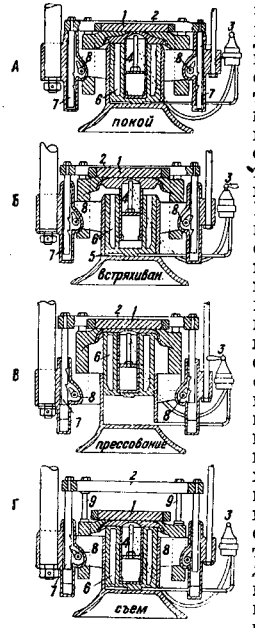


Фиг. 5.

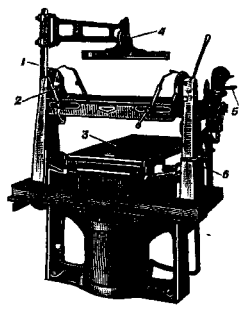
прессовки стол *1* модельной плиты опускается под действием собственного веса, вынимая т. о. модель из опоки. Расход электроэнергии в час при производительности 30 опок не превышает 1,5 kW (при стоимости 1 kW=4 коп.).

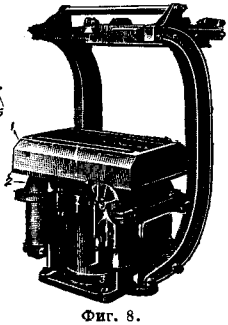
Наибольшим распространением в литейном производстве пользуются встряхивающие

щие Ф. м. с дополнительным прессованием, из к-рых наиболее совершенными с конструктивной стороны следует признать Ф. м. сист. Nichols и Osborn. Ф. м. системы Никольса представляют собой по преимуществу комбинированные встряхивающие машины с дополнительным прессованием. Характерным отличием Ф. м. сист. Никольса является солидная станина, состоящая из цилиндра и направляющих для съемного приспособления. Все управление работой Ф. м. осуществляется посредством одного лишь распределительного клапана: прессовый цилиндр производит лишь одно движение—вверх. Схема работы Ф. м. сист. Никольса показана на фиг. 6. Модельная плита укрепляется на столе *1* и опока (не показана на схеме) соединяется или с модельной плитой или с рамой *2*, служащей опорой опоки. Поворотом рукоятки вентиля *3* направо начинают процесс встряхивания. При этом сжатый воздух входит внутрь под поршень *4*, несущий на себе модельную плиту. Высота подъема поршня, а следовательно удара, автоматически регулируется открытием окон *5* нижним краем поршня *4*. Как только нижний край поршня *4* откроет окна *5*, воздух перетекает в пространство *6* и в атмосферу. Во время встряхивания траверс с прессующей колодкой устанавливается над опокой. По окончании процесса встряхивания рукоятка вентиля поворачивается налево, причем воздух по другому проходу входит в прессующий цилиндр и поднимает оба поршня вместе с модельной плитой, столом *1* и рамой *2* и опокой, прижимая последнюю к прессующей колодке. Поворачивая затем снова рукоятку вентиля *3* в среднее положение, открывают выпускное отверстие прессового цилиндра; стол вместе с модельной плитой и несущая опоку рама падают вниз, причем точное направление движения обеспечивается помимо прессового поршня еще и мощными круглыми штангами *7*. Во время движения эти штанги задерживаются на известной высоте собачками *8*, и рама *2* с заформованной опокой также останавливается, в то время как стол с модельной плитой продолжает падать вниз, освобождая т. о. модель из опоки. Для обеспечения точного вертикального движения стола, несущего модель, служат четыре направляющие штанги *9*, расположенные во встряхивающем столе. Штанги *7* в нижней своей части, равно как и направляющие *9*, погружены в масляную ванну, смягчающую удар и обеспечивающую хорошую смазку. Для того чтобы снять опоку, отводят в сторону траверсу с прессующей колодкой. Для того чтобы возвратить в исходное положение раму *2*, движением ножного рычага повертывают собачки, и рама тотчас же садится на место, причем масляные ванны обеспечивают ей плавное падение. Для высоких моделей м. б. укреплена протяжная плита, на к-рую ставится опока; в этом случае



Фиг. 6.


Фиг. 7.


Фиг. 8.

освобождение модели производится по принципу протягивания. Вибратор, укрепленный на столе, обеспечивает спокойный съем опоки. Если машина снабжена особым рольгангом для отвода опок, готовая опока легко и быстро откатывается в сторону на примыкающий к Ф.м. рольганг, с к-рого она убирается при помощи специальных подъемников. Освобождение модели и откатывание форм не требует ни особых цилиндров ни особых клапанов (модель вынимается из формы тяжестью прессового поршня). Разрез Ф. м. системы Никольса—см. *Литейное производство*, фиг. 11.

Не менее удачной является конструкция встряхивающих машин сист. Осборна, широко распространенных на наших новейших литейных з-дах (ЗИС, ГАЗ, СТЗ, ЧТЗ и др.). Машины Осборна отличаются так же, как и машины сист. Никольса, высокой производительностью. Существует несколько типов этой системы; на фиг. 7 представлена встряхивающе-прессовая машина с поворотной плитой и с автоматич. снятием опок (для нижней опоки), а на фиг. 8—встряхивающе-прессовая Ф. м. для изготовления верхних опок (на фиг. 7: *1*—зажимы для прикрепления опоки к поворотной плите, *2*—поворотная плита, *3*—рольганг для отвода опок, *4*—скребок для очистки излишней земли, *5* — распределительный вентиль, контролирующий рабочие операции машины, *6* — воздушное сопло для вдувания земли со стола машины; фиг. 8: *1*—подъемная рама, *2*—постамент рамы). Обе машины тяжелого типа для крупных опок. Производительность каждой из этих машин 550 опок за 9 час. при 3 рабочих. Размер опок 500 × 750 × 180 *мм*. Широко распространены на наших з-дах машины Осборна № 275-J, действующие сжатым воздухом, представляющие собой один из удачнейших типов для формовки небольших опок (фиг. 9). Характеристики этого типа машин приведены в табл. 2.

Фиг. 9.

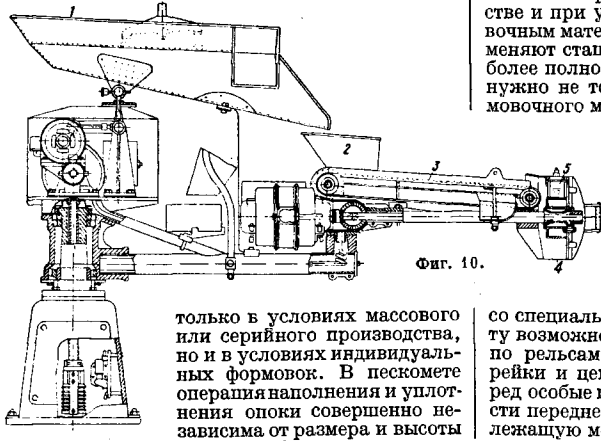
Из Ф. м. для крупных тяжелых отливок можно указать на встряхивающую машину америк. фирмы Герман. Эти машины строятся для самых

Табл. 2.—Характеристики формовочных машин системы Осборна.

Марка машины	⌀ цилиндров, дм.		Стол, дм.	Подъемная сила, кг	Расход воздуха, фт.³	Вес машины, кг
	прессующ.	встряхив.				
271-J	8½	8	14×18	125	2,3	450
275-J	10	8	16×20	125	2,9	550
276-J	13	8½	17×26	200	4,0	645

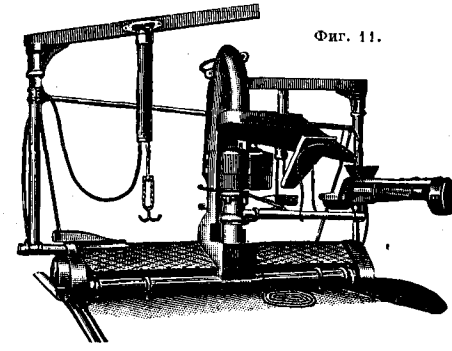
больших опок (размерами 4 × 1,8 *м*); производительность их—1 опока в 8—12 *мин.*; дополнительное уплотнение верхней опоки производится пневматическими трамбовками. Помимо американских машин на наших заводах имеются и нем. машины сист. Баденского з-да, Гутманна, Гайнгольца и др. Как общее правило нем. машины более громоздки по своему конструктивному оформлению, менее производительны и более дороги в эксплоатации. В настоящее время развертывается производство Ф. м. на з-де «Красная Пресня».

Пескометы в отличие от прочих Ф. м. позволяют механизировать работы по формовке не



Фиг. 10.

только в условиях массового или серийного производства, но и в условиях индивидуальных формовок. В пескомете операция наполнения и уплотнения опоки совершенно независима от размера и высоты модели (практически от объема опоки в 0,15 *м*³ и до самых больших величин; высота опоки может доходить до 3 *м*). Формовочный материал, подводимый тем или иным способом к пескомету, падает во встряхивающееся сито *1* (фиг. 10), которое направляет песок в приемную воронку *2*. Из этой воронки песок падает на ленточный транспортер *3*, с которого формовочный материал попадает в распределительную головку пескомета *4*, где он подхватывается вращающимся ковшом *5* и определенными порциями («горстями») бросается с огромной скоростью в опоку, получая то или иное уплотнение. Головка имеет ручку *6*, за которую ее водят над опокой; песок падает в форму со скоростью 13—19 *м/сек.* Производительность пескомета около 20 *м*³ в час. Для получения наиболее удачных отливок необходимо иметь наибольшую степень уплотнения формовочной земли у модели с постепенным уменьшением плотности набивки к наружному краю опоки; при пескомете такое распределение плотности формы достигается легче, чем при всяком другом способе

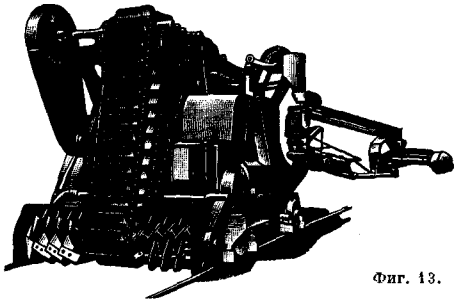

Фиг. 11.

машинной формовки. При массовом производстве и при условии автоматич. питания формовочным материалом (непрерывный процесс) применяют стационарный тип пескомета. Для наиболее полного использования такого пескомета нужно не только механизировать подвод формовочного материала, но и уборку заформованных опок и доставку их к месту заливки. При отсутствии специальных приспособлений для транспорта формовочного материала, подачи и уборки опок и т. п. наиболее подходящим типом является переносный пескомет (см. *Литейное производство*, фиг. 12). На фиг. 11 изображен тракторный тип пескомета со специальным устройством, дающим пескомету возможность передвигаться в литейной или по рельсам или же при помощи специальной рейки и цепей. При движении пескомета вперед особые шнеки, расположенные в нижней части передней рамы пескомета, забирают землю, лежащую между рельсами, по к-рым движется машина, и сгребают ее от краев к расположенному посредине передней рамы приемнику элеватора, который подает формовочную землю в рабочую головку пескомета. С машиной скреплены и движутся с ней заодно одна или две тележки, на которых

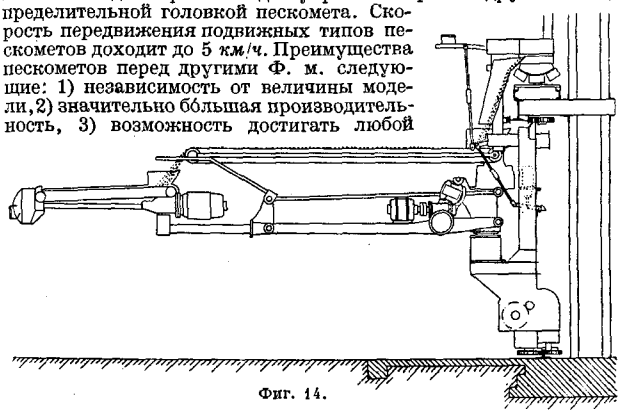
Фиг. 12.

монтированы модельные плиты с приспособлениями для подъема опок и т. д. Сравнительно незначительную модификацию тракторного пескомета представляет собою т. н. подвижной пескомет (фиг. 12), отличающийся от тракторного отсутствием шнеков, питающих пескомет формовочным матери-

алом. Взамен шнеков описываемый вид пескомета имеет достаточной емкости бункер, монтированный заодно с нижней рамой пескомета. Локомотивный тип пескомета (фиг.13) представляет собою тракторный пескомет с приспособлением для автоматич. приготовления земли. Подобный пескомет для своего обслуживания требует одного машиниста на установке для приготовления земли и управления моторами машины и одного рабочего для управления распределительной головкой пескомета. Скорость передвижения подвижных типов пескометов доходит до 5 *км/ч*. Преимущества пескометов перед другими Ф. м. следующие: 1) независимость от величины модели, 2) значительно бо́льшая производительность, 3) возможность достигать любой степени уплотнения в той или иной части формы, 4) отсутствие фундаментов в дорого стоящей гидравлической или пневматической сети, 5) возможность использования пескометов в любых условиях литейных цехов и для любых формовочных работ. За последнее время появился ряд новых конструкций пескометов, напр. консольный пескомет (фиг. 14). Из Ф. м. специального назначения следует отметить машину Ардельта для формовки труб. Набивочная машина приводится в движение мотором в 2,5 HP и делает 120—160 ударов в минуту. Для набивки опоки 3- или 4-дм. трубы длиною 3 *м* требуется времени ок. 1 мин., для 10-дм.—не более 2 минут.



Фиг. 13.



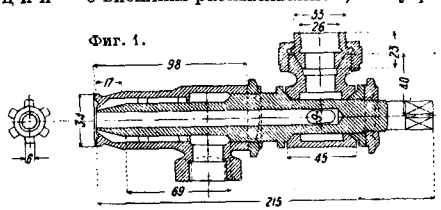
Фиг. 14.

Лит.: Аксенов Н., Оборудование литейных мастерских, ч. 2, М., 1929; Рубцов Н., Механизация литейного цеха, М.—Л., 1932; Тимм Э., Труболитейное производство, пер. с нем., М.—Л., 1932; Handbuch d. Eisen- u. Stahlgiesserei, hrsg. v. C. Geiger, B. 2, 2 Aufl., B., 1927.

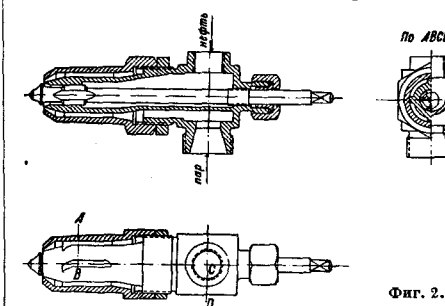
Н. Рубцов.

ФОРСУНКИ, горелки, приборы, с помощью к-рых пульверизируется (распыливается) жидкое, газообразное и твердое порошкообразное топливо. 1) Ф. для жидкого топлива различаются: а) по конструкции выходных отверстий (сопел)—круглые (фиг. 1—3) и плоские (фиг. 4), б) по роду пульверизации — паровые, воздушные, механические, паро-механические и воздухомеханические, в) по месту пульверизации — с внешним распыливанием, с внутренним распыливанием без эжектора и с внутренним же распыливанием, но с эжектором. Пар или воздух в Ф. с внешним распыливанием вступает в соприкосновение с мазутом вне самой Ф., в остальных же Ф.—внутри их; из последних Ф. выходит уже не мазут, а паро-мазутная эмульсия. Под круглыми Ф. подразумеваются те, к-рые состоят из двух концентрич. трубок; один конец их имеет мунлштук (сопло), а на другом конце — отростки для присоединения труб, подводящих пар или воздух и жидкое топливо. При этом пар или воздух подводится или в кольцевое пространство, образуемое внутренней и внешней трубками, или во внутреннюю трубку. Первые Ф. были введены Шпаковским; в настоящее же время из этого типа Ф. наиболее распространены в СССР Ф. системы Шухова (фиг. 1) и Вагенера (фиг. 2). Второго типа Ф., сконструированные по типу Уркарта, известны в СССР под марками «ТИ» (Теплотех. институт им. Ф. Дзержинского), «КТО» (фиг. 3, бывш. Котлотурбина, ныне Главэнергопром) и Данилина.

Фиг. 1.

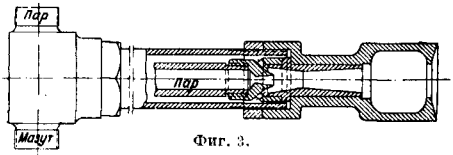


Форсунка системы Шухова (фиг. 1) делается из фосфористой бронзы на нормальную производительность до 200 *кг* мазута (нефтяных остатков) в 1 час. Расстояние между кольцевыми щелями их, устанавливаемое при помощи штангенциркуля, делается обычно равным 0,5—1,0 *мм*, при больших расстояниях между кольцевыми щелями значительно увеличивается расход пара на пульверизацию мазута. Положение кольцевых щелей фиксируют шестигранной гайкой. Количества подаваемых



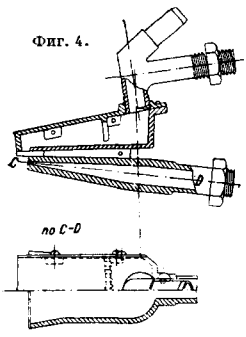
Фиг. 2.

в Ф. мазута и пара изменяются с помощью вентилей (кранов), находящихся на соответствующих трубопроводах. Ф. может устанавливаться в любом положении (горизонтально, наклонно, вертикально) в зависимости от формы топочного пространства.



Фиг. 3.

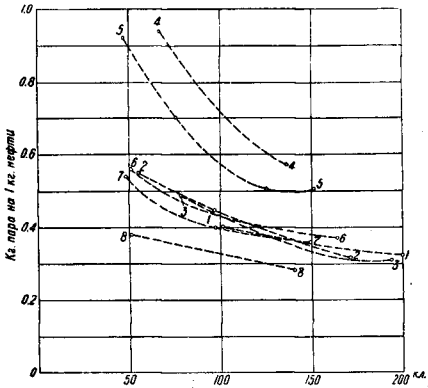
Ф. системы В а г е н е р а (фиг. 2), выполняемая из фосфористой бронзы, имеет нормальную производительность до 230 *кг* мазута в 1 час. Существенное отличие этой Ф. от Ф. сист. Шухова заключается в том, что она имеет приспособление для регулировки нефтяной щели, состоящее из специального сердечника, к-рый может передвигаться в ту и другую сторону во время работы Ф. с помощью маховичка, надеваемого на штифт, находящийся на конце, противоположном выходным отверстиям. При этом паровая щель во время работы Ф. меняться не может. Близка по конструкции к Ф. сист. Вагенера Ф. сист. Папа-Федорова, имеющая также внутренний сердечник для регулировки нефтяной щели. Количество пара, подаваемое по концентрическому кольцевому каналу в обеих этих Ф., может регулироваться только с помощью вентиля, находящегося на соответствующем паропроводе. Обе эти форсунки с внешн. распыливанием мазута. Ф. «ТИ» и «КТО» работают по принципу эжекции, т. е. пар, проходя через центральное сопло, засасывает мазут, подводимый по кольцевому каналу. В диффузоре и в распылительной камере происходит распыливание мазута, после чего паромазутная эмульсия поступает в топку.



Фиг. 4.

Паровые Ф. с плоскими щелями для мазута и пара делаются или наподобие Ф. с круглыми щелями (Гартмана), или с прокладкой стальной тонкой пластинки (Перловского), или сваренными автогенным способом (Геншке), или собранными на скобах из газовых труб со сплюснутыми концами (ЛПК — лаборатории паровых котлов МВТУ), или наконец литыми из бронзы с постановкой сопел под нек-рыми углами (фиг. 4—Омега-Смагина, Первушина и др.). Сравнение круглых и плоских Ф. производится как по расходу пара W_ϕ *кг/кг* на пульверизацию 1 *кг* мазута, так и по тому давлению P_ϕ, к-рое требуется для пульверизации мазута при одной и той же производительности их. Для всех Ф. W_ϕ уменьшается, а P_ϕ увеличивается с увеличением нагрузки Ф., причем уменьшение W_ϕ для плоских форсунок идет лишь до того предела, пока не увеличится давление пара настолько, что паровая щель начнет расширяться; с этого момента начинает увеличиваться расход пара на пульверизацию мазута.

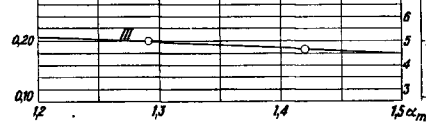
Для разных конструкций Ф., как это видно из фиг. 5, W_ϕ может колебаться в довольно больших пределах (на диаграмме фиг. 5 плоские Ф. обозначены цифрами *1—3* и *7—8*, остальные—круглые); точно так же для одной и той же Ф. и при одной и той же производительности ее W_ϕ может меняться в зависимости от ухода за ней (засорение щелей, неправильная установка щелей и т. п.) и от того, впускается ли в нее только минимально нужное количество пара для полной пульверизации мазута или то или иное большее, не обусловленное необходимостью полной пульверизации мазута. Имеет также влияние на величину W_ϕ избыток воздуха α_m, с к-рым ведется процесс сгорания мазута, причем при одной и той же



Фиг. 5.

производительности Ф. B_ϕ расход пара на пульверизацию 1 *кг* его уменьшается с увеличением α_m (см. кривую *III* на фиг. 6).

На графике значится: *I*—зависимость P_ϕ от α_m при B_ϕ=395 *кг/ч*=Const; *II*—зависимость B_ϕ от α_m при P_ϕ=7,8 *atm* изб.=Const; *III*—зависимость W_ϕ от α_m при B_ϕ=400 *кг/ч* = Const. Вместе с тем сорт мазута, т. е. беспарафинистый или парафинистый, не оказывает какого-либо заметного влияния на W_ϕ, если только

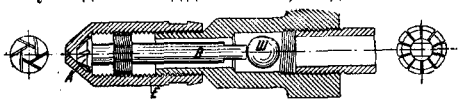


Фиг. 6.

$t°$ его поддерживается в соответствии с наличной маркой. Что же касается давления пульверизующего пара, то оно меньше для тех Ф., для к-рых больше W_ϕ. Пределом же необходимого давления пара для большинства Ф. можно считать 5—10 *atm* изб. и лишь нек-рые (напр. Данилина) требуют до 15,0 *atm* изб. Длина факела получается меньшей у плоских Ф. (напр. при расходе мазута на Ф. 200 *кг/ч* длина факела была: для Ф. сист. Шухова 4,5 *м*, Ф. сист. Вагенера 5,0 *м*, а для плоской америк. Ф.

сист. Best 4,0 *м*). Мазут подается во все описанные Ф. самотеком из расходных баков, располагаемых выше установочной оси Ф.

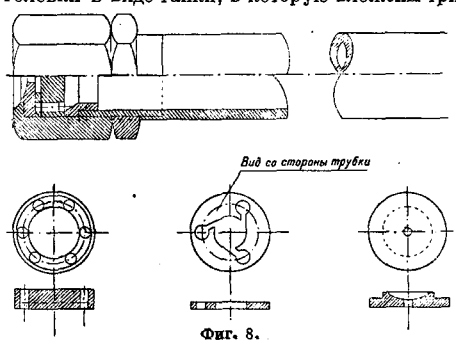
В отличие от этих Ф. имеются т. н. механические или беспаровые Ф., в к-рые мазут подается под давлением, создаваемым на-



Фиг. 7.

сосом или каким-либо аппаратом, находящимся под давлением воздуха. Из последнего типа Ф. в СССР наиболее распространены: «Атом» Григорьева, Бабкок-Вилькокса, Трейера и Котляренко. Ф. «Атом» (фиг. 7) состоит из полого сопла, внутри которого по резьбе передвигается игла (сердечник) *B* с конич. насадком *A*, имеющим шесть косых канавок, назначенных для завихривания мазута. Чтобы мазут при срыве головки *E* не попал в топку в большом количестве, имеется шар *III*, к-рый в данном случае должен играть роль обратного клапана, т. е. закрывать отверстие и тем самым прекращать подачу мазута в Ф. Диаметр выходного отверстия в зависимости от пропускной способности его делается 0,75—2,5 *мм*; последний диаметр соответствует расходу мазута в 250 *кг/ч* на сопло, причем подаваться мазут должен при давлении ок. 10 *atm* изб.

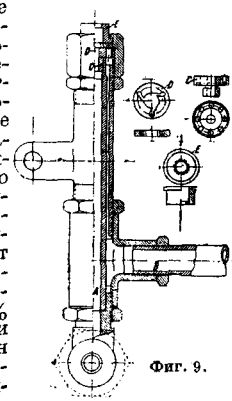
Ф. сист. Бабкок-Вилькокс (фиг. 8) состоит из головки в виде гайки, в которую вложены три



Фиг. 8.

шайбы, причем мазут, подаваемый под давлением, проходит сначала первую шайбу с шестью сквозными отверстиями у внешней окружности, выходящими в кольцевую канавку на выходном конце. Пройдя же через эти шесть отверстий, мазут вступает в три отверстия второй шайбы, также расположенные у внешней окружности. В виду наличия у этой шайбы щелевых каналов, направленных по касательной к центральному отверстию, мазут начинает вращаться с большой скоростью, а это ведет к его распыливанию. Для надежной работы Ф. необходимо, чтобы все три шайбы вполне плотно прилегали друг к другу. Диаметры шайб берутся в зависимости от требуемой производительности форсунки.

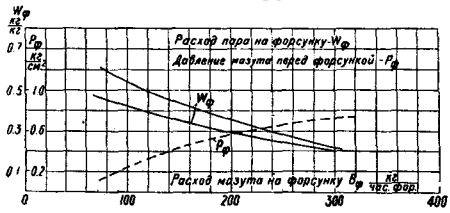
Механич. Ф. для печей (напр. цементных) делаются по типу, сходному с вышеуказанными, причем в виду их производительности 1 000—1 500 *кг/ч* приходится подавать мазут с давлением ~ 20 *atm* изб. Эксплоатация чисто механич. Ф. выявила следующие основные недостатки: 1) износ кладки топки больше, чем при паровых Ф.; для сохранения кладки необходимо применить экранирование топки; 2) сложность регулировки подачи мазута в топку, т. к. при меняющихся нагрузках приходится вводить большее или меньшее число Ф.; 3) растопка холодных топок ведется либо с дымом либо со значительно бо́льшим избытком воздуха, чем то бывает в случае паровых Ф.; при форсированной растопке страдает кладка топки; 4) требуют весьма тщательной фильтрации мазута; 5) в силу сложности устройства обслуживание их должно поручаться персоналу с более высокой квалификацией, чем при паровых Ф. К достоинствам механич. Ф. следует прежде всего отнести сохранение конденсата, т. к. насосы могут приводиться в действие электроэнергией. При механич. Ф. также создаются более благоприятные условия работы для обслуживающего персонала в силу отсутствия того шума, который производят все паровые Ф. Что же касается расхода топлива, то при одинаково хороших эксплоатационных условиях расход топлива при механической форсунке будет по сравнению с расходом топлива при паровой форсунке на 2—3% меньше. Выбор того или иного типа Ф. должен быть обусловлен экономически-эксплоатационными соображениями,



Фиг. 9.

причем устанавливать механически Ф. рекомендуется при поверхности нагрева котлов не ниже 200—250 *м*².

Последний тип Ф. для жидкого топлива — это паромеханические и воздухомеханические, т. е. те, в к-рые мазут подается под давлением, а пульверизация идет паром или воздухом. В СССР наиболее распространены из этого типа Ф. сист. Бабкок-Вилькокс и Варганова. Паромеханические Ф. сист. Бабкок-Вилькокс (фиг. 9) состоят из двух трубок, причем по внутренней из них движется мазут, а по кольцевому пространству подается пар. В трубку *A* ввернута головка *C* с центральным отверстием для прохода мазута и с 8 отверстиями, расположенными у внешней окружности. Вслед за



Фиг. 10.

этой шайбой установлена шайба *D* того же типа, как и чисто механич. Ф. (фиг. 8), и наконечник *E*. Для необходимой плотности между шайбами и наконечником имеется контргайка. Пар, поступая по трубке *B*, проходит через 8 отверстий в кольцевой канал головки *C*, а из

него попадает в 3 отверстия следующей шайбы, где, поворачиваясь под прямым углом, направляется по косым канавкам к центральному отверстию шайбы, по которому поступает мазут. Мазут приводится паром во вращательное движение, после чего паро-мазутная эмульсия вылетает через наконечник *E* в топку в завихренном состоянии. Ф. эта работает довольно экономично (фиг. 10).

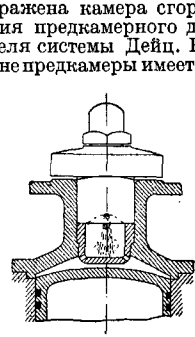
Ф. сист. Варганова имеет сердечник для завихривания как мазута, так и пара. Ф. эта, как и Ф. сист. Бабкок-Вилькокс, кончается камерой распыливания, только с несколько суженным сечением. Ф. сист. Варганова трудно регулируется, требуя постоянства давления пара. Во вращающихся печах цементного и других производств применяются воздухомеханические Ф. с наконечниками по одному из указанных типов. Давление воздуха 3—5 *atm* изб., мазута—до 20 *atm* изб.

Лит.: Кирш К., Котельные установки, Москва, 1926; Лунц А., Топки для мазута, М.—Л., 1932 (с атласом); Корницкий С., Работа с нефтяными топками, М.—Л., 1931; Черножуков Н. и Григорян Г., Парафинистый мазут и его применение, М., 1929; Варганов В. и Григорян Г., Приборы для сжигания жидкого топлива, ч. 1, М.—Л., 1928; Григорян Г., Парафинистый мазут как топливо, 2 изд., М.—Л., 1926; Ставровский А., Расход и давление пара на пульверизацию при разных конструкциях и нагрузках паровых форсунок, «Известия Механич. ин-та И.М.Т.У.», М., 1907, «Бюлл. Политехнич. об-ва при И.М.Т.У.», М., 1906, *4*; Котляренко В., Беспаровое пневматикоаккумуляторное нефтеотопление, Ленинск, 1926; Ставровский А., Форсунки из газовых труб, М., 1915; *Современное состояние сжигания жидкого* топлива, «Тепло и сила», Москва, 1930, *12*; Рафалович И., О рационализации сжигания нефтетоплива в промышленных печах, там же, 1930, *12*; Савельев П. и Колесников С., Из практики распыливания мазута в форсунках сжатым воздухом, «Вестник Моск. об-ва технич. надзора», М., 1925, *1*; Юнг В., Типы английских и американских форсунок, там же, 1925, *1*; Лунц А. и Померанцев Б., Мазутные топки с паровыми форсунками Котлотурбины, «Тепло и сила», Москва, 1933, *7*; Грановский Р., Котельные установки, Москва, 1933; «ИТИ», 1925, *4* (*6*), 1927, *2* (*25*); «ИТИ», 1926, *1* (*14*); Николаев И., К вопросу о конструкции нефтяных топок для котлов большой мощности при форсунках с механическим распыливанием, «ИТИ», 1928, *5* (*38*); «ИТИ», 1925, *11* (*13*). **А. Ставровский.**

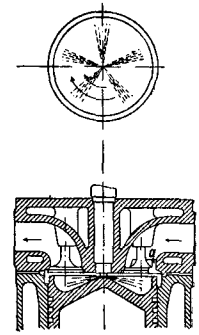
Форсунки двигателей внутреннего сгорания.

Форсунками двигателей внутреннего сгорания (в первую очередь двигателей Дизеля) являются аппараты, служащие для ввода топлива в рабочий цилиндр, распыливания этого топлива и его перемешивания с воздухом. Распыливание топлива на мелкие капли необходимо для двух целей: 1) для быстрого восприятия тепла из окружающего горячего воздуха, необходимого для нагревания до $t°$ самовоспламенения; 2) для хорошего охвата всей массы топлива воздухом, необходимым для его сгорания.

Классификация методов распыливания. В зависимости от энергии различают следующие три основных способа распыливания. 1) Пневматическое распыливание осуществляется сжатым воздухом при давлении до 60—70 *atm*, причем кроме насоса, служащего в данном случае только для подачи топлива из бака к Ф., двигатель д. б. снабжен специальным компрессором. 2) Струйное распыливание и смесеобразование получается посредством насоса, подающего топливо к Ф. при максимальном давлении в 200—350 *atm*, а в отдельных случаях и при 600—700 *atm*. Столь высокое давление обусловлено наличием в форсуночном сопле мелких отверстий с диам. 0,2—0,8 *мм*. Из этих отверстий струи топлива с большой скоростью поступают в рабочий цилиндр, где разбиваются на отдельные капли. 3) Способ предкамерного распыливания. Топливо под давлением в 60—70 *atm* впрыскивается Ф. в небольшую предкамеру. На дне предкамеры имеется ряд отверстий, посредством которых она сообщается с камерой сжатия рабочего цилиндра. Так как объем предкамеры даже при большей ее величине составляет только 25—30% от объема воздуха, заключенного в общем пространстве сжатия (камера сжатия рабочего цилиндра + предкамера), то впрыснутое топливо сгорает в предкамере лишь частично. Образующиеся при этом газы выбрасывают из форкамеры несгоревшую часть топлива с продуктами его частичного разложения и испарения в главную камеру сгорания, где после перемешивания с воздухом полностью завершается процесс сгорания всего впрыснутого топлива. Для впрыскивания топлива в предкамеру применяются Ф. такого же типа, как и при струйном распыливании, но в отличие от последних они почти всегда имеют только одно отверстие и сравнительно большого диаметра. На фиг. 11 изображена камера сгорания предкамерного дизеля системы Дейц. На дне предкамеры имеется



Фиг. 11.

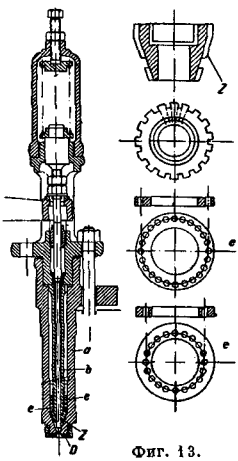


Фиг. 12.

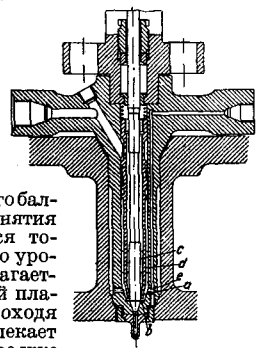
12 отверстий ⌀ 4,5 *мм*. Диам. отверстия Ф. равен 0,7 *мм*. Процесс впрыскивания топлива у форкамерных дизелей почти еще не исследован. В основном он характеризуется следующим: топливо впрыскивается в форкамеру при низком давлении и поэтому оно находится в состоянии недостаточного распыления. Дополнительное распыливание топлива при его выбрасывании из форкамеры продуктами сгорания повидимому не имеет места, потому что истечение из форкамеры в рабочий цилиндр происходит под небольшим избыточным давлением, равным при вышеуказанных относительных размерах форкамеры (25—30%) 3 *atm* согласно Модерзону и 5—6 *atm* по Зейлигеру. При таком перепаде давления кинетич. энергия продуктов сгорания благодаря их большому количеству все же велика. По подсчетам Модерзона она не меньше, чем при пневматич. распыливании, и обеспечивает интенсивное перемешивание содержимого форкамеры с воздухом рабочего цилиндра. Способ струйного и предкамерного распыливания у быстроходных дизелей часто совмещается с распыливанием при помощи специального завихрения воздушного заряда в рабочем цилиндре. Последнее достигается либо особой конфигурацией камеры сгорания, позволяющей при ходе сжатия получить интенсивные вихревые движения воздушного заряда, либо таким расположением всасывающего клапана, которое обеспечивало бы вихре-

вое движение засасываемого воздуха. Иногда для сообщения засасываемому воздуху определенного направления движения всасывающий клапан снабжается специальным козырьком *a*, как это изображено на фиг. 12.

I. Пневматическое распыливание. Применяются гл. обр. 2 типа Ф.: 1) Ф. с пластинчатым распылителем и 2) Ф. с гильзовым распылителем или с кольцевой щелью. Форсунка с пластинчатым распылителем изображена на фиг. 13. Корпус Ф. вставляется в гнездо цилиндровой крышки и укрепляется в нем шпильками. В корпусе Ф. *a* находится втулка *b*, в к-рой движется игла. К концу втулки привинчивается распылитель *Z*, снабженный ребрами для направления топлива и воздуха к соплу *D*. На втулку *b* надеваются 4—6 пластинок *e*, *e*, в к-рых имеется ряд отверстий, расположенных по окружности, причем диаметры последних у двух соседних пластинок неодинаковые. Кроме того эти отверстия пластинок сдвинуты друг относительно друга в горизонтальной плоскости так, что топливо до поступления в сопло *D* проходит извилистый путь, что благоприятствует его распылению. Пластинки удерживаются на одинаковом расстоянии между собой промежуточными кольцами. Игла у всех компрессорных дизелей перемещается принудительно от рычага, приводимого в движение специальной кулачной шайбой, не показанной на чертеже. При подъеме иглы распыливающий воздух под давлением в 55—70 *atm* устремляется из постоянно соединенного с компрессором воздушного баллона в Ф. Еще до поднятия иглы Ф. заполняется топливом настолько, что уровень топлива располагается над самой верхней пластинкой. Воздух, проходя через пластинку, увлекает с собою топливо, к-рое уже в распыленном виде поступает через сопла в рабочий цилиндр двигателя.



Фиг. 13.



Фиг. 14.

Более совершенным типом Ф. для пневматич. распыливания является Ф. с гильзовым распылителем, изображенная на фиг. 14, в конструктивном выполнении фирмы «Friedr. Hrupp-Germaniawerft». В этой Ф. имеется два кольцевых пространства *c* и *d*, образованных гильзой *a* и соединенных между собой внизу щелью *b*. Топливо, поступающее из отверстия *e*, заполняет до нек-рого уровня пространство *d* и лишь в незначительном количестве проникает через щель *b* в пространство *c*, через которое при подъеме иглы проходит воздух. До передвижения иглы давление в пространствах *c* и *d* одинаковое. Как только игла переместится в сторону, противоположную от сопла, в наиболее узком сечении пространства *c* (у щели *b*) устанавливается большая скорость воздуха, протекающего вдоль иглы к соплу. Вследствие этого давление в этом сечении уменьшается по сравнению с давлением в пространстве *d* над топливом, и последнее под влиянием получившейся разности давлений проникает в щель *b* и захватывается здесь воздухом. Главное отличие между действием обоих разобранных типов распылителей заключается в том, что при пластинчатом распылителе по мере уменьшения количества топлива в корпусе Ф., вследствие его выдувания распыливающим воздухом, поверхность обтекания топлива последним за время перемещения иглы уменьшается, в то время как у гильзового распылителя эта поверхность (у щели *b*) в течение всего процесса распыливания сохраняет постоянную величину. Отсюда возникают недостатки пластинчатого распылителя и преимущества второго типа. К концу процесса распыливания воздух увлекает относительно меньшее количество топлива, чем в начале процесса, что имеет место при недогрузке двигателя, когда в Ф. содержится меньшее количество топлива, т. к. в этом случае смачивается меньшее число пластинок и поэтому их общее дросселирующее влияние уменьшается, и почти все топливо, содержащееся в Ф., выдувается из нее тотчас же после подъема иглы. Последнее обстоятельство вызывает два вредных последствия: 1) при поступлении сразу почти всей порции топлива, предназначенной на один рабочий ход, в цилиндре получается значительное повышение давления (пики в индикаторной диаграмме); 2) с пластинок распылителя к концу периода подъема иглы сдувается начисто все топливо воздухом, в изобилии поступающим в цилиндр. Поэтому к следующему рабочему ходу при подъеме иглы уже не выбрасывается «запальная» капля топлива, т. е. то топливо, к-рое собирается у конуса иглы до ее подъема и, попадая в цилиндр до поступления холодного воздуха, при воспламенении повышает $t°$ близ форсуночного сопла. Вследствие отсутствия при малой нагрузке двигателя запальной капли сильное охлаждение пространства сгорания большим количеством холодного воздуха может привести к пропуску самовоспламенения топлива. Дальнейшим недостатком пластинчатого распылителя является его большое гидравлич. сопротивление. Этот недостаток в другом отношении связан с благоприятной для работы двигателя особенностью, заключающейся в том, что извилистый путь топлива через отверстия пластинок способствует хорошему распыливанию топлива. Гильзовый распылитель благодаря постоянству величины поверхности соприкосновения топлива с воздухом за время подъема иглы обеспечивает равномерную подачу топлива в цилиндр при всех нагрузках двигателя, обладает меньшим гидравлич. сопротивлением, чем пластинчатый распылитель, и уступает последнему только в совершенстве распыливания. Благоприятной особенностью пневматич. распыливания является получение наименьшей величины капель топлива по сравнению с другими выше перечисленными способами. Смесеобразование при пневматич. распыливании топлива, если не производить регулирования давления распыли-

вающего воздуха, плохо приспосабливается к изменениям режима работы двигателя.

На основании теоретических соображений можно считать: 1) что энергия, затрачиваемая на распыливание топлива, ничтожно мала (порядка нескольких десятых %) по сравнению со всей энергией распыливающего воздуха, расходуемой гл. обр. на смесеобразование в рабочем цилиндре; 2) что при выходе из устья сопла воздух и топливо обладают одинаковой скоростью. Тогда для идеальной Ф. без гидравлич. потерь имеем

$$G_e \frac{w_1^2}{2g} = G_b \frac{w^2}{2g} + G_e \frac{w^2}{2g}; \qquad (1)$$

отсюда

$$w = \frac{w_1}{\sqrt{1+x}},$$

где $x = \frac{G_b}{G_e}$; G_e—вес распыливающего воздуха (в *кг*), поступающего в рабочий цилиндр за период подъема иглы; G_b—вес топлива (в *кг*), вдуваемого за 1 рабочий ход двигателя; w_1—скорость истечения распыливающего воздуха (в *м/сек*), обусловленная перепадом давления между Ф. (до соприкосновения с топливом) и камерой сгорания двигателя; w—общая скорость (в *м/сек*) топлива и воздуха в устьи сопла; $g = 9{,}81$ *м/сек*^{2}—ускорение силы тяжести. Если f—постоянное сечение сопла, γ_e и γ_b—уд. в. воздуха и топлива и $t = \frac{\varphi}{6n}$—время открытия сопла (в ск.) при угле открытия $\varphi°$ и n об/мин., то имеем равенство:

$$f = \frac{G_e}{tw\gamma_e} + \frac{G_b}{tw\gamma_b} = \frac{G_b}{tw}\left(\frac{G_e}{G_b\gamma_e} + \frac{1}{\gamma_b}\right); \qquad (2)$$

заменяя

$$\frac{G_b}{G_e} = x \quad \text{и} \quad w = \frac{w_1}{\sqrt{1+x}},$$

получим

$$f = \text{Const} = \frac{G_b\sqrt{1+x}}{tw_1}\left(\frac{1}{x\gamma_e} + \frac{1}{\gamma_b}\right); \qquad (2')$$

так как при всех нагрузках двигателя от 0 до нормальной нагрузки $x < 1$, достигая значения $x \cong 1$ лишь при нормальной нагрузке, то $\frac{1}{\gamma_b} = \frac{1}{900}$ *м*^{3}*/кг* очень мало по сравнению с $\frac{1}{x\gamma_e}$, которое при температуре и давлении распыливающего воздуха в сопле ($t \cong 50°$ C и $p = 35$ *кг/см*^{2}) равно $\frac{1}{x\gamma_e} = 0{,}027$ *м*^{3}*/кг* для $x = 1$. Поэтому ф-лу (2′) можно переписать следующим образом:

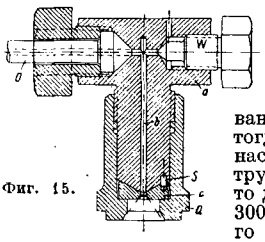
$$\frac{1}{tw_1\gamma_e}\frac{G_b}{\left(\frac{x}{\sqrt{1+x}}\right)} = \text{Const}. \qquad (2'')$$

При работе с постоянным числом оборотов (n = Const) G_b увеличивается с возрастанием нагрузки. Изменение качества смесеобразования в зависимости от возрастания нагрузки требует увеличения затраты энергии $G_e \frac{w_1^2}{2g}$, что при постоянном давлении (и следовательно при постоянной скорости истечения воздуха w_1) равносильно требованию увеличения количества расходуемого воздуха G_e. Между тем в виду постоянства сечения сопла (f = Const) равенство (2″) только тогда может удовлетвориться, когда $x = \frac{G_b}{G_e}$ возрастает скорее, чем G_b. Это означает, что при отсутствии регулирования давления (и следовательно скорости w_1) для режима n=Const количество расходуемого воздуха будет с нагрузкой не возрастать, как это требуется для хорошего смесеобразования, а убывать. В результате имеем при больших нагрузках плохое сгорание и увеличение удельного расхода топлива. При недогрузке, когда x убывает скорее, чем G_b, и вместе с тем чрезмерно возрастает G_e, охлаждающее действие большого количества воздуха опять вызывает увеличение удельного расхода топлива. При значительной недогрузке, когда Ф. оказывается уже неспособной поддерживать постоянное отношение $\frac{G_b}{G_e}$, и в начале процесса сгорания в рабочий цилиндр попадает слишком много топлива, получаются пики на индикаторной диаграмме или же пропуски вспышки вследствие полного выдувания топлива из Ф. Из вышеизложенного следует, что для того чтобы стационарный двигатель (n=Const) оказался хорошо приспособленным к работе при изменяющейся в широких пределах нагрузке, необходимо регулировать количество энергии смесеобразования $G_e \frac{w_1^2}{2g}$ путем изменения давления распыливающего воздуха или его количества. При работе с переменным числом оборотов также необходимо регулировать энергию смесеобразования. Действительно при малых оборотах двигателя при постоянном угле, соответствующем подъему иглы (φ = Const), время открытия $t = \frac{\varphi}{6n}$ оказывается слишком большим. При этом в цилиндр поступает слишком большое количество холодного распыливающего воздуха, к-рый оказывает такое же вредное влияние на процесс сгорания, как и при недогрузке двигателя в случае режима n=Const, т. е. большое количество воздуха вызывает повышение давления сгорания и вместе с тем пропуски вспышки. Необходимость регулирования давления компрессорного воздуха оказывается особенно настоятельной у судовых дизелей, т. к. у них вследствие работы на винт с возрастанием числа оборотов n одновременно возрастает и крутящий момент (пропорционально n^2), а следовательно и количество топлива G_b. Регулирование давления распыливания у стационарных машин ведется по линейному закону $p = a + b\xi$, где a и b—постоянные параметры, а ξ—степень нагрузки. У судовых дизелей регулирование давления распыливающего воздуха часто производится совместно с регулированием его количества путем изменения продолжительности открытия сопла, осуществляемого изменением зазора между топливным кулаком и роликом рычага, приподнимающего иглу. При увеличении этого зазора величина подъема иглы уменьшается и вместе с тем уменьшается и продолжительность открытия, т. к. момент открытия сопла наступает позже, а момент закрытия раньше, чем при малом зазоре.

Из всего вышеизложенного вытекают следующие особенности компрессорного распыливания топлива. Положительные свойства. 1) Хорошее качество распыливания. 2) Возможность получения сравнительно низких и притом постоянных в течение всего периода сгорания давлений. У двигателей с компрессорным распыливанием давление в период сгорания почти не превышает давления в конце сжатия и равно 30—35 *atm*, в то время как у бескомпрессорных дизелей при том же давлении в конце сжатия (28—30 *atm*) давление сгорания равно 45 *atm*, а у быстроходных двигателей еще выше. Отрицательные свойства. 1) Необходимость иметь двух-, а иногда и трехступен-

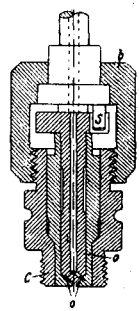
чатый компрессор для получения сжатого воздуха. Компрессор значительно увеличивает вес двигателя и его стоимость, уменьшает механич. кпд и требует очень тщательного ухода за смазкой и охлаждением. Автоматические клапаны компрессора также усложняют уход за ними, так как часто срабатываются, пропускают при этом воздух и нарушают его нормальную работу. 2) Плохая приспособленность двигателя с воздушным распыливанием к переменным режимам работы, если не производить регулирования давления форсуночного воздуха или подъема иглы, что усложняет конструкцию двигателя. Кривая удельного расхода топлива у компрессорных дизелей при отклонении от нормальной мощности приподнимается круче, чем у бескомпрессорных. Для последних кривая удельного расхода топлива имеет пологое протекание в значительной области изменения нагрузки. Необходимость иметь компрессор, регулировать давление форсуночного воздуха, применять очень большие величины этого давления при большом числе оборотов служила препятствием к развитию быстроходного дизеля, в особенности для сухопутного транспорта. Перечисленные недостатки пневматич. распыливания топлива вызывали бескомпрессорное распыливание, почти совершенно вытеснившее первое.

2. Струйное распыливание топлива. Основными типами Ф. дизелей со струйным распыливанием топлива являются Ф. открытого и закрытого типа. Ф. открытого типа не имеют запорного органа перед входом топлива в сопло, между тем как у закрытых Ф. имеется топливный клапан (игла), открывающийся либо автоматически под действием давления топлива либо принудительно от механич. привода. У открытых Ф. в виду постоянного сообщения нагнетательного трубопровода между насосом и Ф. с рабочим цилиндром впрыскивание топлива начнется, как только плунжером насоса будет преодолено сравнительно небольшое давление в рабочем цилиндре в конце хода сжатия (25—30 *atm*), на что потребуется угол поворота кривошипа в 4—8°. У закрытых же Ф. с автоматически действующей, т. е. гидравлически управляемой, иглой подъем последней, а вместе с ним и начало впрыскивания произойдут лишь тогда, когда топливо в насосе и нагнетательном трубопроводе будет сжато до давления в 150—300 *atm*, определяемого натягом пружины, нагружающей иглу. Угол поворота кривошипа, соответственно к-рому плунжер будет сжимать топливо до указанного давления без впрыскивания в рабочий цилиндр, называется замедлением впрыскивания и достигает при длинных нагнетательных трубопроводах 20—25°.



Фиг. 15.

Открытая Ф. На фиг. 15 изображена открытая Ф. фирмы Юнг. Топливо поступает по толстостенному нагнетательному трубопроводу D (внутренний $\varnothing$ 1,5 *мм*, внешний 8 *мм*) через центральный канал b в сопло c с тремя отверстиями по 0,3 *мм*; отсюда оно впрыскивается в камеру сгорания цилиндра. Крепление Ф. в крышке производится двумя болтами, не попавшими в разрез и прихватывающими корпус Ф. a и держатель Q как одно целое, прижимая их заплечиками держателя к гнезду цилиндровой крышки. Держатель Q при назначивании на корпус форсунки прижимает к нему снизу сопло c. Чтобы придать струям топлива определенное направление (см. ниже), положение сопла c фиксируется штифтом S. В данной конструкции сопло расположено внутри держателя Q, чем достигается не только его крепление, но и удаление из зоны горения. Помещение сопла в самой зоне горения вызывает коксование капель топлива на его поверхности и образование нагара, ухудшающего распыливание топлива. Для предотвращения коксования капель топлива на поверхности сопла последнее как у открытых, так и у закрытых Ф. двигателей средней и большой мощности охлаждается водой. Вентиль W служит для выпуска воздуха из Ф., скопление к-рого может понизить давление распыливания и иногда вовсе прервать процесс впрыскивания. Другую разновидность конструкции открытой Ф. дает фиг. 16, изображающая Ф. фирмы Юнкерс. В этой конструкции канал, подводящий топливо к выходному отверстию Ф., просверлен в неподвижной игле a, к-рая постоянно прижата к своему седлу гайкой b на держателе C. Топливо поступает по каналу иглы в два отверстия o и далее по двум прорезям по образующим конуса иглы, т. е. перпендикулярно к отверстиям o. В данном случае прорези на конусе иглы выполняют роль отверстий сопла обычной конструкции, т. к. в них возникает большая скорость истечения топлива. Топливные струи, вытекая из прорезей по взаимно перпендикулярным направлениям, пересекаются между собой, благодаря чему улучшается распыливание топлива. Направление топливных струй в камере сгорания определяется поворотом иглы, фиксируемым штифтом S, входящим в прорезь ее фланца.



Фиг. 16.

Положительным свойством открытой Ф. является крайняя простота ее конструкции. Отсюда же возникают следующие недостатки. В момент прекращения насосом подачи топлива его нагнетательный клапан автоматически закрывается и разобщает трубопровод между насосом и Ф. от внутреннего пространства насоса. Топливо, заключенное в этом трубопроводе, при давлении в 300—350 *atm* оказывается в виду отсутствия запорного органа перед соплом непосредственно сообщенным с пространством рабочего цилиндра, давление к-рого составляет всего 40—50 *atm*. Вследствие этой разности давлений топливо просачивается через отверстия сопла в камеру сгорания. При этом оно плохо распыливается в виду непрерывного падения давления в трубопроводе и Ф., а потому полностью сгореть в рабочем цилиндре не может. Это обстоятельство часто является причиной нагарообразования в отверстиях сопла (см. выше) и дымного выхлопа дизелей. Приближенно можно считать, что упругая деформация топлива подчиняется закону Гука; тогда при объеме нагнетательного трубопровода V *см*³ (включая сюда и объем Ф.), давлении топлива в момент отсечки подачи p *кг/см*² и коэф-те объемного сжатия топлива α *см*²/*кг* количество топлива ΔV *см*³, просачивающегося в рабочий

цилиндр за весь период расширения продуктов сгорания в нем, равно

$$\Delta V = \alpha V p \ см^3.$$

По этой ф-ле для трубопровода длиной в 1,4 *м* с внутренним ⌀ 3 *мм* ($V = 9{,}9$ *см*³) при $p = 400$ *at* и $\alpha = \frac{1}{13\,000}$ *см*²/*кг* имеем

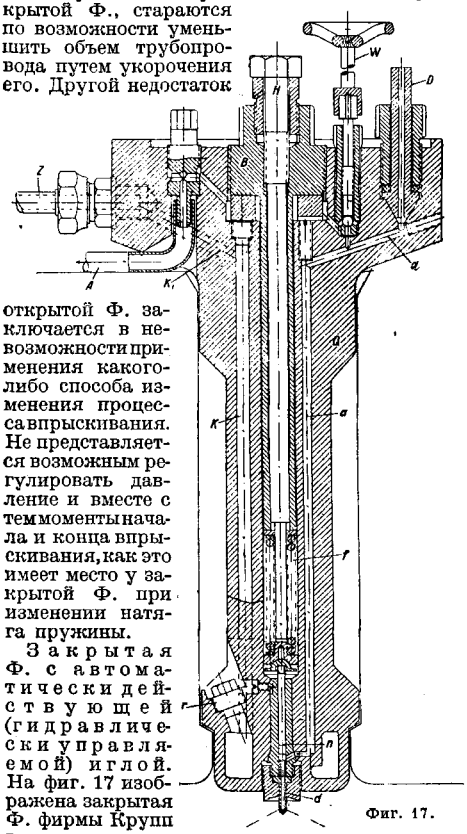
$$\Delta V = \frac{9{,}9 \cdot 400}{13\,000} = 0{,}305 \ см^3.$$

При диаметре плунжера топливного насоса $D = 20$ *мм* и его полезном ходе $h = 12$ *мм* отношение количества просачивающегося топлива ΔV после прекращения подачи насоса ко всему количеству топлива, впрыснутому за 1 рабочий ход, составляет:

$$\frac{\Delta V}{\frac{\pi}{4} D^2 h} = \frac{0{,}305}{\frac{\pi}{4} 2^2 \cdot 1{,}2} = 0{,}081, \text{ т. е. } 8{,}1\%.$$

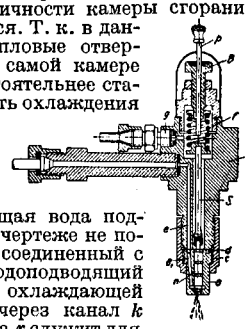
Приведенный пример относится к тихоходному двигателю. Для быстроходных типов дизелей вследствие малой подачи топлива $\frac{\pi D^2}{4} h$ на 1 рабочий ход отношение $\frac{\Delta V}{\frac{\pi D^2}{4} h}$ может стать более 2.

Чтобы уменьшить просачивание топлива у открытой Ф., стараются по возможности уменьшить объем трубопровода путем укорочения его. Другой недостаток открытой Ф. заключается в невозможности применения какого-либо способа изменения процесса впрыскивания. Не представляется возможным регулировать давление и вместе с тем моменты начала и конца впрыскивания, как это имеет место у закрытой Ф. при изменении натяга пружины.



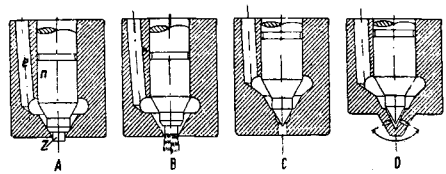
Фиг. 17.

Закрытая Ф. с автоматически действующей (гидравлически управляемой) иглой. На фиг. 17 изображена закрытая Ф. фирмы Крупп тихоходного судового дизеля большой мощности. Топливо из нагнетательного трубопровода D по каналам a—a поступает под короткую иглу n, прижимаемую к седлу пружиной f. При открытой игле топливо, пройдя через канал в ее седле, непосредственно попадает в центральный подводящий канал сопла d и отсюда в сопловые отверстия. Оси этих отверстий направлены нормально к лобовой сферич. поверхности сопла. Сопло установлено по резьбе непосредственно в корпус Ф., причем его поворот в горизонтальной плоскости в виду симметричности камеры сгорания ничем не фиксируется. Т. к. в данной конструкции сопловые отверстия расположены в самой камере сгорания, то тем настоятельнее становится необходимость охлаждения сопла. Последнее осуществляется двумя вертикальными каналами в корпусе Q форсунки. Канал, по которому охлаждающая вода подводится к соплу, на чертеже не показан, но показаны соединенный с ним канал k_1 и водоподводящий патрубок Z. Отвод охлаждающей воды производится через канал k и патрубок A. Пробка r служит для осмотра охлаждающей рубашки сопла и отверстий вертикальных циркуляционных каналов. В рассматриваемой конструкции регулирование давления распыливания производится двумя способами, из которых первый, основной, способ применяется у всех закрытых форсунок и заключается в изменении натяга пружины f иглы (в данном случае осуществляется ввертыванием винта B); второй, дополнительный, способ регулирования процесса впрыскивания заключается в изменении максимального подъема иглы путем подвертывания ограничителя ее хода H. Последнее возможно не у всех закрытых форсунок, т. к. не всегда применяется ограничитель хода. W— вентиль для выпуска воздуха.



Фиг. 18.

Другой пример конструкции закрытой Ф. представляет собой изображенная на фиг. 18 Ф. фирмы Бош, широко распространенная на дизелях автотракторного типа и стационарных

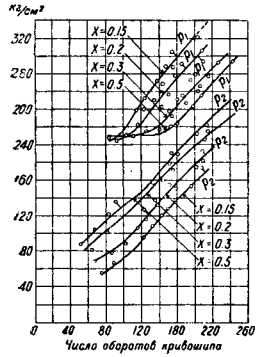


Фиг. 19.

дизелях малой мощности. В этой Ф. достигнуто большое упрощение конструкции тем, что в одной и той же сменной насадке a находятся гнездо иглы, сопло и топливоподводящий канал e_1. Насадка прижимается к держателю H своей шлифованной торцовой поверхностью, что осуществляется с помощью гайки c. Чтобы устранить необходимость совмещения каналов e, e_1 для подвода топлива, в торцовой поверхности насадки a сделана кольцевая канавка d. Штутцер g служит для отвода топлива, просачивающегося через неплотность иглы. Давление пружины f передается на иглу n промежуточным шпинделем S, к-рый снизу надевается на заточку иглы. Натяг пружины регулируется гайкой B. Ограничителя подъема иглы не имеется. Стержень p служит для пробы от руки,

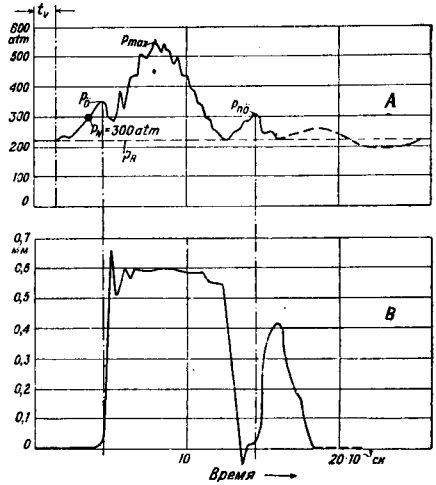
не застряла ли игла в своем гнезде при работе. При одинаковой форме насадки выходное отверстие выполняется в двух вариантах: в виде узкой кольцевой щели, образованной широким сверлением в насадке (фиг. 19, А) и специальным штифтом Z на конце иглы, или нескольких сверлений (фиг. 19, D). Штифту придают цилиндрич. или конич. форму (фиг. 19). Диаметры отверстий сопла делают, начиная от 0,2 *мм*, увеличивая ступенями на 0,05 *мм*, и с углом между отверстиями 15—140°. Выполнение направляющей иглы и ее седла в одной и той же детали обладает тем преимуществом перед обычными конструкциями, что устраняются дефекты при центровке седла иглы относительно направляющей втулки. При правильно настроенной Ф. и хорошей ее конструкции впрыскивание топлива не должно происходить при низких давлениях в сопле, обусловливающих плохое распыливание. В частности не должно иметь места просачивание топлива к соплу при низком давлении, вызванное медленной посадкой иглы.

Осуществление процесса впрыскивания топлива в области достаточно больших давлений распыливания (200—300 *atm*) обеспечивается соблюдением следующих основных условий: 1) малым весом иглы и малым ее подъемом при большом проходном сечении в седле; 2) достаточно большой разностью сечений иглы, подверженных воздействию давления топлива при ее открытии и закрытии; 3) правильным выбором соотношения между величиной скорости плунжера, суммарным сечением отверстий сопла и первоначальным натягом пружины. Выясним влияние этих условий в порядке их перечисления. 1) Игла малого веса обладает и малой инерцией, а потому будет быстро открывать и закрывать отверстие седла. При быстром открытии иглы уменьшается дросселирование в сечении между конусом иглы и ее седлом. Вредное влияние дросселирования сказывается в понижении давления распыливания. При более быстром закрытии иглы устраняется просачивание топлива, приводящее, как и в открытой Ф., к плохому его распыливанию и сгоранию. Влияние дросселирования топлива в седле иглы на давление распыливания обнаруживают замеры давлений топлива p_1 и p_2 при его входе в седло и перед сопловыми отверстиями, проведенные в НИДИ. Максимальные давления топлива p_1 и p_2 замерялись бурдоновскими манометрами, снабженными обратными клапанами.



Фиг. 20.

Полученные в результате этих опытов кривые (фиг. 20) показывают, что потеря давления в седле $\Delta p = p_1 - p_2$ достигает большой величины и что для постоянного числа оборотов (и следовательно постоянной скорости) плунжера с уменьшением максимального подъема иглы x, устанавливаемого ограничителем, давление распыливания p_2 понижается. Последнее объясняется возрастанием сжимаемости топлива в насосе и трубопроводе при увеличении p_1 и происходящем отсюда ослаблении его истечения из сопла несмотря на то, что скорость плунжера при постоянном числе оборотов остается постоянной. Обычно подъем иглы у закрытой Ф. бывает порядка 0,5—1 *мм*. 2) В момент посадки иглы давление топлива воздействует на полное сечение иглы, определяемое внутренним диаметром втулки, к которой игла пришлифована. Когда игла еще не открыта, давление передается на кольцевую площадку, представляющую собой разность между полным сечением иглы и наибольшим сечением той части конуса, к-рой

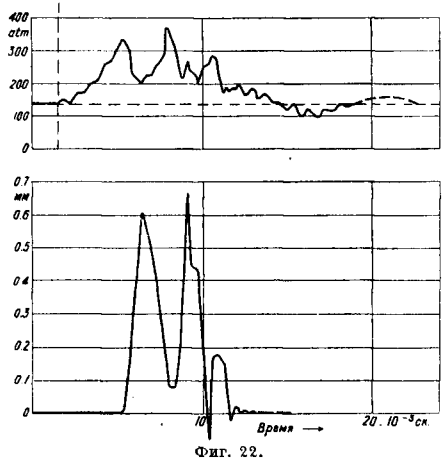


Фиг. 21.

игла опирается на свое седло. В виду этого при одинаковой силе пружины давление топлива, необходимое для преодоления действия пружины, при подъеме иглы будет больше, чем при ее посадке. Эта разность давлений составляет 30—100 *atm*. Если давления для подъема и посадки иглы мало отличаются между собой, то небольших колебаний топлива в трубопроводе достаточно, чтобы вновь было достигнуто давление подъема иглы. В результате игла вновь переместилась бы на нек-рое время, создавая повторное впрыскивание топлива за счет его расширения в нагнетательном трубопроводе. При малом натяге форсуночной пружины, напр. ниже 150 *atm*, давление топлива в момент открытия иглы равно также ок. 150 *atm*, что недостаточно для его хорошего распыливания. В этом случае повторное впрыскивание очень нежелательно, т. к. оно протекает при низких давлениях распыливания, подобно просачиванию топлива в открытой Ф.

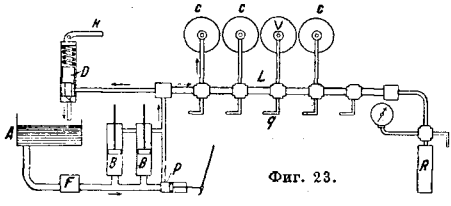
На фиг. 21 *А* изображает характерную диаграмму давления в трубопроводе перед Ф., *В*—диаграмму подъема иглы в случае повторного впрыскивания, p_N—давление натяга пружины, $p_б$—давление для подъема иглы, p_{max}—максимальное давление впрыскивания, $p_{пб}$—максимальное давление при повторном впрыскивании и p_R—остаточное давление в трубопроводе после посадки иглы, t_v—промежуток времени между моментами повышения давления в испытуемых точках в начале и конце трубопровода (перед Ф.). Сечение сопла $f = 0{,}00237$ *см*², длина трубопровода $l = 1{,}5$ *м*, его диаметр

$d=2$ *мм*. В данном случае повторное впрыскивание благодаря большому натягу пружины ($p_N=300$ *atm*) протекает при сравнительно хорошем распыливании топлива. Если не применять специальных мер для разгрузки трубопровода по прекращении нагнетательного хода плунжера, то вследствие остаточного давления в трубопроводе p_R, приблизительно равного давлению при посадке иглы, повторное впрыскивание устранить трудно. 3) В момент поднятия иглы может оказаться, что скорость плунжера c и сечение сопла f (с учетом коэф-та истечения μ) настолько малы либо давление натяга p_N пружины настолько велико, что секундный объем топлива $V_1=Fc$, вытесненный плунжером с площадью F, будет меньше секундного объема топлива $V_2=f\sqrt{\frac{2gp_N}{\gamma}}$, вытекающего из сопла. Если $V_1<V_2$, то, начиная с момента подъема иглы, давление топлива в Ф. начнет убывать, что вызовет опускание иглы или полную посадку ее. Это явление, называемое предварительным впрыскиванием, может повториться даже несколько раз, пока кулак не повернется на угол, при к-ром скорость плунжера c, возрастающая с углом поворота кулака, достигнет такой величины, при которой $V_1\geq V_2$, после чего начнется главный процесс впрыскивания при высоких скоростях плунжера и полном подъеме иглы. Предварительное впрыскивание топлива сопровождается понижением давления распыливания, что является нежелательным. Фиг. 22 изображает кривые давления топлива перед Ф. и подъема иглы при наличии предварительного впрыскивания, обусловленного слишком большим сечением сопловых отверстий ($f=0{,}0071$ *см*^{2}, $p_N=300$ *atm*). Для устранения предварительного впрыскивания при данном профиле кулака и числе оборотов двигателя, т. е. при данной скорости плунжера и данной величине его площади, необходимо тщательно подбирать сечение сопла и натяг форсуночной пружины.

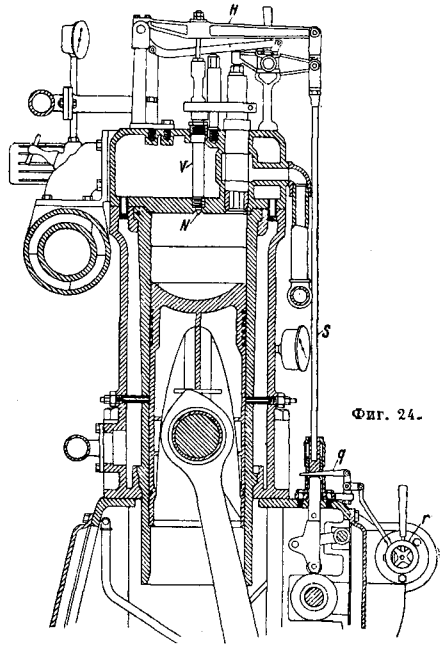


Фиг. 22.

Закрытая Ф. с механически действующей иглой (аккумуляторное распыливание топлива). На фиг. 23 показано схематич. устройство впрыскивания топлива при механич. приводе иглы, применяемое у америк. двигателя «Атлас-Империал». Два плунжера B всасывают топливо из бака A через фильтр F и нагнетают его в линию высокого давления L. Отсюда в момент подъема иглы от приводного механизма топливо устремляется в Ф. V и впрыскивается под примерно постоянным давлением в соответствующий цилиндр c. Желаемое давление впрыскивания



Фиг. 23.



Фиг. 24.

устанавливается с помощью рычага k, изменяющего натяг пружины перепускного клапана D. Ручной насос P служит для подкачки топлива в нагнетательную линию L перед пуском двигателя или в запасный резервуар высокого давления R. Вентили q служат для выключения Ф. Подъем иглы N форсунки V (фиг. 24) производится от кулака и толкателя S; последний приподнимает рычаг H, к которому подвешена игла. Изменение момента подъема и продолжительности открытия сопла производится с помощью клиновидного стержня q, перемещаемого от регулятора r. Положительным свойством аккумуляторного распыливания является хорошая управляемость процессом впрыскивания благодаря механич. приводу иглы, но именно это обстоятельство порождает недостаток, заключающийся в усложнении конструкции двигателя. Аккумуляторное впрыскивание мало распространено и притом встречается почти

только в Америке и Англии (судовые дизели фирмы Доксфорд и прежде двигатели Виккерс).

Регулирование процесса впрыскивания и сравнительная характеристика Ф. Регулирование заключается в изменении давления и фаз впрыскивания, т. е. моментов его начала и окончания. У стационарных дизелей, работающих с постоянным числом оборотов (n=Const), увеличение тормозной нагрузки при неизменной продолжительности впрыскивания требует увеличения также количества топлива, впрыскиваемого за один рабочий ход. При этом экономичная работа двигателя будет обеспечена в том случае, если топливо будет лучше распылено и перемешано, для чего требуется более высокое давление впрыскивания. У транспортных дизелей при увеличении числа оборотов впрыснутое топливо д. б. сожжено в более короткие промежутки времени, для чего также необходимо тонкое распыливание топлива путем повышения давления впрыскивания. Считая топливо в первом приближении несжимаемой жидкостью, для к-рой обязательно ур-ие неразрывности потока в форме $Fc=\mu if$, имеем для перепада давления между соплом и рабочим цилиндром следующее выражение:

$$p=\frac{\gamma}{10^4}\left(\frac{F}{\mu if}\right)^2\frac{c^2}{2g}\ atm. \qquad (3)$$

Здесь F—площадь плунжера, c—его скорость, μ—коэф. истечения, i—число отверстий сопла, f—сечение одного отверстия. Обычно топливные кулаки, приводящие в движение плунжер насоса, профилируются т. о., что с увеличением угла поворота и пути плунжера одновременно возрастает и его скорость c. Благодаря такому профилированию кулака у бескомпрессорных дизелей в отличие от компрессорных достигается в значительной степени автоматич. регулирование давления впрыскивания и энергии смесеобразования соответственно с вышеуказанными требованиями режима работы двигателя. Действительно при режиме n = Const (постоянное число оборотов) с увеличением тормозной нагрузки M воздействием регулятора обеспечивается автоматич. возрастание полезного пути плунжера и соответственно профилю кулака — возрастание его скорости c. Увеличение же скорости согласно ф-ле (3) приводит к требуемому увеличению давления впрыскивания p. При переменном числе оборотов, но $M\cong$ Const (дизели для сухопутного транспорта) увеличение c на основании той же ф-лы (3) приводит к возрастанию давления пропорционально n^2, поскольку c при неизменном полезном пути плунжера прямо пропорционально n. Следует отметить, что вследствие сжимаемости топлива и гидравлич. потерь в седле иглы ф-ла (3) в большинстве случаев оказывается слишком неточной, чтобы ею можно было пользоваться при подсчете p, и отображает лишь основную качественную картину явления. У дизелей с открытой Ф. при данной нагрузке и данном сопле регулирование давления впрыскивания от руки возможно только путем изменения зазора между роликом плунжера и топливным кулаком. При этом одновременно будет изменяться момент начала впрыскивания и в меньшей степени момент его окончания. У закрытой Ф. ручное регулирование давления впрыскивания осуществляется преимущественно изменением натяга форсуночной пружины. Если натяг увеличивается, то возрастает путь, проходимый плунжером до момента достижения давления поднятия иглы. При этом возрастает замедление впрыскивания, а подъем иглы, совпадающий с моментом начала впрыскивания, происходит позже. Чтобы при изменении натяга пружины момент начала впрыскивания все же сохранить неизменным по отношению к ходу рабочего поршня, что особенно важно для стационарных двигателей, часто приходится менять опережение впрыскивания, т. е. повернуть топливный кулак на нек-рый угол по направлению вращения или против него. У закрытых Ф. с ограничителем подъема иглы увеличением максимального подъема иглы можно добиться повышения давления впрыскивания, как это видно из экспериментальных кривых на фиг. 20. Момент окончания и продолжительность впрыскивания как у открытых, так и у закрытых Ф. изменяются в зависимости от полезного пути плунжера. При постоянной нагрузке с увеличением числа оборотов весь процесс впрыскивания сдвигается по времени и происходит позже. Раздельное регулирование давления и фаз впрыскивания возможно только при механическом приводе иглы (аккумуляторное распыливание), а в случае автоматически действующей иглы—лишь отчасти при наличии ограничителя ее подъема.

По управляемости процессом впрыскивания наиболее совершенными являются Ф. с механич. приводом, второе место занимают закрытые Ф. с гидравлич. подъемом иглы и наименее совершенными оказываются открытые Ф. По простоте конструкции эти типы Ф. следуют в обратном порядке. Кроме лучшей управляемости процессом впрыскивания и отсутствия просачивания топлива закрытые Ф. имеют еще то преимущество перед открытыми, что у них хорошее распыливание достигается при меньшем давлении. В то время как максимальные форсуночные давления у закрытых Ф. находятся в пределах 200—350 atm, эти давления при открытых Ф. составляют 300—500 atm и в отдельных случаях достигают 700 atm (топливный насос фирмы Юнкерс). Большие максимальные давления распыливания у открытых Ф. объясняются тем, что у них подача топлива производится, начиная с очень низкого давления (ок. 30 atm). Поэтому для впрыскивания одинакового количества топлива, как при закрытой Ф., его давление необходимо увеличить, чтобы процесс не растянулся слишком во времени. Другая причина сравнительно низких максимальных давлений распыливания у закрытых Ф. заключается в хорошем влиянии, оказываемом на процесс распыливания топлива его мгновенным интенсивным истечением в момент поднятия иглы.

Коэфициент истечения из отверстий сопла. При данной скорости w в отверстиях сопла, величина к-рой в основном определяется требуемым качеством распыливания, давление во всей топливной системе от насоса до сопла сильно зависит от коэф-та истечения. При плохой обработке сопла или при его пригорании коэф. истечения μ уменьшается, поэтому возникает повышенное давление в системе. Скорость w в отверстии сопла определяется выражением:

$$w=\varphi\sqrt{\frac{2gP}{\gamma}}; \qquad (3')$$

P—перепад давления между соплом и рабочим цилиндром в $кг/м^2$, γ—уд. в. топлива в $кг/м^3$, $g=9{,}81$ $м/сек^2$—ускорение силы тяжести, φ—коэф. скорости. Коэф. скорости убывает с воз-

растанием потери давления в сопле $\Delta P = \xi \frac{w^2}{2g}$, где ξ—коэф. сопротивления сопла, связанный с φ соотношением:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}}.$$

Коэф. сопротивления ξ зависит от числа Рейнольдса R в цилиндрич. канале, от конфигурации канала $\left(\text{отношение его длины к диам. } \frac{l}{d}\right)$, шероховатости его стенок и в особенности от конфигурации входа в канал. Число Рейнольдса $R = \frac{wd}{\nu}$, где w—скорость в канале в *м/ск*, d—диам. в *м*, ν—кинематич. вязкость в *м²/ск*. При работе сопла стенки его сглаживаются, и его можно рассматривать как трубу с гладкими стенками. Для гладких труб при $R_{кр.} = 2\,300$ ламинарный поток переходит в турбулентный. При этом режиме потока ξ почти не зависит от R и следовательно от вязкости топлива. Согласно Зассу следует считать как правило, что течение в сопле турбулентно, на что указывает порядок числа Рейнольдса. Пусть напр. вязкость топлива (газойль) в °Э. при 20° С равна $E_{20} = 2$, соответственно этому $\nu = 0{,}12 \cdot 10^{-4}$ *м²/ск*, $d = 0{,}4$ *мм* и $w = 150$ *м/ск*, что соответствует перепаду давлений $p = 158$ *atm*. При этих данных $R = \frac{150 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-3}}{0{,}12 \cdot 10^{-4}} = 5\,000$, т. е. значительно выше $R_{кр.} = 2\,300$. Для вязкого моторного топлива ($E_{20} = 5$ по Энглеру) при $t°$, какую оно примет в сопле, ν будет вероятно не больше чем $0{,}12 \cdot 10^{-4}$ *м²/ск*, т. ч. и в этом случае значение R превзойдет $R_{кр.}$, и течение в сопле будет турбулентным. Это значит, что φ будет мало зависеть от R и ν. Определение φ экспериментальным путем крайне затруднительно. Обычно опыты, приводимые замером расхода топлива из отверстий данного диаметра при постоянном давлении в сопле, дают нам общую величину коэф-та истечения $\mu = a\varphi$, где a—коэф. сужения струи при выходе из отверстия. Для создания постоянного давления топливный бак снабжается колпаком или соединяется с баллоном сжатого воздуха. По Зассу w следует подсчитывать по ф-ле

$$w = \mu \sqrt{\frac{2gP}{\gamma}},$$

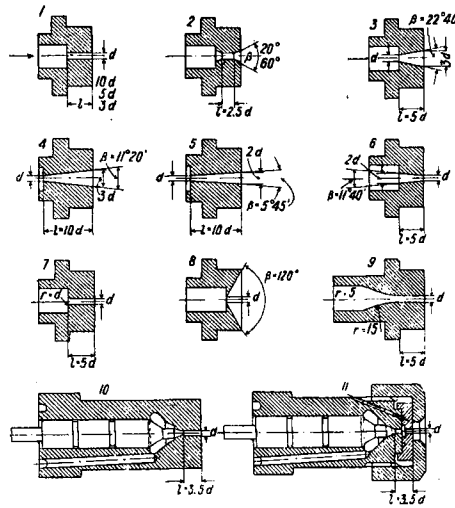
что соответствует допущению $\varphi = \mu$ и $a = 1$. Это допущение подтверждается опытами Бирда, согласно к-рым для $\frac{l}{d} = 3{,}2 \div 6{,}3$ $\varphi \cong \mu$ и $a \cong 1$. Описываемые Зассом опыты по определению μ велись с цилиндрич. соплами, у которых $\frac{l}{d} = 4$. Кромки при входе в сопло либо закруглялись по радиусу в 0,1—0,2 *мм* либо оставались острыми. Закругление кромок при входе в канал достигалось прокачкой через сопло топлива с карборундовой шлифовальной пастой. При закругленных кромках $\mu = 0{,}8 \div 0{,}82$, а при острых ~0,6. Для сопла с закругленными кромками значение $\mu = 0{,}8$ сохранялось при его длительной работе, между тем как при острых кромках по мере работы сопла и сглаживания кромок μ возрастало от 0,6 до 0,8. Уменьшение μ до 0,6 в случае острых кромок следует объяснить сужением струи при ее входе. На основании гидравлики это сужение струи и ее дальнейшее расширение до полного сечения канала вызывают потерю напора на вход

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{w^2}{2g}\left(\frac{1}{a_1} - 1\right)^2,$$

где a_1—коэф. сужения струи при входе в канал. Потеря напора

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{w^2}{2g}\left(\frac{1}{a_1} - 1^2\right)$$

больше, чем потеря в самом сопле, и именно эта потеря оказывает главное влияние на величины ξ и φ. Холфельдер определял коэф. истечения



Фиг. 25.

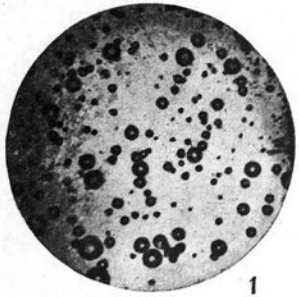
для изображенных на фиг. 25 сопел с одиннадцатью различными конфигурациями при ⌀ 0,5 и 1 *мм*. Результаты его опытов даны в табл. 1.

Табл. 1.—Коэф. истечения из сопла.

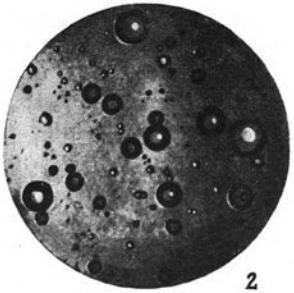
Форма сопла	Длина канала в частях d	Номинальный ⌀ 0,5 *мм*		Номинальный ⌀ 1 *мм*	
		наим. ⌀, *мм*	μ	наим. ⌀, *мм*	μ
1	10	0,540	0,615	1,066	0,585
	5	0,549	0,620	1,058	0,600
	3	0,541	0,630	1,080	0,610
2	2,5 $\beta^* = 20°$	0,549	0,870	1,080	0,900
	2,5 $\beta = 60°$	0,539	0,755	1,070	0,785
3	5	0,632	0,620	1,108	0,595
4	10	0,560	0,635	1,050	0,610
5	10	0,530	0,618	1,129	0,590
6	5	0,628	0,866	1,041	0,895
7	5	0,550	0,850	1,080	0,885
8	5	0,752	0,655	1,032	0,660
9	5	0,574	0,793	1,060	0,845

* β — угол конусности.

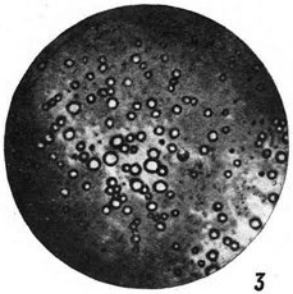
Фиг. 26, изображающая кривые, полученные на основании опытов Холфельдера, показывает, что μ не зависит от давления, а следовательно скорости истечения и числа Рейнольдса. Скорость истечения Холфельдер, как и Засс, подсчитывает по ф-ле $w = \mu \sqrt{\frac{2gP}{\gamma}}$. Наибольшее значение μ, полученное в опытах Засса и Холфельдера, составляло 0,82 и 0,85; между тем америк. исследователем Gelalles в лаборатории имени Ланглея получены значения $\mu = 0{,}9 \div 0{,}93$; зависимость μ от числа Рейнольдса при различных отношениях $\frac{l}{d}$ представлена на



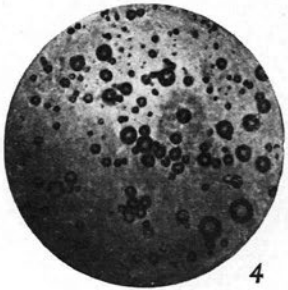
1



2



3



4

а б в

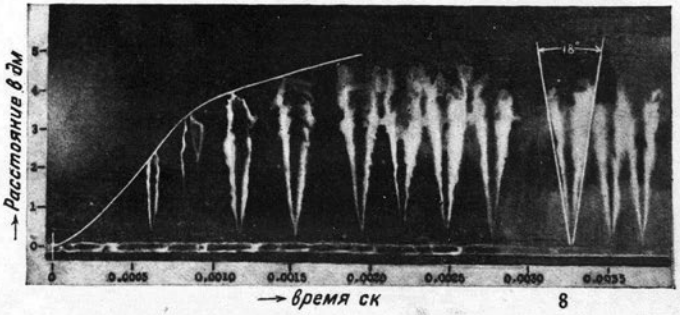
5

а б в

6

а б в

7

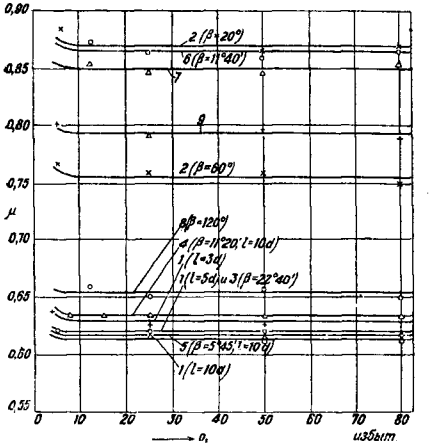


8

1, *2*, *3* и *4* — микрофотографии капель топлива по опытам Засса (×65); *5*, *6* и *7* — микрофотографии струи горючего при разных давлениях (×10); *8* — график пути конца струи.

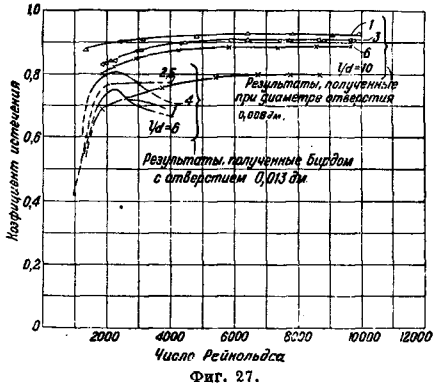
фиг. 27 в виде экспериментальных кривых, к-рые сопоставляются с кривыми Бирда.

3. Распыливание и смесеобразование топлива. Распыливание топлива. Степень распыливания топлива определялась Зассом, Ли и др. В опытах Засса впрыскивание топлива производилось в камеру с противодавлением,



Фиг. 26.

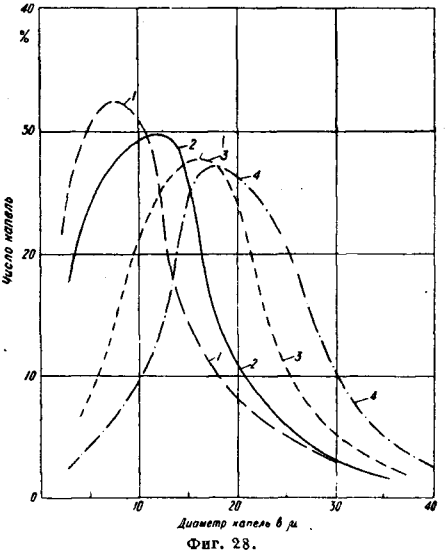
на дне к-рой на расстоянии 200 *мм* от Ф. помещалась чашка с глицерином. Поверхностью глицерина улавливались капли распыленного топлива. По окончании опытов, производившихся при различных давлениях впрыскивания и различных противодавлениях, поверхность глицерина рассматривалась под микроскопом, снабженным сетчатым микрометром, на основании чего строилась предложенная Хейсером и Штроблем кривая, характеризующая распыливание (фиг. 28). По оси абсцисс кривой откладываются диаметры капель, по оси ординат—число капель данного диам., рассмотренных в поле зрения сетчатого микрометра, или, что более целесообразно, процентное отношение числа капель



Фиг. 27.

данного диаметра к общему числу видимых капель. Чем совершеннее распыливание, тем выше располагается максимум характеристики и тем менее он удален от оси ординат. Ли определял размер капель улавливанием их на закопченных стеклянных пластинках. По окончании опытов с пластинок производились микрофотоснимки характерных участков. Размеры капель определялись измерением их изображений на микроснимках. По опытам Засса с увеличением противодавления тонкость распыливания увеличивается, чего не наблюдал Ли. На вкл. л., *1*, *2*, *3*, *4* даны снимки капель распыленного топлива по опытам Засса (×65): давление распыливания для *1*—220 *atm*, для *2*—150 *atm*, для *3*—350 *atm*, для *4*—230 *atm*.

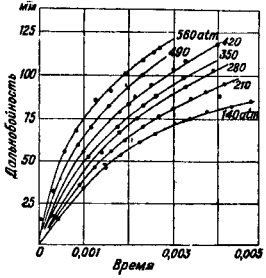
Дальнобойность топливных струй. При отсутствии специального завихривания воздуха степень перемешивания впрыснутого топлива с воздухом непосредственно зависит от дальнобойности топливных струй и угла при вершине конуса распыленного топлива. Под дальнобойностью понимается наибольшее расстояние от сопла конца струи в месте полного распада ее на капли. Чем больше дальнобойность струи, тем глубже она проникает в камеру сжатия. При этом смесеобразование



Фиг. 28.

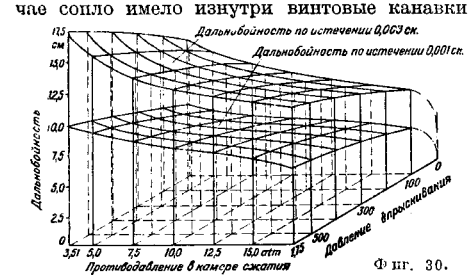
улучшается, т. к. к топливу подводится большее количество необходимого для сгорания воздуха. Однако полезное влияние большой дальнобойности струй уничтожается, если струя ударяется о днище поршня или стенки рабочего цилиндра. В этом случае капли топлива, не успев еще хорошо перемешаться с воздухом, оседают на днище поршня, коксуются здесь и образуют нагар. Во избежание удара струй о днище поршня или стенки цилиндра форма камеры сгорания должна соответствовать расположению и дальнобойности струй, чтобы они могли беспрепятственно распространяться в ней. В Америке NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) и в Германии фирмой AEG производилась киносъемка струй топлива, к-рая позволила определить путь, пройденный концами струи в различные моменты периода впрыскивания, и угол конусности струи. Методика америк. и нем. экспериментов принципиально одинакова. Сущность ее заключается в том, что для получения последовательных

съемок на киноленте струя топлива освещалась искрой, проскакивающей при разряде лейденских банок, заряжаемых через посредство трансформатора до напряжения в 30 000 V. Последовательный разряд лейденских банок осуществлялся посредством быстро вращающегося выключателя, к-рый в опытах NACA давал промежуток времени между двумя снимками до $^1/_{4\,000}$ секунды. Линия, соединяющая на последовательных снимках вершины струй, как это изображено на вкладном листе, *8*, представляет собой график пути конца струи.



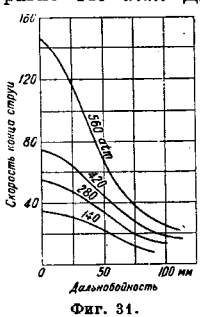
Фиг. 29.

На фиг. 29 представлен путь конца струи или ее дальнобойность в ф-ии от времени t в ск. Кривые, показанные на этой фигуре, были получены при противодавлении в 21 *atm* и давлениях впрыскивания 140—560 *atm*. Сопло имело цилиндрич. форму ⌀ 0,38 *мм*. Фиг. 30 изображает пространственную диаграмму, выражающую зависимость дальнобойности струи от давления впрыскивания и противодавления. В этом случае сопло имело изнутри винтовые канавки.



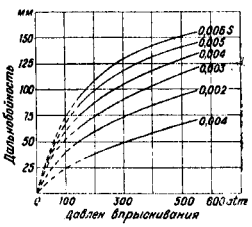
Фиг. 30.

влияние к-рых сказывается в уменьшении дальнобойности струй топлива и в увеличении угла конусности. Диам. отверстия сопла $d = 0{,}355$ *мм*, его длина $l = 4d$. Давление для подъема иглы равно 140 *atm*. Длина трубопровода равна 380 *мм*. Проведением касательной к кривым пути при различных давлениях получаются кривые скорости конца струи в зависимости от дальности ее проникания в камеру (фиг. 31). Представленные на фиг. 30 кривые дальнобойности в ф-ии от времени $s = f(t)$ м. б. перестроены в виде кривых $s = f_1(p)$, где p—давление впрыскивания (фиг. 32).



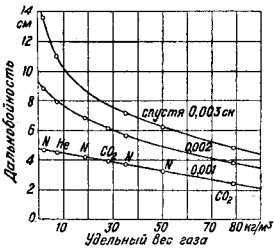
Фиг. 31.

Фиг. 31 и 32 показывают, что с увеличением давления впрыскивания нарастание дальнобойности с давлением замедляется. Это происходит потому, что с увеличением давления распыливания величина капель, и следовательно их масса, уменьшается. При этом несмотря на большую скорость с увеличением давления все же замедляется нарастание их живой силы, а вместе с тем и дальнобойности. Как видно из кривых $s = f_1(p)$, дальнобойность практически перестает увеличиваться лишь при $p \cong 800$ *atm*. В области же давлений, применяемых на практике, она с увеличением давления возрастает. С увеличением противодавления дальнобойность струи топлива сильно убывает, причем она зависит не непосредственно от противодавления, а от плотности среды, в к-рую производится впрыскивание.



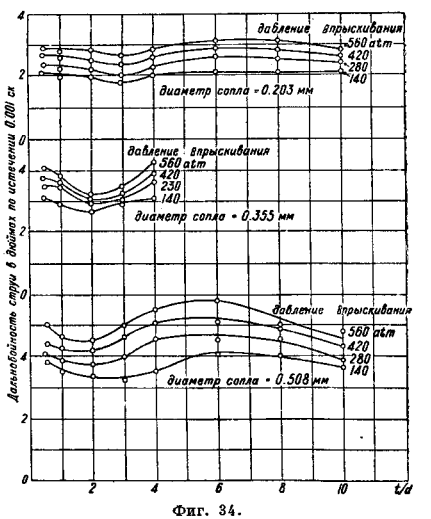
Фиг. 32.

Дальнобойность топливных струй при одинаковой плотности среды не зависит от рода этой среды, что ясно видно на фиг. 33, полученной по опытам Бёрдслея в NACA. В этой фигуре экспериментальные точки, соответствующие различным газам, заполнявшим камеру впрыскивания, ложатся на одну и ту же кривую. Условия опыта были следующие. Давление впрыскивания постоянно и равно 560 *кг/см²*; сопло с интенсивным закручиванием струи имело ⌀ 0,56 *мм*. Удельный вес топлива 0,85.



Фиг. 33.

Большое влияние на дальнобойность струи оказывает отношение $\frac{l}{d}$ канала сопла, что обнаруживают многочисленные опыты Gelalles. Некоторые результаты этих опытов представлены на фиг. 34, к-рой соответствует уд. в. воздуха



Фиг. 34.

в камере впрыскивания, равный 15,9 *кг/м*³. При одинаковой дальнобойности, одинаковом давлении впрыскивания и противодавлении охват топливной струи воздухом возрастает с увеличением угла их конуса. Как показали многочисленные опыты, проведенные в AEG и NACA, угол конуса струи α возрастает с противодавлением; по опытам AEG при противодавлении в 10 *atm*, соответствующем плотности воздуха в цилиндре двигателя в конце хода сжатия, угол $\alpha = 15 \div 17°$. Холфельдер, производивший экспериментальные определения α путем фотосъемки топливных струй, впрыскиваемых через сопла *1—8* (фиг. 25), нашел, что α возрастает в линейной зависимости от противодавления. В результате этих опытов им дается следующая эмпирич. ф-ла:

$$\alpha = m \cdot p_g + b,$$

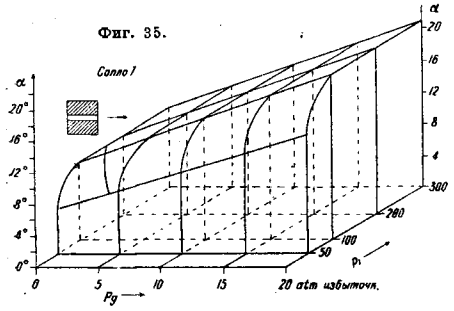
где p_g—противодавление холодного воздуха в *atm*, а m и b—параметры, из к-рых m зависит только от формы сопла, а b—от формы сопла и давления впрыскивания. Значения параметров m и b даются в табл. 2.

Табл. 2.—Параметры выражения для угла конусности струи.

Форма сопла	m	b			
		50 *atm*	100 *atm*	200 *atm*	300 *atm*
1	0,50	0,4	2,8	4,4	6,0
2	0,34	3,5	5,3	6,2	6,8
3	0,23	2,7	4,4	5,8	4,2
4	0,40	2,7	5,1	6,6	8,0
5	0,49	3,8	4,6	5,4	6,2
6	0,32	0,9	2,2	3,0	3,7
7	0,55	5,0	10,0	10,0	10,0
8	0,29	−1,0	1,0	2,9	4,5

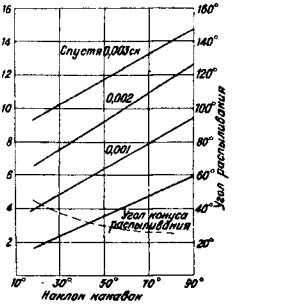
Для сопла *7* зависимость α от давления и противодавления представлена на фиг. 35 в виде пространственной диаграммы. У этого сопла угол α больше, чем у всех других сопел. Наименьший угол конусности дает сопло *6* с сужающимся отверстием и сопло *8*. Сопло *1*, по своей

Фиг. 35.



форме аналогичное соплам, с к-рыми экспериментировали в AEG при определении коэф-та истечения, также дает большую величину α. Холфельдер объясняет это сравнительно большой смачиваемой поверхностью (что относится и к соплу 7) и сильным сужением струи. Оба эти фактора вызывают более интенсивное завихрение струи, благоприятствующее увеличению угла α. По Холфельдеру у всех сопел с центральным входом в отверстие при их применении для однодырчатой открытой форсунки отношение $\frac{t}{d}$ не оказывает влияния на угол конусности струи. Влияние этого отношения на угол α сказывается при закрытых форсунках (формы *10* и *11* на фиг. 25).

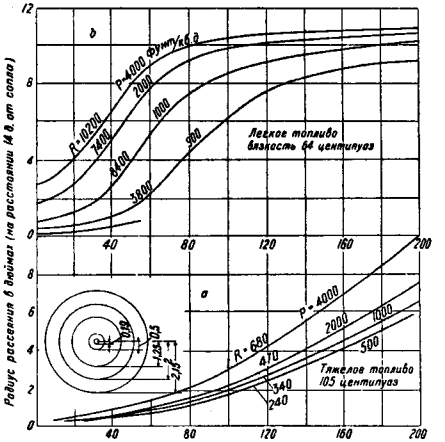
Сопла с винтовыми канавками в отверстиях производят закручивание струи и позволяют этим достичь значительного увеличения угла конусности. Последнее сопровождается однако одновременным уменьшением дальнобойности струи, как это видно на фиг. 36. По оси абсцисс отложены градусы угла наклона винтовых канавок к плоскости, перпендикулярной к оси Ф. При угле в 90° канавки стали бы параллельны оси сверления, и закручивание струи пропало бы. Диам. сопла равен 0,56 *мм*, давление впрыскивания 560 *atm*, противодавление 14 *atm*. Наибольший угол конусности получается при 23° (наиболее интенсивное закручивание струи).



Фиг. 36.

Самый механизм процесса распада струи на капли, как и факторы, непосредственно влияющие на этот процесс, полностью еще не изучены. Из экспериментальных работ Швейтцера и Ли, а также отчасти из аналитич. исследований (напр. Трибниг) следует, что процесс рассеивания струи и полный ее распад находятся под влиянием трения струи о воздух, поверхностного натяжения наружного слоя струи и степени ее турбулентности. Турбулентность струи, определяемая числом Рейнольдса для отверстия сопла, как и вообще неравномерное распределение скорости по сечению струи, в аналитич. исследованиях не учитывалась. Опыты Швейтцера показывают, что рассеяние струй и их распад протекают различно для ламинарных ($R < R_{кр.}$) и турбулентных струй ($R > R_{кр.}$), причем под Рейнольдсовым числом струи понимается число Рейнольдса для отверстия сопла. В опыте Швейтцера топливо, выносимое струей, улавливалось на концентрич. кольцах из пропускной бумаги, помещаемых в камеру с противодавлением на определенном расстоянии от сопла, перпендикулярно к направлению струи. Рассеяние струи характеризовалось величиной радиуса того из колец одинаковой ширины, на к-ром плотность уловленного топлива, т. е. количество его, приходящееся на единицу площади, была наибольшей. Количество впитанного топлива определялось взвешиванием пропускной бумаги. На фиг. 37 радиус рассеяния для двух топлив (легкого и тяжелого) отложен в зависимости от противодавления камеры, в к-рую производилось впрыскивание. Опыты производились при противодавлении 0 (фактически 5 *мм* рт. ст.), 1 *atm*, 60 фн./дм.² (4,2 *atm*) и 200 фн./дм.² (14 *atm*). Вязкость трех сортов испытуемых топлив составляла 48, 78 и 495″ по Сейболту. Опыты показали (фиг. 37, *а* и *б*), что для струй, у к-рых число Рейнольдса было меньше 1 600 при впрыскивании с противодавлением 0, рассеивания не наступало (радиус рассеивания = 0) независимо от давлений впрыскивания. Вместе с тем для струй с большим числом Рейнольдса (R=3 800 и больше) рассеивание наступало и при впрыскивании с противодавлением, равным нулю (фиг. 37, *б*). Это

важное обстоятельство указывает на то, что при впрыскивании в безвоздушное пространство отсутствие рассеивания и распада струй есть следствие ламинарного потока в них. В опытах с противодавлением распад таких струй происходил не вследствие беспорядочного вихревого движения частиц (см. ниже), а вследствие воздействия воздуха на поверхность струи. Поэтому в случае отсутствия воздуха (впрыскивание в пространство с вакуумом) рассеивание ламинарных струй пропадает. При наличии противодавления рассеивание ламинарных струй с увеличением противодавления быстро возрастает (фиг. 37, *а*), и в этом случае оно обусловлено трением движущихся частиц воздуха о поверхность струи. С увеличением расстояния от сопла частицы воздуха производят все большие возмущения поверхности струи, образуют на ней неровности и наконец, преодолев поверхностное натяжение струи, разрывают ее и вызывают распад струи. Т. о. на основании описываемых опытов следует, что распад ламинарных струй происходит под действием поверхностного натяжения и трения о воздух.



Фиг. 37.

Распад турбулентных струй объясняется отчасти трением о воздух, но повидимому гл. обр. беспорядочным движением частиц жидкости, как это уже раньше указывалось Тиманом. Влияние беспорядочного движения частиц жидкости на рассеивание турбулентных струй рисуется Швейтцером сл. обр. При турбулентном течении в сопле у беспорядочно движущихся частиц жидкости имеются компоненты скорости, направленные от оси соплового отверстия радиально. Пока частицы еще находятся в отверстии сопла, эти радиальные компоненты скорости вызывают лишь удары о стенку отверстия, препятствие к-рой не м. б. преодолено, по выходе же из отверстия радиальные удары частиц разрывают упругую поверхность струи и вызывают ее распад. Т. о. для турбулентных струй энергия вихревого движения частиц топлива по выходе их из сопла отчасти тратится на преодоление поверхностного натяжения наружного слоя струи и ее распад. Отсюда вытекает, что распад турбулентной струи может произойти и без воздействия трения воздуха, что и подтверждается опытами Швейтцера при впрыскивании турбулентных струй в безвоздушное пространство. Кривые *а* и *б* (фиг. 37) показывают, что с увеличением противодавления для турбулентных струй радиус рассеяния становится все менее зависящим от числа Рейнольдса R, между тем как для ламинарных струй зависимость радиуса рассеяния от R увеличивается. Это явление подтверждает вышеизложенное объяснение механизма рассеяния обоих видов струй, если принять во внимание, что при турбулентных потоках силы трения мало зависят от вязкости. Выше уже указывалось, что обычно течение в каналах сопел турбулентно, следовательно в действительности топливные струи, впрыскиваемые в рабочий цилиндр двигателя, также турбулентны, и на них распространяется сказанное о механизме распада турбулентных струй.

Ли производил микрофотографии струй на различном расстоянии от сопла при различных давлениях впрыскивания и противодавления. Эти снимки изображены на вкл. л., *5*, *6*, *7* и ясно показывают механизм распада струй. На вкл. л., *5* — микрофотографии струи горючего (× 10) из отверстия диам. 0,2 *мм* на расстоянии 38 *мм* от форсунки, давление распыливания 70 *atm*, давление воздуха: *а*—0,00526 *atm*, *б*—1 *atm*, *в*—13,3 *atm*. На вкл. л., *6*—то же при диам. 0,35 *мм*, при давлении воздуха 1,0 *atm*, *а*—у сопла, *б*—на расстоянии 50 *мм*, *в*—на расстоянии 127 *мм*. На вкл. л., *7*—то же при диам. 0,05 *мм*, на расстоянии 127 *мм* от сопла при давлении распыливания: *а*—14 *atm*, *б* — 35 *atm*, *в*—70 *atm*. Ли объясняет изображенный на микрофотоснимках процесс распада струй только их трением о воздух и поверхностным натяжением, как это, согласно Швейтцеру, имеет место при распаде ламинарных струй. Микроснимки струи топлива показывают, что с увеличением расстояния от сопла поверхность струи, гладкая у сопла, постепенно становится неровной. Эта неровность переходит в бахрому топливных «волокон», которые по мере удаления от сопла все более вытягиваются из центральной части струи. При дальнейшем удалении от сопла вытянувшиеся волокна отделяются от самой струи, к-рая почти совершенно рассеивается, причем отделившиеся волокна распадаются на капли. Опыты Швейтцера в значительной степени подтверждаются микрофотоснимками Ли. При впрыскивании в безвоздушное пространство получаемый на этих снимках вид топливных струй зависит от числа Рейнольдса. Как указывает Ли, ламинарные струи даже при скоростях истечения порядка 170 *м/сек* имеют вид гладких столбиков (по крайней мере на протяжении первых трех дм. от сопла). Однако согласно Ли, при распаде в безвоздушном пространстве турбулентных струй получающиеся капли топлива не настолько малы, чтобы можно было причину распада этих струй приписать влиянию турбулентности. На основании своих опытов Ли заключает, что, если впрыскивание происходит при противодавлении в 1 *atm* и выше, влияние сил трения о воздух на рассеивание струи несравненно больше, чем влияние их турбулентности, что не сходится с вышеизложенными результатами опытов Швейтцера. Т. о. экспериментальные исследования распада топливных струй не привели еще к полному единогласию относительно причины этого явления.

Лит.: Либрович Б. и Лебедев С., Бескомпрессорные двигатели Дизеля, Распыливание и сгорание,

Самовоспламенение топлива, Сборник статей, пер. с нем., М., 1928; Засс Ф., Бескомпрессорные двигатели Дизеля, пер. с нем., М., 1931; Тиман А., Быстроходные транспортные дизели, пер. с нем., М.—Л., 1931; Gelalles A., Effect of Orifice Length Diameter Ratio on Fuel-Sprays for Compression-Ignition Engines, «National Advisory Committee Aeronautica», 1931, Report *402*; Lee D., ibid., *424*; Triebnigg H., Der Einblassu. Einspritzvorgang bei Dieselmaschinen, W., 1925; Seiliger M., Kompressorlose Dieselmaschinen u. Semidieselmaschinen, B., 1929; On the Formation a. Dispersion of Oil Sprays, K. Juhasz, O. Zehn and P. Schweitzer, «The Pensylvania State College Bulletin», Pensylvania, 1932, *40*; Lee D., Fuel-Spray Formation, «Transactions of the American Society of Mechanical Engineers», N. Y. 1932, 30 October; Berg u. Rode, Zur Mechanik d. Druckeinspritzung, «Z. d. VDI», Sonderheft, «Dieselmaschinen», B., 1932; Joachim, Forschungen über Schweröl-motoren in den Ver. Staaten, ibid., 1932; Holfelder O., Zur Strahlzerstäubung bei Dieselmotoren, «Forschung», B., 1932, B. 3, *5*; Sass F., Neuere amerikanische u. deutsche Untersuchungen über Druckeinspritzung bei Dieselmotoren, ibid., 1931, *10*. **Б. Сифман.**

ФОСГЕН, хлорокись углерода, хлорангидрид угольной кислоты, $COCl_2$, получен впервые Д. Дени (1812 г.), который подвергал смесь хлора и окиси углерода действию прямого солнечного света.

Физические свойства. Ф. при обыкновенной $t°$—газ, к-рый при понижении $t°$ сначала конденсируется в бесцветную жидкость и при дальнейшем понижении застывает в кристаллич. массу. $t°_{кип.}$ (при 756,4 *мм*) 8,2°; $t°_{пл.}$ −126° (имеются указания и на −104° и −118°). Плотность жидкого Ф. при −20° 1,461, при 0° 1,420, при +10° 1,398. Вес 1 *л* газообразного Ф. 4,41 *г*. Уд. в. по отношению к воздуху 3,5. Упругость паров Ф. составляет при −31,28° 126,6 *мм*, при 0° 556,5 *мм*, при +12,6° 889,2 *мм* и при +27,9° 1 540 *мм*. Ф. плохо растворяется в воде, но очень хорошо в различных растворителях как органических, так и неорганических; при нагревании их Ф. легко вновь выделяется. Многие вещества хорошо растворяются в Ф.: хлор при 0° 6,6% и при −15° 25,5%; хлористый водород при 0° 1,9%. Ф. подвергается диссоциации на хлор и окись углерода, начиная с 200°, и полностью распадается при 800°. Диссоциирующим действием по отношению к Ф. обладают и ультрафиолетовые лучи. Теплота образования из хлора и окиси углерода (по Томсену) 26 140 cal. Ф., не реагируя, смешивается с иритом, хлорпикрином и другими О.В. Активированный уголь адсорбирует Ф. в значительных количествах.

Химические свойства. Ф. является исключительно реакционноспособным веществом, что объясняется его строением как полного хлорангидрида угольной к-ты; холодной водой гидролизуется медленно, горячей быстрее, образуя хлористый водород и угольную к-ту. Со спиртами образует сначала хлоругольные эфиры и при дальнейшем действии спиртов—полные эфиры угольной кислоты. С фенолами эта реакция протекает легче, особенно в присутствии оснований (щелочи, пиридин), связывающих отделяющийся хлористый водород. Амины реагируют с Ф., давая замещенные мочевины, причем течение реакции зависит от $t°$ и условий опыта. Анилин реагирует с образованием дифенилмочевины. При действии Ф. на диметиланилин конечным продуктом является *n,n'*-тетраметилдиаминобензофенон (кетон Михлера) CO $[C_6H_4N(CH_3)_2]_2$. Уксусная к-та действием Ф. при $t°$ выше 100° дает хлористый ацетил; соли жирных к-т с Ф. образуют соответствующие ангидриды. Ф. переводит окиси металлов в хлориды.

Физиологическое действие Ф. состоит в изменении концентрации элементов крови, причем в первой стадии симптомами его действия являются: ослабление нервных центров обоняния, слабость и удушье с кашлем. Во второй стадии, при сильном отравлении, спустя 5—8 час. следуют повышение $t°$ и концентрация твердых элементов крови, сопровождаемая цианозом. Смерть наступает в результате сердечной слабости. Противоядия—кислород, дигиталис и камфора. Концентрация в 450 *мг/м³* при вдыхании в течение 10 минут уже опасна для жизни. Кроме активированного угля защитным средством могут служить гексаметилентетрамин, фенолят натрия, натронная известь, гипосульфит. Отравления фосгеном обнаружены при пользовании для целей анестезии хлороформом, содержащим Ф. как продукт распада, и при применении огнетушителей, содержащих четыреххлористый углерод: термич. расщепление последнего в присутствии окиси углерода образует Ф.

Получение Ф. осуществляется многими реакциями. Так, серный ангидрид или олеум при действии на четыреххлористый углерод, действие окиси углерода на хлориды металлов платиновой группы, окисление хлороформа и соединений, содержащих группу $—OCCl_3$, а также хлорирование серооксиси углерода дают Ф. Промышленное получение фосгена основано исключительно на непосредственном действии хлора на окись углерода в присутствии активированного или животного угля как катализатора (Патерно, 1878 г.). Процесс производства и применяемая аппаратура различаются в зависимости от качества употребляемой окиси углерода. При наличии чистой окиси углерода после смешения ее с хлором и прохождения через камеру с катализатором образующийся фосген подвергается конденсации при $t°$—25°. Часть несконденсировавшегося Ф. подвергается *рекуперации* (см.) при помощи подходящего растворителя (тетрахлорэтан, ксилол или керосин при низких $t°$). После отгонки от растворителя Ф. поступает в ту же конденсационную систему. При применении CO в виде генераторного газа концентрация полученного Ф. настолько низка, что прямая конденсация при —25° не м. б. осуществлена, и весь процесс выделения Ф. основывается на применении жидкого растворителя. В основном производство Ф. на чистой окиси углерода состоит из генераторной установки, работающей на коксе или древесном угле с применением кислорода; для целей уменьшения $t°$ в рабочем пространстве генератора допускается примесь к кислороду до 15—20% углекислоты, реакция к-рой $(CO_2+C=2CO)$ эндотермическая (−38 960 Cal), и следовательно понижает $t°$ генератора. Т. н. чистая окись углерода (94—98% CO) подвергается осушке серной к-той или соответствующим охлаждением и поступает в смеситель, куда направляется также и ток сухого хлора. Газы из смесителя (свинцового цилиндра с дырчатыми поперечными перегородками) поступают в камеры с катализатором—активированным углем, причем аппарат и соответственно процесс состоят из двух секций: в первой, куда поступает смесь, происходит основное соединение компонентов; вследствие значительной теплоты реакции (+26 140 cal) необходимо применять охлаждение, которое осуществляется внешней рубашкой или внутренними змеевиками. Наличие высокой $t°$, достигающей в рабочем слое катализатора 300—400°, с одной стороны, ускоряет реакцию, с другой,—вызывает диссоциацию Ф., вследствие чего необходимо наличие второй секции, $t°$-ный оптимум к-рой лежит ок. 120°; регулирование достигается охлаждением или подогреванием, что необходимо при малых газовых скоростях. Контактная камера состоит из железного, выложенного свинцом цилиндра с ложным дном, на котором заложен катализатор.

При расчете конденсируемости Ф. в зависимости от концентрации его в исходном газе, температуры конденсации и давления удобно пользоваться ф-лой, предложенной В. Киреевым:

$$a = 100\left[1 - \frac{C_0(100 - C_1)}{C_1(100 - C_0)}\right],$$

где a—количество конденсирующегося Ф. в % к исходному, C_0—процентное содержание Ф. в газовой смеси после конденсации и C_1—до таковой. Величины C_1 и C_0 определяются при помощи величины парциального давления Ф. в исходной смеси, общего давления смеси газов и упругости насыщенного пара Ф. при данной $t°$. Например при давлении 760 *мм*, $t° = -22°$ и 80% фосгена в исходной смеси конденсация составляет 91%, при 50% исходной смеси—62% и при 25% исходной смеси равна 0.

Расходные коэф-ты при работе на чистой окиси углерода составляют на 1 *т* Ф.: кокса 300 *кг*, хлора 750 *кг*, кислорода 205 *м*³, тетрахлорэтана 10 *кг*. Полученный Ф. содержит следы хлора. Расходные коэф-ты для работы на генераторном газе составляют на 1 *т* Ф.: хлора 905 *кг*, кокса 400 *кг*, тетрахлорэтана 100 *кг*. Полученный Ф. содержит до 3% хлора. Очистку его возможно произвести путем фракционирования, причем примеси отделяются в головном погоне и остатке. Технич. Ф. содержит в качестве примесей HCl, Cl_2, $FeCl_3$ и следы растворителя. При необходимости отделения хлора Ф. обрабатывается ртутью, сурьмой или амальгамой меди.

Аналитическое определение Ф. Качественно Ф. обнаруживается в воздухе при концентрации не менее 0,008 *мг/л* при помощи смеси 1, 3, 6-нитрозодиэтиламинофенола и *n*-диметиламинофенола, нанесенной на реактивную бумагу. Другие качественные реакции менее чувствительны. Количественно Ф. определяется, в случае небольшой концентрации, протягиванием исследуемого газа через спиртовый раствор щелочи и последующим определением хлора; жидкий Ф. анализируется путем действия едкой щелочи и определения образующегося карбоната титрованием по Винклеру или Вардеру. Ф. определяется также путем получения нерастворимого в воде осадка дифенилмочевины при действии Ф. на анилин и последующего весового определения осадка или определения в нем азота по Кьельдалю. Ф. определяется также иодометрически действием иодистого натрия в ацетоновом растворе; выделяющийся иод определяют помощью гипосульфита. Наличие свободного хлора в Ф. обнаруживается и определяется при действии испытуемого Ф. на водный раствор иодида в концентрации $^1/_{1000}$, на к-рый Ф. не оказывает действия, в то время как хлор выделяет иод.

Применение. В войну 1914—18 гг. Ф. широко применялся как боевое отравляющее вещество (О.В.); производство его достигало 28 000 *т* (Линдеман). В неорганич. пром-сти Ф. используется как реагент для перевода окисей металлов (напр. V, W, Ta и редких земель) в соответствующие хлориды. Особое значение имеет получение $AlCl_3$ при помощи Ф. из окиси алюминия или каолина; хлорокись фосфора получается при действии Ф. на фосфаты или плавленую метафосфорную кислоту; действием Ф. на сернистый газ готовятся тионилхлорид и хлористая сера. При помощи Ф. производится разложение минералов, содержащих платину, причем полученные двойные соединения платины экстрагируются растворителем. В органич. пром-сти Ф. применяется для получения через кетон Михлера ряда красителей. Действием фосгена на этиловый спирт получают диэтилкарбонат, служащий растворителем. Уксусный ангидрид производится из ацетата натрия действием Ф. В фармацевтич. пром-сти Ф. находит применение для получения карбоната гваякола, аристохинина (хининкарбоната), эйхинина и др. Действие Ф. на бензол в присутствии $AlCl_3$ приводит к получению бензоилхлорида. Наконец Ф. находит применение как хлорирующий агент, напр. при получении метилхлорида из метана. Кроме того Ф. является промежуточным продуктом при производстве других О. В., напр. дифосгена, получаемого действием Ф. на метиловый спирт с образованием метилового эфира хлоругольной кислоты и хлорированием метильной группы.

Хранение и транспорт Ф. осуществляют в стальных баллонах или специальных цистернах; для лабораторных целей употребляется 20%-ный раствор Ф. в толуоле.

Лит.: Мельников Н., «Журнал химич. пром-сти», М., 1932, 9, стр. 20; Либерман Г., Химия и технология отравляющих веществ, 3 изд., Л.—М., 1932; Кретов А., О методах исследования фосгена, «Журн. прикл. химии», М., 1929, т. 2, в. 4; Ольсен и др., Количественное определение фосгена, пер. с англ., «Военная химия», 1932, в. 1—2, стр. 26; Jacqué M. et Jacqué L., Phosgène, «Chimie et Industrie», P., 1928, t. 19, 1; Dyson G., Phosgene, «Chemical Review», L., 1927, v. 4, p. 109; Bibliography on Carbonyl-Chloride and Its Derivatives; Berolzheimer D., «Journ. Ind. a. Eng. Chem.», 1919, v. 11, p. 263.

А. Голев.

ФОСФОР, P, элемент V группы периодич. системы; ат. в. 31,03; изотопы Ф. не найдены. В соединениях Ф. бывает трех- и пятивалентным. Его высшее соединение с водородом PH_3; с кислородом он дает окислы P_2O_3, P_2O_4 и P_2O_5. По валентности и типу соединений Ф. напоминает азот, но по свойствам (как Ф., так и его соединений) совершенно отличен от азота. Ф. распространен в природе и встречается почти во всех горных породах в виде включений кристалликов минерала апатита. Ф. встречается в виде скоплений минералов *фосфоритов* (см.) и апатитов. Апатиты редко залегают большими массами, и колоссальные залежи этого минерала в Хибинской тундре в СССР являются исключением. Фосфориты известны в Георгии, Флориде, Каролине Северной и Южной, в Тенесси, Алжире, Тунисе, на нек-рых островах Великого океана. СССР чрезвычайно богат фосфоритами, залежи к-рых известны в Московской обл., на Урале, в Казахстане, на Украине, в Чувашской республике, в Подолии, на Северном Кавказе и пр. Такие минералы, как вивианит $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ и бирюза $(Al_2O_3)_2P_2O_5 \cdot 5H_2O$, представляют собой водные соли фосфорной кислоты. Ф. является непременной составной частью тканей живых организмов. Белки, содержащие Ф., и *лецитин* (см.) входят в состав мускулов, нервов и мозга. Кости содержат Ф. в виде трикальциевой соли фосфорной к-ты.

Ф. может быть получен в нескольких аллотропных видоизменениях. Белый Ф. (обыкновенный, желтый)—бесцветное, прозрачное стекловидное вещество или белые мелкие кристаллы; в чистом виде белый Ф. можно получить лишь в темноте в отсутствии кислорода и влаги. При фракционной перегонке или фракционной кристаллизации получается совершенно чистый Ф., быстро желтеющий на свету. Такое пожелтение объясняется образованием на поверхности Ф. тонкой пленки красной модификации. При длительном воздействии интенсивного света на обыкновенный Ф. его можно полностью перевести в красный. При 150° в отсутствии кислорода обыкновенный Ф. возгоняется без изменения цвета. Для белого Ф. известны две модификации—α и β; первая кристаллизуется в правильной системе (уд. в. 1,84), вторая (обыкновенный Ф.)—в гексагональной (уд. в. 1,88). Переход α-фосфора в β-фосфор происходит при следующих условиях:

Давление, *кг/см*²	1	6 000	8 000	10 000	12 000
$t°$ перехода	−76,9	−2,4	21,4	43,7	64,4

Твердость Ф. по Мосу 0,5. Пластичность его увеличивается с повышением $t°$. Расплавленный Ф. с трудом смачивает стекло; поверхностное

натяжение 35,56 D/*см* при 132,1° и 43,09 D/*см* при 78,3°. Соответствующие уд. веса Ф. равны 1,665 и 1,714. Сжимаемость обыкновенного Ф. между 100 и 500 *atm* равна 0,0000199 *см*²/*кг*. Коэф. расширения обыкновенного Ф. от 0° до 40°=0,000125, а объем его при 44° в 1,017 раза превышает объем при 0°. Теплоемкость белого Ф. (0—51°) 0,183 cal/*г*; теплота плавления 5,03 cal/*г*. Вес 1 *л* паров Ф. 2,805 *г* (Вильямсон). Мол. в. его в пределах *t*° от 313° до красного каления колеблется от 128 до 119,8. Следовательно строение его молекулы в этом интервале отвечает P_4. При высоких *t*° он частично диссоциирует на P_2. В растворе его молекула отвечает ф-ле P_4; $t°_{пл.}$ обыкновенного Ф. 44,5°; он медленно возгоняется при 40°, испаряется при нормальной *t*°. Давление паров обыкновенного твердого Ф. при 5°—0,03 *мм*, при 40°—0,50 *мм*. Растворимость Ф. в воде: 0,0003 *г* на 100 *г* воды при 15°. Различные растворители растворяют приблизительно Ф. (в 100 ч. растворителя): сероуглерод 25, бензин 1,5, миндальное масло 1,00, конц. уксусная к-та 1,00, эфир 0,45, этиловый спирт (уд. в. 0,822) 0,25, глицерин 0,17 ч. Водород хорошо поглощается Ф., особенно при электрич. разряде. Водород способен реагировать с Ф. in statu nascendi; выделившийся газ этой способностью уже не обладает. Фтор реагирует при обычной *t*° с Ф. без воспламенения, образуя при избытке Ф. PF_3 и при избытке фтора PF_5. Ф. энергично соединяется с кислородом, образуя в зависимости от количества реагентов фосфористый или фосфорный ангидрид. Гидрохинон, сахар, глицерин, мышьяковистокислый натр замедляют реакцию окисления Ф. Соединяясь с кислородом воздуха, Ф. воспламеняется, поэтому хранить его нужно под водой. Темп-ра воспламенения Ф. в воздухе, в кислороде или в воздухе, разбавленном равным объемом углекислоты, 45,0—45,2°. Воспламенению обычного Ф. способствует разрежение воздуха и мешает сжатие. Присутствие в атмосфере озона и влаги повышает *t*° воспламенения. В атмосфере сероуглерода *t*° воспламенения Ф. 87°, скипидара—18°; Ф. может быть нагрет без воспламенения до 205°, если он находится в покое; самое легкое помешивание вызывает воспламенение уже при 45°. Обычный Ф. воспламеняется в течение 20 ск., будучи приведен в соприкосновение с чистым амальгамированным алюминием. Азот поглощается Ф., но не реагирует с ним. Белый Ф. светится в темноте при соприкосновении с кислородом воздуха. Интенсивность свечения зависит от концентрации кислорода. В чистом кислороде ниже 27° Ф. не светится и не окисляется. Белый Ф. ядовит и доза в 0,15 *г* смертельна. В виду способности Ф. растворяться в жирах, при отравлении им совершенно недопустимы жирная пища и молоко как способствующие лучшему всасыванию Ф. в организм.

К р а с н ы й Ф.—модификация, резко отличающаяся по своим физич. и химич. свойствам от белого Ф. Красный Ф. образуется из обыкновенного при пропускании электрич. разряда через пары последнего. Нагревая раствор белого Ф. в трехбромистом Ф. при *t*° 170—190°, можно выделить т. н. м а л и н о в у ю разновидность Ф. Эта разновидность имеет коллоидное строение и является переходной между обыкновенным и красным Ф.; присутствие трехиодистого Ф. ускоряет (в 3 раза) реакцию. Нагревая обыкновенный Ф. с серой или сульфидом, а затем обрабатывая полученную смесь водным раствором щелочи или аммиака, можно также получить красный Ф. Красный Ф. в технике получается нагреванием обычного Ф. без доступа воздуха при *t*° 240—250°; реакция сопровождается выделением тепла. Цвет красного Ф. изменяется в зависимости от *t*° получения. При низких *t*° он имеет малиновый оттенок, при высоких — фиолетовый или же пурпурный. Селен ускоряет переход белого Ф. в красный. Отделение примеси обыкновенного Ф. от красного производится обработкой сероуглеродом в течение 50 ч. при 250—260° или 10%-ным раствором натровой щелочи в течение 2 ч.; возможна также промывка Ф. смесью сероуглерода и раствора хлористого кальция уд. в. 1,349—1,384. Обыкновенный фосфор при этом растворяется в сероуглероде, а красный оседает в раствор хлористого кальция. Существует предположение, что белая и красная модификации фосфора химически различны; доказательством этого положения служит то, что при смешении расплавленного желтого и красного Ф. не наблюдается перехода первого во второй. При нагревании в пределах 280—400° пары красного Ф. частично сгущаются в т. н. м е т а л л и ч е с к и й Ф. При быстром охлаждении паров образуется частично красный Ф., причем тем в большем количестве, чем выше была темп-ра перед застыванием. Поверхность приемника действует каталитически на образование красного Ф. Продолжительность нагревания не сказывается на процессе, но охлаждение должно происходить быстро. Существует мнение (А. Шток), что красный Ф. образуется в результате соединения диссоциированных молекул Ф. между собою или с недиссоциированными молекулами и что образование молекул P_4 желтого фосфора относительно медленнее, чем образование молекул красного фосфора. Конденсация красного Ф. из парообразного состояния не зависит от присутствия жидкого желтого Ф. Красный Ф., полученный при охлаждении паров, имевших *t*° 1 200°, и при давлении в 5 *мм*, содержит не более 1% желтого Ф.; отсюда следует, что молекулы P_2 и P_4 принимают участие в образовании красного Ф. Возможно, что это образование идет по ур-ию $mP_2 + nP_4 = P_{2m+4n}$. Имеются предположения, что расплавленный Ф. содержит молекулы P_4 желтого Ф. и молекулы P_n красного в равновесии:

$$aP_4 \rightleftarrows bP_n.$$

Выше $t°_{пл.}$ красного Ф. (592,5°, по другим данным 589,5°) большинство молекул находится в виде P_4, так что при быстром охлаждении образуется белая разновидность, но медленное охлаждение позволяет произвести сдвиг равновесия в правую сторону, и при затвердевании выделяется красный Ф. Уд. в. красного Ф. колеблется от 2,05 до 2,3, что заставляет рассматривать его как смесь двух модификаций. Есть предположение, что красный Ф. по кристаллич. строению моноклиничен. Сжимаемость красного Ф. (между 100—500 *atm*) равна 0,0000092 *см*²/*кг*; $t°_{пл.}$ красного Ф. зависит от скорости нагревания и колеблется в пределах ± 0,5°. Давление паров красного Ф. при 230° —0 *мм*, при 360°—0,1 *мм*, при 500°—9 *atm*. Красный Ф. нерастворим в сероуглероде. Полученный с выделением тепла красный Ф. содержит меньше энергии и значительно меньше

активен, чем белый. Красный Ф. не ядовит, он не воспламеняется на воздухе, почему хранение его не так опасно. Красный Ф. воспламеняется от удара. Гитторф утверждает, что переход красного Ф. в желтый не наблюдается при $t°$ в 320°, но последний образуется при 358°. В запаянной трубке красный Ф. прочен при $t°$ от 450 до 610°.

Кристаллический, или фиолетовый, Ф. имеет кристаллическое строение, кристаллы тригональны с осевым отношением $a:c=1:1{,}1308$. Получается кристаллизацией из расплавленного свинца или висмута, а также нагреванием белого Ф. под давлением в 500 *кг/см²* в присутствии натрия. Нерастворим в сероуглероде; удельный вес фиолетового Ф. 2,34; он возгоняется при 690,9°; $t°_{пл.}$ 589,5° при давлении 43,1 *atm*.

Черный Ф. (P. Bridgeman) получается из обыкновенного Ф. при нагревании до 216° под давлением 89 *atm*. Он нерастворим в сероуглероде; воспламеняется при $t°$ 400° и не воспламеняется от удара; $t°$ перехода красного Ф. в черный 575°; красный Ф. переходит в черный при нагревании в атмосфере водорода при 200° и давлении 90 *atm* (В. Ипатьев). Технич. значение имеют только 2 модификации: белый (желтый) и красный Ф.

Получение Ф. Обычно приготовляют белый Ф., к-рый, *если нужно, переводят в дальнейшем* в красную модификацию. Исходным материалом для получения Ф. служат фосфориты—естественный трикальцийфосфат, лучше всего костная зола. Процесс состоит в восстановлении фосфата углем или действии алюминия на метафосфат натрия, смешанный с кремнеземом:

$$6NaPO_3+3SiO_2+10Al=3Na_2SiO_3+5Al_2O_3+6P.$$

Известны 2 способа фабричного получения Ф.: 1) старый способ Пеллетье, состоящий в обработке фосфата (костная мука) разбавленной серной к-той, причем трикальцийфосфат переходит в монокальцийфосфат:

$$Ca_3(PO_4)_2+2H_2SO_4=2CaSO_4+Ca(H_2PO_4)_2.$$

Раствор последнего отделяют от гипса ($CaSO_4\cdot 2H_2O$), выпаривают, прокаливают с углем и получают метафосфат кальция:

$$Ca(H_2PO_4)_2=2H_2O+Ca(PO_3)_2,$$

к-рый после сильного прокаливания дает Ф., трикальцийфосфат и окись углерода:

$$3Ca(PO_3)_2+10C=Ca_3(PO_4)_2+4P+10CO.$$

По способу Велера исходят непосредственно из трикальцийфосфата:

$$2Ca_3(PO_4)_2+6SiO_2+10C=6CaSiO_3+10CO+4P.$$

Этот процесс требует высокой $t°$ и стал применяться лишь с введением в практику электрич. печей. Существует также способ получения Ф. из свободной фосфорной кислоты, смешанной с углем, помощью электрич. тока. В СССР ак. Э. В. Брицке разработан способ получения Ф. в печах типа домны.

Торговый продукт всегда содержит следы мышьяка, соединения кремния и уголь. Механич. загрязнения удаляют фильтрованием, а *еще лучше повторной* перегонкой. Превращение белого Ф. в красный производится при $t°$ 260°; уменьшение давления замедляет течение реакции; освещение ускоряет процесс; так же влияют катализаторы (иод, селен).

Аналитическое определение Ф. Пары Ф. действуют на влажную бумагу, пропитанную азотнокислым серебром, вызывая ее почернение. Чернота обусловливается образованием фосфористого и металлического серебра. Реакция протекает в 2 стадии. Реагируя с водой, Ф. образует фосфористый водород и фосфорноватистую к-ту:

$$P_4+6H_2O=3H_2PO_2+PH_3.$$

Возникшие в результате реакции соединения действуют на нитрат серебра:

$$H_3PO_2+2H_2O+4AgNO_3=4HNO_3+H_3PO_4+4Ag;$$

$$PH_3+8AgNO_3=3HNO_3+PAg_3.$$

Данная реакция применима для открытия белого Ф. лишь в отсутствии H_2S, AsH_3, SbH_3, а также муравьиного альдегида и муравьиной к-ты. Открытие ядовитого Ф. (по Митчерлиху) основано на способности Ф. светиться во влажном воздухе в темноте. Измельченное вещество, в к-ром предполагается открыть Ф., помещают в колбу, соединенную с холодильником. В колбу приливают столько воды, чтобы получить жидкую кашицу, и содержимое колбы нейтрализуют винной кислотой до слабо кислой реакции. При нагревании колбы в темноте ничтожное количество Ф. (несколько *мг*) уже вызывает свечение в холодильнике. Так как явление свечения может обусловливаться также присутствием сернистого Ф. после его разложения при нагревании, рекомендуется нагревать колбу не непосредственно, а путем пропускания в нее водяного пара. Свечение Ф. не наблюдается в присутствии следов аммиака, сероуглерода, паров спирта, эфирных масел и ненасыщенных углеводородов, поэтому перегонку не следует прекращать слишком рано. Если все же не наблюдается свечения, то фильтрат окисляют хлорной водой, выпаривая на водяной бане до небольшого объема, и делают пробу на фосфорную к-ту. Свечение Ф. можно наблюдать и в колбе, нагрев жидкость сначала до кипения, затем несколько охладив и снова нагрев до кипения; 0,0171 *мг* Ф. светятся очень ясно, 0,0085 *мг*—ясно, 0,0042 *мг*—слабо и 0,001 *мг*—сомнительно. Ф., восстанавливаясь за счет водорода in statu nascendi, дает фосфористый водород, к-рый в смеси с водородом при зажигании у выхода из трубки с платиновым наконечником горит изумрудно-зеленым пламенем. Органические вещества препятствуют появлению окраски, а потому д. б. отделены. Азотная к-та легко окисляет Ф. в фосфорную кислоту:

$$3P_4+20HNO_3+8H_2O=12H_2PO_4+20NO.$$

Количественно Ф. определяется после окисления в фосфорную к-ту и осаждения в виде $MgNH_4PO_4$.

Применение. Ф. есть один из элементов, без к-рых невозможно правильное развитие растительных и животных организмов. Существует прямая зависимость между содержанием Ф. в питательной среде и ростом растения. Ф. наряду с азотом и калием является главнейшим питательным веществом, в котором нуждаются с.-х. растения. Будучи отчужден с поля вместе с урожаем зерна, Ф. не имеет замкнутого цикла в своем круговороте, а потому без искусственного внесения его в почву извне наблюдается истощение почв. Удобрения, содержащие Ф., составляют самую большую группу. Ф. применяется в военном деле в качестве дымообразующего средства и для наполнения зажигательных снарядов.

Лит.: Менделеев Д., Основы химии, М., 1932; Mellor J., A Comprehensive Treatise on Inorganic a. Theoretical Chemistry, v. 8, 1931.

Л. Владимиров.

ФОСФОРА СОЕДИНЕНИЯ. Технически наиболее важными Ф. с. являются соединения фосфора с водородом, с металлами, галоидами, серой и с кислородом.

Водородные Ф. с. Газообразный фосфористый водород PH_3, бесцветный газ с характерным запахом, нерастворимый в воде; сильный яд; $t°_{кип.}$ −87,4°; при обыкновенных условиях путем прямого соединения элементов не получается; м. б. получен кипячением белого фосфора с раствором едкого кали:

$$3KOH+4P+3H_2O=3KH_2PO_2+PH_3.$$

Полученный таким путем PH_3 содержит пары жидкого фосфористого водорода P_2H_4, почему способен к самовоспламенению. PH_3 м. б. получен также при действии воды на фосфористый кальций:

$$Ca_3P_2+6H_2O\rightarrow 3Ca(OH)_2+2PH_3.$$

Пропусканием газа через охлаждаемую отводную трубку, где сгущаются жидкие соединения, можно получить чистый газообраз-

ный PH_3. В противоположность аммиаку PH_3 не соединяется с кислородными к-тами. При взаимодействии с растворами некоторых солей PH_3 осаждает фосфористые металлы (фосфиды):

$$3CuSO_4+2PH_3 \rightarrow Cu_3P_2+3H_2SO_4.$$

С реактивом Несслера PH_3 аналогично аммиаку дает характерный оранжевый осадок. Ж и д к и й ф о с ф о р и с т ы й в о д о р о д P_2H_4, бесцветная жидкость с $t^\circ_{кип.}$ 57—58°, самовоспламеняющаяся на воздухе; получается при пропускании газов, образующихся под действием воды на фосфористый кальций Ca_3P_2, через охлажденные сосуды. Солей не образует. Т в е р д ы й ф о с ф о р и с т ы й в о д о р о д P_4H_2, бесцветный и без вкуса порошок; получается при действии крепкой соляной к-ты на Ca_3P_2; загорается при ударе и при t° 175°.

Ф. с. с металлами. С большинством металлов фосфор дает ф о с ф и д ы, к-рые получаются прямым соединением металла с фосфором при нагревании в атмосфере инертного газа. Нагретые до темнокрасного калення железо, никель, кобальт, марганец, палладий, платина и иридий соединяются с фосфором, раскаляясь добела. Фосфиды получаются также нагреванием металла, соли (галоидной) или окиси металла в струе PH_3 или фосфористого галоида. Пропуская PH_3 через водный раствор металлич. солей или действуя раствором фосфора в сероуглероде на металлич. соль, получают фосфиды мышьяка, сурьмы и висмута; фосфиды м. б. получены также восстановлением фосфатов (солей фосфорной к-ты) водородом или углем. Фосфиды калия и кальция (K_3P и Ca_3P_2) и других сильно электроположительных металлов легко гидролизуются, образуя гидроокиси или гипофосфиты металла и PH_3. Фосфиды железа и меди имеют металлич. свойства и приближаются к сплавам. Они не разлагаются водой, но нек-рые разлагаются при нагревании с разбавленными кислотами. Азотная и хлорноватистая кислоты превращают многие фосфиды в ортофосфаты. Фосфиды железа применяются при выплавке специальных сталей, а фосфиды меди—при получении бронзы. Фосфиды железа зачастую содержат примесь элементарного железа (Fe_3P+Fe) или смесь карбида железа и элементарного железа (Fe_3P+Fe_3C+Fe). Из других фосфидов можно назвать Na_3P_2—фосфид натрия, Zn_3P_2—фосфид цинка, SnP—фосфид олова, Cu_3P—фосфид меди, PtP_2—фосфид платины.

Галоидные Ф. с. Известные следующие галоидные соединения фосфора:

PF_3—газ, PCl_3—жидк., PBr_3—жидк., P_2I_4—тверд.
PF_5—газ, PCl_5—тверд., PBr_5—тверд., PI_3—тверд.

Получаются галоидные Ф. с. непосредственным соединением элементов. Они сполна разлагаются водой, давая кислородную к-ту фосфора и галоидоводород, напр.:

$$PCl_3+{}^{+4}H_2O \rightarrow H_3P{}^{+5}O_4+3HCl.$$

Т р е х х л о р и с т ы й ф о с ф о р PCl_3, бесцветная, сильно дымящая на воздухе жидкость, уд. в. 1,577, с $t^\circ_{кип.}$ 76,6°, застывающая при —111,8°; смешивается с эфиром, бензином и хлороформом; образуется при взаимодействии хлора с расплавленным фосфором. Реакцию ведут, пропуская хлор в колбу до тех пор, пока соотношения реагентов будут отвечать ф-ле; при избытке хлора образуется п я т и х л о р и с т ы й ф о с ф о р PCl_5, желтовато-белые кристаллы (тетрагональной системы). PCl_5 дымит на воздухе и возгоняется при обыкновенном давлении; при давлении выше атмосферного $t^\circ_{пл.}$ 148°. Переходя при обычном давлении (не плавясь) в пар, частично диссоциирует:

$$PCl_5 \rightleftarrows PCl_3+Cl_2;$$

применяется как катализатор при хлорировании, при ацетилировании целлюлозы.

Сернистые Ф. с. Фосфор с серой при нагревании реагируют очень энергично и при быстром повышении темп-ры даже со взрывом. Постепенное нагревание расплавленных фосфора и серы позволяет получить соединения этих элементов в самых различных соотношениях. Известны: P_4S; P_4S_2; P_4S_3; PS; P_4S_5; P_8S_{11}; P_2S_3; P_2S_5; P_3S_5; P_4S_7; P_3S_6; P_4S_9; P_2S; P_2S_6; P_8S_{12}. Среди сернистых Ф. с. промышленное значение имеет P_4S_3, т. н. с е с к в и с у л ь ф и д, применяющийся в производстве спичек; светложелтые ромбич. иглы с $t^\circ_{пл.}$ 172,5°, $t^\circ_{кип.}$ 407°; при 40—50° образует туман, светящийся в темноте, с характерным неприятным запахом. П я т и с е р н и с т ы й ф о с ф о р P_2S_5, желтое кристаллич. вещество с $t^\circ_{пл.}$ 290° и $t^\circ_{кип.}$ 515°, применяющийся в качестве среды для создания постоянной высокой t°. О к с и с у л ь ф и д ы ф о с ф о р а. Диокситрисульфид фосфора $P_2O_2S_3$ образуется при растворении сероводорода в хлорокиси фосфора при 0° в виде светложелтого осадка. Триоксидисульфид фосфора $P_2O_3S_2$ образуется при смешении серы и трехокиси фосфора P_2O_3 (P_4O_6) с последующим нагреванием до 160°; $P_4O_6+4S=P_4O_6S_4$, бесцветное кристаллич. вещество. Сульфурилфосфат $P_2O_5 \cdot 3SO_3$ образуется при реакции фосфорного ангидрида с серным ангидридом на холоду; белая масса, состоящая из прозрачных пластинок.

Кислородные соединения фосфора. Известны три окисла фосфора—трехокись P_2O_3 (P_4O_6), пятиокись P_2O_5 (P_4O_{10}) и четырехокись P_2O_4.

Окисление фосфора (по Семенову) начинается диссоциацией O_2, затем реакции следуют т. о.:

$$O+P_4=P_4O;\ P_4O+O_2=P_4O_3+O;\ O+P_4=P_4O \text{ и т. д.}$$

Образующиеся частицы P_4O_2 проходят стадии последующего окисления, причем появляются возбужденные молекулы P_4O_2, способные расщеплять O_2 на атомы и тем создавать разветвление цепи реакций. Увеличение количества активных центров сопровождается автоускорением реакции, получающим внешнее выражение в воспламенении. Пары фосфора не реагируют и не воспламеняются до тех пор, пока давление кислорода остается меньшим некоторого значения p_r; когда эта величина давления достигнута, происходит резкий переход от отсутствия реакции к воспламенению; но лишь только давление кислорода становится меньше p_r, горение прекращается; чем больше давление паров фосфора, тем меньше p_r; значение p_r уменьшается в значительной степени от введения инертного газа; значение p_r тем меньше, чем больше диаметр сосуда. Все эти зависимости м. б. выражены ф-лой

$$p_r \cdot p_{p_4}\left(1+\frac{p_s}{p_{p_4}+p_r}\right)d^2 = \text{Const};$$

здесь p_r—определенное давление кислорода, p_{p_4}—давление паров фосфора, p_s—давление инертного газа, d—диаметр сосуда.

П я т и о к и с ь ф о с ф о р а, ф о с ф о р н ы й а н г и д р и д P_2O_5, белый порошок, получаемый при горении фосфора в избытке кислорода. P_2O_5 очень энергично поглощает влагу, почему применяется в качестве водоотнимающего вещества. Результатом реакции является метафосфорная к-та: $P_2O_5+H_2O \rightarrow 2HPO_3$. Т р е х о к и с ь ф о с ф о р а, ф о с ф о р и с т ы й а н г и д р и д, P_2O_3 (P_4O_6) образуется при горении фосфора при недостатке кислорода; белое твердое вещество с $t^\circ_{пл.}$ 22,5° и $t^\circ_{кип.}$ 173°; от P_2O_5 м. б. отделен перегонкой. Чрезвычайно медленно соединяется с холодной водой, с горячей энергично реагирует, давая фосфори-

стый водород, красный фосфор, фосфорноватую, фосфорную и небольшое количество фосфористой к-ты. P_2O_3 разлагается при 440°, образуя четырехокись P_2O_4. Фосфористая кислота H_3PO_3 помимо описанных выше реакций P_2O_3 с водой образуется при действии воды на PCl_3, PBr_3 или PJ_3 после выпаривания полученного раствора:

$$PCl_3+3H_2O \rightarrow H_2PO_3+3HCl.$$

При окислении влажного фосфора на воздухе также образуется нек-рое количество этой к-ты. H_3PO_3 двухосновна; она является сильным восстановителем, например осаждает металлич. серебро из растворов его солей. При нагревании H_3PO_3 дает метафосфорную к-ту HPO_3 и PH_3:

$$4H_3PO_3 \rightarrow 3HPO_3+3H_2O+PH_3.$$

Количественное определение H_3PO_3 основано на ее способности моментально окисляться бромом в присутствии бикарбоната натрия. Реакция окисления протекает по ур-ию:

$$H_3PO_3+Br_2+H_2O=H_3PO_4+2HBr.$$

Фосфорноватистая кислота H_3PO_2 получается при нагревании фосфора с едким баритом; к полученному раствору прибавляют разбавленной серной кислоты; получаемый при этом $BaSO_4$ отфильтровывают, фильтрат упаривают и получают кристаллы H_3PO_2; H_3PO_2 одноосновна; сильный восстановитель (выделяет серебро из его солей); при нагревании выделяет воду и PH_3. Количественное определение H_3PO_2 также основано на окислении ее бромом, но только в присутствии уксуснокислого натрия. Фосфорноватая кислота H_3PO_3 образуется при нагревании белого фосфора с азотной кислотой в смеси с азотнокислой медью. Половина полученного раствора нейтрализуется углекислым натрием и к ней прибавляется не нейтрализованная половина; выделяется обильный осадок гидрата натриевой соли фосфорноватой к-ты $NaHPO_3 \cdot 2H_2O$. Из этой соли м. б. получена свободная к-та. Фосфорная к-та H_3PO_4—высшая степень окисления фосфора. Фосфорный ангидрид P_2O_5 образует с водой три к-ты: орто-, пиро- и метафосфорные к-ты. Чистая ортофосфорная, или просто фосфорная, к-та H_3PO_4 м. б. получена кипячением красного фосфора с разбавленной азотной к-той с последующим удалением избытка последней и воды. H_3PO_4 значительно слабее диссоциирована, чем серная к-та; константы ее диссоциации (при 18°):

$$H_3PO_4 \rightleftarrows H^+ + H_2PO_4^- \ldots K_1 = 1{,}1 \times 10^{-2},$$
$$H_2PO_4^- \rightleftarrows H^+ + HPO_4^{''} \ldots K_2 = 1{,}95 \times 10^{-7},$$
$$HPO_4^{''} \rightleftarrows H^+ + PO_4^{'''} \ldots K_3 = 3{,}6 \times 10^{-13}.$$

Ортофосфорная к-та трехосновна; при определенной концентрации может кристаллизоваться. Известно несколько ее кристаллогидратов:

$$H_3PO_4 \cdot 0{,}135\,H_2O;\ H_3PO_4 \cdot 3{,}205\,H_2O;$$
$$2H_3PO_4 \cdot H_2O;\ 10H_3PO_4 \cdot H_2O;$$

кристаллизуется также и безводная кислота. Кристаллы ортофосфорной кислоты легко расплываются на воздухе, жадно поглощая влагу. Кристаллизация служит методом очистки H_3PO_4 от примесей. При выпаривании разбавленной к-ты при 149° образуется сиропообразная жидкость, к-рая состоит из одной ортофосфорной к-ты; она очень медленно теряет воду между 150 и 160°. При 238° потеря воды такова, что отношение $P_2O_5 : H_2O = 1 : 2^2/_3$ вместо 1 : 3, отвечающего ортофосфорной к-те. При медленном выпаривании к-ты в платиновом тигле при $t°$ 212—213° отношение понижается до $1 : 2^1/_3$, т. к. очень большая часть превращается в пирофосфорную к-ту $H_4P_2O_7$. При самом сильном нагревании на песчаной бане, значительно более высоком, чем $t°_{пл.}$ свинца, получается смесь, в большей своей части состоящая из метафосфорной к-ты HPO_3. При нагревании H_3PO_4 от 230 до 235° превращение ее в $H_4P_2O_7$ не заканчивается; между 255 и 260° оно совершается полностью; образование HPO_3 начинается между 290 и 300°. Теплота плавления кристаллич. H_3PO_4 2,52 cal; теплота плавления полугидрата $2H_3PO_4 \cdot H_2O$ 7,28 cal. Теплота растворения одной молекулы кристаллич. H_3PO_4 2,69 cal, теплота растворения молекулы жидкой к-ты 5,21 cal. Теплота нейтрализации $H_3PO_4 + n$NaOH aq.:

n	0,5	1,0	2,0	3,0	6,0
Теплота нейтрализации в cal	7,3	14,8	27,1	34,0	35,3

В технике ортофосфорная кислота получается путем разложения минеральными к-тами природных фосфатов (фосфоритов, апатитов, костей), напр.:

$$Ca_3(PO_4)_2+3H_2SO_4=2H_3PO_4+3CaSO_4,$$

или путем возгонки фосфора из тех же фосфатов с последующим его окислением и гидратацией:

$$Ca_3(PO_4)_2+5C+3SiO_2=3CaSiO_3+5CO+2P;$$
$$2P+5O=P_2O_5;\ P_2O_5+3H_2O=2H_3PO_4.$$

Аналитическое определение ортофосфорной к-ты. 1) Смесь хлористых магния и аммония в присутствии аммиака выделяет из разбавленных растворов H_3PO_4 и ее солей характерный кристаллич. осадок состава $MgNH_4PO_4$, растворимый в к-тах и практически нерастворимый в $2^1/_2$%-ном аммиаке. 2) Восстановленные растворы молибденовокислого аммония и фосфата (соли H_3PO_4) в кислой среде образуют интенсивно синее окрашивание (восстановленные гетерополисоединения молибдена). На этом основано калориметрич. определение фосфорной к-ты.

Фосфорная к-та применяется в производстве удобрений, для активации угля, в пищевой пром-сти, в парфюмерии и др.

Фосфаты, соли ортофосфорной к-ты, известны трех родов, напр. KH_2PO_4, K_2HPO_4, K_3PO_4; однозамещенные соли щелочных металлов имеют слабо кислую реакцию, двузамещенные—слабо щелочную, трехзамещенные средние соли устойчивы лишь в твердом виде. H_3PO_4 дает также двойные соли, как $NaNH_4 \cdot HPO_4$ (микрокосмич. соль) и $MgNH_4 \cdot PO_4$. Аммонийные соли фосфорной к-ты в смеси с нек-рыми другими фосфатами известны в технике в качестве удобрений (аммофос). Дерево, пропитанное растворами этих солей, приобретает огнестойкость; кальциевые соли входят в состав удобрений. Суперфосфат в качестве главной составной части содержит однозамещенную кальциевую соль $Ca_4(PO_4)_2$, преципитат—двузамещенную соль $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$. Трехзамещенная соль вместе с CaF_2 входит в состав природных фосфатов.

Хлорокись фосфора $POCl_3$, хлорид ортофосфорной кислоты, бесцветная жидкость острого запаха, раздражающая органы дыхания; $t°_{пл.}$ 1,78°, $t°_{кип.}$ 110°; с водой распадается на ортофосфорную и соляную к-ты:

$$POCl_3+3H_2O=H_3PO_4+3HCl;$$

получается из PCl_3 окислением (воздухом или бертолетовой солью) или из PCl_5 (щавелевой к-той); применяется при ацетилировании целлюлозы, для приготовления гваякола, эфиров фосфорной к-ты и др.

Пирофосфорная к-та $H_4P_2O_7$ получается при нагревании ортофосфорной к-ты

до 213°; ее соли получаются прокаливанием двуметаллич. солей ортофосфорной к-ты:

$$2Na_2HPO_4=H_2O+Na_4P_2O_7;$$

при кипячении пирокислота переходит в ортокислоту:

$$H_4P_2O_7+H_2O=2H_3PO_4.$$

$ZnSO_4$ в растворе щелочного пирофосфата, сильно подкисленного уксусной к-той, образует белый осадок пирофосфата цинка:

$$Na_2H_2P_2O_7+2ZnSO_4=Zn_2P_2O_7+Na_2SO_4+H_2SO_4.$$

Выделившаяся серная к-та м. б. оттитрована, на чем и основано количественное определение пирокислоты (Брицке Э. и Драгунов С.). Метафосфорная кислота HPO_3 получается при нагревании ортокислоты до 350°. В продаже известна в виде прозрачных палочек. При высокой $t°$ превращается в пар, плотность к-рого отвечает $(HPO_3)_2$. Соли HPO_3 образуют ряд полимеров, весьма различных по своим свойствам. Известны метафосфаты: 1) непосредственно переходящие в пирофору при растворении, 2) превращающиеся в течение нескольких дней и 3) постоянные. Гидратация метафосфатов зависит от времени взаимодействия метафосфата и воды; в разбавленных растворах гидратация протекает медленнее; высокая темп-ра ускоряет гидратацию. Реакция среды влияет на гидратацию т. о., что в нейтральном растворе метафосфат натрия гидратируется с прямым образованием ортофосфата: $NaPO_3+H_2O=NaH_2PO_4$; в кислом растворе наблюдается промежуточное образование пирофосфорной к-ты, и реакция течет в две стадии:

$$2HPO_3+H_2O=H_4P_2O_7,$$
$$H_4P_2O_7+H_2O=2H_3PO_4.$$

В щелочном растворе реакция протекает одновременно по обеим стадиям по следующим уравнениям:

$$NaPO_3+NaOH=Na_2HPO_4,$$
$$2NaPO_3+2NaOH=Na_4P_2O_7+H_2O.$$

Метафосфорная к-та и ее растворимые соли свертывают белок, что и служит качественной реакцией для ее открытия.

Пирофосфорная кислота может быть рассматриваема как член ряда полифосфорных кислот, получаемых из ортокислоты отнятием воды:

Пирофосфорная к-та $H_4P_2O_7$	$2H_3PO_4-H_2O$
Трифосфорная к-та $H_5P_3O_{10}$	$3H_3PO_4-2H_2O$
Тетрафосфорная к-та $H_6P_4O_{13}$	$4H_3PO_4-3H_2O$

Общее ур-ие получения поликислот и общая их ф-ла таковы:

$$mH_3PO_4-(m-1)H_2O=H_{m+2}P_mO_{3m+1}.$$

Соли этих к-т получаются нагреванием метафосфатов с пиро- или ортофосфатами.

Органические соединения фосфора. Органич. производные фосфористого водорода PH_3 носят название фосфинов (по аналогии с аминами). Фосфины известны первичные, вторичные и третичные. Первичные фосфины получаются в смеси со вторичными при нагревании иодистого фосфония PH_4J с галоидными алкилами при 100—150° в присутствии окиси цинка. Третичные фосфины получаются нагреванием иодистого фосфония со спиртами при 160—180°: $PH_4J+CH_3OH=PH_3+CH_3J+H_2O$; $PH_3+3CH_3J=(CH_3)_3P+3HJ$. Фосфины дают с к-тами соли, причем соли первичных фосфинов разлагаются водой на к-ту и свободный фосфин. Третичные фосфины способны присоединять молекулу галоида, давая соединения типа $(CH_3)_3PBr_2$. При окислении третичных фосфинов образуются их окиси:

$$(CH_3)_3P+O=(CH_3)_3PO.$$

Фосфор в этом случае переходит из трехвалентного в пятивалентный. При окислении первичных и вторичных фосфинов образуются фосфониевые к-ты:

$(CH_3)_2PH+O_2=(CH_3)_2POOH$; $CH_3PH_2+3O=CH_3PO(OH)_2$.

Третичные фосфины присоединяют иодистые алкилы и дают соли четвертичных фосфониевых оснований, напр. $(CH_3)_3P+CH_3J=(CH_3)_4PJ$—иодистый тетраметилфосфоний. Эти соли сходны с соответствующими аммониевыми соединениями. Фосфины обладают сильным запахом и очень ядовиты.

Лит.: «НИ», т. 3, Л., 1927; Брицке Э. и Драгунов С., Ацидиметрическое определение пирофосфорной кислоты, «ЖХП», М., 1927, *3*; Драгунов С., К вопросу о степени полимеризации метафосфатов и растворимости метафосфата кальция, «Журн. прикл. химии», М., 1930, т. 3, *6*; Брицке Э. и Драгунов С., Изучение условий гидратации метафосфатов, «МС», М., 1929, *4*; Драгунов С., Дегидратация солей фосфорной кислоты, «Удобр. и урожай», М., 1930, *5*; его же, Растворимость солей фосфорной кислоты в лимоннокислом аммонии, там же, 1931, *3*; Дунаев А., Определение фосфористой кислоты, «МС», 1929, *4*; его же, Анализ смеси кислот фосфора, «Журн. прикл. химии», М., 1930, т. 3, *1*. **Владимиров.**

ФОСФОРЕСЦЕНЦИЯ, см. *Люминесценция.*

ФОСФОРИТЫ, широко распространенные минеральные образования, существенной составной частью к-рых является фосфат кальция, близкий к минералу *апатиту* (см.). Другими компонентами служат фосфаты железа и алюминия, лимонит, кварц, глинистые частицы, глауконит, углекислый и сернокислый кальций и др. Количественные соотношения всех этих составных частей крайне непостоянны; таким же непостоянством в связи со сложностью генетич. условий отличаются химич. состав, внешний вид и формы залегания Ф. Последние образовались главным образом в осадочных породах путем концентрации продуктов жизнедеятельности организмов, переотлагающих фосфор, сносимый в морские бассейны из выветривающихся горных пород. Другим источником образования Ф. (т. н. «островных») являются залежи *гуано* (см.), переработанных и частично переотложенных остатков помета, костей, перьев и трупов морских птиц и других животных. Ф. залегают в форме гнезд, линз, пластов различной мощности, в виде шаров, желваков, гравия, плит, кусков причудливо разнообразной формы, обычно темносерых, серо-черных, реже коричневых, беложелтых, голубовато-серых и др. В изменчивом химич. составе Ф., являющихся важнейшей фосфатно-удобрительной рудой, первенствующую роль играет содержание P_2O_5 (от 18 до 40%). Вредными примесями являются окислы железа и алюминия, кремнекислота, а также избыток карбонатов (свыше 6—7%). Промышленная оценка фосфоритовых месторождений находится в зависимости от среднего содержания P_2O_5 и вредных примесей и мощности простирания и продуктивности пластов. По содержанию P_2O_5 Ф. подразделяются на бедные (ниже 18% P_2O_5), средние (18—24%) и богатые (выше 24% P_2O_5); по продуктивности— на три типа: 1) с содержанием 60—120 *кг* на 1 $м^2$, 2) 120—240 *кг* на 1 $м^2$ и 3) более 240 *кг* фосфоритов на 1 $м^2$.

Крупнейшие мировые месторождения Ф. находятся в США (Флорида, Тенесси, Ю. Каролина, Юта, Кентукки и др.), Сев. Африке (Алжир, Марокко, Тунис) и на нек-рых остро-

вах Атлантического и Тихого океанов. Лучшими Ф. считаются африканские и островные. СССР обладает многочисленными месторождениями Ф. (по суммарному подсчету свыше 5 млрд. *т* на площади в 19 000 *км*², по подсчетам Я. Самойлова—свыше 15 млрд. *т* на площади в 50 000 *км*²); однако большая часть союзных Ф. низкосортна и залегает в неблагоприятных условиях, что делает их добычу и техническую переработку экономически невыгодной. По степени промышленной ценности запасы Ф. в СССР разделяются на бедные Ф. (66,9%), среднего достоинства (30,6%) и высокопроцентные (2,5%). Из отдельных месторождений СССР следует отметить: 1. Верхне-Камский район, на водоразделе рр. Камы и Вятки (Горьковский край). Ф. образуют поверхностные залежи в нижнемеловых отложениях. Мощность пластов 0,60—0,85 *м*. Продуктивность на 1 *м*²—0,9 *т*. Механически мытая мука дает 26—27% P_2O_5 при 5% полуторных окислов (FeO_3, Al_2O_3) и 4—5% углекислоты. 2. Район г. Кинешмы—по обоим берегам Волги, в отложениях нижнемелового возраста. Мощность слоя 1—1,5 *м*, средняя 0,3 *м*. Состав руды P_2O_5—22%, полуторных окислов до 8%; после обогащения получается до 26—27% P_2O_5, до 3—4% полуторных окислов. 3. Подмосковный район. Ряд месторождений среди отложений верхнеюрского возраста, глин и глауконитовых песков. Наиболее крупное—Егорьевское месторождение в 10 *км* от г. Егорьевска, состоящее из двух горизонтов. Продуктивность первого 1,7 *т*, второго—0,7 *т* на 1 *м*². Состав руды верхнего (Рязанского) горизонта: 22% P_2O_5, 8% полуторных окислов, 3—4% углекислоты; нижнего (Портландского): 25% P_2O_5, 4—5% полуторных окислов, 3—4% углекислоты. 4. Район «Курского саморода»—полоса, проходящая через бывш. Брянскую, Калужскую, Орловскую, Курскую и Воронежскую губ. Ф. залегают здесь в верхнемеловых отложениях, образуя желваки или пропитывая и цементируя кварцевые пески. Состав руды: 13—15% P_2O_5 при 35—60% нерастворимого остатка. Средняя продуктивность 0,4 *т* на 1 *м*². 5. Саратовский район—близ г. Саратова на правом берегу Волги. Фосфоритовые слои залегают в отложениях нижнего мела. Мощность пласта: 0,15—0,20 *м*; продуктивность: 0,25—0,3 *т* на 1 *м*²; состав руды: 22—23% P_2O_5, 3—4% полуторных окислов, 4% углекислоты и 33% нерастворимого остатка. 6. Уральский район—в 90 *км* к северу от гор. Свердловска у д. Антоновки. Это—единственное месторождение Ф., приуроченное к изверженным породам. Ф. образует штоки и гнезда в гранитном массиве. Содержание 32—36% P_2O_5 при 1—9% нерастворимого остатка. 7. Подольский район—в бассейне реки Днестра, одно из крупнейших месторождений т. н. вторичных Ф. Средняя продуктивность: 0,20—0,25 *т* на 1 *м*². Содержание P_2O_5 до 36% при 3% полуторного окисла.

Ф. применяется в с. х-ве как удобрение в виде фосфорной муки и суперфосфата. Фосфоритовые руды первоначально подвергаются обогащению различными методами в зависимости от качества руды и степени оборудованности рудника: грохочением, мойкой в чашах или на бутарах, обжигом и ручной сортировкой. Обогащенная руда сушится на кострах, чугунных плитах, в пламенных печах или во вращающихся цилиндрич. сушилках. Высушенный Ф. дробится и перемалывается жерновами и просеивается. Для получения фосфоритовой муки употребляют сита в 60—80 меш. Для переработки Ф. на суперфосфат фосфоритная мука в количестве 320—1 600 *кг* смешивается с таким же количеством серной к-ты (крепостью около 50° Bé) в котлах Лоренца; по истечении 2 мин. жидкая масса переливается в камеры, где в течение 6 час. затвердевает в пористую, растворимую в воде массу, называемую простым суперфосфатом. Простой суперфосфат применяется как быстро действующее удобрение. Экономически при обработке сернокислотным способом бедных советских Ф. цена пудо-процента фосфорного ангидрида в суперфосфате не оправдывается полученным при ее применении в с. х-ве приростом злаков и корнеплодов. Поэтому в последнее время были предприняты исследовательские работы по изысканию новых способов использования Ф. Ак. Брицке был предложен новый, технически более рациональный способ переработки Ф. в высокопроцентный конечный продукт. Сущность способа заключается в комбинации двух процессов: 1) процесса восстановления фосфора углеродом (в виде какого-либо топлива) из природных фосфатов в присутствии кремневой к-ты, обычно имеющейся в природных Ф., и 2) окисления восстановленного фосфора углекислотой до *пятиокиси фосфора*. Для этого шихту, состоящую из какого-либо горючего и Ф., загружают в генератор, в котором $t°$ доводится до 1 600°. Образующаяся пятиокись фосфора, раскаленная углеродом топлива, немедленно восстанавливается до элементарного фосфора. Полученный обогащенный генераторный газ, содержащий пары фосфора, подвергается частичному окислению добавлением лишь того количества воздуха, какое необходимо для сжигания одного фосфора. Окисленный фосфор переходит в метафосфорную к-ту. Газы окислительной камеры охлаждаются до $t°$ 250°, при к-рой газообразная метафосфорная кислота переходит в парообразное состояние и конденсируется в жидкость, причем концентрация ее зависит от $t°$ отходящих газов. В присутствии паров воды метафосфорная к-та переходит в ортофосфорную соответственной концентрации. Газы, состоящие почти из одной окиси углерода и азота, утилизируются в двигателях. Почти все железо, содержащееся в шихте, восстанавливается и соединяется с фосфором в фосфид железа, являясь ценным продуктом. Получаемый жидкий шлак м. б. утилизирован в различных областях пром-сти. Полученная таким образом фосфорная к-та м. б. использована на полях распылением или разбрызгиванием ее в виде разбавленных на месте потребления растворов. Выработанный пока в лабораторном масштабе, этот метод получения фосфорной к-ты позволяет рассчитывать на удешевление ее в 3—4 раза по сравнению с кислым способом.

Лит.: Аничков А., Фосфориты Рязанской губернии, Рязань, 1922; Агрономические руды СССР, «Труды НИУ», 1932, вып. 99 и 100; Бузик А., Результаты геологических поисков и горнопромышленной разведки на фосфориты в 1925 г. в Саратовском у. Саратовской губ., «Нижнее Поволжье», 1926, *10—12*; Верховский И., Обогащение фосфоритовых руд, «Труды НИУ», вып. 22; Казаков А., Фосфориты, КЭПС, Нерудные ископаемые, т. 3, 1927; Линда С., О фосфоритах Сев.-Зап. края, Записки С.-З. отдела русск. географич. об-ва, 1911, кн. 2; Самойлов Я., Определение мировых залежей фосфоритов, «Технико-экономический вестник», 1925, т. 5, *4*; его же, Количество фосфоритов в обла-

стях Европейской России в период 1908—11 гг., «Вестник сельского хозяйства», 1913; его же, Фосфориты, КЭПС, т. 4, вып. 25, 1920; его же, Работы по исследованию фосфоритовых залежей России, «Вестник сельского хозяйства», 1912; Путилов А., Фосфориты и железные руды Ульяновской губернии, Ульяновск, 1927; Фосфориты как непосредственное удобрение, «Труды НИУ», вып. 12; Чирвинский В., Химическое и микроскопическое исследование подольских фосфоритов, Записки Киевск. общества естествоиспытателей, т. 20, 1907; его же, Фосфориты Украины, Материалы для изучения ест. произв. сил России, КЭПС, 1919; Лихарев М., Фосфориты, Годовой обзор минеральных ресурсов СССР за 1926/27 г., Л., 1928. **Н. Федоровский.**

ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ, см. *Удобрения.*

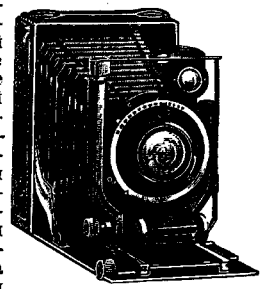
ФОТОГРАВЮРА, см. *Репродукционные процессы.*

ФОТОГРАММЕТРИЯ, отдел геодезии, занимающийся изучением способов определения по фотографиям (снимкам) вида и размеров сфотографированного объекта. Стереофотограмметрия занимается тем же, но она имеет в виду лишь те способы, к-рые основываются на принципе стереоскопич. зрения и измерения. Под Ф. и стереофотограмметрией раньше (нередко и теперь) понимали все процессы, необходимые для получения по фотографиям (снимкам) плана, как полевые (фотографирование местности, геодезические измерения), так и камеральные. С развитием аэрофотосъемки под фотограмметрич. и стереофотограмметрич. работами понимают ту часть аэрофотосъемочных работ, к-рая сводится к получению проекции аэроснимков на горизонтальную плоскость для составления планов. При этом фотограмметрич. работы составляют часть сложного процесса аэрофотосъемки, состоящего из частных процессов: летно-аэросъемочного, геодезического, фотограмметрического и фотографического. **Н. Александровский.**

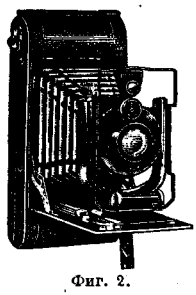
ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ АППАРАТ, прибор, при помощи к-рого производятся фотографические съемки (см. *Фотография*). Основными частями его являются: камера, объектив, затвор, видоискатель, кассеты и штатив. Классификация Ф. а. По особенностям конструкции и назначению Ф. а. можно подразделить на I—ручные, II—штативные, III—павильонные, IV—репродукционные и V—Ф. а. специального назначения. Наиболее распространенными являются ручные Ф. а., вернее камеры, применяемые для ландшафтных, архитектурных, фоторепортажных, портретных и т. п. съемок; в свою очередь они подразделяются на камеры: 1) ящичные, 2) складные, 3) зеркальные и 4) миниатюрные.

I. Ручные камеры. 1. Ящичные, или магазинные, камеры, изготовляемые для пластинок формата от 4,5 × 6 *см* до 13 × 18 *см*, представляют собой прямоугольную коробку, в передней стенке которой укреплен объектив с затвором и видоискателями, или визирами; в задней части (внутри камеры) помещаются 6 или 12 жестяных кассеток для пластинок. Эти кассетки при помощи рычажной системы м. б. после съемки быстро перемещены из одной части магазина в другую. Эти несложной конструкции камеры, изготовляемые для пластинок и для пленок как плоских, так и роликовых, снабжаются дешевыми ахроматич. объективами (см. *Объектив*). Матовое стекло в них отсутствует; при съемке приходится ориентироваться при помощи видоискателя, к-рый не может служить для наводки на фокус. Короткофокусный объектив смонтирован в камере т. обр., что на пластинке получается резкое изображение всех предметов, расположенных на расстоянии свыше 3—4 *м* от камеры. Благодаря дешевизне и простоте обращения с ними ящичными камерами пользуются преимущественно начинающие фотографы-любители.

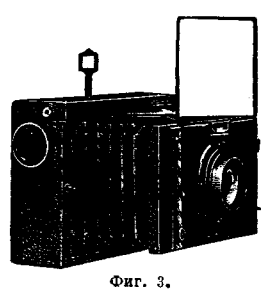
2. Складные камеры делятся на камеры с откидной основной доской и на клапп-камеры на распорках. Среди фотографов-любителей наиболее распространены первые. В этих камерах (фиг. 1) передняя рама с объективом выдвигается по откидной основной доске. Передняя рама соединена мехом с задней рамой, в к-рой помещается матовое стекло, заменяемое для съемки кассетой со светочувствительной пластинкой. Имеются камеры с ординарным, двойным и даже тройным растяжением меха. Большое растяжение при наличии длиннофокусного объектива служит для съемки небольших предметов на близком расстоянии. Наводка на фокус осуществляется перемещением объективной части камеры. При съемках с рук (без штатива), когда неудобно пользоваться матовым стеклом, наводка производится по «метражной шкале», которая представляет собой прикрепленную к основной доске пластинку с делениями, выражающими расстояние до снимаемого предмета в *м*. На шкале имеется также деление, по которому объективная часть м. б. сразу установлена на «постоянный фокус»—на «бесконечность» (∞). Наводка по матовому стеклу совершается при помощи кремальеры или от руки. Во многих моделях объективная часть имеет перемещение в вертикальном и горизонтальном направлениях,



Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

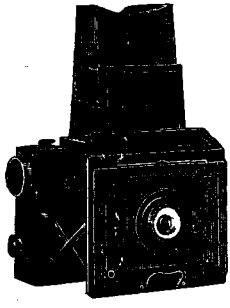
а также уклоны матового стекла. Строятся складные камеры вертикальные, горизонтальные и квадратные. Наиболее распространены вертикальные камеры, к-рые для съемки в горизонтальном положении поворачиваются боком; то же делается с горизонтальной камерой, когда нужно делать вертикальные снимки. У квадратных камер задняя рама с матовым стеклом переставляется для вертикальной и горизонтальной съемок. Камеры изготовляются на формат от 4,5 × 6 *см* до 13 × 18 *см*, для съемки или на стеклянных пластинках или на роликовых пленках. Пленочная камера по своей конструкции мало отличается от пластиночной камеры; лишь задняя часть в ней изменена и

приспособлена для включения роликовой катушки с пленкой (фиг. 2). Матовое стекло отсутствует, и наводка на фокус производится по «метражной шкале» или же при помощи видоискателя.

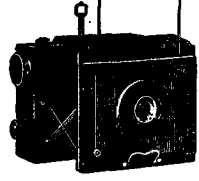
В СССР выпущено два типа камер: мастерские ВООМП изготовляют «Фотокор № 1» для пластинок формата 9×12 *см* с анастигматом «Ортагоз» со светосилой 1 : 4,5 и фокусным расстоянием 135 *мм*; артель «Фототруд» в Москве выпускает камеру «Эфте» для пластинок формата 9×12 *см* с перископом—объективом, состоящим из двух вогнуто-выпуклых линз.

К л а п п - к а м е р ы на распорках по своей конструкции отличаются от предыдущего типа сравнительно коротким мехом и отсутствием откидной доски (фиг. 3). В этих камерах объективная часть, соединенная с задней частью металлич. распорками, одним движением выдвигается и устанавливается в положение «постоянного фокуса». У более совершенных типов объективная часть при нажиме на кнопку автоматически выбрасывается пружинами и сразу становится на свое место. После съемки камера также быстро закрывается. В виду того что объективная часть в Ф. а. этого типа стоит неподвижно, наводка на фокус производится передвижением объектива: при помощи т. н. ч е р в я ч н о г о х о д а, или рычажно-винтового устройства, или наконец зубчатых передач с эксцентриком. Клапп-камеры снабжаются часто двумя затворами: центральным и щелевым; приспособлены они для съемки на пластинках и на пленках (плоских).

3. З е р к а л ь н ы е к а м е р ы (фиг. 4). В этих камерах изображение, получаемое при помощи объектива, посредством зеркала, поставленного под углом 45° к оси объектива, отражается на матовом стекле, помещенном в верхней части камеры. После наводки зеркало нажимом на спусковой рычаг затвора автоматически поднимается кверху и наглухо закрывает матовое стекло; одновременно приводится в действие помещенный перед светочувствительной пластинкой щелевой затвор. После экспозиции зеркало сейчас же опускается вниз, и камера готова для следующего снимка. Преимущество зеркальных камер заключается в том, что изображение снимаемого объекта можно наблюдать на матовом стекле до самого момента съемки и притом в неперевернутом положении и в том же размере, в каком оно получается на пластинке. Отрицательными сторонами «зеркалок» являют-



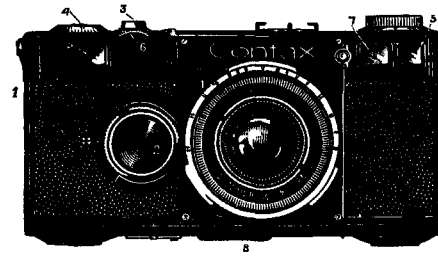
Фиг. 4а.



Фиг. 4б.

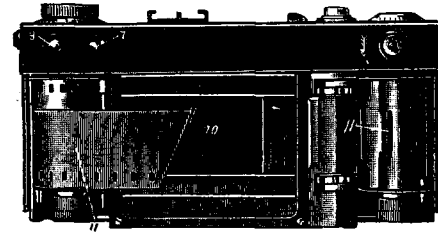
ся их сравнительно большой вес и объем, в особенности обыкновенных, т. е. не складных, типов. Складные зеркальные камеры немного более портативны, чем обыкновенные. Зеркальные камеры делаются на формат 6,5×9, 6×6, 9×12, 10×15, реже 13×18 *см*; все они имеют щелевой затвор перед пластинкой.

Зеркальные камеры изготовляются также и для роликовых пленок, напр. камера «Ролейфлекс» на формат снимка 6×6 *см*, с двумя объективами—одним со светосилой 1 : 4,5 для съемки и другим 1 : 3,1 в качестве видоискателя. Второй объектив при помощи зеркала дает изображение предмета в формате снимка и в момент самой экспозиции. На фиг. 4а изображена зеркальная камера «Мирофлекс» на формат пластинки 9×12 *см* и в готовом для съемки виде, а на фиг. 4б—та же камера, применяемая в качестве клапп-камеры.



Фиг. 5а.

4. М и н и а т ю р н ы х к а м е р существует очень большое количество. К ним причисляются камеры на формат 6×9, 4,5×6 *см* и меньше, до формата 2,4×3,6 *см* и 1,8×2,4 *см* (кинокадр). Большинство камер этого рода строится по типу уже описанных выше клапп-камер с откидной доской; для формата 6×9



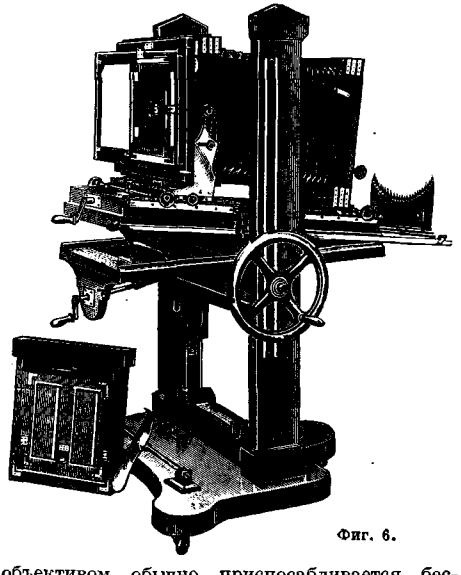
Фиг. 5б.

и 4,5×6 *см* имеются камеры, приспособленные для съемки на пластинках и на роликовых пленках. Особый тип представляют камеры для съемки на кинопленках. К последним относятся: получившая широкое распространение камера «Лейка» и новая камера «Контакс» (фиг. 5а и 5б). Последняя представляет собой цельнометаллич. камеру, заряжающуюся стандартной перфорированной кинопленкой длиной 160 *см* на 36 снимков формата 2,4×3,6 *см* и допускающую перезарядку на свету. Камера снабжается объективом Тессар 1 : 3,5 или 1 : 2,8, к-рый м. б. заменен каким-нибудь другим объективом из специального набора в 10 объективов (от 1 : 8 до 1 : 1,5), металлич. щелевым затвором со скоростями до $^1/_{1000}$ ск. и дальномером (с базисом 10 *см*), автоматически устанавливающим объектив. На фиг. 5 : *1*—шкала расстояний и шкала диафрагм, *2*—головка для заводки затвора и транспорта пленки, *3*—выключатель затвора, *4*—счетчик снимков, *5*—дальномер, *6*—колесико для установки дальномера, *7*—видоискатель, *8*—штативное гнездо, *9*—окно дальномера, *10*—щелевой затвор, *11*—катушка и пленка. За границей появились камеры

различных типов и размеров для съемки на кинопленках с перфорацией и без перфорации.

II. Штативные, или «дорожные», камеры (правильнее—технические камеры) вырабатываются для пластинок формата 13×18, 18×24 и 24×30 *см*; предназначаются для технич. и научных съемок и вообще для всех случаев, когда требуется точная работа (репродукция, трехцветные съемки и т. п.). Камеры строятся из дерева, имеют двойное и нередко тройное растяжение меха: при съемке камера всегда ставится на штатив. Лучшие модели имеют вертикальное и поперечное движение объективной части и уклон матового стекла. Имеются камеры с квадратным мехом и переставным матовым стеклом для съемки в вертикальном и горизонтальном положениях и камеры с конич. мехом, у к-рых задняя часть при продольных съемках повертывается вместе с мехом на 90°.

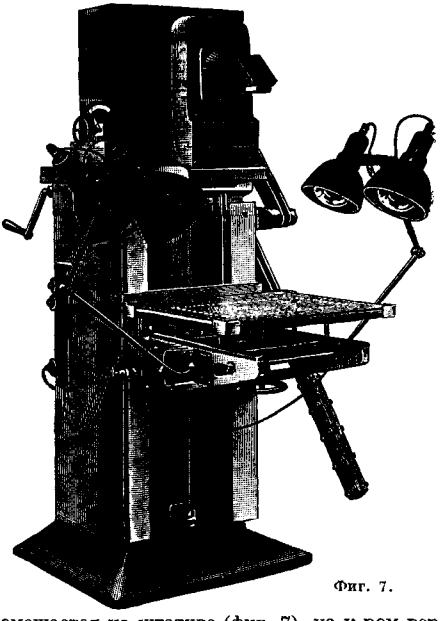
III. Павильонные камеры, применяемые для съемки портретов и групп в фотографич. *ателье* (см.), по своей конструкции похожи на камеры типа II, но отличаются более солидным исполнением. Камера, имеющая все уклоны матового стекла, вертикальное и горизонтальное движения объективной части и передвижение передней и задней частей при помощи кремальеры, устанавливается на особый, приспособленный для работы в ателье, солидной конструкции штатив (фиг. 6). Платформа последнего также имеет уклон и вместе с камерой поворотом бокового маховика м. б. опущена вниз или поднята вверх. В задней части камеры имеется мультипликационное приспособление, позволяющее производить несколько снимков на одной пластинке. Внутри камеры за



Фиг. 6.

объективом обычно приспосабливается бесшумно работающий затвор (типа Грундиера). Для съемки в павильоне часто применяются и ручные камеры, в частности «зеркалки».

IV. Репродукционные Ф. а. Специальные и наиболее распространенные репродукционные Ф. а. см. *Репродукционные процессы*. К ним надо прибавить появившиеся в последнее время вертикальные репродукционные Ф. а., выпущенные под названием «Призма-автомат» и «Авто-вертикал». Последний изготовляется для пластинок формата 24×30 и 30×40 *см*. Камера

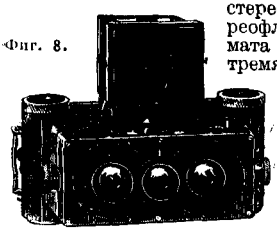


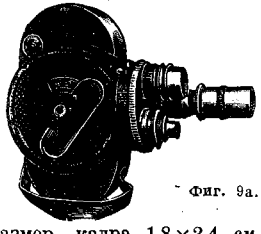
Фиг. 7.

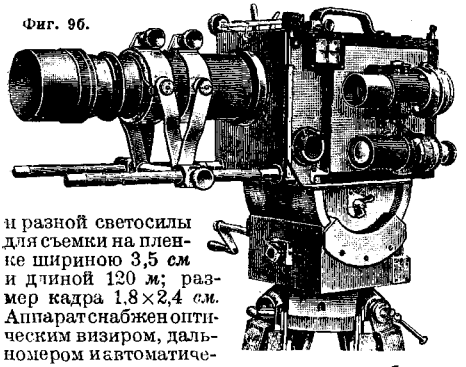
помещается на штативе (фиг. 7), на к-ром вертикально расположенный экран для оригиналов м. б. посредством кремальеры со стороны матового стекла поднят вверх или опущен вниз. Экран соединен с задней частью камеры т. о., что растяжение камеры и расстояние оригинала от призмы регулируются автоматически, и изображение на матовом стекле во всех положениях экрана получается всегда резким. При уменьшениях на $^1/_4$, $^1/_3$, $^1/_2$ и т. д. проверка по матовому стеклу совершенно отпадает, т. к. установка происходит автоматически по шкале. Оригинал освещается 4 электрич. лампами, снабженными рефлекторами. При несложных репродукционных съемках небольшого размера можно пользоваться обыкновенным штативным Ф. а. с двойным растяжением меха при условии применения хорошей оптики и устойчивого штатива.

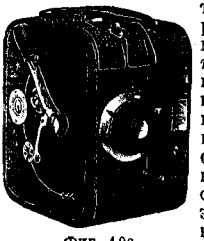
V. Ф. а. специального назначения. К этому классу относятся: 1) стереоскопич. Ф. а., 2) кинематографич. Ф. а., 3) Ф. а. для трехцветной фотографии, 4) Ф. а. для научных и исследовательских работ и 5) Ф. а. для аэросъемки (см. ниже Ф. а. в геодезии). 1. Стереоскопический Ф. а. состоит из камеры, разделенной перегородкой на две половины и снабженной 2 объективами равных фокусных расстояний и одним общим затвором. Диафрагмы обоих объективов соединены т. о., что переставляются одним движением рычага. Строятся эти Ф. а. для форматов 9×18 или 8,5×17 *см*, 6×13 или 7×13 *см* и 4,5×10,7 *см*. Имеются специальные модели для пластинок и для пленок, а также стереоскопич. аппараты типа «зеркалок». Многие камеры снабжены магазинными кассетами на 12 пластинок, как напр. «*Вераскоп*» (см.) или

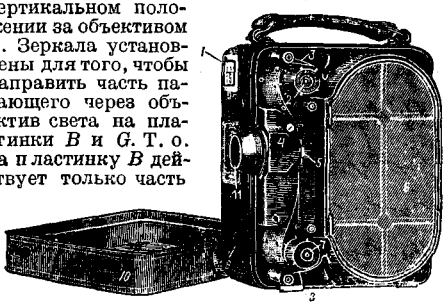
«Полиско п», в к-рых перемена пластинок формата 4,5×10,7 *см* происходит простым выдвиганием и вдвиганием магазина. Зеркальный стереоскопич. Ф. а. «Стереофлектоскоп» для формата 6×13 *см* снабжен тремя гелиарами со светосилой 1 : 4,5; из них два служат для получения стереоскопических изображений, а третий вместе с вделанным в корпус зеркалом служит видоискателем. «Роллейдоскоп» (фиг. 8) является комбинацией зеркальной камеры для обычных съемок и стереоскопич. зеркальной камеры. Снимки делаются на пленках формата 6×13 *см*; на катушке для 60 снимков получается 8 ординарных снимков 6×6 *см* или 4 стереоскопич. снимка 6×13 *см*. 2. Кинематографические Ф. а. строятся для профессионалов и для любителей. Фиг. 9а изображает Ф. а. «Фильмо» для профессионалов с тремя объективами разных фокусных расстояний и разной светосилы для съемки на пленке шириной 3,5 *см* и длиной 120 *м*; размер кадра 1,8×2,4 *см*. Аппарат дает возможность съемки 4, 8, 16, 32 и 64 кадров в ск. На фиг. 9б изображен киноаппарат «Аскания» для профессионалов с телеобъективом; последний м. б. заменен другими объективами разных фокусных расстояний и разной светосилы для съемки на пленке шириной 3,5 *см* и длиной 120 *м*; размер кадра 1,8×2,4 *см*. Аппарат снабжен оптическим визиром, дальномером и автоматическим счетчиком длины пленки, числа оборотов ручки и количества снятых кадров. Аппарат дает возможность съемки до 100 кадров в ск. Фиг. 10а представляет любительский киноаппарат «Кинамо» модель N. 25 для нормальной пленки шириной 3,5 *см*. Он снабжен пружинным механизмом, приводимым в действие нажатием кнопки для съемки отдельных сцен на пленке длиною 6 *м*. После заводки пружины Ф. а. готов для следующей съемки на пленке той же длины. На фиг. 10б изображен разрез камеры «Кинамо» модель S. 10, где *1*—видоискатель, *2*—подающий и *7*—приемный зубчатые барабаны, *3*—верхний и *8*—нижний поджимы, *4*—рамка кадра, *5*—фильмовый канал, *6*—кассета, *9*—спусковая кнопка к приводу, *10*—крышка, *11*—объектив. Выпущены также всевозможные модели киноаппаратов для любителей для съемки на узких пленках шириной 1,6 и 0,9 *см*. 3. Ф. а. для трехцветной фотографии существует большое количество, но получили распространение лишь нек-рые из них. С Ф. а. этого рода производят съемки цветных объектов на трех пластинках с различными светофильтрами (см. *Репродукционные процессы*). Для этой цели пригодна любая устойчивая фотокамера, но удобнее работать со специальным Ф. а. (см. *Фотография*, фиг. 7). Ф. а. «Иос-пэ» предназначен для трехцветной съемки при помощи одной экспозиции. В камере одновременно получаются три отдельных снимка при помощи особого приспособления, состоящего из специального анастигмата и набора зеркал. *B*, *R* и *G* (фиг. 11) обозначают положение трех кассет, каждая из которых содержит по одному светофильтру и одной светочувствительной пластинке; *S*, *S*—два зеркала, пристроенные в вертикальном положении за объективом *O*. Зеркала установлены для того, чтобы направить часть падающего через объектив света на пластинки *B* и *G*. Т. о. на пластинку *B* действует только часть *b* объектива, на пластинку *G*—часть *g* объектива. Пластинка *R* получает свет от средней части объектива *r*; два зеркала служат для этой пластинки только как диафрагмы. 4. Ф. а. для научных и исследовательских работ. К Ф. а. этого рода относятся прежде всего микрофотографич. Ф. а., затем Ф. а., сконструированные для специальных медицинских исследований, для измерительной фотографии [*фотограмметрии* (см.)], для астрономической и т. д. Из них здесь рассматривается лишь микрофотографич. аппарат как имеющий наиболее широкое применение при различных научно-исследовательских работах. Простейшая аппаратура для микрофотографич. съемок состоит из обыкновенного микроскопа и обыкновенной камеры. Но имеются и специальные аппараты, допускающие вертикальную и горизонтальную установки.

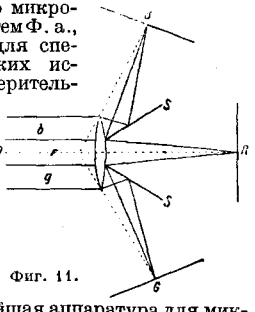

Фиг. 8.


Фиг. 9а.

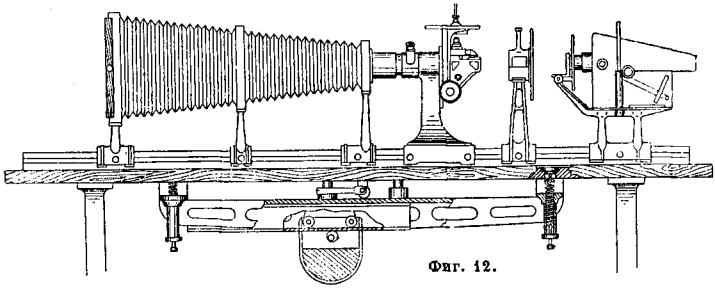

Фиг. 9б.


Фиг. 10а.


Фиг. 10б.

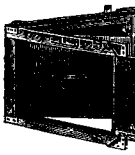

Фиг. 11.

Фиг. 12 изображает микрофотографич. аппарат со специальным штативом для съемки непрозрачных объектов, напр. шлифов, металлов, руд, шлаков и т. д. Аппарат состоит из укрепленной на пружинных опорах трехгранной призмы, на к-рой перемещаются в соответствующих стойках отдельные части: дуговая лампа с конденсором, кювета для помещения окрашенных жидкостей в качестве светофильтров и для удержания тепловых лучей, микроскопич. штатив и фотографич. камера.



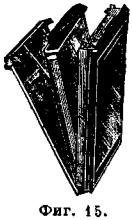
Фиг. 12.

Важнейшие детали Ф. а. К ним относятся объективы (см. *Фотография*), кассеты, *видоискатели* (см.), затворы и штативы. Кассеты бывают ординарные (простые) и двойные, т. е. для закладывания одной или же двух пластинок. Двойные кассеты, встречающиеся гл. обр. в штативных камерах и вырабатываемые из дерева, в свою очередь делятся на альбомные, раскрывающиеся наподобие книги, и нераскрывающиеся. В альбомных кассетах (фиг. 13) пластинки вкладываются чувствительной стороной к задвижке; обе пластинки разделены между собой черной металлич. пластинкой с пружинами. В нераскрывающиеся двойные кассеты пластинки вкладываются после открывания задвижек; последние бывают цельные, полушторные и шторные. Для ручных камер применяются ординарные металлич. кассетки. На фиг. 14 изображена кассета для роликовых пленок. На фиг. 15 изображен т. н. адаптер—кассета с упаковкой 12 плоских нарезанных пленок, употребляемая в обычных пластиночных Ф. а.



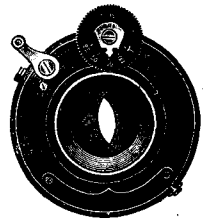
Фиг. 13.

Фиг. 14.

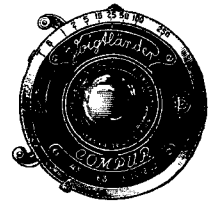


Фиг. 15.

Затворы делятся на: 1) центральные, 2) щелевые, помещаемые перед светочувствительной пластинкой, и 3) шторные. 1) Центральные затворы, делящиеся на сегментные и секторные, помещаются между линзами объектива; оправа затвора служит одновременно оправой для линз объектива. Сегментный затвор (фиг. 16) состоит из двух сегментов (лепестков), секторный—из трех и более лепестков, открывающихся звездообразной щелью. Центральные затворы или работают автоматически при простом нажиме на спусковое приспособление или для приведения в действие требуют предварительного завода при моментальной съемке ($1 \div 1/300$ сек.). Фиг. 17 изображает затвор «Компур» с механич. регулированием скорости для съемки с выдержкой при однократном и двукратном нажатии и для моментальной съемки от 1 сек. до $1/300$ сек. 2) Щелевые затворы состоят из шторки с щелью; помещаются они в задней части камеры перед пластинкой. Ими снабжаются зеркальные камеры и клапп-камеры (фиг. 3 и 4). Скорость затвора (от $1/10$ до $1/2500$ сек.) регулируется шириной щели или быстротой пробега шторки перед пластинкой сверху вниз, или тем и другим вместе. Быстрота пробега зависит от натяжения пружины, заставляющей перематываться шторку с верхнего валика на нижний. 3) Шторные затворы надеваются на переднее кольцо объектива (фиг. 18) или же помещаются в камере за объективом.

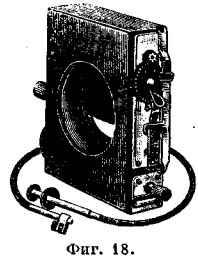


Фиг. 16.

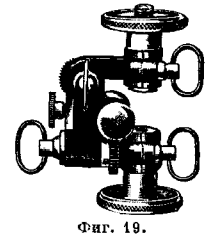


Фиг. 17.

Штативы служат для установки камер, если съемка производится не с рук. Выполняются они из дерева или металла. Металлич. штативы состоят из вдвигающихся одна в другую трубок. Вращающаяся головка (фиг. 19), к-рая м. б. прикреплена к штативу, дает возможность достигнуть любого уклона камеры.



Фиг. 18.



Фиг. 19.

Кроме описанных существуют еще штативы тяжелого типа для специальных камер: кинематографических, павильонных (фиг. 6) и репродукционных (см. *Репродукционные процессы*).

В последнее время необходимой деталью современного Ф. а. стал дальномер—прибор для точного измерения расстояния до снимаемого

Фиг. 20.

объекта при наводке на фокус. На фиг. 20 изображен дальномер для измерения расстояния от 0,5 до 50 *м*.

Лит.: Себряков С., Фотографич. камера и принадлежности к ней, М., 1929; Неблит К., Общий курс фотографии, пер. с англ., 2 изд., кн. 1, М., 1932; Эйглиш Э., Основы фотографии, пер. с нем., 3 изд., М., 1931; Нштолд-Говорко В. и Мархлевич К., Курс фотографии, т. 1, М.—Л., 1933; Фогель Э., Карманный справочник по фотографии, пер. с нем., 14 изд., М., 1933; Pritschow K., Die photographische Kamera u. ihre Zubehör, Handb. d. wissensch. u. angew. Photographie, hrsg. v. A. Hay, B. 2, W., 1931. **Ю. Лауберт.**

Ф. а. в геодезии, прибор, позволяющий получать фотографич. снимки, пригодные для составления по ним плана заснятой местности (см. *Фотосъемка*). К общим для таких Ф. а. требованиям д. б. причислены: а) неизменность фокусного расстояния камеры, к-рое равно главному фокусному расстоянию съемочного объектива; Ф. а. могут иметь еще вспомогательные объективы, фотографирующие на снимок одновременно с местностью регистрационные приборы, б) наличие координатных меток, которые фиксируются одновременно с местностью и определяют на снимке положение осей координат. Ф. а. делятся на аэрофотоаппараты, предназначенные для фотографирования с воздуха, и *фототеодолиты* (см.), применяемые в наземной фотограмметрич. и стереофотограмметрич. съемке (см. *Фотограмметрия* и *Фототеодолитная съемка*). Аэрофотоаппараты м. б. не-автоматами, в к-рых смена светочувствительного материала, взвод и спуск затвора производятся от руки; полуавтоматами, когда нек-рые из перечисленных процессов выполняются самим механизмом Ф. а.; полными автоматами, выполняющими все процессы автоматически. Аэрофотоаппараты делятся на: 1) работающие на пластинках и работающие на пленке (вследствие легкости и компактности пленки наибольшее распространение имеют последние); 2) однообъективные, двухобъективные и многообъективные (до 9 съемочных объективов).

Основой Ф. а. является корпус, к которому крепятся все остальные его части. Вверху корпуса закрепляется прикладная рамка с координатными метками. С плоскостью прикладной рамки во время экспонирования должна совпадать поверхность светочувствительной эмульсии, а фокусное расстояние камеры Ф. а. принимается равным расстоянию задней узловой точки объектива от плоскости прикладной рамки. С нижней частью корпуса соединяется конусная часть (конус), в к-рой крепится объектив. Смена конусных частей (некоторые Ф. а. имеют несколько взаимозаменяемых конусов) позволяет одним и тем же Ф. а. работать с разными фокусными расстояниями. Когда корпус и конусная часть представляют одно неразрывное целое, их называют камерной частью. Почти все Ф. а. имеют внутренние и внешние бленды, предохраняющие во время экспонирования светочувствительную поверхность от лучей, не дающих изображения. Внешняя бленда помимо того предохраняет объектив от механич. повреждений и загрязнения. Смотря по задачам съемки фокусные расстояния объективов Ф. а. могут быть весьма различны (находятся в пределах 4÷120 *см*). Наиболее часто встречаются Ф. а. с фокусными расстояниями объективов 13,5÷50 *см*. Объективы Ф. а. должны быть прекрасно коррегированы, особенно в отношении дисторсии. Светосила объективов только в нек-рых Ф. а. равна 1 : 6,8, а чаще всего бывает 1 : 4,5. В Ф. а., предназначенных для специальных и ночных съемок, светосила объективов достигает 1 : 2,7. Помимо того стремятся достигнуть возможно большего угла изображения и тем самым увеличить площадь, покрываемую одним снимком. В таблице 1 приведены нек-рые наиболее распространенные объективы.

Характеристики объективов.

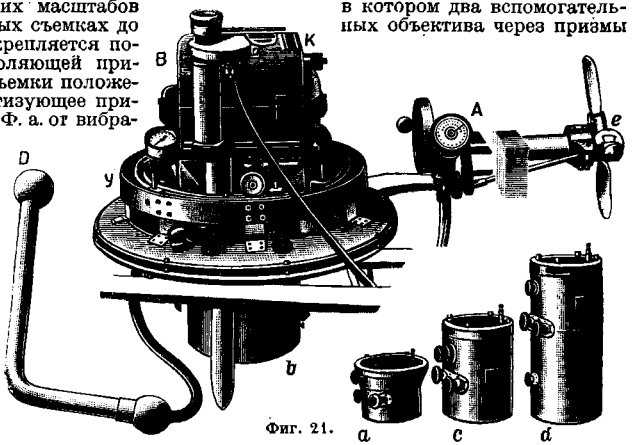
Название объектива	Фирма	Фокусное расстоян., *см*	Светосила	Угол изображ.
Тессар	Цейсс	13,5÷30,0	1 : 4,5	58÷62°
		50,0	1 : 4,8	30°
Месс-Флигер .	»	21,0	1 : 4,5	65÷65°
Орто-Метар . .	»	13,5÷21,0	1 : 4,5	63÷65°
Триплет	»	50,0	1 : 4,8	30°
Аэротар	Герц	15,0	1 : 6,8	~70°
Аэро-экспресс .	Росс	21,0	1 : 4,0	70÷80°
Хук-Хей	Кодак	50,0	1 : 4,5	32÷35°
Авиар-5	НИИА	21,0	1 : 4,2	62°
Лиар-6	НИИА	10,0	1 : 5,0	104°

Движение Ф. а. по отношению к фотографируемой местности в предупреждение смазывания не позволяет иметь продолжительных экспозиций (обычно $^1/_{100}$ ск. и как максимум $^1/_{25}$ ск.), что и обусловливает применение в Ф. а. объективов большой светосилы. В силу этой же причины к затворам для аэрофотоаппаратов предъявляется требование иметь большой коэф. светоотдачи (кпд). Конструкция затворов должна также предусматривать надежность и постоянство работы затвора в условиях вибрации на самолете и в пределах большого диапазона изменения $t°$. В современных аппаратах наиболее распространены центральные затворы, установленные между линзами объектива. Лучшими центральными затворами считаются затворы Цейсса, дающие коэф. светоотдачи до 85%. Однако изготовление центральных затворов тем сложнее, чем больше диам. объектива (больше светосила и больше фокусное расстояние), а потому в длиннофокусных аппаратах часто применяются затворы жалюзи или шторные затворы. Затворы жалюзи не дают большого кпд. Шторные затворы, шторка к-рых движется вблизи фокальной плоскости, могут иметь коэф. светоотдачи, близкий к 100%, и сравнительно просты в изготовлении, но со временем и под влиянием $t°$ шторка меняет свою эластичность, что не дает постоянства в работе затвора; кроме того такие затворы при фотографировании подвижным Ф. а. дают искажение изображения, а потому в современных Ф. а. избегаются. Применяются также дисковые затворы, состоящие из одного или нескольких вращающихся дисков. Кассеты Ф. а. рассчитаны на большое число снимков (до 500) и кроме того в большинстве случаев могут меняться или перезаряжаться в полете. Если кассета составляет одно целое с корпусом Ф. а., то ее называют магазинной частью. При работе на пленке последняя должна выравниваться в

плоскость, что достигается или простым натяжением пленки или пленка прижимается выравнивающей доской кассеты к стеклу, закрепленному в плоскости прикладной рамки камеры, или создается разность давлений воздуха на внутреннюю и внешнюю поверхности пленки (присос от трубки Вентури или нагнетание воздуха внутрь камеры). Полуавтоматы и полные автоматы снабжены двигательными механизмами: 1) пружинными заводными механизмами, 2) электромоторами, 3) ветряками или воздушными турбинами, работающими от встречного потока воздуха. Мощность двигательного механизма д. б. достаточна для минимального интервала между экспозициями. Величина интервала может регулироваться изменением скорости работы двигательного механизма, изменением его мощности, изменением передачи скоростей (коробка скоростей) и наконец с помощью специального регулировочного прибора — интервалометра. В условиях практики встречаются интервалы снимков для крупных и средних масштабов 3÷80 ск., а при мелкомасштабных съемках до 4—5 мин. На самолете Ф. а. укрепляется посредством фотоустановки, позволяющей придавать ему нужное по задачам съемки положение. Фотоустановка имеет амортизующее приспособление, к-рое предохраняет Ф. а. от вибраций на самолете. Нек-рые Ф. а., предназначенные для фотографирования с рук (ручные Ф. а.), фотоустановки не имеют.

Современные Ф. а. снабжены большим количеством вспомогательных приборов и приспособлений, к которым относятся: 1) специальные визиры для вождения самолета при съемке и для определения интервала между экспозициями, 2) регистрационные приборы, фиксирующиеся на снимке одновременно с местностью (счетчик, уровень, часы с часовой, минутной и секундной стрелками, альтиметр, компас, приспособление, фиксирующее на пленке границы снимка, и пр.), 3) контрольные, позволяющие контролировать работу Ф. а. (перемотка пленки, давление воздуха внутри камеры Ф. а. или в амортизаторах и пр.), 4) сигнализационные, предупреждающие о моменте экспонирования, окончания пленки и пр., 5) предохранительные, имеющие назначением исключать возможность поломки Ф. а. при неправильной его работе (фрикционные муфты, отопление Ф. а.) и предупреждать работающего с Ф. а. от неправильных действий, 6) юстировочные.

Описание современных Ф. а. Одним из последних аэрофотоаппаратов фирмы Цейсс является Ф. а. RMKC/11—полный автомат, допускающий работу от руки (фиг. 21); приводится в действие ветряком *e*, лопасти к-рого меняют свой шаг, что изменяет интервал между снимками в пределах 3÷75 ск. Каждая из сменных кассет *K* вмещает пленку 55÷60 *м* длины при ширине 19 *см*, рассчитанную на 300 снимков размером 18 × 18 *см*. В момент экспонирования пленка прижимается к прикладной рамке выравнивающей доской кассеты, прокалывается по углам и выравнивается в плоскость нагнетанием внутрь камеры воздуха через трубу *D*. Ф. а. имеет четыре взаимозаменяемых конуса с фокусными расстояниями 13,5 *см*—*a*, 21 *см*—*b*, 30 *см*—*c* и 50 *см*—*d*, из к-рых каждый снабжен сферич. междулинзовым центральным затвором и двумя светофильтрами. Корпус Ф. а. укреплен в фотоустановке *y* с пневматическим амортизатором. Фотоустановка позволяет приводить оптич. ось камеры в отвесное положение и поворачивать Ф. а. вокруг указанной оси на угол +30°. С корпусом соединен оптический визир *B*, служащий для ориентирования Ф. а. согласно курсу следования, определения и установки заданного перекрытия снимков, измерения угла сноса. Одновременно с местностью на снимке фиксируются часы, два уровня, счетчик *A* и белая дощечка для записей (фокусное расстояние конуса, дата, район съемки и пр.). Ф. а. имеет сигнализационные, контрольные, предохранительные и прочие вспомогательные приборы и принадлежности. Вес Ф. а. с конусом 21 *см*, с заряженной кассетой, фотоустановкой, двигательным механизмом визиром и принадлежностями около 46 *кг*. Интересен также один из последних Ф. а. Цейсса, в котором два вспомогательных объектива через призмы



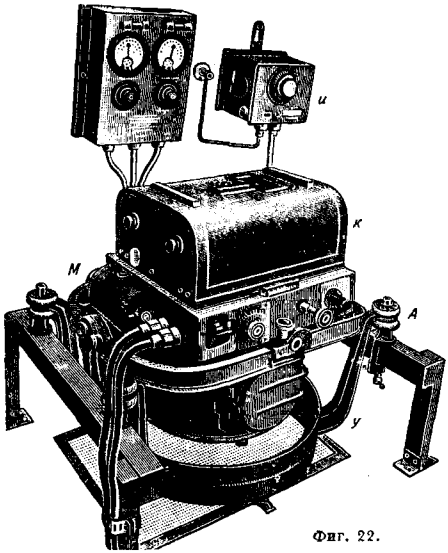
Фиг. 21.

фотографируют одновременно с местностью горизонт, что позволяет определять угол отклонения оптич. оси съемочной камеры от вертикали по величине и направлению (фотографирование уровня не дает точных результатов, поскольку на самолете помимо силы тяжести действуют и другие).

Фейрчайлд K-8 (америк. фирма Fairchild)—полный автомат с двигательным механизмом в виде электродвигателя *M* (фиг. 22), допускающий работу от руки. Сменные кассеты *K* вмещают каждая пленку 23 *м* длины и 24 *см* ширины, рассчитанную на 110 снимков размером 18 × 23 *см*. В момент экспонирования пленка выравнивается прижатием к стеклу в плоскости прикладной рамки. Три взаимозаменяемых конуса с фокусными расстояниями 20, 30 и 50 *см* имеют каждый центральный междулинзовый затвор. Фотоустановка *y* покоится на амортизаторах *A* из губчатой резины. Отдельно от Ф. а. (соединен с ним проводами) расположен интервалометр *u*, замыкающий через установленные интервалы контакт, чем производится спуск затвора. Интервал между снимками может меняться в пределах 3÷90 ск. Питание током электродвигателей Ф. а. и интервалометра происходит или от генератора или от батарей аккумуляторов. На снимке одновременно с

местностью фиксируются круглый уровень, часы, счетчик, альтиметр и дощечка с записями.

Английский Ф. а. Игл (Eagle)—полный автомат при работе от электродвигателя и полуавтомат (спуск затвора от руки) при работе от ветряка. Кассета Ф. а. вмещает пленку



Фиг. 22.

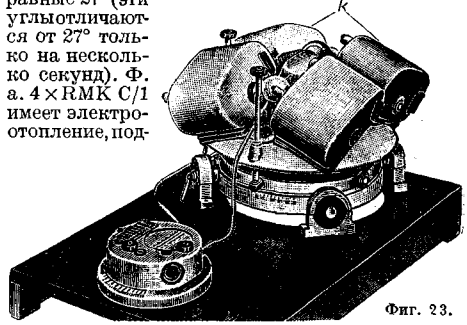
19,8 *м* длиной при ширине 22,85 *см* на 100 снимков размером 17,8×17,8 *см*. Рядом с изображением местности фиксируются альтиметр, счетчик, два уровня, дощечка с записями и часы. Выравнивание пленки производится прижатием к стеклу в плоскости прикладной рамки камеры. Сменные конуса позволяют вести работу с фокусными расстояниями 17,7÷510 *см*. Ф. а. имеет шторный затвор, шторка которого расположена вблизи фокальной плоскости. Затвор имеет кпд ок. 90%.

Ф. а. НАШ-1, сконструированный НИИА (Научно-исследовательский ин-т аэросъемки в Ленинграде), является полным автоматом (возможна работа от руки), работающим от ветряка с переменным шагом, что дает возможность менять интервал между снимками в пределах 8÷90 *сек*. Магазинная часть (НАШ-1 кассет не имеет) вмещает пленку 30 *м* длины и 19 *см* ширины на 150 снимков размером 18×18 *см* и может перезаряжаться в полете. Во время экспонирования пленка выравнивается в плоскость нагнетанием внутрь камеры воздуха. Одновременно с местностью на снимке фиксируются часы, уровень, счетчик и дощечка для записей. Ф. а. имеет один конус с затвором жалюзи; фокусное расстояние конуса 21 *см*. Фотоустановка с резиновой или пневматич. амортизацией позволяет приводить оптич. ось камеры в отвесное положение и поворачивать Ф. а. на угол сноса согласно показаниям специального оптич. визира. Оптич. визир снабжен автоматич. регулятором перекрытия. Вспомогательные приборы и приспособления облегчают работу с Ф. а. в воздухе. «Широкополосная насадка» НИИА — механизм, укрепляемый на конусной части однообъективного Ф. а. Этот механизм перемещает сложную призму *n* так, что последняя то устанавливается перед объективом Ф. а. и отклоняет все лучи, идущие через объектив, на 38°, то отходит в сторону и никакого действия не производит. При отвесном положении оптич. оси камеры широкополосная насадка производит поочередно плановые и перспективные снимки. Половина перспективных снимков покрывает съемкой местность вправо по ходу маршрута, а другая половина влево, вследствие чего ширина фотографируемой одним маршрутом полосы увеличивается примерно в четыре раза по сравнению с Ф. а. без широкополосной насадки. Широкополосная насадка заменяет качающиеся фотоустановки, позволяющие за время интервала между снимками изменять положение Ф. а., и имеет перед последними то преимущество, что в случае наличия широкополосной насадки аппарат остается неподвижным.

Многообъективные Ф. а. получили в последнее время широкое применение в высотно-воздушной и мелкомасштабной аэрофотосъемках. К общим для многообъективных Ф. а. требованиям относятся: неизменность взаимного расположения камер Ф. а. (объективов и плоскостей прикладных рамок) и полная синхронность работы затворов всех съемочных объективов, что обеспечивает постоянство элементов взаимного ориентирования снимков, принадлежащих одной экспозиции. Примерами многообъективных Ф. а. служат следующие.

1) Двухобъективный (спаренный) 2×RMKC/3 (Ф. Цейсса)—полный автомат, приводимый в действие электродвигателем. Оптич. оси камер составляют с осью симметрии Ф. а. углы в 18°. Каждая из камер имеет кассету, вмещающую пленку 60 *м* длины и 19 *см* ширины, что дает ок. 450 снимков размером 12×12 *см*. Фокусные расстояния камер (отличаются друг от друга только в десятых долях *мм*) равны 13,5 *см*.

2) Четырехобъективный (фиг. 23) 4×RMKC/1 состоит из четырех симметрично расположенных камер с кассетами *k*, оптич. оси к-рых составляют с осью симметрии углы, равные 27° (эти углы отличаются от 27° только на несколько секунд). Ф. а. 4×RMK C/1 имеет электроотопление, под-



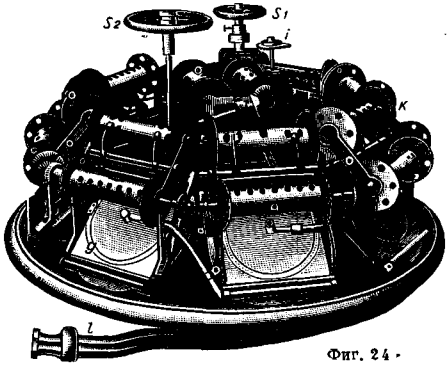
Фиг. 23.

держивающее внутри его желаемую $t°$. Данные 4×RMKC/1 такие же как у Ф. а. 2×RMKC/3.

3) Пятиобъективный Фейрчайлд Т-3А. Ф. а. Т-3 предшествовали Ф. а. Т-1 (трехобъективный) и Т-2 (четырехобъективный); Т-1 уже выходит из употребления. Ф. а. Т-3А неавтомат, приводимый в движение с помощью вращения рукоятки, к-рая автоматически выключается, когда произойдет перемотка пленки. Каждая из пяти камер имеет свою кассету, вмещающую пленку 33,5 *м* длины и 15 *см*.

ширины на 190 снимков размером 14×15 *см*. Во время экспонирования пленка выравнивается присасыванием к выравнивающей доске кассеты от трубки Вентури. Фокусные расстояния всех пяти камер равны 15 *см* и отличаются друг от друга только на десятые доли *мм*. Четыре боковые камеры симметрично расположены по отношению к центральной. Оптич. оси боковых камер составляют с оптической осью центральной камеры углы, равные 43° с точностью до 1′. Центральные междулинзовые затворы работают синхронно от одной рукоятки. Ф. а. подвешен на фотоустановке с резиновыми амортизаторами. При каждом Ф. а. имеется развертывающий станок, предназначенный для развертки снимков боковых камер в проекцию снимка центральной камеры, после чего все пять снимков монтируются на специальном трафарете в один общий снимок, тождественный такому снимку, какой дал бы один центральный объектив, если бы он имел достаточную для этого широкоугольность. Ф. а. отличается простотой конструкции.

4) Девятиобъективный Ф. а. Ашенбреннера является полным автоматом. Оптич. оси всех девяти съемочных объективов с фокусными расстояниями, равными 5,35 *см*, параллельны друг другу, а потому все объективы дают изображение водной плоскости



Фиг. 24.

(на один негатив), что позволяет иметь только одну кассету, вмещающую фильму 100 *м* длины и 19 *см* ширины на 500 негативов размером 18×18 *см*. Один из объективов расположен в центре, а все остальные—симметрично вокруг него. Лучи, идущие в боковые объективы, проходят через призмы с двойным отражением, к-рые действуют так, как если бы оптич. оси боковых объективов составляли бы с оптич. осью центрального объектива углы, равные 53°. Ф. а. имеет специальный развертывающий станок, позволяющий изображение, полученное от боковых объективов, развернуть в проекцию изображения, данного центральным объективом, как и в Ф. а. Т-3.

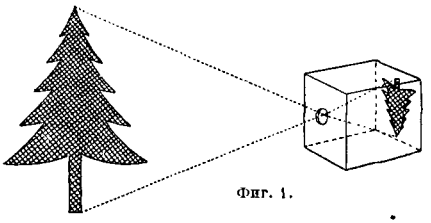
5) Ф. а. Дробышева—не-автомат (фиг. 24), имеет девять объективов с фокусными расстояниями, равными 13,5 *см*. На фигуре Ф. а. показан со снятым кожухом, предохраняющим от света и повреждений внутренние детали (восемь боковых камер, симметрично расположенных вокруг центральной). Каждая из девяти камер Ф. а. имеет пару катушек *k* с 15 *м* пленк и шириной 13 *см*, рассчитанной на 100 снимков. Перемотка пленки осуществляется вращением штурвала s_1 и контролируется указателем *i*. В момент экспонирования пленка присасывается к выравнивающим доскам *g* от трубки Вентури через шланг *l*. Оптич. оси боковых камер составляют с оптич. осью центральной камеры углы, равные 45°. Штурвал s_2 при вращении производит взвод и спуск всех девяти синхронно работающих затворов совершенно оригинальной конструкции. Вес Ф. а. ок. 57 *кг*.

Увеличение площади, покрываемой одной экспозицией, может происходить не только за счет увеличения числа объективов Ф. а., но и за счет увеличения угла изображения съемочных объективов. Последний способ несравненно выгоднее и при конструировании Ф. а. и при летно-съемочных и фотограмметрич. работах. По созданию широкоугольных объективов, пригодных по своим качествам для аэрофотоаппаратов (большая светосила, большие фокусные расстояния и хорошая коррекция), ведутся большие работы за границей и в СССР. Из заграничных объективов обратил на себя всеобщее внимание Аэроэкспресс Росса (таблица), а в СССР в этом направлении достигнуты значительные успехи НИИ аэросъемки.

Лит.: Gruber O., Ferunkurs in Photogrammetrie, Stg., 1930; Gast P., Vorlesungen über Photogrammetrie, Lpz., 1930; Löfström K., Entzerrung von Luftbildern durch Horizontbildvermessung und Verfahren zur Herstellung von Luftbildplänen, «Bildness u. Luftbildwesen», 1932, 3, p. 99—107. **Романовский.**

ФОТОГРАФИЯ, получение изображения при помощи света на поверхностях, покрытых светочувствительными веществами. Простейшая форма получения изображения—копировальный процесс (т. н. светокопирование), применяется для получения копий с чертежей, планов и т. п. Бумагу, покрытую химич. изменяющимся под действием света веществом (напр. хлористым серебром), выставляют под чертежом на яркий свет. Последний проникает через чистые (не покрытые линиями) места чертежа и производит изменение в светочувствительном слое бумаги; получается копия чертежа с белыми линиями на черном фоне, т. е. с обратным распределением света и тени,—негатив. Копию для закрепления [*фиксирования* (см.)] опускают в раствор серноватистокислого натрия $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ (гипосульфита), к-рый лишает бумагу светочувствительности. После этого на промытую и высушенную копию накладывают новый кусок светочувствительной бумаги, снова печатают и получают теперь копию с правильным распределением света и тени,—позитив. Этот способ имеет очень ограниченное применение, т. к. пригоден только для копирования плоских предметов: чертежей, рисунков и т. п. Гораздо сложнее процесс фотографирования, т. е. съемка пластич. объектов при помощи света, камеры и светочувствительных поверхностей, какими являются стеклянные пластинки, целлюлоид и бумага, покрытые преимущественно бромосеребряной желатиновой эмульсией. Съемка производится камерой, простейшей формой к-рой является светонепроницаемый ящик с малым отверстием в одной из его стенок. Более совершенная форма камеры имеет в передней стенке объектив (одну линзу или систему линз), а в противоположной—матовое стекло. Если обратить объектив к освещенному предмету, то на матовом стекле получится перевернутое изображение предмета (фиг. 1), причем по мере удаления объектива от предмета изображение последнего на матовом стекле уменьшается.

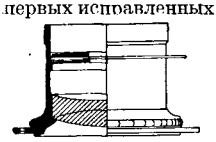
Величина изображения кроме того зависит от фокусного расстояния объектива: чем оно больше, тем больше и изображение. Для наводки на фокус (на резкость) задняя стенка камеры с матовым стеклом или передняя стенка с объективом делается подвижной. Под фокусом



Фиг. 1.

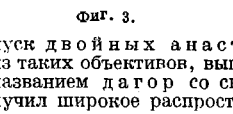
подразумевают точку, в к-рой сходятся световые лучи после преломления в линзах; расстояние этой точки от линзы называется фокусным расстоянием. В объективах, состоящих из нескольких линз, фокусное расстояние измеряется от центра объектива, т. е. от диафрагмы.—Параллельно с усовершенствованием фотоаппарата (см. *Фотографический аппарат*) шло усовершенствование и объективов и фотографич. процессов. Громоздкий аппарат и сложный фотопроцесс, который прежде вынуждал фотографа брать с собой в путешествие свою лабораторию, превратились теперь в удобно помещаемую в кармане компактную миниатюрную камеру, позволяющую без затруднений производить подряд целую серию снимков, и в упрощенный фотопроцесс, делающий Ф. доступной широким массам и вызвавший огромное развитие фотолюбительства. Одновременно Ф. приобретает огромное значение в самых разнообразных областях науки, техники и пром-сти.

Первый фотографич. объектив (см. *Объектив* фотографический) представлял собой вогнуто-выпуклую линзу (мениск) и являлся весьма несовершенным инструментом, обладавшим целым рядом недостатков, обусловливавших неточную передачу изображения. Одним из первых исправленных объективов была ахроматическая линза (ахромат), состоящая из склеенных между собой собирательной (двояковыпуклой) и рассеивающей (двояковогнутой) линз (фиг. 2), сделанных из двух стекол различной

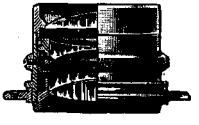


Фиг. 2.

преломляемости (кронглас и флинтглас). Ахроматическим, или ландшафтным, объективом вследствие небольшой светосилы (1 : 11÷1 : 16) можно было пользоваться только при хорошем освещении, поэтому для съемки в *ателье* (см.), где в первое время главным образом сосредоточивалась вся фотографическая работа, Петцваль спроектировал портретный объектив большой светосилы—1 : 3,4÷1 : 3,7 (1 : 3,4 обозначает, что диам. линз в 3,4 раза меньше фокусного расстояния). Он состоит из двух пар линз: передней, склеенной, и задней, разделенной слоем воздуха. Им можно было производить быстрые портретные съемки, но вследствие малого полезного поля изображения для ландшафтных и архитектурных съемок он не был пригоден. Следующим важным достижением в области оптики (1866 г.) был сконструированный Штейнгейлем объектив *апланат* (см.), состоящий из двух ахроматич. линз, симметрично расположенных по обе стороны диафрагмы (см. ниже). Каждая половина состояла из двух склеенных линз из флинтгласа разного сорта. Апланаты являются хорошо исправленными объективами и до сих пор находят широкое применение в дешевых аппаратах; их светосила 1:6÷1:8. В них устранены хроматическая аберрация (состоящая в том, что лучи света, разложенные линзой на лучи спектральных цветов, дают изображение на разных расстояниях от линзы), дисторсия (искривление поля изображения) и в значительной мере сферическая аберрация (состоящая в том, что лучи, проходящие сквозь линзу ближе к ее краям, преломляются сильнее лучей, проходящих ближе к главной оптич. оси). В апланатах все же не удалось устранить один из важных недостатков—астигматизм (свойство линзы передавать вместо изображения точки расплывчатую горизонтальную или вертикальную линию или же звездообразную фигуру). Устранить астигматизм удалось только после открытия иенского стекла. Такие анастигматически исправленные объективы называются анастигматами. Первые анастигматы, выпущенные з-дом Цейсса (в 1891 г.), были несимметрич. конструкции (фиг. 3), состояли из двух пар склеенных линз и были названы протарами. Большим шагом вперед явился вы-



Фиг. 3.



Фиг. 4.

пуск двойных анастигматов. Первый из таких объективов, выпущенный Герцем под названием дагор со светосилой 1 : 6,8, получил широкое распространение. К этому же времени относится выпуск ортостигмата Штейнгейля, колинеара Фохтлендера и многочисленных объективов той же конструкции. Особо нужно отметить двойной анастигмат тессар з-да Цейсса, несимметрич. конструкции, состоящий из четырех линз: две задние склеены и две передние разделены воздушным промежутком (фиг. 4). Тессар является одним из лучших современных объективов; светосила его сначала была 1:6,3, затем была доведена до 1:4,5, 1:3,5 и в последнее время даже до 1:2.7. Конструкция тессара впоследствие была использована при изготовлении целого ряда других объективов (в том числе выпущенного Гос. оптич. заводом ВООМТ в Ленинграде объектива ортагоз со светосилой 1:4,5 и фокусным расстоянием 13,5 *м*). Дальнейшее усовершенствование объективов было направлено к увеличению их светосилы, и вскоре светосила тессара 1:2,7 была превзойдена другими сверхсветосильными объективами, из к-рых наиболее известны эрностар 1:1,8, пластмат 1:1,5 и др. Эти объективы пригодны для моментальных съемок при плохих условиях освещения и на малые форматы пластинок 4,5×6 *см*.—Объективы, охватывающие большой угол зрения, называются широкоугольниками; специальные типы этих объективов захватывают угол 100—110°, а иногда и больше. Для портретных съемок выпускаются т. н. мягкорисующие объективы, дающие изображение, лишенное резкости. Телеобъ-

ективами называются оптич. инструменты, дающие возможность снимать далекие предметы в крупном масштабе. Кроме перечисленных объективов существуют еще репродукционные объективы, т. н. апохроматы; это — первоклассные инструменты, тщательно исправленные от всех недостатков.

Каждый объектив снабжен диафрагмами, — пластинками с круглыми отверстиями, вставляемыми в объектив или укрепленными в его оправе (ирисовая диафрагма). Они имеют целью увеличивать резкость изображения. Диафрагмы обозначаются номерами, причем на различных типах объективов употребляются различные системы обозначения, в зависимости от принятой единицы.

Развитие фотографич. процессов шло также постепенно, шаг за шагом. Одним из первых фотопроцессов, давших возможность проявить и закрепить полученное при помощи камеры скрытое изображение, следует рассматривать дагерротипию, получившую свое название в честь Дагерра, к-рый с опубликованием этого процесса в 1839 г. был признан изобретателем Ф. несмотря на то, что еще до него многим экспериментаторам удавалось получать видимые изображения. Среди них нужно отметить Шульце, открывшего в 1727 году светочувствительность солей серебра, Веджвуда, производившего в 1802 г. опыты над печатанием изображения на бумаге, Деви, открывшего в 1814 г. иодистое серебро, Ньепса, получившего в 1816 г. и затем в 1824 г. светоустойчивые изображения на металлич. пластинках.

Сущность дагерротипии заключается в следующем: полированная серебряная или медная посеребренная пластинка помещается в закрытый ящик, на дне к-рого находится металлич. иод. Испарения иода образуют на поверхности пластинки иодистое серебро бледно-красного цвета. Освещенная в камере (экспонированная) пластинка проявляется в особом приборе парами ртути; ртуть осаждается только в тех местах, которые подвергались действию света, и дает светлую амальгаму. Затем неизменившееся иодистое серебро (в теневых частях изображения) удаляется обработкой серноватистокислым натрием (открытым Гершелем еще в 1819 г.), вследствие чего в местах, освобожденных от слоя иодистого серебра, обнажается серебряное зеркало. При рассматривании под известным углом эти места покажутся темными, и т. о. получается правильное (в смысле светотени) изображение. Но дагерротипия имеет тот существенный недостаток, что не допускает размножения, т. е. получения копий. Первые пластинки Дагерра требовали экспозиции в течение 3—4 мин.

Лет через 12 дагерротипия была вытеснена мокрым коллодионным процессом, открытым Скотт-Арчером в 1851 г., но еще до появления этого процесса Тальбот в 1841 г. изобрел способ проявления скрытого изображения, полученного на бумаге, очувствленной иодистым серебром и галловой к-той. При этом получилось изображение с обратным соотношением светотеней,—негатив, к-рое затем копировалось еще раз для получения с негатива позитива. Этим было положено начало негативного и позитивного процессов. Мокрый коллодионный процесс состоит в следующем. Стеклянную пластинку обливают коллодием, смешанным с растворимыми в спирте иодистыми солями, и опускают при желтом свете в раствор азотнокислого серебра. При этом в слое образуется светочувствительное иодистое серебро. Экспонируют пластинку в мокром виде. После проявления скрытого изображения раствором железного купороса получается негатив, с к-рого после фиксирования раствором гипосульфита или цианистого калия м. б. изготовлено любое количество позитивных отпечатков. Мокрый процесс явился прогрессом в фотографич. процессах и получил очень широкое применение несмотря на то, что он обладает многими недостатками, к числу к-рых относится необходимость приготовления пластинки перед каждой съемкой, громоздкость лабораторного оборудования, к-рое фотограф при съемках вне помещения должен брать с собой, и малая чувствительность иодосеребряных пластинок. Эти недостатки направили мысли изобретателей к изысканию методов приготовления сухих, долго сохраняющихся пластинок, и после длительных попыток, в к-рых принимали участие Годэн, Гаррисон, Грей, Смит и др., Мэдоксу в 1871 г. удалось выработать годные для практич. работ сухие бромосеребряные желатиновые пластинки. Сухой фотографич. процесс по мере своего усовершенствования начинает вытеснять мокрый процесс из обычной практики, но в репродукционной технике (см. *Репродукционные процессы*) он применяется еще и в настоящее время. С появлением сухих пластинок развитие Ф. приняло колоссальные размеры, и создалась значительная фотографич. индустрия. Чувствительность броможелатиновых пластинок постепенно была доведена до такого предела, что оказалось возможным довести быстроту съемки до $^1/_{1\,000}$ ск.—Бромосеребряный желатиновый способ основывается на следующих принципах. Если растворить желатину и бромистый калий или аммоний в воде и прибавить (при красном свете) азотнокислое серебро, то образуется бромистое серебро, к-рое остается распределенным в желатине в мелко раздробленном состоянии—в виде эмульсии. Светочувствительность эмульсии не очень высока; для увеличения ее эмульсия подвергается нагреванию, т. н. созреванию (способ, выработанный Беннетом в 1878 г.). Этот процесс и прибавка аммиака повышают при благоприятных условиях чувствительность эмульсии в 100 и более раз. Созревшей эмульсии дают застудниться в холодном месте, затем ее измельчают и промывают для удаления следов растворимых солей. После этого ее расплавляют подогреванием и после прибавки хромовых квасцов и фильтрования поливают ею стеклянные пластинки. Фотографич. пластинка при красном свете помещается в плоский светонепроницаемый ящичек, т. н. кассету, последнюю вдвигают в камеру и производят съемку (экспозицию), затем пластинку в темной комнате при красном свете, к-рый на нее никакого действия не оказывает, обливают раствором *проявителя* (см.). Последний представляет собой химич. вещество (метол, гидрохинон, глицин, параамидофенол и т. д.), к-рое, будучи смешано с сернистокислым натрием и какой-нибудь щелочью (сода, поташ), восстанавливает бромистое серебро в черное металлическое. Т. о. во время процесса *проявления* (см.) вначале невидимое (латентное) изображение делается видимым, т. к. вследствие действия проявителя происходит почернение пластинки, причем участки менее освещенные чернеют медленнее, чем более ярко освещенные; в совершенно неосвещенных участках (соответствующих черным местам снятого объекта) почти никакого изменения в слое не происходит. (Вопрос о природе скрытого изображения до настоящего времени остается нерешенным.) Проявленное изображение затем фиксируют в растворе гипосульфита, т. е. из слоя пластинки удаляют незатронутое светом, а следовательно и неизменное проявителем бромистое серебро, по-

сле чего пластинку промывают и сушат. На изготовленном т. о. негативе светлые части объекта передаются темными, а темные—светлыми. Для получения копий с негативов существуют различные позитивные процессы (см. ниже).

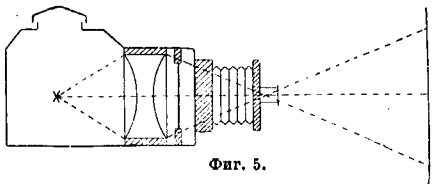
Большой недостаток обыкновенных фотопластинок состоит в том, что чувствительность их к различным цветам неодинакова, отчего цветные объекты передаются при съемке неправильно: пластинки чувствительны гл. обр. к синим и фиолетовым лучам, а красные и желтые на них почти никакого действия не оказывают, и поэтому цвета, которые кажутся глазу светлее синего цвета, выходят на копии почти черными, синий же—почти белым. В 1873 г. Фогелю удалось устранить этот недостаток путем введения в эмульсию красящих веществ, т. н. сенсибилизаторов (см. *Сенсибилизация*). Этим изобретением, которое произвело большой переворот в Ф., была положена основа ортохроматической Ф. При введении в эмульсию или купании обыкновенных пластинок в растворе нек-рых красителей: эозина, эритрозина, ортохрома, пинахрома, пинавердола и др., слой приобретает чувствительность к зеленым и желтым лучам; такие пластинки называются ортохроматическими. Для очувствления пластинок ко всем лучам спектра и получения так наз. панхроматических пластинок применяются сенсибилизаторы: цианин, дицианин, пинацианол, криптоцианин или смеси их с указанными выше красителями.

Важным моментом в истории Ф. нужно считать изобретение Истменом в 1886 г. целлюлоидных пленок, к-рые, хотя в первое время и уступали по качеству и по сохраняемости пластинкам, все же были ценным изобретением для любительской Ф., потому что о и легки по весу, не ломки и не требуют темной комнаты для заряжения (пленочные камеры имеют специальные кассеты для катушечных пленок на 6—12 снимков). Впоследствии удалось устранить все недостатки, присущие пленкам, и они получили огромное распространение в Ф., а с 1894 года (с появлением первого, построенного бр. Люмьер, киноаппарата) и в кинематографии, положив начало развитию кинопромышленности со всеми ее ответвлениями.

Позитивных процессов существует большое количество. Для копирования применяются различные бумаги, на поверхность которых нанесен какой-нибудь светочувствительный слой, содержащий в себе либо галоидные соли серебра, либо соли хрома, либо соли железа. Бумаги на солях серебра делятся на две группы: бумаги с видимым печатанием, т. н. дневные, и бумаги с проявлением. Бумаги с видимым печатанием пользовались прежде широкой популярностью, но в настоящее время они почти совершенно вытеснены бумагами с проявлением, отличающимися большой чувствительностью и допускающими быструю работу. Слой бумаг, дающих видимое изображение, содержит в себе хлористое серебро в мелко раздробленном состоянии, заключенное в какое-либо вещество, способствующее прочному удержанию хлористого серебра на бумаге. От того, какое вещество является связующим началом, обычно и зависит название данного сорта бумаги. Напр. если таким веществом является альбумин (белок), то бумага называется альбуминной; при употреблении коллодия бумага называется коллодионной, или целлоидиновой. Далее существуют сорта аристотипной бумаги (с желатиной), арроутной (с арроутом), протальбинной и смоляной, изготовленной с различными смолами, и т. д. Одной из первых бумаг, получивших широкое практич. применение, является альбуминная. Перед копированием ее приходилось очувствлять раствором азотнокислого серебра. Позже появились целлоидиновая и аристотипная бумаги.—Для получения копии с негатива на слой последнего кладут светочувствительным слоем вниз одну из перечисленных выше бумаг, помещают в копировальную раму, закрывают последнюю и выставляют на дневной свет. Изображение появляется постепенно и усиливается до полной силы. Тон изображения получается черно-фиолетовый (образование полухлористого серебра). После копирования отпечатки промывают от содержащейся в слое в избытке серебряной соли. Промытые отпечатки имеют красноватый тон; если их положить в раствор гипосульфита, то получится некрасивый желтовато-коричневый тон изображения, поэтому особым способом обработки, т. н. тонированием, или вирированием (см. *Вираж*), им придают желаемый оттенок и стойкость. При этом процессе частички серебра замещаются солями золота, платины или других металлов, и желтоватый тон отпечатков переходит в коричневый, красноватый или фиолетовый тона. Виражные растворы наряду с золотыми солями содержат и другие химич. соединения, которые оказывают влияние на процесс вирирования. Отвирированный отпечаток фиксируют в растворе гипосульфита и затем тщательно промывают. Плохо промытые отпечатки покрываются желтыми пятнами. Вирирование и фиксирование можно соединить в одну операцию, если прибавить к раствору гипосульфита соли золота и вещества, способствующие вирированию (соли свинца, роданистые соли и др.). Такие растворы называются вираж-фиксажами.—Слой бумаг с проявлением очень мало отличается от слоя фотографич. пластинок. Бумагу копируют под негативом, затем проявляют, фиксируют и промывают так же, как пластинку. Различают два главных сорта бумаги: бромосеребряные (или просто бромистые) и хлоробромосеребряные (или газопечатные). Эмульсия для приготовления бромистых бумаг состоит из бромистого серебра и желатины; для приготовления хлоробромистых бумаг употребляют смеси хлористого и бромистого серебра и желатины. Бромистые бумаги приблизительно на $^1/_5$—$^1/_{20}$ менее чувствительны, чем пластинки средней чувствительности. Хлоробромистые бумаги менее чувствительны, чем бромистые; чувствительность их меняется в зависимости от большего или меньшего содержания в эмульсии хлористого серебра. Бумаги с проявлением благодаря короткому времени экспозиции дают возможность выполнять массовые работы в короткий срок. Для быстрого копирования построены копировальные аппараты разных систем. Существуют также машины, в к-рых копирование происходит автоматически на длинных бумажных лентах (рулонах); автоматически происходит также проявление, фиксирование, промывка и сушка. Эти машины вырабатывают в сутки сотни тыс. отпечатков.—Отпечатки на бумагах с проявлением также можно тонировать.

Высокая чувствительность бромистых бумаг сделала возможным производить увеличе-

ния. Для получения с негативов увеличений существует целый ряд специальных аппаратов разных конструкций. Существуют аппараты типа проекционного фонаря с конденсатором (фиг. 5). В последнее время приобретают популярность вертикальные увеличители без конденсатора, с рефлектором, состоящим из сферич. зеркала для освещения увеличиваемого нега-

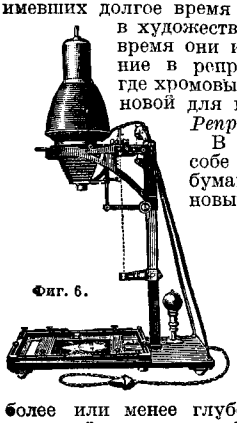


Фиг. 5.

тива прямым светом (фиг. 6), или с отражателем (прожектором) параболич. формы для освещения отраженным светом.

Для специальных целей, напр. для проектирования на экране, позитивы изготовляют на стекле; это т. н. *диапозитивы* (см.). Для получения таких диапозитивов негативы копируют на диапозитивных пластинках, светочувствительный слой к-рых состоит из хлоробромосеребряной желатиновой эмульсии.

Позитивные процессы на солях хрома основаны на свойстве органич. веществ (желатины, клея, гуммиарабика и пр.), смешанных с солями хромовой к-ты (двухромовокислого калия или аммония), изменяться под действием света и делаться нерастворимыми в воде. На основе этих свойств, открытых Тальботом еще в 1853 г., разработано несколько способов, имевших долгое время обширное применение в художественной Ф. В настоящее время они имеют огромное значение в репродукционной технике, где хромовые способы являются основой для многих процессов (см. *Репродукционные процессы*).



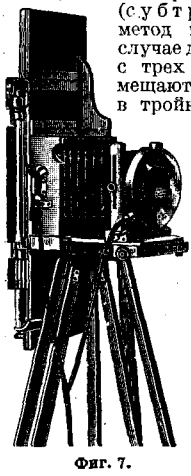
Фиг. 6.

В пигментном способе материалом является бумага, покрытая желатиновым слоем, в к-рый введена краска (пигмент). Бумагу очувствляют погружением в раствор двухромовокислого калия и копируют под негативом. Слой, соответственно градации негатива, под действием света продубляется с поверхности более или менее глубоко. После копирования слой переносят с бумаги на другую подложку и проявляют в горячей воде, к-рая растворяет незадубленный желатиновый слой. К хромовым способам относятся гуммиарабиковая печать, масляный способ печати, бромомасляный способ, озотипия, озобром, резинотипия, пинатипия и др.

На светочувствительности солей железа основывается также большое количество позитивных способов, напр. цианотипия, аргентотипия, каллитипия, платинотипия и др. Пользуются ими редко, за исключением цианотипии, к-рая получила широкое распространение для копирования планов, чертежей и пр. Обыкновенную бумагу обрабатывают раствором аммиачного лимоннокислого железа, высушивают и копируют под чертежом. При этом получается едва заметное изображение, причем на освещенных местах соли окиси железа переходят в соли закиси железа. Копию переносят в холодную воду, служащую одновременно проявителем и закрепителем. При прямом копировании планов последние получаются на цианотипной бумаге (синьке) негативными, т. е. белыми на синем фоне.

Цветная фотография. Зеебек уже в 1810 г. открыл, что хлористое серебро, нанесенное на бумагу и подвергнутое действию света под спектром в течение 15—20 мин., принимает цвета последнего. Бекерель покрывал хлоросеребряным слоем серебряные пластинки и воспроизводил т. о. 7 основных цветов спектра, но ему не удавалось зафиксировать цветное изображение, и цвета исчезали. Дальнейшие опыты с переменным успехом производили Гершель, Дрепер, Симсон, Ньепс, де Сен-Виктор, Пуатевен и др. Следующие опыты были направлены к изысканию смесей красителей, выцветающих под действием света,—в результате появились т. н. способы выцветания. Нейгаус выбрал три соответствующие анилиновые краски—синюю, красную и желтую, смешал их с желатиной, облил этой смесью бумагу и копировал под цветным диапозитивом. Краски при освещении выцвели (полиняли) от поглощаемого света и приняли окраску диапозитива. Впоследствии (1902 г.) была выпущена бумага утоколор, на к-рой копировали цветные диапозитивы. Но этот способ, как и предыдущие, не дал возможности производить непосредственные цветные съемки в камере. В 1868 г. Винер высказал предположение, что цветные изображения м. б. получены при помощи «стоячих волн», но только Липману в 1891 г. удалось с точностью подтвердить правильность этой теории и разработать способ цветной Ф., к-рый был основан на использовании явления интерференции света. Но многочисленные опыты доказали, что вследствие трудности исполнения способ Липмана не может иметь практич. значения. Вместе с попытками получить Ф. в натуральных цветах прямым методом фотографирования производились опыты по непрямым, или косвенным, методам. В 1861 г. Максвелл, основываясь на теории Юнга-Гельмгольца, по к-рой все цвета природы м. б. воспроизведены смешением трех основных цветов, приготовил фотографич. путем три позитивных изображения на стекле и, окрасив каждый из них в один из основных цветов (красный, желтый и синефиолетовый), проектировал их на белый экран, соблюдая точное совпадение изображения. Но работы его, как и Эйвеса, не дали желаемых результатов в виду того, что фотопластинка не была чувствительна ко всем цветным лучам. Только открытие Фогеля (см. выше) дало возможность сенсибилизировать пластинки. Этим открытием проблема трехцветной Ф. была решена, и последняя получила большое развитие и практич. применение, преимущественно в печатном деле. Трехцветная Ф. базируется на разложении цветов снимаемого объекта на три основных цвета—красный, желтый и синий. Это достигается съемкой на трех пластинках с применением светофильтров разной окраски (см. *Репродукционные процессы*). Съемки м. б. сделаны любой камерой, установленной на устойчивом штативе. Очень удобна специальная камера Митэ. К ней приспособлена кассета

(фиг. 7), в к-рую вкладывается одна пластинка размером 9×36 см. После каждой съемки одновременно с закрыванием затвора кассета автоматически передвигается дальше и останавливается перед объективом. Три светофильтра находятся в кассете непосредственно перед пластинкой. Построены также камеры, в к-рых съемку на трех пластинках производят одновременно лишь одним объективом. В одних конструкциях три изображения образуются при помощи призм, в других—при помощи отражающих поверхностей или зеркал. К первой группе принадлежит камера Зенгер-Шеперда, ко второй—камеры Батлера и «Иос-пэ» (см. *Фотографический аппарат*, фиг. 12). Съемкой, т. е. получением трех частичных негативов, заканчивается первая часть трехцветной Ф. Вторая часть осуществляется различными методами, смотря по тому, должно ли совмещение цветов происходить посредством цветных лучей, т. е. оптич. смешением (т. н. аддитивный метод, или метод сложения цветов), или же в результате применения красящих веществ, т. е. материальным смешением красок (субтрактивный метод, или метод вычитания). В первом случае диапозитивы, изготовленные с трех частичных негативов, помещают вместе со светофильтрами в тройной проекционный фонарь и проектируют на белый экран; при этом три цветных изображения сложатся, и на экране получится изображение снятого объекта в естественной окраске. Если же удалить из проекционного фонаря все диапозитивы, то на экране получится белое место, т. к. в результате сложения трех основных цветных лучей от светофильтров никакого цвета не получается. Подобное же оптич. смешение цветных лучей происходит в приборе для рассматривания совмещенных изображений (хроскопе).



Фиг. 7.

Во втором случае три частичных негатива служат для получения цветных изображений на тонких пленках, на стекле или на бумаге. Сюда относятся многочисленные способы (пинатипия, увахромия, трехцветный пигментный и гуммиарабиковый процессы и т. д.), при которых совмещение красок на том или ином материале производится различными путями, причем пользуются как негативами, так и диапозитивами. На субтрактивном методе основана также трехцветная печать, которая благодаря Ф. была доведена до высокой степени совершенства. Особый вид трехцветной Ф. представляет собой способ автохром (Люмьера), дающий одной съемкой и последующей простой обработкой цветное изображение на стекле (диапозитив). Съемку производят на пластинках, покрытых панхроматич. эмульсией, под к-рой находится трехцветный светофильтр, состоящий из тончайшего слоя крахмальных зернышек, предварительно окрашенных в красный, зеленый и фиолетовый цвета и смешанных в определенной пропорции. Т. к. прежде чем попасть на эмульсионный слой световые лучи должны сначала пройти через светофильтр, то пластинку вкладывают в кассету т. о., чтобы она была обращена стеклом к объективу. Пластинку после проявления обрабатывают обращающим раствором, к-рый растворяет восстановленные частицы черного металлич. серебра, под к-рым находятся соответствующие цветные зернышки. После этого пластинку проявляют вторично на полном свету, причем невосстановленное при первом проявлении бромистое серебро чернеет, превращаясь в металлич. серебро. В результате получается цветное позитивное изображение на стекле.

Стереоскопическая Ф. состоит в фотографировании аппаратом с двумя объективами, расстояние между к-рыми равно расстоянию между глазами человека. Изготовленные с полученных негативов позитивы на бумаге или стекле рассматриваются в стереоскопе, при помощи к-рого два плоскостных изображения совмещаются т. о., что наблюдатель получает впечатление рельефного предмета.

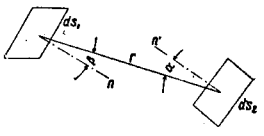
Очень велико и важно значение Ф. в различных отраслях науки, техники и пром-сти. В медицине и при исследовательских работах применяется микрофотография и рентгенофотография. Первая заключается в съемке микроскопич. препаратов аппаратурой, состоящей из микроскопа и фотоаппарата, вторая—в применении при съемке невидимых (рентгеновых или X-) лучей, имеющих свойство проходить через непрозрачные предметы. Измерительная Ф., или *Фотограмметрия* (см.), дает возможность на основании расстояния между объективом и предметом и фокусного расстояния объектива производить точные измерения снятого предмета. Задача воздушной Ф., или аэрофотографии,—производить с летательных аппаратов съемки местностей с целью изготовления географич. карт. Кроме перечисленных случаев применения Ф. пользуются в различных областях естествознания—в зоологии, ботанике, геологии, минералогии, антропологии, астрономии, метеорологии, археологии и др. В судебном деле Ф. применяется для целей регистрационных (съемка преступников, мест несчастных случаев и т. д.), для целей исследования (напр. выявления деталей, невидимых невооруженному глазу) и для целей идентификации личности (напр. съемка следов пальцев руки, т. н. дактилоскопическая съемка). Культурное развитие народов также в значительной степени обязано Ф.: общеизвестна воспитывающая роль кинематографии и приложение Ф. в деле иллюстрирования книг, журналов, плакатов и пр. Следует упомянуть еще о передаче изображений на расстоянии: давно уже существуют приспособления для подобных передач, а в последнее время сконструирована аппаратура (бильд-аппарат) для фотографической передачи не только изображений, но и текста для печатания газет.

Лит.: Неблит К., Общий курс фотографии, пер. с англ., 2 изд., кн. 1, М., 1932, кн. 2, М., 1933, кн. 3 (печ.); Эглиш Е., Основы фотографии, пер. с нем., 3 изд., М.—Л., 1931; Яштолд-Говорко В. и Мархлевич К., Курс фотографии, т. 1, М.—Л., 1933; Домарадский М., Фотообъективы, Москва, 1930; Уолл Э., Фотографическая эмульсия, пер. с англ., Л., 1931; Шеберстов В., Химия проявителей и проявление, М.—Л., 1932; Кен А. и Юнг Г., Фотохимия, М.—Л., 1933; Тихонов Н., Фотография в полевой работе, Л., 1932; Реден И., Таблица для определения фотоэкспозиции, пер. с нем., М.—Л., 1932; Пешль В., Введение в фотографию, пер. с нем., М.—Л., 1929; Сольский Д. и др., Фотография и аэро-

фотография, М., 1926; Советский фотограф. альманах, 1928, 1929, 1930; Гюбль А., Ортохроматическая фотография и светофильтры, пер. с нем., Москва, 1930; Лауберт Ю., Фотографич. рецепты и таблицы, 8 изд., Москва, 1931; Фогель Э. и Лауберт Ю., Карманный справочник по фотографии, 14 изд., М.—Л., 1933; Давид Л., Практическое руководство по фотографии, пер. с нем., 2 изд., М.—Л., 1932; Дрибинович Н., Позитивный процесс, М., 1932; Евдокимов В., Практическая фотография, 2 изд., М., 1932; его же, Фоторецептура и справочник, 3 изд., Л., 1928; Гюбль А., Гребе Л., Уолл Э., Цветная фотография, перевод с нем., М.—Л., 1933; Бунимович Д., Проекционный способ фотопечати, М.—Л., 1932; Лауберт Ю., Ошибки и неудачи негат. процесса, 5 изд., М.—Л., 1934; Handbuch der wissenschaftl. u. angewandten Photographie, hrsg. v. A. Hay: B. 1—Das photograph. Objektiv, Wien, 1932, B. 2—Die photographische Kamera, Wien, 1931, B. 3—Erzeugung u. Prüfung lichtempfindlicher Schichten, Wien, 1930, B. 5—Der photogr. Negativ- u. Positivprozess, W., 1932, B. 7—Photogrammetrie, W., 1930; Lüppo-Cramer H., Die Grundlagen der photogr. Negativverfahren, 3 Aufl., Halle a/S., 1927; Eder J., Lüppo-Cramer H., Photographie mit Bromsilber- und Chlorsilbergelatine, Halle a/S., 1929; Urban W., Theor.-praktischer Leitfaden der Phototechnick, Stg., 1928; Wall E., Tricolor photography, Oxford, 1931; Chicandard, La photographie, Toulouse, 1928; Seyewetz, Le négative en photographie, P., 1929; Trutate, Les positives en photographie, P., 1929. **Ю. Лауберт.**

ФОТОГРАФИЯ ЦВЕТНАЯ, см. *Фотография.*

ФОТОМЕТРИЯ, область учения о свете, в которой устанавливаются понятия о световых величинах, их единицах и разрабатываются методы световых измерений. Методы измерения световых величин базируются на различных явлениях действия света. Воздействие света на сетчатку глаза создает зрительное впечатление. Использование этого явления для световых измерений развилось в обширную отрасль зрительной, или визуальной, Ф. Способность нек-рых тел при поглощении ими света выделять свободные электроны и создавать фотоэлектрический ток или менять свою электропроводность использована при разработке методов физической, или объективной, Ф.



Фиг. 1.

Основные законы Ф. Световые измерения базируются на следующих законах. Световой поток dF, воспринимаемый элементом площадки ds_2 (фиг. 1) от светящегося элемента площадки ds_1, имеющего яркость B и находящегося от ds_2 на расстоянии r, причем площадки ds_2 и ds_1 наклонены к направлению r под углами α и β, равняется:

$$dF = \frac{B \cdot ds_1 \cdot ds_2 \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta}{r^2}. \quad (1)$$

Относя величину потока dF к единице площади ds_2, получим освещенность dE площадки ds_2, определяемую следующим соотношением:

$$dE = \frac{dF}{ds_2} = \frac{B \cdot ds_1 \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta}{r^2}. \quad (2)$$

В случае, когда ds_1 очень мала по сравнению с величиной r, на основании соотношения $B\,ds_1 \cos\alpha = dI$ имеем:

$$dE = \frac{dI \cdot \cos\beta}{r^2}. \quad (3)$$

Соотношение (3) носит название закона квадратов расстояний. Если поверхность имеет одинаковую по всем направлениям яркость, то величина силы света I_α, излученная поверхностью под углом α к нормали, выражается соотношением:

$$I_\alpha = I_0 \cdot \cos\alpha, \quad (4)$$

где I_0—величина силы света, излучаемая поверхностью в направлении нормали. Соотношение (4) носит название закона Ламберта, или закона косинуса.

Визуальная Ф. В методах визуальной Ф. используется способность глаза устанавливать равенство двух смежных яркостей. Такое сравнение бывает довольно точным (до 1%) при одинаковой цветности сравниваемых яркостей и при соблюдении нек-рых условий, наиболее существенными из которых являются следующие: а) граница, разделяющая поля сравнения, д. б. тонка и исчезать при фотометрич. равновесии, б) перед измерением глаз д. б. адаптирован на темноту, в) величины сравниваемых яркостей должны соответствовать условиям наибольшей чувствительности глаза (освещенность экрана фотометра около 15 lx), г) изображение в глазу полей сравнения должно совпадать с наиболее чувствительной частью сетчатки (желтым пятном) и поэтому должно находиться в пределах угла в 8°.

Световые величины и единицы их измерений. В визуальной Ф. световой поток оценивается помощью зрительного впечатления, к-рое создает лучистая мощность при воздействии ее на сетчатку глаза. Световой поток является основной световой величиной в фотометрич. измерениях и все остальные световые величины являются производными от нее. Единицей силы света служит международная свеча, первоначально (1909 г.)

Табл. 1.—Световые величины.

№ п/п.	Наименование	Символ	Определение	Определяющие ур-ия
1	Световой поток	F	Мощность лучистой энергии, оцениваемая по производимому ею световому впечатлению	—
2	Плотность светового потока	S	Отношение светового потока к площади	$S = \frac{F}{s}$ или $S = \frac{dF}{ds}$
	а) Плотность свечения	R	Отношение светового потока, испускаемого поверхностью, к величине этой поверхности	$R = \frac{F}{ds}$ или $R = \frac{dF}{ds}$
	б) Освещенность	E	Отношение светового потока, падающего на поверхность, к величине этой поверхности	$E = \frac{dF}{ds}$
3	Световая энергия (количество света)	L	Произведение светового потока на время его действия	$L = F \cdot t$ или $L = \int F \cdot dt$
4	Плотность световой энергии (количество освещения)	H	Произведение освещенности на время ее действия	$H = E \cdot t$ или $H = \int E \cdot dt$
5	Сила света	I	Отношение светового потока к телесному углу, в к-ром он заключается и вершина к-рого опирается на точечный источник	$I = \frac{F}{\omega}$ или $I = \frac{dF}{d\omega}$
6	Яркость	B	Отношение силы света поверхности в данном направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к рассматриваемому направлению	$B = \frac{I}{s\cos\alpha}$ или $B = \frac{dI}{ds\cos\alpha}$

принятая национальными лабораториями Англии, Франции и США и осуществленная ими помощью электрич. ламп накаливания. В 1921 г. Международная осветительная комиссия (МОК) приняла ее в качестве международной единицы света. С 1925 г. международная свеча принята в СССР законной единицей силы света. Хранение эталона международной свечи в СССР поручено Всесоюзному институту метрологии и стандартизации (ВИМС) в Ленинграде. В настоящее время приняты следующие определения и символы световых величин и их единиц (табл. 2).

Табл. 2.—Световые единицы.

№ по пор.	Наименование	Сокращенные обозначения: междунар.	Сокращенные обозначения: русск.	Определение
1	Люмен	lm	лм.	Единица светового потока, точное значение к-рой для СССР определяется по эталонным электрич. лампам накаливания, выверяемым и хранимым в ВИМС
2	Фот	ph	ф.	Поверхностная плотность светового потока в 1 lm, равномерно распределенного на площадь в 1 $см^2$
3	Люмен-секунда	lm-s	лм.-ск.	Световая энергия, к-рая при световом потоке в 1 lm расходуется в течение одной ск.
4	Фот-секунда	ph-s	ф.-ск.	Поверхностная плотность световой энергии, получаемой поверхностью при ее освещенности в 1 ph в течение одной ск.
5	Свеча	c	св.	Сила света точечного источника света в направлении равномерного испускания 1 lm внутри телесного угла в один стерадиан
6	Стильб	sb	сб.	Яркость равномерно светящейся плоской поверхности в перпендикулярном к ней направлении, испускающей в том же направлении свет силой в 1 св. с 1 $см^2$

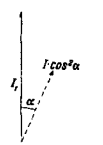
Соотношения между световыми единицами.

1 Hefner-Lumen	= 0,9 лм.
1 килолюмен	= 1 000 лм.
1 миллифот	= 0,001 ф.
1 люкс	= 0,0001 ф.
1 Hefner-Lux	= 0,9 лк. = 0,00009 ф.
1 foot-candle	= 10,764 лк. = 1,0764 м. ф.
1 люмен-час	= 3 600 лм.-ск.
1 килолюмен-час	= 3 600 000 лм.-ск.
1 фот-час	= 3 600 ф.-ск.
1 люкс-час	= 0,36 ф.-ск.
1 Hefner-Kerze (Гефнера свеча)	= 0,9 св.
1 милли-стильб	= 0,001 сб.

Способы изменения яркости полей сравнения. При визуальных световых измерениях пользуются приборами, называемыми фотометрами. Фотометр обычно состоит из устройства, позволяющего сравнивать яркости полей сравнения (делая их смежными), и приспособления для закономерного изменения одной или двух из таких яркостей, создаваемых исследуемыми источниками света. Для количественного изменения яркости полей сравнения применяются различные методы, наиболее употребительные из которых следующие. а) Применение закона квадратов расстояний

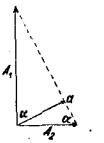
$$E = \frac{I_a \cdot \cos\alpha}{r^2}. \qquad (5)$$

При постоянных силе света I_a и угле падения α освещенность E экрана, а следовательно его яркость, будет меняться обратно пропорционально квадрату расстояния r экрана фотометра до источника. Соотношение (5) будет справедливо при условии, что расстояние r достаточно велико по сравнению с размерами светящейся части источника света (точечный источник). Оставляя постоянными силу света I_a и расстояние r и меняя только угол α падения лучей на экран, получим изменение освещенности (яркости) его пропорционально косинусу этого угла. б) В фотометрах часто применяют метод изменения яркости, основанный на явлении поляризации света. Линейно поляризованный свет, проходя через анализатор, будет ослаблен пропорционально $\cos^2\alpha$ (фиг. 2), где α—угол между



Фиг. 2.

Фиг. 3.



Фиг. 4.

плоскостями поляризации первоначальной и по выходе из анализатора. Это явление, называемое законом Малюса, происходит благодаря тому, что естественный свет разлагается пластинкой кристалла, обладающего двойным лучепреломлением, на две слагающие, поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях, к-рые составляют углы α и $90° - \alpha$ с первоначальным направлением колебаний. Чтобы сумма величин энергии E_1 и E_2 (фиг. 3) была равна величине энергии E светового потока, вступающего в призму, необходимо существование равенств

$$E_1 = E\cos^2\alpha \quad \text{и} \quad E_2 = E\sin^2\alpha,$$

т. к. только в этом случае будет справедливо равенство

$$E(\cos^2\alpha + \sin^2\alpha) = E.$$

В виду того что каждая призма—анализатор и поляризатор—пропускают лишь половину падающего на них светового потока, то луч света, пройдя через такую систему, будет ослаблен в четыре раза, и величина потока по выходе из поляризационной системы будет

$$F = \tau \cdot \frac{F_0}{4} \cdot \cos^2\alpha, \qquad (6)$$

где τ—коэф. пропускания призм, F_0—величина потока, падающего на призмы, и α—угол относительного поворота призм. Обычно в фотометрах два сравниваемых неполяризованных луча F_1 и F_2 разлагаются помощью волластоновой призмы на поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях. Сравнительная величина их потоков $\frac{F_1}{F_2}$ измеряется углом поворота α анализатора, при котором оба поля сравнения кажутся одинаково яркими, а именно:

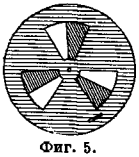
$$\frac{F_1}{F_2} = \mathrm{tg}^2\alpha. \qquad (7)$$

Это соотношение следует из рассмотрения прямоугольника колебаний обоих излучений

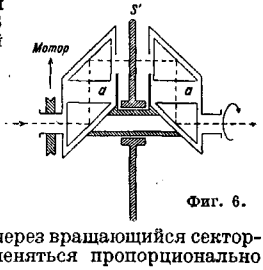
(фиг. 4), в к-ром A_1 и A_2 обозначают амплитуды колебаний обоих излучений, к-рые благодаря вращению анализатора ослаблены на соответствующую величину:

$$a = A_2 \sin\alpha = A_1 \cos\alpha,\ \frac{A_1}{A_2} = \mathrm{tg}\,\alpha \text{ и } \frac{F_1}{F_2} = \mathrm{tg}^2\alpha. \quad (8)$$

в) Психофизиологич. метод видимого уменьшения яркости основывается на законе Тальбота, который заключается в следующем. Если какая-либо часть сетчатой оболочки глаза подвергается действию периодически изменяющегося и равномерно в той же самой последовательности повторяющегося света и при этом продолжительность периода достаточно коротка, то возникает постоянное ощущение, такое же как и то, к-рое имело бы место, если бы свет распределялся равномерно. Пользуясь этим законом, применяют вращающиеся секторные диски с вырезами (фиг. 5), к-рые ставят на пути лучей источника. В этом случае световой



Фиг. 5.



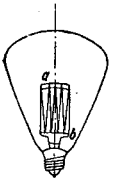
Фиг. 6.

поток, проходящий через вращающийся секторный диск, будет меняться пропорционально площади раскрытия его:

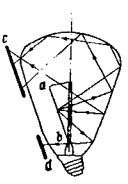
$$F_1 = F\frac{s}{S}, \quad (9)$$

где F—световой поток источника, воспринимаемый экраном фотометра без диска, F_1—световой поток, прошедший сквозь диск на экран, S—полная площадь круга диска или дуга 360°, s—площадь выреза диска или дуга $n°$ выреза. На фиг. 6 показана схема прохождения лучей света в секторном диске, регулируемом на ходу. В этом случае благодаря вращению призм a и a луч света вращается относительно неподвижного диска S', величину раскрытия к-рого можно легко изменить на ходу.

Измерение силы света источника производится путем сравнения ее с силой света образцовых ламп, выверенных в ВИМСе. В указанных лампах (фигуры 7а и 7б) нить накаливания (все зигзаги вольфрамовой проволочки ab) располагается в одной плоскости, и задней стенке колбы придан наклон для избежания прохождения отраженных лучей через отверстие экрана cd, помещаемого перед лампой. Сравнение сил света источников производится на фотометрической скамье—приспособлении, на к-ром помещаются сравниваемые источники света и головка фотометра. Скамья имеет деления по длине, и сравнение яркостей полей фотометра достигается в большинстве случаев путем использования закона квадратов расстояний. При измерении силы света на скамье применяются следующие два способа (фиг. 8а и 8б). В первом случае

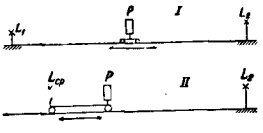


Фиг. 7а.



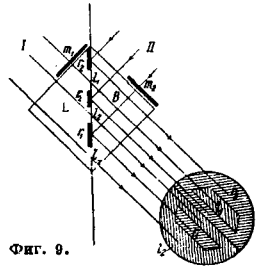
Фиг. 7б.

сравниваемые источники света L_1 и L_2 закрепляются неподвижно по концам скамьи, а головка фотометра P, помещенная между ними, может передвигаться. Во втором случае головка фотометра P остается все время связанной с лампой сравнения $L_{ср.}$ и вместе с ней может перемещаться по скамье. Второй источник L_2 остается при этом неподвижным. Этот метод имеет преимущество по сравнению с первым в том, что освещенность экрана фотометра во время измерений остается постоянной. Величину ее выбирают порядка 15 lx. Скамья снабжается тележками, поворотными штативами, экранами и прочими приспособлениями.

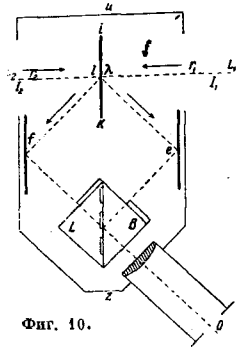


Фиг. 8а и 8б.

Для измерения силы света наибольшее распространение в настоящее время получил фотометр, сконструированный Люммером и Бродхуном. Основной частью его является куб и к, устройство к-рого показано на фиг. 9. Две прямоугольные призмы L—B приплифованы плоскими гранями друг к другу. В призме L сделаны углубления r_2, r_2 и r_1. Боковые поверхности призм до половины покрыты стеклянными пластинками m_1 и m_2, коэф. поглощения которых ок. 8%. Лучи света I проходят сквозь обе призмы в местах их соприкосновения l_1, l_2 и l_2 и образуют поля сравнения l_1 и l_2, из которых l_1 ослаблено на 8% по сравнению с l_2. Остальные лучи в местах r_2, r_2 и r_1 испытывают полное внутреннее отражение и поглощаются оправой прибора. Лучи II в местах r_2, r_2 и r_1, испытывая полное внутреннее отражение, направляются совместно с лучами I и образуют поля сравнения r_1 и r_2, из к-рых r_1 также ослаблено на 8% по сравнению с r_2. Устройство головки фотометра показано на фиг. 10. Свет от источника L_2 падает на левую сторону белого гипсового экрана ik (l и λ—две диффузно рассеивающие поверхности экрана, освещаемые испытуемым источником и образцовым), отражается от него и зеркалом f направляется сквозь кубик L—B в глаз O. Световые лучи от другого источника L_1, отражаясь экраном и зеркалом e, падают на кубик L—B и также направляются в глаз O. Глаз устанавливает равенство контраста в обоих полях сравнения. В зависимости от схемы измерений (фиг. 8) соотношения для отраже-



Фиг. 9.



Фиг. 10.

ния силы света будут следующие. Для схемы фиг. 8а имеем

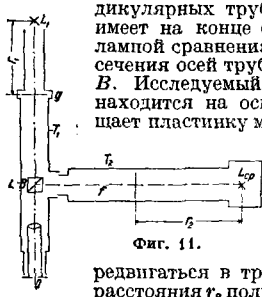
$$I_2 = \frac{r_2 \cdot r_2'}{r_1 \cdot r_1'} \cdot I_1, \qquad (10)$$

где I_1 и I_2—силы света сравниваемых источников, r_1 и r_2—расстояния от источников света до экрана фотометра, r_1' и r_2'—то же, но при повороте головки фотометра на 180° вокруг оси uz. Для схемы фиг. 8б имеем

$$I_2 = \frac{r_2^2}{r_1^2} \cdot I_1, \qquad (11)$$

где I_1 и I_2—силы света сравниваемых источников, r_1 и r_2—расстояния от источников до экрана фотометра.

В качестве переносного фотометра распространение имеет фотометр Вебера (фиг. 11). Он состоит из двух взаимно перпендикулярных труб T_1 и T_2. Труба T_2 имеет на конце фонарик с электрич. лампой сравнения $L_{cp.}$. В точке пересечения осей труб помещен кубик L—B. Исследуемый источник света L_1 находится на оси трубы T_1 и освещает пластинку молочного стекла, помещенную в коробке g. Лампа сравнения $L_{cp.}$ освещает другую пластинку f молочного стекла, к-рая помощью кремальеры может передвигаться в трубе T_2. Изменением расстояния r_2 получается возможность установить фотометрич. равновесие. Для увеличения пределов измерений фотометр снабжается несколькими молочными и дымчатыми стеклами, которые по мере надобности закладываются в коробку g. Коэф-ты пропускания этих стенок указываются в табличке, прилагаемой к прибору. Для определения силы света служит соотношение:


Фиг. 11.

$$I_1 = C \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2}, \qquad (12)$$

где r_1—расстояние от источника L_1 до пластинки в коробке g, r_2—расстояние от лампы сравнения до пластинки f, C—постоянная прибора. Для определения постоянной C пластинку g освещают образцовой лампой L_n, помещенной от нее на расстоянии r_n. Лучи от лампы L_n направляют на пластинку нормально. При условии фотометрич. равновесия имеем

$$C = \frac{r_2'^2}{r_2^2} \cdot I_n, \qquad (13)$$

где I_n—сила света образцовой лампы, r_2'—расстояние от пластинки в коробке g. В настоящее

Фиг. 12.

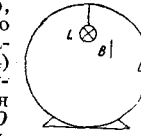
время конструкция фотометра Вебера изменена фирмой Шмидт и Генш и изготовляется под названием тубус-фотометра (фиг. 12). Кубик L—B м. б. установлен на равную яркость или равный контраст. Помощью этого прибора возможно измерять также и освещенность ($0{,}01 \div 10^6$ lx). Той же фирмой изготовляется переносный фотометр, в котором для сравнения яркостей полей сравнения применяется секторный диск, регулируемый на ходу.

Для измерения очень слабых источников света необходимо с наибольшей яркостью получить изображение на сетчатке глаза. Для этого по пути лучей от источника ставят собирающую линзу, дающую в фокусе отчетливое изображение источника. Такой фотометр сконструирован Гельгофом и Шерингом (фиг. 13). Сравнение яркостей полей

Фиг. 13.

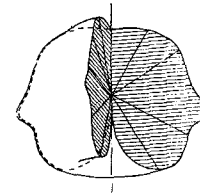
сравнения производится помощью поляризационного устройства. Фотометр пригоден для измерения силы света звезд, яркостей при люминесценции и т. п.

Измерение светового потока. Приборы, служащие для измерения светового потока источников света, носят названия интеграторов, люменметров и т. п. В настоящее время наибольшее распространение получил шар Ульбрихта. Прибор представляет собою полый шар, внутренняя поверхность к-рого окрашена белой матовой краской. Источник света L (фиг. 14) помещается внутри шара. На пути лучей от L к окну O ставится непрозрачный экран B. Окно O закрывается матовым стеклом. Освещенность окна O, получающаяся от отраженного света внутренней поверхностью шара, пропорциональна полному световому потоку F источника L. Если B—яркость наружной стороны матового стекла, к-рую можно измерить обычным фотометром, то имеет место соотношение:


Фиг. 14.

$$F = C \cdot B. \qquad (14)$$

Постоянная прибора C определяется помощью лампы, световой поток к-рой известен. Измерения светового потока помощью шара Ульбрихта получаются с достаточной для практики точностью (ошибка не превосходит 1—2%), если размеры светящейся поверхности осветительного прибора не превышают 0,1 диаметра шара.


Фиг. 15.

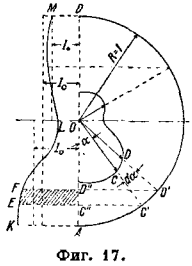
Распределение светового потока. Распределение светового потока точечного источника света характеризуется фотометрическим телом (фиг. 15), т. е. объемом, ограниченным поверхностью, представляющей собой геометрич. место концов векторов сил света источника во всех направлениях в пространстве. Поверхность, ограничивающая фотометрич. тело, называется фотометрической поверхностью. Для источников, у к-рых расположение светящегося тела симметрично относительно нек-рой оси, распределение светового потока также будет симметрично относительно этой оси и фотометрич. тело будет телом вращения. В этом случае распределение светового потока может характеризоваться продольной кривой

распределения силы света. Эта кривая получается при пересечении фотометрич. тела плоскостью, проходящей через ось симметрии источника. Распределение силы света источника в плоскости, проходящей через световой центр источника, перпендикулярно его оси симметрии, характеризуется поперечной кривой. Для определения продольных кривых пользуются распределительным фотометром (фиг. 16). Источник света L устанавливается неподвижно на продолжении оси фотометрической скамьи. Зеркала S_1 и S_2 вращаются вокруг источника, имея ось вращения, совпадающую с осью скамьи. Головка фотометра P, связанная с лампой сравнения, передвигается по скамье до положения фотометрического равновесия. При определении помощью распределительного фотометра силы света по ур-ию (11) необходимо вводить коэфициент отражения зеркал. Для определения величины светового потока по продольной кривой пользуются графич. методом, предложенным Руссо. Вокруг точки O (фиг. 17) описывается окружность радиусом $R=1$. Векторы силы света в угле da продолжаем до пересечения с окружностью в точках $C'D'$ и опускаем из этих точек перпендикуляры на ось симметрии AD. На продолжении их откладываем векторы силы света. Тогда площадь пр-ка $C''D''FE$ будет пропорциональна световому потоку в телесном угле $d\omega$, соответствующем плоскому углу da. Проводя подобное построение для всех точек продольной кривой, получим кривую MK, к-рая ограничит площадь, пропорциональную полному потоку источника. Сферич. сила света, равная

Фиг. 16.

$$I_0=\frac{F}{4\pi}, \qquad (15)$$

определится как высота пр-ка, равновеликого площади кривой. Для определения площади диаграммы Руссо необходим планиметр. Следующее построение дает возможность определить поток, не пользуясь планиметром. Диаметр AD делится на 20 равных ч.; из середины каждого отрезка проводятся горизонтали до пересечения с окружностью, и из точек пересечения их проводятся радиусы. Средняя сферич. сила света будет равна средней арифметической из 20 значений сил света, взятых по продольной кривой в направлении проведенных радиусов. Для определения светового потока источника возможно также применить соотношение:


Фиг. 17.

$$F=I\cdot\omega, \qquad (16)$$

где ω—телесный угол, а I—зональная сила света внутри этого угла. Все пространство вокруг источника разбиваем на ряд телесных углов. Такую разбивку возможно сделать различными способами. В данном случае удобно разбить соответственно равным линейным углам. Величина телесного угла ω определяется через линейный угол a следующим соотношением:

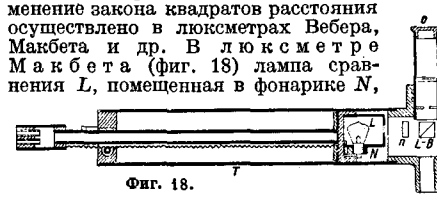
$$\omega=2\pi(1-\cos a). \qquad (17)$$

Путем умножения величин телесных углов на соответствующие величины сил света, к-рые определяются непосредственно из продольной кривой, получим величины световых потоков в данной зоне. Полный поток найдем суммированием отдельных зональных потоков. В табл. 3 приведены значения телесных углов, соответствующих равным линейным углам (через каждые 10°).

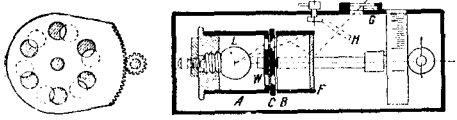
Табл. 3.—Значения телесных углов.

Угловые коэф-ты			Угловые коэф-ты		
Направление силы света	Телесные углы в стерадианах	Направление силы света	Направление силы света	Телесные углы в стерадианах	Направление силы света
0	—	180	55	0,897	125
5	0,095	175	65	0,994	115
15	0,284	165	75	1,058	105
25	0,463	155	85	1,091	95
35	0,628	145	90	—	90
45	0,773	135	$\Sigma=6{,}283=2\pi$		

Измерение освещенности. Переносные фотометры, служащие для измерения освещенности, называются люксметрами. Изменение яркости поля сравнения в них достигается различными способами. а) Применение закона квадратов расстояния осуществлено в люксметрах Вебера, Макбета и др. В люксметре Макбета (фиг. 18) лампа сравнения L, помещенная в фонарике N, может передвигаться по трубе T помощью кремальеры. Освещенность пластинки молочного стекла n при этом изменяется обратно пропорционально квадрату ее расстояния до лампы L. Лучи света, проходя через пластинку, помощью кубика L—B направляются в глаз O. Белая гипсовая пластинка, помещенная в плоскость, освещенность которой требуется измерить, посылает лучи через кубик L—B, создавая второе поле сравнения. Фотометрич. равновесие достигается передвижением лампы L. Прибор дает возможность измерять освещенности в пределах $10\div250$ lx. При измерениях применяются фильтры. Значения освещенности прочитываются непосредственно по шкале прибора. б) Изменение угла наклона экрана по отношению к направлению падающего от лампы сравнения света осуществлено в люксметре Эверетта (см. *Люксметр*). Освещенность экрана в этом случае будет меняться пропорционально косинусу угла падения. в) Изменение диафрагмированием величины светового потока, падающего на экран, пропорционально которому меняется его освещенность. На этом принципе построен люксметр Бехштейна. Лампа L помещается в цилиндрич. камере A (фиг. 19), имеющей в основании шесть круглых отверстий W. Другая камера B разделена от камеры A диафрагмой C с такими же отверстиями. Поворачивая диафрагму C, можно менять величину светового потока, проходящего в камеру B. Обе эти камеры внутри окрашены белой матовой краской. Основание камеры B прикрыто молочным стеклом F, являющимся одним из полей


Фиг. 18.

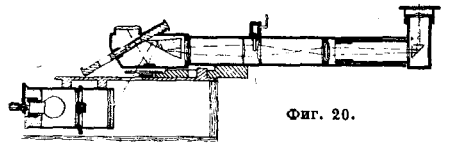
сравнения. Другим полем сравнения является экран G, помещенный в то место, освещенность к-рого требуется измерить. Глаз, находящийся в O, может сравнить яркости F и G, из к-рых первая регулируется вращением диафрагмы C. Пределы измерения люксметром Бехштейна $1 \div 500$ lx. Точность измерений—до 10%. Для измерения дневной освещенности



Фиг. 19.

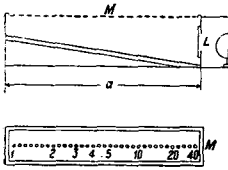
на пути лучей от F вводится голубой фильтр H. Увеличение пределов измерения освещенности до 10 000 lx осуществляется добавочным приспособлением, показанным на фиг. 20, где приведен также ход лучей.

На фиг. 21 дан люксметр Mazda, нашедший распространение в Америке. В этом приборе применена комбинация первых двух типов. Лампа L освещает экран M, по длине к-рого помещены круглые отверстия, затянутые про-



Фиг. 20.

зрачной шелковой бумагой. Освещенность отверстий меняется в зависимости от расстояния их от лампы L. Экран M помещают в плоскость измеряемой освещенности и определяют исчезновение пятна. При градуировке прибора против каждого отверстия наносятся значения соответствующей освещенности. Пределы измерения прибором в зависимости от накала нити лампы могут быть $1 \div 40$ lx или $10 \div 400$ lx. Сравнительные достоинства и недостатки указанных методов измерения освещенности следующие. а) Применение закона квадратов расстояний требует довольно большого размера приборов. Шкала м. б. проверена только в одной точке и остальные деления ее получаются вычислением, что значительно облегчает градуировку прибора. б) Применение метода поворота экрана относительно падающих лучей источника света имеет тот недостаток, что отражение экрана не всегда подчиняется закону косинуса и благодаря этому шкалу для каждого образца приходится определять экспериментально в нескольких точках. в) Регулирование величины светового потока диафрагмой создает сложное и дорогое устройство.

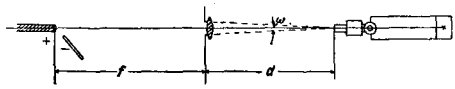


Фиг. 21.

Измерение яркости. Для матовых поверхностей яркость м. б. измерена помощью люксметра с выдвижным экраном (напр. Макбета, Эвереттa и др.) сл. обр. Сначала обычным способом измеряют освещенность E исследуемой поверхности; затем снимают белый экран, направляют прибор на исследуемую поверхность, служащую вместо экрана, и производят второе измерение (отсчет прибора N). Отношение $\frac{N}{E} \cdot \varrho'$ (ϱ'—коэф. отражения экрана) даст средний коэф. отражения ϱ поверхности. Яркость поверхности определится из отношения

$$B = \frac{E \cdot \varrho}{\pi \cdot 10^4} \text{ сб.} \qquad (18)$$

Измерение яркости кратера вольтовых дуг удобно производить следующим методом, применяемым в Всесоюзном электротехнич. институте (ВЭИ). На оптич. оси между испытуемой дугой (фиг. 22) и тубус-фотометром устанавливается линза т. о., чтобы изображение дуги получалось в плоскости молочной пластинки фотометра. Яркость кратера опреде-



Фиг. 22.

лится измерением освещенности различных точек изображения кратера. Величина яркости получается из соотношения

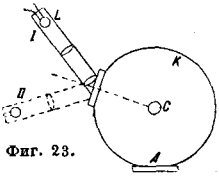
$$B = \frac{d^2}{\tau \cdot \pi \cdot r^2} \cdot E \cdot 10^4 \text{ сб.}, \qquad (19)$$

где d — расстояние от линзы до изображения кратера в $см$, r—радиус диафрагмы в $см$, τ—коэф. пропускания линзы, E—освещенность точки на изображении в lx. Этим методом удобно определять яркость отдельных точек кратера.

Световые характеристики тел. В качестве световых характеристик тел, или средин, применяют три понятия: отражение, пропускание и поглощение ими света. В зависимости от вида распространения проходящего или отраженного света возможны случаи направленного, рассеянного и смешанного отражений (пропусканий). Количественная оценка явления дается соответствующими коэфициентами. Смешанное отражение (пропускание) возможно условно рассматривать как совокупность направленного и рассеянного отражений (пропусканий). а) Отражение. Отношение величины отраженного светового потока F_ϱ к величине падающего потока F_i называется общим коэф-том отражения

$$\varrho = \frac{F_\varrho}{F_i}. \qquad (20)$$

Общий коэф. отражения удобно измерять шаром Тейлора, который представляет собою небольшой шар Ульбрихта, имеющий снизу отверстие, куда помещается испытуемый образец A (фиг. 23). В стенке шара сделано отверстие C для фотометра. Сбоку шара помещается осветитель L, к-рый может поворачиваться из положения I в положение II. В положении I луч осветителя падает на исследуемый образец A, в положении II—на стенку шара K. Если падающий от осветителя поток на образец A равен F, то отраженный от A поток будет равен $\frac{F}{\varrho_A}$, где ϱ_A—коэф. отражения образца A.



Фиг. 23.

Освещенность в точке C шара, заслоненной от прямых лучей из A экраном, будет равна

$$E_1 = \frac{\varrho \cdot \sigma_A \cdot F}{(1-\varrho) \cdot 4\pi R^2}, \quad (21)$$

где ϱ—коэф. отражения поверхности шара, а R—радиус шара. Поворачивая осветитель в положение II, когда луч падает на стенку шара, выражение освещенности в точке C можем написать в виде:

$$E_2 = \frac{\varrho \cdot F}{(1-\varrho) \cdot 4\pi R^2}. \quad (22)$$

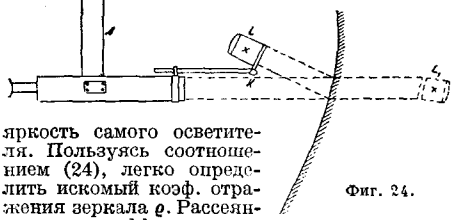
Из соотношений (21) и (22) имеем непосредственно величину искомого коэф-та ϱ_A:

$$\varrho_A = \frac{E_1}{E_2}. \quad (23)$$

Направленное или зеркальное отражение подчиняется известному закону: угол падения луча равен углу отражения, и оба луча—падающий и отраженный—лежат в одной плоскости с перпендикуляром к плоскости в точке падения луча. Принимая во внимание, что телесный угол до и после отражения сохраняет свою величину, коэф. отражения можно определить из следующего отношения:

$$\varrho = \frac{F_\varrho}{F_i} = \frac{B_0}{B}, \quad (24)$$

где B—яркость источника; а B_0—яркость его изображения. Прибор для измерения коэф-та зеркального отражения, основанный на этом методе, показан на фиг. 24. К фотометру A прикрепляется на шарнире K осветитель L. В положении, указанном на фиг. 24, осветитель дает в зеркале изображение L_1, яркость к-рого измеряется фотометром. При повороте осветителя L фотометр измеряет непосредственно



Фиг. 24.

яркость самого осветителя. Пользуясь соотношением (24), легко определить искомый коэф. отражения зеркала ϱ. Рассеянное, или диффузное, отражение подчиняется закону косинуса. Для случая идеального рассеянного отражения величина коэф-та отражения принимает следующее значение:

$$\varrho = \frac{F_\varrho}{F_i} = \frac{\pi B}{E}, \quad (25)$$

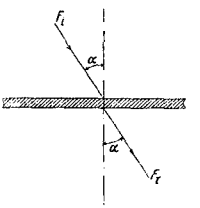
где B—яркость поверхности, а E—ее освещенность. При смешанном отражении ясное понятие, какое имеет коэф. отражения для указанных двух предельных случаев, зеркального и рассеянного отражений, перестает давать характеристику отражающей поверхности и определяет только средний коэф. отражения ее (см. *Рефлектометр*). б) Пропусканием света телом (срединой) называется явление проникновения света сквозь средину. Коэф-том пропускания называют отношение потока F_τ, пройденного сквозь тело, к величине падающего потока F_i:

$$\tau = \frac{F_\tau}{F_i}. \quad (26)$$

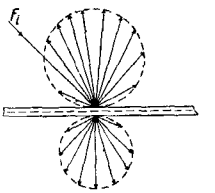
Для характеристики самой средины, пропускающей свет, необходимо учитывать отражение света поверхностью средины, и в этом случае коэф. пропускания будет выражаться соотношением

$$\tau = \frac{F_\tau}{F_i - F_\varrho}, \quad (27)$$

где F_ϱ—поток, потерянный на отражение. Величина τ, определенная по уравнению (27), дает общее пропускание. При толщине пла-



Фиг. 25.



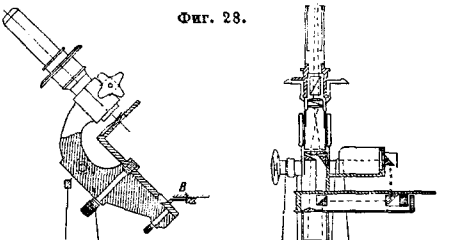
Фиг. 26.

стинки l (в *см*) τ связано с удельным пропусканием τ_1 на 1 *см* толщины ее соотношением:

$$\tau = \tau_1^l. \quad (28)$$

Аналогично отражению, пропускание имеет виды: направленное (прозрачные стекла, фиг. 25), рассеянное (густые молочные стекла, фиг. 26) и наконец смешанное (опаловые и матовые стекла, фиг. 27). Пропускание, как видно из приводимых фигур, всегда связано с отражением света. Универсальным прибором, служащим для технич. измерений коэф-тов отражения и пропускания, является у н и м е т р, предложенный Блохом. Основной частью прибора (фиг. 28) является поляризационный фотометр. Измерение коэф-та рассеянного отражения производят, освещая дневным или искусственным рассеянным светом сравниваемую и исследуемую поверхности, помещенные рядом под вырезом прибора A. Затем делается второе измерение, где под вырезом находится только одна сравнительная пластинка. В ка-

Фиг. 27.

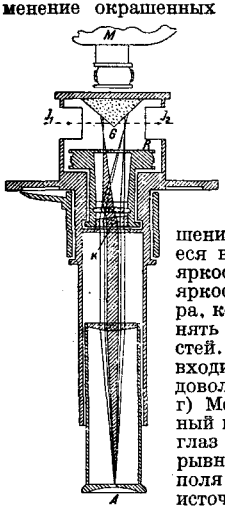


Фиг. 28.

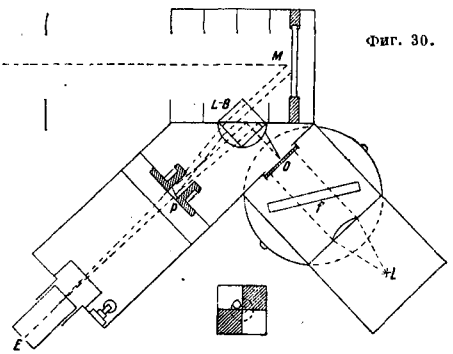
честве сравнительного образца берут чертежную бумагу ($\varrho = 0{,}7 \div 0{,}75$) или пластинку, покрытую окисью магния ($\varrho = 0{,}9 \div 0{,}94$). Для измерений можно применять также и привинчивающуюся пластинку B. Измерительная часть прибора может вращаться и з крепляться в любом положении. При цветных измерениях пользуются цветными фильтрами, помещенными в револьверной шайбе. Измерение

направленного отражения помощью униметра несколько сложнее и требует добавочного приспособления. Измерение коэфициентов пропускания прозрачных средин (дымчатых, цветных стекол и т. п.) производят, помещая исследуемое стекло на одну половину добавочного столика. Свет от другой половины столика входит в фотометр неослабленным. При большой величине образца применяют боковой добавочный столик. Измерение коэфициентов пропускания мутных средин (опаловых, молочных стекол и т. п.) производят прибором, размещая соответственно источник света, исследуемое стекло и образец. В качестве источника света берут равномерно освещенную поверхность молочного стекла и помещают на него исследуемый образец. Для измерения мутных стекол с большим поглощением применяют специальное добавочное устройство. Униметр может служить также для измерения освещенности, яркости и силы света.

Измерение цветных источников. При сравнении цветных источников света, имеющих различный состав спектра излучений, глаз не в состоянии точно оценить равенство цветных яркостей, вследствие чего обычные методы фотометрирования в этих случаях не применимы. В настоящее время для этих целей находят применение следующие методы. а) Каскадный метод, заключающийся в последовательном сравнении источников, спектры которых незначительно отличаются друг от друга. Так например, для сравнения лампы с газовым наполнением и угольной первую сначала сравнивают с пустотной, которую в свою очередь сравнивают с угольной. При удачном подборе промежуточных источников света результаты получаются довольно точные. б) Применение окрашенных фильтров, которые помещаются перед одним источником и корригируют его спектр относительно спектра другого источника. Недостатком метода являются сложность предварительного испытания фильтров и смена их при различных спектрах испытуемых источников. в) Смешение яркостей, заключающееся в добавлении к одной из яркостей численно известной яркости такого состава спектра, к-рый в состоянии выровнять цвета сличаемых яркостей. Этот метод начинает входить в практику и обещает довольно точные результаты. г) Метод миганий, основанный на том явлении, что если глаз видит в быстрой и непрерывной последовательности поля сравнения, освещаемые источниками с различной цветностью, то возникает ощущение мигания, к-рое вызывается разницей в цветах и различием в яркостях полей сравнения. При увеличении числа миганий различие в цветах стирается, и мигание зависит лишь от различия яркостей и исчезает при их равенстве. Этот метод благодаря своей простоте получил довольно широкое распространение. Мигающий фотометр Бехштейна (фиг. 29) состоит из белой гипсовой призмы G, на к-рую падает свет от двух сравниваемых источников света J_1 и J_2. Отражаясь от граней призмы, лучи проходят через диафрагмы, падают на клинообразную стеклянную призму k и затем направляются в глаз A. При вращении бобины R с диафрагмами и клиновидной призмой посредством электродвигателя M через каждые полоборота центральное и кольцевое поля сравнения освещаются попеременно одним и другим источниками. При достаточном числе оборотов цвета полей смешиваются, и при фотометрическом равновесии мигание исчезает.



Фиг. 29.



Фиг. 30.

Фотометр Бехштейна имеет тот недостаток, что изображение полей сравнения, получающееся на сетчатке, велико и захватывает части ее, обладающие различной чувствительностью. Для точного сравнения необходимо, чтобы изображение имело угловой размер не более 2° и полностью совпадало с центральным углублением желтого пятна. Тщательное исследование мигающего фотометра было произведено Айвсом, в результате к-рого была предложена им конструкция мигающего фотометра, не имеющая недостатков фотометра Бехштейна. Испытуемая лампа (фиг. 30) освещает рассеивающий экран M; лампа сравнения L освещает пластинку молочного стекла O. Свет от обеих этих пластинок помощью кубика $L—B$ направляется на клинообразную призму P и проходит в глаз E, к-рый видит поля сравнения, указанные отдельно внизу на фиг. 30. На пути лучей от лампы L помещается нейтральный фильтр f. Кроме описанной конструкции Айвсом предложен также поляризационный мигающий фотометр.

Для сравнения яркостей в различных областях видимого спектра служат спектрофотометры. Помощью этих приборов возможно сравнить величины однородных излучений двух источников света, причем световой поток может исходить как непосредственно от самого источника света, так и отражаться от какой-либо поверхности или проходить через светофильтр (см. *Спектрофотометрия*).

Объективная Ф. Задачей объективной Ф. является разработка методов измерения световых величин способами, в к-рых роль глаза сводится лишь к отсчету показаний приборов и к сравнению полученных данных с результатами визуальных измерений. Световые излучения, составляющие часть общего спектра излучений, м. б. измерены обычными физич. методами помощью напр. болометра,

термоэлемента и т. п. Для сравнения результатов таких измерений с результатами визуальных измерений служит соотношение:

$$F = \int_0^\infty \frac{S_\lambda \cdot V_\lambda \cdot d\lambda}{M_\lambda}, \quad (29)$$

где F—световой поток источника света в lm, S_λ—излучение для данной длины волны λ в W, V_λ—относительная видимость глаза и M—механический эквивалент света. В виду различной чувствительности измерительных приборов (болометра, термоэлемента и т. п.) и глаза для возможности сравнения результатов в обоих случаях при объективных измерениях необходимо применить добавочное приспособление, приводящее общую чувствительность к чувствительности глаза. Для этой цели используются два способа. В первом применяются фильтры, ослабляющие отдельные участки спектра излучений т. о., что общая чувствительность прибора и фильтра совпадает с чувствительностью глаза. Второй метод основан на разложении в спектр излучений исследуемого источника света и применении диафрагмы с определенными вырезами, через к-рые отдельные части спектра пропускаются в таком составе, что общая чувствительность (прибор и диафрагма) делается одинаковой с чувствительностью глаза. Эти методы пока не обладают достаточной точностью вследствие малой чувствительности измерительных приборов и трудности измерений при слабых яркостях, к-рые имеют место в этих случаях.

Физическое определение световых величин и их единиц. Наряду с существующим понятием светового потока, принятого МОК, начинает получать распространение метод построения системы фотометрич. величин, предложенный проф. С. О. Майзель. В этом методе в основание понятия светового потока положен физич. смысл в отличие от психофизиологич. оценки светового потока «по зрительному впечатлению». Это дает возможность, приняв известной функцию видимости, устранить влияние физиологии и построить обоснование Ф. на точной физич. базе. Функцию относительной видимости, определенную для среднего человеч. глаза, в настоящее время можно считать известной с точностью до 2%. Исходя из этого, система построения фотометрич. величин получается в следующем виде. Монохроматич. поток лучистой энергии длины волны λ, к-рый излучается с элементарной площадки ds в элементарном телесном угле $d\omega$, причем излучение направлено под углом θ к нормали к площадке ds и под углом α к начальной плоскости, проходящей через нормаль, будет равен

$$d^4P_{\lambda,\theta,\alpha} = K_{\lambda,\theta,\alpha} \cdot d\lambda \cdot ds \cdot \cos\theta \cdot d\omega = K_{\lambda,\theta,\alpha} \cdot d\lambda \cdot ds \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\alpha, \quad (30)$$

где $K_{\lambda,\theta,\alpha}$—функция от λ, θ и α, характеризующая интенсивность излучения. Монохроматич. световой поток, соответствующий потоку лучистой энергии $d^4P_{\lambda,\theta,\alpha}$, будет равен

$$d^4F_{\lambda,\theta,\alpha} = V_\lambda \cdot K_{\lambda,\theta,\alpha} \cdot d\lambda \cdot ds \cdot \cos\theta \cdot d\omega = V_\lambda \cdot K_{\lambda,\theta,\alpha} \cdot d\lambda \cdot ds \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\alpha. \quad (31)$$

Коэф. V_λ—определенная функция длины волны, значение к-рой для различных длин волн определено на основании исследований большого числа глаз различных людей и принято как среднее значение международным соглашением. Функция V_λ называется относительной видимостью.

Сложный световой поток, состоящий из множества монохроматич. световых потоков, равен сумме отдельных монохроматич. потоков, его составляющих:

$$d^3F_{\theta,\alpha} = \Sigma V_\lambda \cdot K_{\lambda,\theta,\alpha} \cdot ds \cdot \cos\theta \cdot d\omega \cdot d\lambda = \Sigma V_\lambda \cdot K_{\lambda,\theta,\alpha} \cdot d\lambda \cdot ds \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\alpha. \quad (32)$$

В случае светового потока, соответствующего потоку лучистой энергии в пределах длин волн λ_1 и λ_2, получим

$$d^3F_{\theta,\alpha} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_\lambda \cdot K_{\lambda,\theta,\alpha} \cdot d\lambda \cdot ds \cdot \cos\theta \cdot d\omega = ds \cdot \cos\theta \cdot d\omega \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_\lambda \cdot K_{\lambda,\theta,\alpha} \cdot d\lambda. \quad (33)$$

Величина $B_{\theta,\alpha} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_\lambda \cdot K_{\lambda,\theta,\alpha} \cdot d\lambda$ называется яркостью элементарной площадки ds в направлении, образующем с нормалью к ds угол θ и угол α с начальной плоскостью. В зависимости от светового потока величина яркости определяется

$$B_{\theta,\alpha} = \frac{d^3F_{\theta,\alpha}}{ds \cdot \cos\theta \cdot d\omega}; \quad (34)$$

частное

$$dI_{\theta,\alpha} = \frac{d^2F_{\theta,\alpha}}{d\omega} = ds \cdot \cos\theta \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_\lambda \cdot K_\lambda \cdot d\lambda = B_{\theta,\alpha} \cdot ds \cdot \cos\theta \quad (35)$$

называется силой света элементарной площадки ds в направлении, к-рое составляет угол θ с нормалью к площадке ds и угол α с начальной плоскостью. Соотношения между силой света и яркостью следующие:

$$B_{\theta,\alpha} = \frac{dI_{\theta,\alpha}}{ds \cdot \cos\theta}; \quad (36)$$

частное

$$d^2S_{\theta,\alpha} = \frac{d^3F_{\theta,\alpha}}{ds} = B_{\theta,\alpha} \cdot \cos\theta \cdot d\omega \quad (37)$$

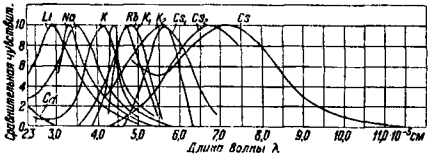
называется поверхностной плотностью светового потока в элементарном телесном угле $d\omega$ в направлении, определяемом углами θ и α. Плотность свечения элементарной площадки ds в телесном угле 2π представляет собою общий поток, к-рый излучается с площадки ds в одну сторону в пространстве

$$R = \int\int d^2S_{\theta,\alpha} = \int B_{\theta,\alpha} \cdot \cos\theta \cdot d\omega = \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^{\pi} B_{\theta,\alpha} \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \cdot d\theta. \quad (38)$$

Единицей измерения светового потока является W. Для практич. целей удобен сантиватт (0,01 W). Единицами для остальных величин являются: яркости—W/см², силы света—W/стерадиан, плотности светового потока—W/см².

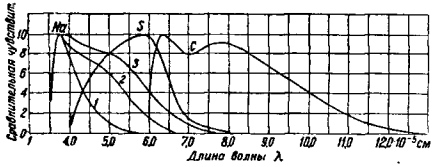
Измерения помощью фотометров. Для получения объективных результатов световых измерений, независимых от индивидуальных свойств глаза наблюдателя, удобно воспользоваться явлением фотоэлектрического эффекта, при котором световая энергия превращается в электрическую. При использова-

нии фотоэлемента в качестве светоизмерительного прибора необходимым условием является постоянство его чувствительности (общей и спектральной) с течением времени и приближение чувствительности его к чувствительности глаза. Помимо этого абсолютная чувствительность фотоэлемента д. б. достаточно



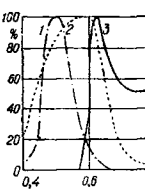
Фиг. 31.

велика для удобного измерения получающихся фототоков. Спектральная чувствительность различных фотоэлементов графически изображается кривыми вида фиг. 31 и 32. Максимум чувствительности фотоэлемента зависит от природы металла катода (K, Na, Rb, Li, Cs), от способа изготовления фотоэлементов и наконец от того, находится ли катод в пустоте или в атмосфере инертного газа (Ar, He). Для удобства сравнения величина максимума на фиг. 31—32 показана для различных фото-

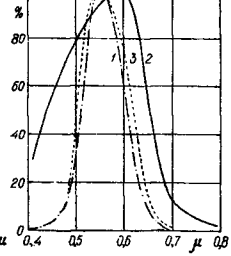


Фиг. 32.

элементов одинаковой. Влияние наполнения видно на фиг. 31, где кривая K_2 относится к пустотному, а K_1 к газонаполненному калиевому фотоэлементу. Влияние сенсибилизации (обработки поверхности катода) на спектральную чувствительность фотоэлемента видно из фиг. 32, где кривые *1*, *2* и *3* относятся к натриевому фотоэлементу с различной сенсибилизацией. На фиг. 33 показаны кривые спектральной чувствительности для фотоэлементов с запирающим слоем: *1*—лицевой купроксный *фотоэлемент* (см.), *2*—лицевой селеновый и *3*—тыловой купроксный. Непостоянство фотоэлементов возможно уменьшить тщательностью изготовления их и искусственным старением. Для сравнения измерений помощью фотоэлементов с визуальными обычно применяются светофильтры. Спектральное пропускание τ_λ светофильтра должно быть обратно пропорционально спектральной чувствительности фотоэлемента V'_λ и произведение их д. б. равно значению спектральной чувствительности глаза V_λ:



Фиг. 33.

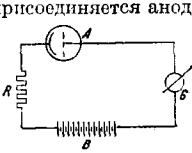


Фиг. 34.

$$V'_\lambda \cdot \tau_\lambda = V_\lambda; \qquad (39)$$

На фиг. 34 показаны кривые чувствительности глаза *1* селенового фотоэлемента с фильтром *3*; совпадение чувствительности получается достаточно хорошим.

Применяемые в настоящее время пустотные и газонаполненные щелочные фотоэлементы дают фототоки до $20 \cdot 10^{-9}$ A/lx или, что то же, $15 \cdot 10^{-6}$ A/lm. К фотоэлементам *A* присоединяется анодная батарея *B* напряжением ок. 80 V, предохранительное сопротивление *R* в 1 MΩ, к-рое необходимо для газонаполненных фотоэлементов, и электроизмерительный прибор *G* (фиг. 35). Применяя непосредственно присоединяемые стрелочные гальванометры, имеющие 0,4 μA на одно деление шкалы, можно измерять помощью щелочных фотоэлементов освещенности от 200 lx и выше. Небольшие зеркальные гальванометры, к-рые при силе тока $5 \cdot 10^{-9}$ A имеют отклонения в 1 *мм* на шкале, отстоящей на 1 *м*, дают возможность измерять непосредственно освещенности от 2,5 lx. В табл. 4 указаны пределы освещенности, к-рые возможно измерить различными фотоэлементами при применении соответствующих электроизмерительных приборов.



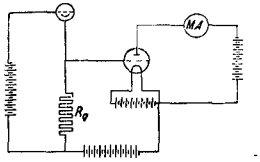
Фиг. 35.

Табл. 4.—Пределы измерения освещенностей помощью фотоэлементов.

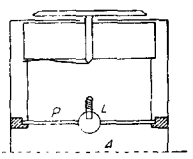
Измерительный прибор	Область измерений	Освещенность, измеряемая без усиления помощью:	
		щелочного фотоэлемента	медно-закисного фотоэлемента
Технич. миллиамперметры	$4\,500 \times 10^{-6}$ A	—	800 — 12 000 lx
Стрелочные гальванометры	60×10^{-6} A	200 — 3 000 lx	20 — 300 lx
Зеркальные гальванометры	5×10^{-6} A	2,5 — 250 lx	0,25 — 25 lx
Чувствительность, отнесенная к	освещенности	20×10^{-5} A/lx	200×10^{-9} A/lx
	световому потоку	15×10^{-6} A/lx	100×10^{-6} A/lx

При небольших освещенностях непосредственные измерения их помощью стрелочных приборов пока невозможны и в этих случаях кроме зеркальных гальванометров пользуются усилительными схемами. На фиг. 36 показана одна из схем усиления. Коэф. усиления будет равен $k = R_g \cdot S$, где R_g—сопротивление в цепи сетки, а S—крутизна электронной лампы. При $R_g = 10^{10}$ Ω и $S = 10^{-3}$ получим коэф. усиления $k = 10^7$. Такая схема дает возможность пользоваться для измерений технич. миллиамперметрами. В технич. измерениях, к-рые часто состоят в относительном сравнении освещенностей одинакового состава спектра, фотоэлементы получили широкое распространение. На фиг. 37 показан прибор для измерения коэф-та отражений. Прибор имеет селеновый фотоэлемент кольцеобразной формы P, освещаемый светом лампы L, отраженным от поверхности измеряемого образца A. Опреде-

ление кривых распределения сил света различных осветительных приборов, измерение освещенности и т. п. удобно производится фотоэлементами. Измерение же сил света, свето-



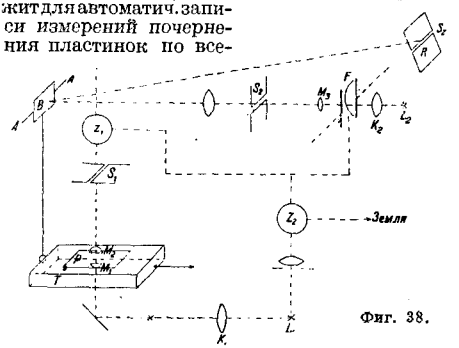
Фиг. 36.



Фиг. 37.

вого потока, яркости и проч. становится уже сложнее, т. к. требует применения светофильтров. Достигнутые за последнее время успехи в изготовлении фотоэлементов дают надежду на значительное развитие этой области объективной фотометрии.

Регистрирующие фотометры. Регистрация меняющихся световых величин осуществляется посредством записи отклонений гальванометра или электрометра. Сконструированный Кохом микрофотометр служит для автоматич. записи измерений почернения пластинок по всему фотографич. спектру. Новая конструкция микрофотометра предложена Гоозом (фиг. 38). Фотографическая пластинка P передвигается посредством механизма перед микроскопом M_1M_2. Движение передается зеркалу B, укрепленному на оси AA, дающему луч света на светочувствительную пластинку R. Источник света L_1 посылает лучи через конденсор K_1 и зеркало на измеряемую пластинку P и через щель S_1 в фотоэлемент Z_1. Фототок, зависящий от степени почернения пластинки, отклоняет нить F электрометра. Тень от нити посредством второго источника L_2 помощью линз K_2 и M_3 проектируется на щель S_2 и в увеличенном виде дает изображение на пластинке R, положение к-рого определяется зеркалом B. Движение нити F ограничивается компенсационным фотоэлементом Z_2, помощью к-рого уменьшаются одновременно и колебания светового потока источника L_1. Соотношения между передвижением спектра и регулирующей пластинкой могут меняться, благодаря чему на регистрируемой кривой спектральные линии получаются в увеличенном масштабе, что значительно облегчает измерения. Для изучения почернения областей спектра на спектрограмме наносятся контрольные марки, к-рые предварительно промеряются помощью фотоэлементов. Фотографич. исследования спектров проще всего получаются на спектрографе, к-рый представляет собой соединение спектроскопа и фотографич. камеры. Фотопластинка A помещается на место реального изображения спектра (фиг. 39). Для изучения явлений в ультрафиолетовой области спектра спектрографы имеют призму и линзы из кварца.



Фиг. 38.

Фиг. 39.

Лит.: СЭТ, т. 3, Л., 1928; Майзель С., Светотехника, Л., 1931; «Труды 2-й светотехнич. конференции», Л., 1931, вып. 2; Liebenthal E., Praktische Photometrie, Brschw., 1907; Uppenborn F. u. Monasch B., Lehrbuch d. Photometrie, B., 1912; Walsh J., Photometry, L., 1926; Fabry C., Introduction generale à la Photometrie, P., 1927; Fabry C., Leçon de Photometrie, 2 ed., P., 1928; Brodhun E., Photometrie, Handb. d. Physik, hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, B., 1928, B. 19; Maisel S., Ueber die Grundbegriffe d. Lichttechnik, Edinburg, 1931. **Б. Федоров.**

ФОТОМЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПЕЧАТАНИЯ, см. *Репродукционные процессы.*

ФОТОНАБОРНЫЕ МАШИНЫ, наборные машины, предназначенные для изготовления набора не в виде металлич. литер или строк, а в виде фотографич. негативов или диапозитивов. Полученные на Ф. м. текстовые негативы и диапозитивы применяются для непосредственного фотографич. копирования на цинк для офсетной печати или пигментную бумагу для глубокой ракельной печати. Ф. м. предназначаются т. о. для обслуживания преимущественно плоской и глубокой печати. В соответствии с назначением Ф. м. основными ее механизмами являются собственно наборный, служащий для набора и выключки каких-либо прозрачных шаблонов букв или иных знаков, и фотопроекционный, служащий для фиксирования набранного текста на светочувствительной поверхности.

По ряду конструктивных признаков все доси пор созданные Ф. м. могут быть разделены на две большие группы—машины строкопроецирующие и буквопроецирующие. Строкопроецирующие машины характеризуются тем, что в них набирается и выключается целая строка из прозрачных шаблонов с изображениями букв, к-рые м. б. по аналогии с типографскими наборными машинами названы матрицами. Такая прозрачная матричная строка проецируется вся одновременно на светочувствительную поверхность, к-рая после этого передвигается в соответствии с конструкцией машины или на расстояние, равное кеглю строки, или на длину последней. В свою очередь строкопроецирующие машины м. б. разделены на две группы: машины с индивидуальными матрицами и машины с групповыми матрицами. В первых матрицы имеют изображение одной буквы (или одной буквы в двух характерах, напр. прямой и курсив) подобно тому, как это имеет место в наборной машине линотип. Во вторых матрицы представляют собой штанги с нанесенными на них несколькими (8, 10, 12) буквами, аналогично вышедшей в настоящее время из употребления наборной машине монолейн. Буквопроецирующие машины характеризуются тем, что в них каждая буква и знак проецируются на светочувствительную поверхность самостоятельно, причем светочувствительная поверхность передвигается после каждой буквы на соответствующее расстояние. Возможность выключки и правиль-

ного передвижения светочувствительной поверхности достигается на машинах этого типа путем применения контрольных лент или иных контрольных приспособлений. Т. о. машины этого типа аналогичны типографским наборным машинам монотип.

За 40 лет существования идеи фотонабора были созданы следующие фотонаборные машины:

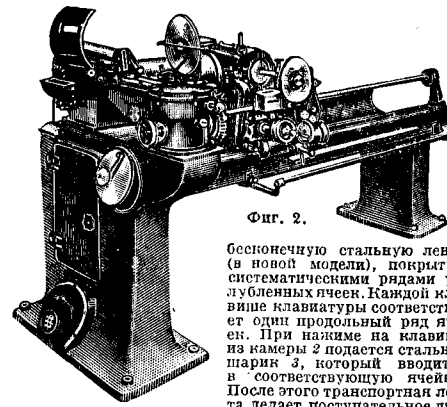
Автор и название машины	Дата появления	Тип
Евгений Порцольт (Будапешт)	1894	Буквопроецирующая
В. Фриз-Грин (Лондон)	1895	Строкопроецирующая с групповыми матрицами
Эдвин Боутри, Сидней Э. Падж, Роберт Ли (Лондон) «Дискотип»	1915	Буквопроецирующая
Адольф Мюллер (Мюнхен)	1920	Строкопроецирующая с индивидуальными матрицами
Завод Корренсверке в Будапеште	1920	Буквопроецирующая
Д. Робертсон, Т. Броун, А. Орелл (Лондон)	1921	Строкопроецирующая с индивидуальными матрицами
Р. Смозерс (Америка)	1923	Строкопроецирующая с индивидуальными матрицами
Артур Дэттон (Англия) «Фотолит»	1923	Строкопроецирующая с индивидуальными матрицами
Е. Хентер и И. Августа (Англия) «Монофото»	1923	Буквопроецирующая
«Линотип энд Машинери» (Лондон)	1924	Строкопроецирующая с индивидуальными матрицами
Эмиль Демишель (Франция)	1928	Строкопроецирующая с групповыми матрицами
Г. Ф. Бадж (Америка)	1929	Буквопроецирующая
Эдмонд Угер (Будапешт) «Угертип»	1930	Буквопроецирующая
Огден (Америка)	1932	Буквопроецирующая

Наиболее совершенной из Ф. м. является «Угертип» Эдмонда Угера. Устройство этой машины сводится к следующему. Угертип представляет собой агрегат, состоящий из двух самостоятельных машин: собственно наборной (фиг. 1) и верстально-монтажной (фиг. 2).

Фиг. 1.

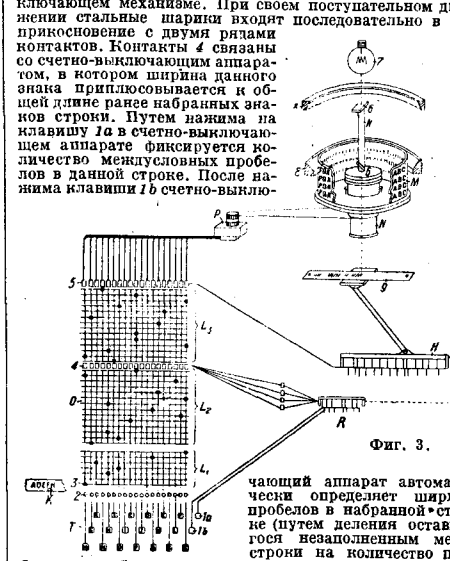
Первая служит для изготовления фотонаборных гранок, вторая — для верстки их в страницы книги или журнала. Наборная машина в свою очередь делится на три аппарата: клавиатурно-контрольный, счетно-выключающий и проекционный. Первый служит для набора контрольной строки из стальных шариков, при помощи к-рой приводятся в движение последующие механизмы машины. Второй производит подсчет общего протяжения всех знаков строки и определение ширины выключки. Третий осуществляет собственно процесс фотографирования — фиксирует текст на светочувствительной пленке.

Схема действия всей системы наборной машины представлена на фиг. 3, где *T*—клавиатура, *O*—транспортное приспособление для набора контрольной строки, *R*—счетно-выключающий аппарат, *H*—механизм для передвигания светочувствительной пленки, *M*—стеклянный цилиндр с буквами и знаками, подлежащими воспроизведению на светочувствительной пленке, *N*—оптическая система проекционного аппарата и *P*—механизм для вращения оптической системы. Транспортное приспособление представляет собой цилиндр (в старой модели) или



Фиг. 2.

бесконечную стальную ленту (в новой модели), покрытую систематическими рядами углубленных ячеек. Каждой клавише клавиатуры соответствует один продольный ряд ячеек. При нажиме на клавишу из камеры *2* подается стальной шарик *3*, который вводится в соответствующую ячейку. После этого транспортная лента делает поступательное движение на расстояние одного поперечного ряда ячеек. После окончания слова нажимается клавиша *1a*, к-рая не подает шарик на транспортную ленту, но непосредственно связана со счетно-выключающим приспособлением. При этом транспортная лента делает обычное движение на расстояние одного поперечного ряда углубленных ячеек. По окончании строки нажимается клавиша *1b*, которая также вызывает только действие в счетно-выключающем механизме. При своем поступательном движении стальные шарики входят последовательно в соприкосновение с двумя рядами контактов. Контакты *4* связаны со счетно-выключающим аппаратом, в котором ширина данного знака приплюсовывается к общей длине ранее набранных знаков строки. Путем нажима на клавишу *1a* в счетно-выключающем аппарате фиксируется количество междусловных пробелов в данной строке. После нажима клавиши *1b* счетно-выключающий аппарат автоматически определяет ширину пробелов в набранной строке (путем деления оставшегося незаполненным места строки на количество пробелов и прибавления этой величины к ширине постоянного пробела). Второй ряд контактов *5* имеет двойное назначение. С одной стороны, замыкание этих контактов вызывает действие механизма *P*, передвигающего оптич. систему проекционного аппарата. Каждый контакт вызывает поворот системы зеркал *6* т.о., что луч света от источника *7*, отразившись последовательно от зеркал *6* и *8*, проходит сквозь стеклянный цилиндр *M* и при одновременном открывании затвора фотокамеры фиксирует изображение нужной буквы на светочувствительной пленке *9*. Одновременно с этим контакты *5* вызывают действие механизма, передвигающего светочувствительную пленку



Фиг. 3.

на расстояние, строго соответствующее ширине фиксируемой буквы. Если к контактам 5 подходит ряд ячеек, в котором нет шарика (соответствующий пробелу между словами), то проекционный аппарат бездействует, а светочувствительная пленка передвигается на расстояние, равное ширине пробела в данной строке. Осуществляется это путем связи счетно-выключающего аппарата с механизмом, передвигающим светочувствительную пленку. Для контроля набираемого текста при нажиме клавиш одновременно с фиксированием строки стальными шариками буквы отпечатываются на бумажной ленте *К*. Благодаря этому наборщик имеет возможность, заметив ошибку, изменить положение ошибочного шарика, соответственно сигнализировав это изменение счетно-выключающему аппарату. В работе одновременно находятся три строки: на участке транспортной ленты L_1 производится набор строки из шариков, на участке L_2 предыдущая строка из шариков сигнализирует ширину букв счетно-выключающему аппарату и наконец шарики участка L_3 приводят в действие проекционный аппарат и механизм передвигания пленки. Фиксирование букв производится на отрезках узкой светочувствительной пленки, соответствующих длине строки. Размер букв, получаемых на наборной машине угертин, постоянный и равен 4 *мм*. Увеличение же или уменьшение размера букв до нужного кегля производится в верстальной машине автоматически. Проявление, фиксирование, промывка и сушка набранных строк производятся автоматически в самом проекционном аппарате. Все эти операции занимают для каждой строки 4 мин., но т. к. в машине имеется 32 камеры для проявления и других процессов, то производительность машины м. б. доведена до 8 строк в мин. Совершенно готовые фотонаборные строки поступают в граночную рамку, в к-рой помещается до 100 строк и к-рая служит как для копирования корректурных оттисков набора, так и для использования в верстальной машине.

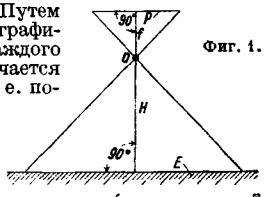
Верстально-монтажная машина угертип представляет собой увеличительно-копировальный аппарат усложненной конструкции. Рамка со строками, набранными на наборной машине угертин, поступает в верстальную машину, которая автоматически производит следующие операции: увеличивает или уменьшает кегль строк до нужного предела, копирует строки одна под другой на светочувствительной пленке, соответствующей по размеру формату книжной или журнальной полосы. При этом машина автоматически же устанавливает нужный интерлиньяж. При верстке иллюстрированных изданий возможно введение штриховых и тоновых рисунков, с версткой как в разрез, так и в оборку. Таким путем машина монтирует полосы книги или журнала нужного формата, к-рые здесь же в машине проявляются и высушиваются. Изготовленные на машине монтажи готовы для копирования на офсетный цинк.

В конце 1932 г. в дополнение к описанной наборной и верстально-монтажной машинам была сконструирована ручная Ф. м., предназначенная исключительно для выполнения акцидентных работ. Машина эта представляет соединение фотокамеры с прямоугольной или круглой прозрачной пластинкой, покрытой буквами и знаками. Пленка эта передвигается вручную и подводится нужной буквой к объективу фотокамеры, после чего открывается затвор и буква фиксируется на светочувствительной пленке. Таким же путем фиксируются и все остальные знаки. Выключки машина не производит. Производительность ее не превышает 2 000 знаков в час. Ручная Ф. м. может работать исключительно в соединении с верстальной машиной, к-рая выключает набранные строки, снабжает их линейками и орнаментами и дает т. о. законченные акцидентные работы. Изобретатель угертипа предполагает, что в ближайшие годы распространение будет иметь именно ручная Ф. м. В СССР был произведен ряд пока еще неудачных попыток создания Ф. м. Сейчас в этой области проводится исследовательская работа, имеющая целью обеспечить создание машины для набора как сплошного, так и сложного текста.

Лит.: Попов В., Фотонаборные машины, М., 1933; Albert K., Zum Problem d. photomechanischen Setztechnik, «Deutscher Drucker», B., 1930, *3*; Bargiliat Allain A., Les composeuses photographiques, «Papyrus», P., 1932, *146*, *147*, *148*. **В. Попов.**

ФОТОПЛАН, топографич. план местности в фотографич. тоне, *составленный из системы отдельных аэроснимков и представляющий непрерывную фотографию местности*; Ф. называется в производстве планшетом-фотопланом, т. к. по своим размерам он соответствует планшету топографической наземной съемки. По степени точности планшеты-фотопланы разделяются на: 1) точные из трансформированных аэроснимков, вполне соответствующие планшетам наземной топографич. съемки; 2) приближенные из приведенных к масштабу аэроснимков и 3) фотосхем из контактных отпечатков. Это подразделение аналогично подразделению планшетов наземной топографич. съемки на инструментальные, полуинструментальные и глазомерные. По содержанию каждый планшет-фотоплан и фотосхема дают изображение: контуров местности, отдельных местных предметов и прочих подробностей, улавливаемых объективом аэрофотоаппарата и выражаемых в зависимости от масштаба аэрофотосъемки: рельеф местности, выраженный горизонталями, наносится дополнительными приемами. По роду изображения Ф. разделяются на: 1) позитивные, когда изображение получается прямое, соответствующее местности, и 2) зеркальные, или негативные, когда изображение получается обратное по ориентировке и цвету (белое выходит черным и наоборот). По роду изготовления Ф. бывают: 1) мозаичные, когда даются склеенные из аэроснимков оригиналы Ф., и 2) репродукции Ф., когда даются точные фотографические копии мозаичного оригинала.

Основным материалом для составления Ф. и фотосхемы являются аэронегативы, полученные при фотографировании местности с самолета (аэросъемка). Путем светопечати на фотографической бумаге с каждого аэронегатива получается аэроснимок, т. е. позитивное изображение местности (контакти. отпечаток). Контактный отпечаток не представляет собою плана местности (ортогональной проекции на горизонтальную плоскость), т. к. содержит в себе ряд искажений. Аэроснимок является центральной проекцией местности на негативную плоскость аэрофотоаппарата. Вследствие этого аэроснимок можно рассматривать как план только в исключительно редком случае (фиг. 1): 1) когда снимаемая поверхность *E* земли является горизонтальной плоскостью и 2) когда главная оптич. ось объектива *O* аэрофотоаппарата, устанавливаемая всегда перпендикулярно к негативной плоскости *P*, будет в момент фотографирования перпендикулярна к поверхности земли. В этом идеальном случае масштаб аэроснимка будет во всех частях и направлениях постоянным и выразится ф-лой $\frac{1}{m} = \frac{f}{H}$, где m—знаменатель численного масштаба, f—фокусное расстояние объектива *O* аэрофотоаппарата и H—высота объектива над снимаемой поверхностью (высота полета); подобие фигур на местности и на аэроснимке в этом случае



Фиг. 1.

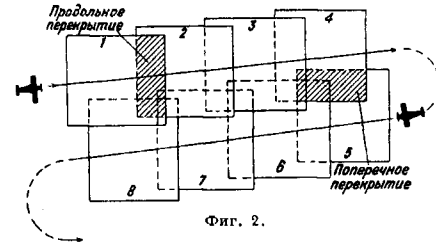
будет сохранено. Во время полета эти условия не соблюдаются и потому масштаб аэроснимка является величиной переменной в зависимости от места и направления измерения на нем. При нарушении первого условия, т.е. при наличии на местности заметного рельефа, изображение на аэроснимке получается с искажением положения каждой точки, величина к-рого $\delta = \frac{h \cdot r}{H}$, где h—превышение над плоскостью проекции и r—расстояние от центра снимка до изображения точки (см. *Фототрансформирование*, фиг. 1). При нарушении второго условия, т. е. при отклонении главной оптич. оси объектива от нормали на нек-рый угол α, построенные при главной точке аэроснимка углы получат искажение $\Delta = \frac{1-\cos\alpha}{1+\cos\alpha}$. Наличие этих искажений не исключает однако возможности использования аэроснимков в целях получения плана местности, но приводит к необходимости освобождаться от влияния этих искажений при помощи специальной аппаратуры и методов самой аэрофотосъемки, а также применением различных методов обработки аэроснимков с тем, чтобы в полученных Ф. эти искажения были сведены к практич. нулю. Независимо от системы аэрофотоаппарата и метода аэросъемки (планового или перспективного) масштабные и угловые искажения изображений на аэроснимке м. б. в дальнейшем сведены к практич. нулю при помощи трансформирования (см. *Фототрансформирование* и *Фототрансформатор*). Искажение из-за влияния рельефа исправляется трансформированием лишь незначительно и в подавляющем большинстве случаев не м. б. сведено к практическому нулю на всей площади аэроснимка. Величина искажения из-за рельефа уменьшается по мере приближения к центру аэроснимка, почему всегда можно найти радиус описанной из центра снимка окружности, внутри которой с этим искажением практически можно не считаться (полезная площадь). Длина такого радиуса r определяется по формуле проф. Алексапольского для нетрансформированного аэроснимка:

$$r = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{f\Delta}{ma}\right)^2 + \left(\frac{h^2}{2m^2a^2}\right)} - \frac{h^2}{2m^2a^2}}$$

и для трансформированного аэроснимка

$$r = \frac{f \cdot \Delta}{h} - f \cdot a,$$

где f—фокусное расстояние объектива, Δ—допустимое для данного масштаба искажение изображения, m—знаменатель данного численного масштаба, h—половина разности максимальной и минимальной высот местности в пределах аэроснимка и $a = 0{,}03$. Определение среднего радиуса полезной площади аэроснимка для данного задания показывает, что при полетах для покрытия снимаемой местности рядом параллельных маршрутов надо взаимно перекрывать все смежные аэроснимки на определенный % площади аэроснимка, чтобы в дальнейшем получилась возможность составить неразрывный Ф. только из полезных площадей аэроснимков (фиг. 2). При аэросъемке (фотографировании) применяется фильма шириной 19 *см* и длиной 60 *м*; размер аэроснимка преимущественно 18×18 *см*. После аэросъемки, проявления фильмы и изготовления контактных отпечатков производится их накидной монтаж, т. е. подбор смежных аэроснимков по порядку номеров, совмещение их по общим ситуационным контурам на перекрытиях и временное накалывание их кнопками на экран для поверки правильности произведенной летно-съемочной работы и пригодности материала для дальнейшей обработки. На накидной монтаж ориентировочно наносятся на основании возможно более точной карты будущие рамки планшетов-фотопланов, которые нумеруются по международной разграфке, надписываются названия населенных пунктов и крупных рек. С накидного монтажа изготовляется фотографическая копия (репродукция) в масштабе 1 : 50 000, к-рая служит паспортом аэросъемки данной территории.



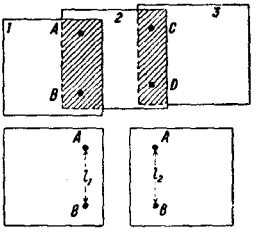
Фиг. 2.

Изготовление фотосхемы. Для изготовления фотосхемы из контактных отпечатков производят отбор (после репродукции накидного монтажа) номеров аэроснимков, входящих в требуемый планшет, и изготовляют с соответствующих номеров аэронегативов новые контактные отпечатки на глянцевой фотобумаге, стремясь достигнуть возможно большей однотонности их. Основой для монтажа фотосхемы служит плотная бумага (ватман, александрийская бумага). Монтаж производится на монтажном столе, у которого верхней доской служит зеркальное стекло, а под ним установлен рефлектор с сильной электролампой. На монтажный стол кладется бумага, а на ней размещаются контактные отпечатки требуемого планшета; это дает возможность «на просвет» точно совместить общие контуры. Ориентированная т. о. пара отпечатков прижимается тяжелыми грузиками и затем к ним один за другим монтируются все смежные отпечатки и т. д., пока все они не закроют требуемую площадь. Т. к. контактные отпечатки обладают всеми искажениями аэроснимка, то при монтаже их на значительных площадях на краях планшетов получаются невязки, которые раскладываются путем небольших передвижек и поворотов отпечатков. После увязки производится подрезка отпечатков острым скальпелем: одновременно прорезаются два смежных отпечатка на их перекрывающихся частях по местам наилучшей сходимости «ситуации» и однообразия фотографич. тона. После прорезывания лишние перекрывающиеся части отпечатков отбрасываются, а полезные части достаточно точно (для фотосхемы) сойдутся по линии прореза. Так подрезываются все отпечатки, причем следят, чтобы в процессе резки отпечатки не сдвинулись. Для подклеивания подрезанных отпечатков применяется целлюлоидный клей (раствор целлюлоида в амилацетате), т. к. он не гигроскопичен и не стягивает бумагу при высыхании, к-рое длится 3—4 дня. После высыхания наносится приближенная рамка фотосхемы (планшета) путем опознавания положения углов ее при помощи возможно более

точной карты. Если ситуация позволяет, то углы рамок замеряются циркулем на карте от 3-4 характерных контуров, имеющихся как на карте, так и на фотосхеме, а затем на последней засекаются от них же. За рамкой фотосхемы оставляется полоска крайних отпечатков в 1,5—2 *см* шириной для того, чтобы не получился разрыв между смежными фотосхемами в результате неточности установки рамок. За рамкой сверху пишется год, область и район съемки и номер фотосхемы, а снизу под рамкой вычерчивается масштаб, название снимавшей организации и подписи ответственных лиц.

Масштаб фотосхемы определяется отношением расстояний между двумя одними и теми же точками, измеренными по фотосхеме и на местности или по карте. Масштаб фотосхемы из контактных отпечатков дается с ошибками, доходящими до $\pm 5\%$, а в отдельных случаях—на коротких расстояниях и грубее. Точность самих фотосхем зависит от ряда причин, в большинстве своем не учитываемых, почему инструктивные допуски для погрешности по этому роду материалов не установлены. Для местности со значительным рельефом и для горных местностей получаются наиболее грубые фотосхемы. Основными достоинствами фотосхемы из контактных отпечатков являются: наличие многих подробностей местности, наглядность и ясность материала, а также быстрота изготовления и дешевизна. Если учесть, что один самолет в среднем в один полет фотографирует ок. 500 *км*², то уже в течение 6—10 дней после полета материалы, добытые полетами, могут быть превращены в фотосхемы. Фотосхемы из контактных отпечатков представляют собой ценный и достаточный материал для решения многих задач: выявление общих запасов леса, его состояния и распределения; выяснение земельных фондов; при геологич. обследованиях; при трассировке дорог в трудно доступных местах; при статистич. обследованиях; при обследованиях с целью исправления или освежения карт; при гидротехнич. и всяких других изысканиях, когда фотосхема дает быстрый, наглядный и правильно ориентирующий материал.

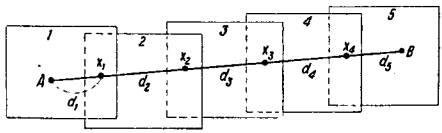
Изготовление приближенных Ф. В случае необходимости быстрого получения приближенного аэрофотосъемочного материала для производства нек-рых расчетов и проектирования прибегают к составлению Ф. из приведенных к масштабу отпечатков. Вести полет аэроплана на одной и той же заданной высоте по отношению к уровню моря невозможно и кроме того высоты точек местности тоже все время меняются, вследствие чего изменяется расстояние от поверхности земли до объектива аэрофотоаппарата, т. е. H, и следовательно масштабы аэроснимков будут получаться различные. Это различие масштабов даже смежных аэроснимков еще несколько увеличивается вследствие наличия у каждого из них нек-рого угла отклонения главной оптич. оси объектива от вертикали. Полное уничтожение влияния такого искажения достигается только трансформированием, но возможно в значительной степени уменьшить масштабное искажение путем «приведения к масштабу» каждого аэроснимка; из приведенных к одному масштабу отпечатков можно смонтировать Ф., к-рый будет только приближенным. Для приведения аэроснимков к масштабу нужно знать масштабный коэфициент каждого аэронегатива. Легче и проще определять коэф-ты по старым планам и картам; для этого выбирают в пределах одного аэроснимка две такие характерные точки (пересечение дорог, мостик и т. д.), по возможности наиболее удаленные друг от друга, к-рые были бы и на старом плане или карте той же местности. Измеряют циркулем расстояние между этими точками на аэроснимке l и на плане L, выражая то и другое в *см*. Отношение $\frac{l}{L}=k$ равно масштабному коэф-ту аэроснимка по отношению к плану, масштаб к-рого $\frac{1}{m}$ нам известен. Масштаб аэроснимка $\frac{1}{m_1}$ получится по ф-ле $\frac{1}{m_1}=k\cdot\frac{1}{m}$. Если требуется привести аэроснимок не к масштабу старого плана, а к какому-то другому $\frac{1}{m_0}$, то предварительно вычисляют постоянный коэф. $k_1=\frac{m}{m_0}$, а затем получают коэф. увеличения аэроснимка по ф-ле $K_1=\frac{k_1}{k}$. Чем точнее старый план и крупнее его масштаб, тем точнее определяется и коэф. K_1. Когда число сохранившихся характерных точек местности, имеющихся на старом плане, бывает недостаточно и коэф. K_1 удается определить по плану только для некоторых аэроснимков, то коэф-ты для остальных определяют в результате дополнительных несложных действий, пользуясь перекрывающимися частями смежных аэроснимков. Пусть для первого аэроснимка определен по плану коэф. K_1. Тогда выбирают на перекрытии его со вторым две характерные точки местности A и B, отчетливо сфотографировавшиеся на обоих аэроснимках, и измеряют циркулем расстояния между ними l_1 и l_2 на обоих аэроснимках (фиг. 3). Т. к. масштабы аэроснимков обычно различные, то l_1 и l_2, выраженные в *см*, не равны. Тогда масштабный коэф. второго аэроснимка n_2 по отношению к первому получится из ф-лы $n_2=\frac{l_1}{l_2}$, а коэф. увеличения до требуемого масштаба $K_2=K_1\cdot n_2$. Затем переходят таким же образом к третьему аэроснимку и т. д., пока не подойдут к аэроснимку, для к-рого коэф. K уже был определен по плану. Сравнение этого коэф-та K, принимаемого за истинный, с вычисленным путем передачи с предыдущего аэроснимка дает невязку, величина которой определяет точность произведенных вычислений. В случае допустимости невязки она раскладывается равномерно на все вычисленные коэф-ты.



Фиг. 3.

Если количество характерных точек на плане настолько мало, что не удается найти две точки на один аэроснимок, то для определения масштабных коэф-тов применяют метод прямой линии. Для этого выбирают маршрут, имеющий на первом и последнем аэроснимке по одной характерной точке, отчетливо изображенной как на нем, так и на плане и по возможности расположенной около центра аэроснимка. Масштаб первого аэроснимка условно принимают равным 1 и, пользуясь вышеописанным методом, определяют коэф-ты n_2, n_3, ..., n_s

каждого последующего аэроснимка к предыдущему. Затем определяют коэф. каждого аэроснимка по отношению к первому $n'_2 = n_2 \cdot n_3$, $n'_4 = n'_3 \cdot n_4$ и т. д. После этого маршрут возможно тщательнее монтируют в порядке накидного монтажа на столе, следя особенно тщательно за правильностью взаимного ориентирования аэроснимков по перекрытиям, и прочерчивают на маршруте по линейке прямую линию, соединяющую опознанные характерные точки первого и последнего аэроснимка (фиг. 4). На каждом перекрытии отыскивают какую-нибудь точку местности x_1, x_2, ..., отчетливо сфотографированную и попавшую на прочерченную линию. Расстояния d_1, d_2 и т. д. измеряются циркулем и выражаются в *см*. Эти длины выражают в масштабе первого аэроснимка $d'_2 = d_2 \cdot n_2$, $d'_3 = d_3 \cdot n'_3$ и т. д. Затем определяется в масштабе того же снимка длина $AB = L = d_1 + d'_2 + \ldots + d'_5$,



Фиг. 4.

и она же измеряется по плану; результат этого измерения обозначим L_0. Тогда масштаб маршрута, а значит и первого снимка $K = \frac{L}{L_0}$. Все дальнейшие вычисления производятся по изложенным ранее ф-лам. Полученные по тому или иному методу коэф-ты K_1, K_2 и т. д. дают возможность при помощи увеличительного аппарата (упрощенный трансформатор) увеличить или уменьшить изображение аэронегатива до заданного масштаба.

Масштаб аэроснимка как правило является величиной переменной и зависит от того, в какой части аэроснимка и в каком направлении будет произведено измерение, поэтому масштабные коэф-ты дают только приближенный масштаб. Приведенные к масштабу отпечатки монтируются в приближенный Ф. Монтаж производится на основе из плотной бумаги, лучше наклеенной на картон или на фанеру. На основу наносится со старых планов и карт возможно большее количество характерных элементов ситуации, вышедших и на аэроснимках, для ориентирования. Отпечатки устанавливаются и увязываются по ситуации на перекрытиях в порядке накидного монтажа. Подрезка, наклейка, установка рамок и общая отделка исполняются так же, как изложено выше. Уничтожение большей части масштабного искажения, использование при монтаже только полезных частей аэроснимка, практически свободных от искажения из-за рельефа, незначительная величина угловых искажений изображения—все это делает приближенный Ф. из приведенных к масштабу отпечатков материалом, вполне пригодным для изысканий и проектирований, не требующих высокой точности. Точность такого Ф., определяемая по расхождениям общих контуров на порезах смежных отпечатков, выражается средней квадратич. ошибкой, равной ± 1 *мм*. Простота обоснования и составления приближенных Ф. позволяет получать их вскоре вслед за выполнением фотографирования местности. Все эти качества делают Ф. из приведенных к масштабу отпечатков вполне пригодными для определения земельных фондов, учета угодий, землепоказаний, лесоустройства, для геологич., гидротехнических, дорожных, ирригационных и всяких других изысканий и вообще для всякого рода предварительных расчетов и проектирований, не связанных с требованиями получения окончательных и точных данных.

Изготовление точного Ф. Самым точным и подробным топографич. плановым материалом является точный Ф. из трансформированных аэроснимков. Изготовление такого Ф. слагается из ряда процессов, имеющих общей целью получить отдельные трансформированные отпечатки с аэроснимков, свободные от искажений, с тем чтобы из них смонтировать планшеты-фотопланы, дающие точные изображения всех элементов ситуации местности, правильное их взаимное расположение и ориентирование по странам света. Для выполнения этих условий необходима геодезическая основа, т. е. геодезич. подготовка местности в виде проложенной *триангуляции* (см.) различных классов, к-рая дает возможность получить: 1) координаты ее пунктов и 2) необходимые исходные пункты для привязки к ним аэроснимков, что обеспечивает их трансформирование. Привязка бывает: 1) сплошная, 2) для графической фототриангуляции и 3) для аналитич. фототриангуляции. В первом случае привязываются 4 точки каждого аэроснимка, расположенные примерно по углам вписанного в полезную площадь (круг) аэроснимка четырехугольника; в результате сплошной привязки каждый аэроснимок трансформируется, т. к. указанные 4 точки дают для этого необходимую и достаточную основу. Во втором и третьем случаях привязка производится в шахматном порядке через 3—6 аэроснимков, причем на одном привязываемом аэроснимке определяют от одной до четырех точек. Сгущение геодезич. основы до необходимых для трансформирования четырех точек на каждом аэроснимке производится или определением дополнительных точек на местности или камеральным путем, при помощи графич., инструментальной или аналитич. *фототриангуляции* (см.). Все точки, необходимые для трансформирования, независимо от метода их определения, точно опознаются на аэронегативах и тщательно прокалываются. Эти точки обычно называют ориентировочными или фотограмметрическими. До трансформирования все точки окончательно сгущенной геодезич. основы наносятся на планшет, наклеенный на алюминиевый или фанерный лист. Рамку планшета образуют параллели и меридианы, взятые по принятой разграфке и номенклатуре планшетов. На планшет наносится дециметровая координатная сетка, стороны к-рой служат осями абсцисс и ординат в системе Гаусса-Крюгера, при помощи координатографа, дающего возможность откладывания расстояний с ошибкой, не превышающей $\pm 0{,}01$ *мм*. Т. к. целый планшет, имеющий с полями размер 60×60 *см*, не помещается на экране трансформатора, то для трансформирования каждого аэронегатива изготавливается «опорный планшетик», который является перекалотой на лист плотной бумаги копией четырех или более точек геодезич. основы планшета, обеспечивающих данный аэронегатив. Затем производится трансформирование (фототрансформирование) каждого снимка. Трансформированные отпечатки поступают в монтаж, к-рый производится на упомянутых выше планшетах. Монтаж производится как

«на-просвет»—при основе, пропускающей лучи света, так и на непрозрачной основе. В первом случае в фанере планшета под точками основы заранее пробиваются круглые отверстия с диам. в 5 *мм*, благодаря чему ватман планшета, положенного на монтажный стол, просвечивается, и снимок на-просвет совмещается своими ориентировочными точками с соответствующими точками планшета. Во втором случае на ориентировочные точки отпечатка ставится острие центрированной иглы пуансона, к-рым затем пробивается в отпечатке круглая дырочка с диам. в 1 *мм*. Воображаемый центр этого кружка заменяет собой ориентировочную точку, и отпечаток устанавливается на планшете так, чтобы все ориентировочные точки планшета оказались в центрах кружочков отпечатка. В обоих методах монтажа каждый отпечаток устанавливается самостоятельно по своим точкам, а схождение ситуации на перекрытиях служит контролем точности монтажа. Подрезка и наклейка производятся, как было указано. На Ф. вычерчивается координатная сетка, наносятся по координатам пункты геодезич. основы и подписываются необходимые элементы ситуации. За рамкой наносятся выходы параллелей и меридианов через 1′ и подписываются выходы координатной сетки.

После монтажа Ф., до окончательного выпуска, проходит к о р р е к т у р у, к-рая выявляет: 1) точность монтажа по порезам, 2) точность сводок по рамкам, 3) точность совмещения ориентировочных точек снимков с соответственными точками основы и 4) точность построения координатной сетки на Ф. Сущность корректуры по порезам заключается в измерении на мозаичном Ф. при помощи микрометренного циркуля расхождений ситуации по линии пореза двух смежных отпечатков. Теоретически—элементы ситуации по линии пореза должны совпадать, но т. к. каждый самостоятельно установленный отпечаток является итогом целого ряда процессов, несущих каждый в отдельности нек-рую допустимую погрешность, то суммарное влияние этих погрешностей выражается в виде малых несовпадений ситуации по порезам, а величина этих расхождений является истинной случайной ошибкой положения ситуации. На основании этого вдоль всех порезов отпечатков мозаичного Ф. через каждые 2—3 *см* производятся измерения расхождений ситуации, к-рые записываются на схеме порезов, затем группируются по абсолютным величинам и на основании общей теории ошибок дают возможность вывести среднюю квадратич. ошибку $m = \pm\sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}$, где Δ—истинная случайная ошибка, а n—число их. По аналогии производятся измерения расхождений ситуации по общим рамкам смежных планшетов-фотопланов, что дает возможность вывести среднюю квадратич. ошибку сводки по рамкам. Затем измеряются величины отхождений ориентировочных точек отпечатков от их положения на основе отхождения сторон дециметровой координатной сетки от их теоретич. размера; на основании этих измерений выводятся соответствующие средние квадратич. ошибки. Надежность этого метода камеральной корректуры и оценки точности Ф. видна из приведенной ниже таблицы оценки точности Ф. масштаба 1 : 10 000 аэросъемки 1929 г., произведенной как в результате указанной корректуры, так и по данным точных инструментальных поверок Ф. в натуре.

Оценка точности Ф. в масштабе 1 : 10 000.

Величины расхождений на фотопланах в *мм*	По данным корректуры		По полевому контролю	
	По порезам		По ситуации	
	абс. число	в %	абс. число	в %
0,0÷0,3	17 276	72,3	226	85,0
0,4÷0,5	3 652	15,3	29	10,9
0,6	2 261	9,5	8	3,0
0,7	532	2,2	2	0,7
0,8	124	0,5	0	0
0,9	14	0,1	0	0
1,0	23	0,1	1	0,4
Итого . .	23 885	100	266	100

Ф. дают «немое» изображение местности, т. к. непосредственно на аэроснимках не всегда будут даны: содержание контуров, внутреннее устройство населенных пунктов, свойства рек, породы деревьев, типы с.-х. угодий и пр. Для выявления этих элементов производится топографическое д е ш и ф р и р о в а н и е, т. е. сличение Ф. с местностью и обозначение на них необходимых сведений или элементов надписями или условными знаками. Многие элементы местности м. б. выявлены и без сличения с натурой, а лишь рассматриванием аэроснимков невооруженным глазом или в стереоскоп. Это нашло применение например при таксации лесов, когда на местности производится в минимальных размерах дешифрирование только характерных мест, а на остальных пространствах дешифрирование производится путем рассматривания аэроснимков и сличения их с характерными местами. Для выражения на Ф. рельефа горизонталями Ф. прикалывается к мензульной доске; затем выходят с ним в поле, где производится нанесение горизонталей по точкам, определенным по высоте обычным путем. Точки для нанесения рельефа (точки рельефа) выбираются попутно с набором фотограмметрич. точек и определяются как в плане, так и по отметкам. Если нет возможности дожидаться окончания изготовления фотоплана, то наносят рельеф на контактные отпечатки или на фотосхемы, а затем результаты переносят на планшеты-фотопланы.

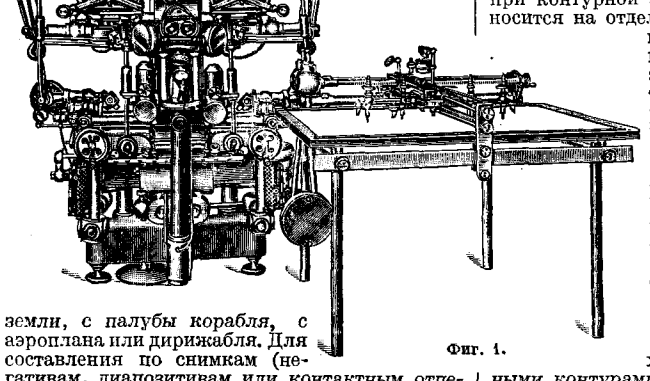
Из Ф. легко получают чертежный план в обычных условных знаках. Для этого существуют два приема. Первый заключается в вычерчивании на матовом Ф., наклеенном на алюминий или фанеру, всех нужных элементов в условных знаках и в последующем вытравлении фотографич. изображения путем обливания вычерченного Ф. 5%-ным раствором цианистого калия или 20%-ным раствором иода с отбеливанием гипосульфитом; в результате травления остается чертежный план на белом фоне. Второй способ основан на методе зеркальной трансформации, предложенном проф. Алексапольским. Для этого дешифрирование и рисовка рельефа производятся на контактных отпечатках. При трансформировании же в негативную рамку трансформатора вставляется не аэронегатив, а опорный планшетик, вместо к-рого на экран кладется контактный отпечаток. После получения момента трансформации гасят свет, вместо опорного планшетика в рамку закладывают фотографич. бумагу, освещают лежащий на экране отпечаток, изображение к-рого через объектив печатается на бумаге, но уже в трансформированном и т. н. зеркальном виде. Затем из зеркальных отпечатков монтируют обычным путем, но на обратной основе, зеркальный планшет-

фотоплан; его вычерчивают, травят; полученный чертежный планшет перерабатывают фотографич. путем в клише для издания. Этот метод позволяет наносить рельеф на контактные отпечатки сейчас же после аэросъемки и без снижения в дальнейшем качества работы за счет переноса рельефа на Ф., к-рый является наиболее универсальным, точным, наглядным, детальным, быстрым и экономичным топографич. планом. В соединении с изготовленным с него чертежным планом Ф. дает полный топографич. материал для любых нужд пром-сти и хоз-ва. В настоящее время в СССР ведется производство планшетов-фотопланов в масштабах: 1 : 1 000, 1 : 2 000, 1 : 5 000, 1 : 10 000, 1 : 25 000 и 1 : 50 000. На очереди разрешение сл. проблем: 1) нанесение на планшет-фотоплан рельефа в горизонталях не при помощи мензулы, а стереоскопич. путем и 2) получение планшетов-фотопланов мелких масштабов.

Лит.: Курс геодезии, под ред. Ф. Красовского, ч. 2, М., 1931; Соколов П., Материалы к курсам проективной геометрии и контурной аэросъемки, М., 1931; Сольский Д. и др., Фотография и аэрофотография, М., 1926; Тиле Р., Фототопография в современном ее развитии, т. 1—3, СПБ, 1908—09; Бонч-Бруевич М., Аэрофотосъемка, Москва, 1931; Сольский Д., Аэрофотография, Москва, 1931; Веселовский Н. и Платон В., Аэросъемка городов, 1932; «Геодезист», Москва, с 1925.

В. Дейнеко.

ФОТОСЪЕМКА, вид топографич. съемки (см. *Съемка*), в к-ром вместо непосредственных измерений на местности получают фотографич. ее изображение, по которому изучаются все элементы местности и производятся измерения. Фотографирование местности исполняется с



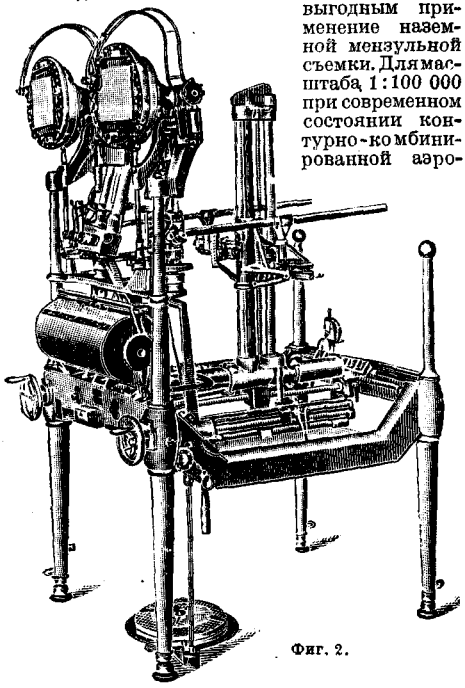
Фиг. 1.

земли, с *палубы корабля*, с аэроплана или дирижабля. Для составления по снимкам (*негативам*, *диапозитивам* или *контактным отпечаткам*) планов применяется специальная аппаратура и различные методы работ. Фотосъемка может быть следующих видов: 1) контурная аэрофотосъемка, 2) контурно-комбинированная аэрофотосъемка, 3) высотно-стереоскопическая аэрофотосъемка, 4) наземная фототеодолитная съемка (фотограмметрическая и стереофотограмметрическая).

1. Контурная аэрофотосъемка имеет целью составление планов с изображением контуров местности (без рельефа) по фотоснимкам, получаемым с самолетов или дирижаблей. В результате этой аэрофотосъемки м. б. получен *фотоплан* (см.) или графический план контуров. Контурная аэрофотосъемка представляет собой сложный производственный процесс и включает в себя: 1) летно-съемочные работы, задачей к-рых является фотографирование местности с самолета; 2) геодезич. работы по созданию обычными методами геодезии геодезической основы, необходимой для составления по аэроснимкам фотопланов или планов; 3) фотограмметрические работы, полевые и камеральные, имеющие целью превращение аэрофотоснимков в план, т. е. в ортогональную проекцию на горизонтальную плоскость, и 4) фотографич. (лабораторные) работы, связанные с только что указанными работами (1—3). Контурная аэрофотосъемка применяется с выгодой на больших площадях, измеряемых тысячами *км*². Съемка небольших участков нецелесообразна гл. обр. из-за сложности организации летно-съемочных работ, приводящих к высокой стоимости съемки единицы площади. Наиболее подходящей для контурной аэрофотосъемки является местность с умеренным рельефом (не горная) при обилии контуров. Контурная аэрофотосъемка применяется от крупных масштабов (1 : 1 000) до мелких (1 : 100 000). В СССР контурная аэрофотосъемка имеет широкое применение при составлении фотопланов и планов средних масштабов (1 : 10 000—1 : 50 000). В настоящее время ведутся работы по освоению мелкомасштабной аэрофотосъемки (1 : 100 000); эта аэрофотосъемка должна получить широкое применение при топографич. изучении обширных необжитых и малообжитых пространств Сибири и севера Европейской части Союза.

2. Контурно-комбинированная аэрофотосъемка дает на фотоплане или чертежном плане контуры местности и ее рельеф; при этом контуры получаются так же, как при контурной аэрофотосъемке, а рельеф наносится на отдельные отпечатки или на фотоплан обычными методами наземных топографич. съемок (мензульная съемка). Графич. (чертежные) планы, получаемые в результате контурно-комбинированной аэрофотосъемки по внешности ничем не отличаются от планов, получаемых в результате топографич. съемок; фотопланы же отличаются тем, что контуры изображены в фотографическом тоне, а рельеф выражен на фотоплане горизонталями. Наиболее подходящей для применения контурно-комбинированной аэрофотосъемки следует считать местность с холмистым рельефом и сложными контурами. В СССР контурнокомбинированная аэрофотосъемка имеет широкое применение в масштабе 1 : 25 000 и 1 : 50 000. Получаемые при этом результаты по точности не уступают результатам мензульной инструментальной съемки, перед к-рой этот вид Ф. имеет преимущество (при масштабе 1 : 25 000) в следующих отношениях: стоимость контурно-комбинированной аэрофотосъемки 1 *км*² на 25% ниже стоимости мензульной съемки, а производительность полевых работ примерно в 2—3 раза выше. При съемке в масштабе 1 : 50 000 преимущество контурно-комбинированной аэрофотосъемки перед мензульной в отношении производительности и стоимости уменьшается, но все же оно имеется, за исклю-

чением местностей, бедных контурами и с одно-образным рельефом (напр. степные области Поволжья); в таких местностях оказывается более выгодным применение наземной мензульной съемки. Для масштаба 1:100 000 при современном состоянии контурно-комбинированной аэро-

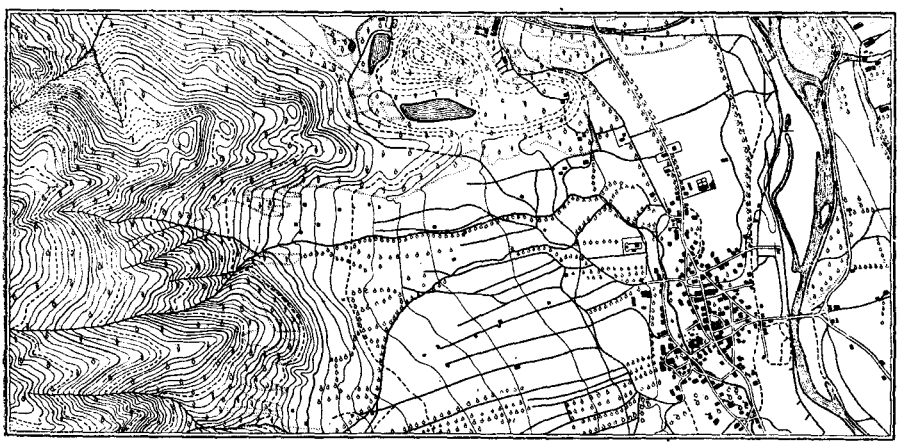


Фиг. 2.

фотосъемки преимущество пока остается на стороне наземной мензульной съемки.

3. Высотно-стереоскопическая аэрофотосъемка дает полные топодезич. работ при этой аэрофотосъемке приходится лишь небольшая дополнительная съемка отдельных участков, к-рые оказались пропущенными при фотографировании или для к-рых по тем или иным причинам не представляется возможным получение плана по аэроснимкам. В зависимости от способа обработки аэроснимков высотно-стереоскопич. аэрофотосъемка м. б. расчленена на отдельные виды, из к-рых наибольшее применение, а в СССР исключительное, получила стереофотограмметрическая аэрофотосъемка. При этой Ф. работа по составлению планов по аэрофотоснимкам («обработка аэроснимков») производится на основе свойств стереоскопического зрения (см. *Стереоскопия*). Ф. с самолета производится с таким расчетом, чтобы каждая часть снимаемой местности сфотографировалась на двух аэроснимках, представляющих собой стереоскопич. пару. Для обработки стереоскопич. пар аэроснимков создан целый ряд инструментов—стереопланиграф (фиг. 1), аэрокартограф (фиг. 2) и проч.

В СССР находится в стадии изготовления планиграф Дробышева, предназначаемый для той же цели. В результате обработки аэрофотоснимков на этих инструментах получается графич. (чертежный) план (фиг. 3). Особенностью стереофотограмметрич. аэрофотосъемки является то, что горизонтали получаются на плане не путем интерполирования, как это имеет место при геодезич. съемках, а карандаш инструмента автоматически наносит на план ту горизонталь, к-рую желает получить производитель работ, наблюдая через окуляры инструмента оптич. изображение (модель) местности; поэтому планы, получаемые при стереофотограмметрич. аэрофотосъемке отличаются более высокой точностью, чем при мензульной съемке, если масштаб стереоскопич. изображения (модели) достаточно крупный. Стереофотограмметрич. съемка применяется в местах с резко выраженным рельефом. Местность равнинная и закрытая мало пригодна для стерео-



Фиг. 3.

графич. планы: в результате фотограмметрич. обработки аэроснимков получается графич. (чертежный) план не только контуров, но и рельефа местности. На долю наземных геофотограмметрич. аэрофотосъемок. Высотно-стереоскопич. аэрофотосъемка так же, как контурная и контурно-комбинированная аэрофотосъемки, и по тем же соображениям применяет-

ся гл. обр. при съемке значительных участков. Существующая аппаратура и методы работ позволяют применять стереофотограмметрич. аэрофотосъемку как для крупных масштабов (1 : 2 000 и даже крупнее), так и для мелких (1 : 50 000—1 : 100 000). В СССР стереофотограмметрическая аэрофотосъемка применяется в масштабе 1 : 25 000; получаемые результаты отличаются высокой точностью, а стоимость съемки 1 *км*² примерно равна стоимости мензульной инструментальной съемки. Однако несмотря на это стереофотограмметрич. аэрофотосъемка не получила пока у нас такого же широкого применения, как контурная и контурно-комбинированная аэрофотосъемки. Для широкого применения стереофотограмметрич. аэрофотосъемки в масштабе 1 : 25 000 потребовалось бы значительное количество инструментов для обработки аэрофотоснимков, так как производственные возможности одного инструмента сравнительно невелики. Напр. на стереопланиграфе в течение года при работе в 3 смены можно получить планы масштаба 1 : 25 000 для площади 1 000—1 500 *км*². Производство таких сложных инструментов, как стереопланиграф, аэрокартограф, в СССР еще не налажено; стоимость же импортного оборудования слишком высока (стереопланиграф—37 000 зол. руб., аэрокартограф—20 000 зол. руб.). При переходе к съемкам более мелких масштабов (1 : 50 000—1 : 100 000) производственный эффект от применения стереофотограмметрической аэрофотосъемки при существующей аппаратуре и методах работ сильно уменьшается. С применением стереофотограмметрической аэрофотосъемки для крупных масштабов (1 : 2 000—1 : 5 000) работы свелись бы к съемке небольших участков, что является нецелесообразным для летно-съемочных работ. В настоящее время ведутся работы по разрешению актуального вопроса о мелко-масштабной высотно-стереоскопич. аэрофотосъемке.

4. Наземная *фототеодолитная съемка* (см.) имеет целью получение полного топографич. плана; фотографирование местности производится с земли или с палубы корабля. В зависимости от способа обработки снимков фототеодолитная съемка подразделяется на фотограмметрич. и стереофотограмметрич. Ф. Отдел геодезии, занимающийся изучением всех видов Ф., некоторые специалисты называют фототопографией. Наряду с этим термином за последнее время все чаще и чаще начинает появляться новый термин—фотогеодезия, который охватывает все виды фототопографич. съемок и *фототриангуляцию* (см.).

Лит.: Найденов В., Измерительная фотография, М., 1922; Соколов П., Материалы к курсам проективной геометрии и контурной аэросъемки, М., 1931; Келль Н., Пространственная обратная засечка в фотограмметрии, Л., 1931; Александапольский Н., в книге курса геодезии под ред. Красовского, ч. 2, М., 1930; Ганочко Г., Курс фототопографии, Л., 1930; Тилле Р., Фототопография в современном развитии, т. 1—3, СПБ, 1908—09; Gruber O., Ferienkurs in Photogrammetrie, Stg., 1930; Gast P., Vorlesungen über Photogrammetrie, Lpz., 1930; Hugershoff R., Photogrammetrie und Luftbildwesen (в книге Handb. d. wissenschaftl. u. angewandt. Photogr., hrsg. v. A. Hey, B. 7, B., 1930); Roussilhe H., Emploi de la photographie aérienne aux levers topographiques à grande échelle, P., 1930.

Н. Александапольский.

Фотографирование с самолета, аэросъемка, совокупность действий по фотографированию земной поверхности и находящихся на ней объектов. Эти работы могут производиться также с дирижаблей, но в настоящее время работа с последних ограничена отдельными эпизодич. заданиями и не получила широкого производственного применения. Фотографирование с самолета преследует цели: а) получение путем обработки аэроснимков карт, планов, *фотопланов* (см.), фотосхем отдельных участков или значительных районов; б) выявление и изучение каких-либо отдельных данных или объектов на местности. В первом случае фотографирование с самолета является лишь одним из основных процессов всей аэрофотосъемочной работы. Работы второго типа могут встречаться в большом объеме независимо от первой задачи, как напр. при разведке—изучении необследованных областей районов; при съемках в целях статистики с.-х. культур, фиксирования отдельных стадий или итогов крупных объектов соцстроительства; для определения границ наводнения, площади и характера разрушений при землетрясениях или лесных пожарах, определения площадей залежки тюленей и моржей в зверобойных экспедициях и т. д. В соответствии с указанными целями фотографирование с самолета должно удовлетворять определенным требованиям: а) основным—геодезич. и фотограмметрическим, б) качественным и в) требованиям к содержанию аэроснимков. Для специальных военных целей фотографирование с самолета производят также ночью, освещая земную поверхность парашютами с горящими световыми составами (длительность горения 3—4 мин.).

Основные требования, к-рым должно удовлетворять фотографирование с самолета, следующие: 1) каждый отдельный аэронегатив, а также полученные с него отпечатки (аэроснимки) должны представлять собой неискаженную центральную перспективу. 2) Для каждого аэронегатива должны быть известны элементы внутреннего ориентирования с требуемой для данного случая точностью; при съемке с многообъективными аэрофотоаппаратами в особенности важно знать элементы взаимного ориентирования между отдельными аэронегативами и оптической осью отдельных объективов. 3) Во время экспонирования положение оптич. оси объектива как в вертикальной плоскости (отвесное или наклонное), так и по направлению этой плоскости должно соответствовать заданному с требуемой точностью. 4) При съемке площади между отдельными аэроснимками д. б. взаимное перекрытие как вдоль по маршруту (продольное перекрытие), так и с аэроснимками соседних параллельных маршрутов (поперечное перекрытие). Величина требуемого перекрытия исчисляется в зависимости от а) допустимого, по требуемой точности съемки, нарушения подобия аэроснимка по отношению к ортогональной проекции, получающегося вследствие наличия рельефа местности и отклонения оптич. оси объектива от отвесного положения; б) искажения углов и в) принятого использования аэроснимков для развития геодезич. основы (сети опорных пунктов) (см. *Фототриангуляция*). 5) При фотографировании с самолета, предусматривающем в дальнейшем получение карт с рельефом, в частности по принципу использования стереоскопич. зрения, взаимное ориентирование каждой стереопары аэроснимков должно удовлетворять специальным требованиям принятого метода обработки стереоскопич. пар аэроснимков; в этом случае объектив аэрофотоаппарата, размер аэроснимков, наклон оптической оси д. б. также согласованы с применяемыми для обработки аппаратами и приборами. 6) Схема покрытия (направление съемоч-

ных маршрутов, разбивка площади участка, длина маршрутов, очередность участков и т. д.) должна учитывать: а) специальные требования аэросъемочного самолетовождения, б) условия ориентировки и характер рельефа местности, в) д. б. увязана с планом и схемой проведения работ по геодезич. обоснованию фотографирования и г) д. б. увязана со сроками работ. 7) Резкость изображения должна соответствовать требуемой точности измерения; как общее правило она должна максимально приближаться к разрешающей способности фотоэмульсии; при выполнении этого условия возможно применять большое увеличение как при измерении и обработке аэронегативов, так и в целях дешифрирования деталей.

Качественные требования, к-рым должно удовлетворять фотографирование с самолета, преимущественно чисто фотографического характера: контрастность, правильность цвета передачи или выделение (при демаскировке) отдельных оттенков, плотность изображения, равномерность покрытия всей площади аэроснимка и т. д. Зависимость этих качеств от фотоэмульсии, фотоматериалов и фотолабораторных процессов изучается в фотографии и аэрофотографии. При фотографировании с самолета следует учитывать зависимость качества от условий съемки и аппаратуры: высота солнца, атмосферно-оптич. условия, окраска объектов, подбор светофильтра, длительность экспозиции, оптическая юстировка аэрофотоаппарата, работа перематывающего и выравнивающего фильму механизма аэрофотоаппарата, работа затвора, качество, состояние и регулировка амортизации фотоустановки и т. д.

Различают следующие основные методы фотографирования с самолета: а) вертикальное с отвесным положением оптич. оси объектива аэрофотоаппарата; б) перспективное с наклонным положением оптич. оси; в) комбинированное с производством как перспективного, так и вертикального фотографирования. Для целей высотной аэрофотосъемки производится преимущественно перспективное фотографирование с самолета. При перспективном и комбинированном фотографировании с самолета следует различать два основных случая. 1) Фотографирование производится одним аэрофотоаппаратом (обычно однообъективным), причем его наклон и направление съемки изменяют: а) от руки, как напр. при канадском методе съемки; б) путем качания аэрофотоаппарата в специальной установке от руки или от мотора (Хюгерсгоф) и в) путем помещения перед объективом подвижной системы призм (Ленинградский НИИ по аэросъемке). 2) Фотографирование производится многообъективным аэрофотоаппаратом. В первом случае (одним аппаратом) (м е т о д р а з р ы в н ы х с н и м к о в) покрытие площади ведется аэроснимками, имеющими между собой неопределенное перекрытие и неизвестное взаимное ориентирование; этим усложняется последующая обработка аэроснимков и понижается точность результатов. Во втором случае каждый агрегат одновременно снятых многообъективными аэрофотоаппаратами аэроснимков может быть использован как одно геометрическое целое по известным константам внутреннего взаимного ориентирования. При выборе съемочного масштаба руководятся следующими соображениями: 1) сдаточным масштабом планов или карт, являющихся конечной целью и определяющих требования к точности и содержанию, 2) предположенными методами и техническими средствами последующей камеральной обработки и 3) требованиями к д е ш и ф р и р о в а н и ю, т. е. к опознаванию на аэроснимках объектов местности. Максимальный масштаб ограничен техникой работы: а) при работе с центральным затвором ($^1/_{300}$ ск.) масштаб берется до 1 : 1 000, б) для шторных затворов (с экспозицией до $^1/_{1200}$ ск.) масштаб м. б. доведен до 1 : 250. Максимально крупный масштаб имеет особое значение в военном применении. Минимальный масштаб, в особенности при перспективном фотографировании с самолета, неограничен. Здесь руководятся требованиями, предъявляемыми к дешифрированию, и возможными в дальнейшем увеличениями. Для целей мелкомасштабных карт минимальный масштаб лежит в пределах 1 : 40 000—1 : 60 000. В специальных случаях (географическое обследование, арктика) могут применяться более мелкие масштабы.

Основные работы при фотографировании с самолета состоят в прокладке в воздухе аэросъемочных маршрутов для покрытия всей снимаемой площади с соблюдением вышеперечисленных основных требований. Работа требует большой тренировки, особенно при съемке районов, не имеющих карт для ориентировки во время полета, и при повышенных требованиях точности. Точность результатов является основным критерием при оценке качества фотографирования с самолета; ею определяются в значительной степени методы последующих процессов, степень их сложности, стоимость и наконец точность конечного результата. Точность зависит от следующих основных факторов: 1) характеристики применяемого самолета (устойчивости его пути и положения, управляемости, запаса мощности и скорости полета); 2) опытности, тренированности и согласованности в работе летчика и аэросъемщика; 3) состояния атмосферы, связанного в свою очередь с высотой полета, рельефом местности, временем съемки; 4) наличного специального аэронавигационного оборудования, точности его применения и уменья вполне им воспользоваться. Ориентировкой в указанном вопросе могут служить табл. 1 и 2. В табл. 1 угол α взят между оптич. осью фотообъектива и вертикальной плоскостью, перпендикулярной продольной оси симметрии самолета (продольный наклон); угол β взят между оптич. осью фотообъектива и вертикальной плоскостью, проходящей через ось симметрии самолета (поперечное отклонение или «крен»); угол I взят между оптич. осью фотообъектива и линией отвеса; ΔH—колебание высоты полета в одном полете; ΔZ—колебание высоты между полетами; $\Delta Z = 0{,}156 \left(\frac{H}{100}\right)^2$. Необходимо оговорить, что цифры в табл. 1 и 2 даны повышенные, полученные из работ опытных кадров и специальных исследований. При мало тренированных кадрах аэросъемщиков и недостаточном использовании современного аэронавигационного и специального оборудования ряд цифр может дать снижение точности. Дальнейшее повышение качества и точности требует: перехода на специальные аэросъемочные самолеты, создания специальных методов и инструментов аэросъемочного самолетовождения. В связи с крайне незначительным картографическим освоением территории СССР особо ценным является значительная производитель-

Табл. 1.—Точность основных элементов работ при фотографировании с самолета.

Исследуемая величина	% аэроснимков, у к-рых углы находятся в пределах							
	0÷1/2°	1/2÷1°	1÷1 1/2°	1 1/2÷2°	2÷2 1/2°	2 1/2÷3°	3÷3 3/4°	Средняя
Угол α	35	31	18	10	4	2	—	0,87°
Угол β	32	28	20	15	4	1	—	0,92°
Угол l	10	25	25	20	12	5	3	1,38°

	% аэроснимков, у к-рых колебание высоты находится в пределах (в м)						
ΔH	0÷10	10÷20	20÷30	30÷40	40÷50	50÷60	
	45	35	14	5	1	—	±15

	Высота съемки H (в м)					
ΔZ	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
	15,6	62,5	140	250	300	350

ность фотографирования с самолета. Основной мерой определения производительности одного самолета является длина аэросъемочных маршрутов, проложенных за один час работы в воздухе над участком съемки, т. н. производительность в n. км/ч. При одной и той же производительности площадь съемки может значительно отличаться в зависимости от масштаба, метода, технич. средств и т. д. и поэтому не может служить мерой сравнительной оценки работы разных самолетов. Мерой оценки производительности может служить степень приближения производительности в n. км в съемочный час к скорости полета самолета. В частности при фотографировании с самолета наиболее выгодным является работа не на максимальной скорости, а на т. н. наивыгоднейшей (см. *Аэродинамика*). Если длительность полета не ограничена погодой или запасом фильмы, то наивыгоднейшая скорость даст наибольшую длину съемочных маршрутов для имеющегося запаса горючего. В случае ограничения полета погодой или запасом фильмы каждой длительности соответствует своя скорость полета. Число n. км/ч фотографирования с самолета не может определяться скоростью полета, так как всегда есть потери на: а) заходы с маршрута на маршрут (3—6%), б) из-за ветра (сносы) (5—20%), в) по перекрытию участков у границы съемки, г) пропуски и брак. Общая длительность полета кроме времени на фотографирование еще заключает: а) время для набора высоты, б) перелет от и до участка (если нехватает времени для набора высоты), в) возвращения и спуска. Кроме того имеется расход «летчасов» на пробу самолета, перелет в район съемки из центра или другого района и т. д. Все эти расходы различны для каждых условий и организации съемки. Приближенно съемочные часы составляют 20—50% летных часов, к-рые исчисляются для каждого задания отдельно.

Стоимость собственно летной работы (самолета) довольно значительна; в общей стоимости всех работ по фотографированию с самолета в целом она может составлять 10—50% стоимости. Значение достаточной нагрузки самолета за сезон приведено в табл. 3.

Табл. 2.—Характеристики точности проведения фотографирования с самолета.

Наименование данных	Величина	Примечание
Средняя ошибка направления маршрута при вождении по компасу с расчетом курса следования	± 2°	—
Колебание азимута сторон отдельного аэроснимка или отдельных участков маршрута (длина 2—4 км)	± 5°	Для тренирован. экипажа
Ошибка установки оптич. оси фотообъектива на самолете против заданного положения (при неподвешенной фотоустановке, допускающей выверку по уровню в период установившегося режима полета)	± 1/2°	Только при тщательн. работе аэросъемщика
Ошибка измерения угла сноса и ориентирования аэрофотоаппарата по направлению движения	± 2°	При измерении оптич. или бортовым визиром
Колебание продольного перекрытия в % от заданного	3%	—
Колебание поперечного перекрытия в % от заданного при работе:		Треб. большой тренировки и угла визирования не более 45°
а) без бортового визира	26%	
б) с засечкой по бортовому визиру	10%	
Длина съемочного маршрута, проложенного на основании расчета времени	3%	—

Табл. 3.—Зависимость стоимости работ от нагрузки самолета.

Число летчасов за сезон	50	100	150	200	250	300
Стоимость летчаса в руб.	1 222	682	502	412	358	322
Число летчасов за сезон	350	400	450	500	550	600
Стоимость летчаса в руб.	294	277	262	250	240	232

Как видно, для снижения стоимости кроме развития методов, технич. средств и производительности труда важно: а) возможно полнее использовать сезон, маневрируя летным парком путем передвижек самолетов по климатич. зонам из одной аэрофотосъемочной партии в другие, по определенному расчету времени, б) максимально использовать каждый съемочный день, в) дать полную загрузку самолета работой по заданию. Развитие гражданских работ по фотографированию с самолета в СССР приведено выше в табл. 4.

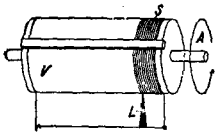
Табл. 4.—Развитие в СССР аэрофотосъемочных работ (по годам).

Показатели	1925	1926	1927	1928
Действующие самолеты	2	3	5	5
Площадь, км²	920	5 620	16 390	30 782
Нагрузка на самолет, км²	460	1 879	3 280	6 140
Показатели	**1929**	**1930**	**1931**	**1932**
Действующие самолеты	6	15	20	18
Площадь, км²	34 800	114 000	103 000	115 000
Нагрузка на самолет, км²	5 750	7 600	5 180	6 380

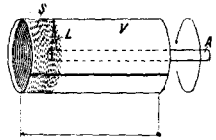
Цват-Колядинский.

ФОТОТЕЛЕГРАФИЯ, телефотография, передача телеграфными методами по проводам или по радио неподвижных изображений, например рукописей, фотографий и т. п. Проблема передачи по проводам автографов и рисунков была принципиально решена в виде целого ряда конструкций, предложенных даже ранее изобретения телефона. Таковы были приборы Бэн (1843), Бэквелл (1847), Казелли (1851), Жерар (1865), д'Арлинкур, Амштютц (1893) и многие другие, пока в 1903 г. Артур Корн не дал совершенно законченной конструкции своего аппарата фототелеграфа. Интерес к аппаратам Ф. возобновился с развитием электронных усилителей, применение которых ко всем выше перечисленным конструкциям дало сразу возможность работать на большие расстояния. Поэтому большинство современных систем Ф., за немногими исключениями (Корн, Ренджер, Экстрем), лишено существенной оригинальности, хотя и связано с новыми именами фирм и изобретателей.

В основном принцип Ф. сводится к следующему. На передающей станции имеется механизм, при помощи к-рого изображение м. б. обследовано скользящим по нему специальным

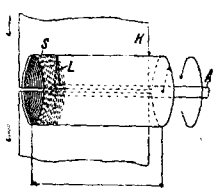


Фиг. 1.

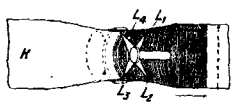


Фиг. 2.

механическим контактом, влияющим на электрическое состояние линии в зависимости от нахождения этого контакта на темных и белых местах, или оптич. способом, т. е. фотоэлектрическим устройством, к-рое также дает сигналы различной амплитуды и продолжительности, в зависимости от количества света, отраженного или пропускаемого данной частью изображения. Элементарная площадка изображения, имеющая совершенно одинаковый коэф. отражения или пропускания света, в зависимости от степени ее черноты называется элементом изображения. Самые совершенные фотографии, изготовленные без применения специальной эмульсии, имеют не более 600 000 элементов изображения, и на это число элементов рассчитываются современные системы фототелеграфных аппаратов. Процесс последовательной передачи и воспро-



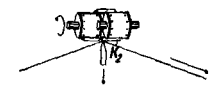
Фиг. 3.

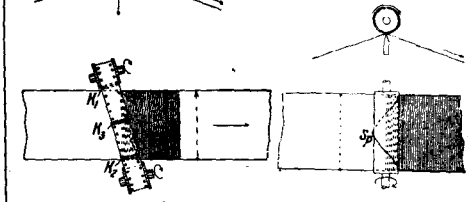


Фиг. 4.

изведения электрич. сигналов, эквивалентных элементам изображения, называется разложением изображения, а механизмы, совершающие этот процесс,—механизмами разложения, или развертки, изображения, составляющими главную сущность системы приборов. Термин «разложение изображения» применяется безотносительно того, совершается ли передача или прием изображения, и в русской терминологии понятие «синтез изображения» употребляется редко. Разложение изображения осуществляется механизмом, который перемещает оптич. или механический искатель L или само изображение по отношению искателя. Наиболее простая форма такого механизма—это комбинация цилиндра V с наложенным на него изображением S, причем к искателю L неподвижен (фиг. 1). При этом цилиндр V, вращаясь, перемещается и в направлении оси A. Чаще встречается вариант, когда цилиндр V только вращается, а искатель L равномерно перемещается параллельно оси A цилиндра при помощи ходового винта, как напр. это сделано в фонографах. Иногда искатель L помещается внутри цилиндра, совершая вращательно-поступательное движение (фиг. 2). В этой комбинации изображение может находиться на широкой ленте K, протягиваемой по мере окончания передачи (фиг. 3). Иногда для передачи изображения с ленты K эта последняя протягивается внутри цилиндра параллельно его оси, а искатели L_1, L_2, L_3, L_4 вращаются также внутри цилиндра (фиг. 4). Для передачи с непрерывно движущейся ленты удобна система движения искателя перпендикулярно ее движению по прямым линиям или по дугам, что осуществляется помещением искателей L_1—L_8 на специальное колесо A, бесконечную ленту K_1—K_3, или приданием ему формы бесконечного винта S_p (фиг. 5, 6, 7).

Фиг. 5.

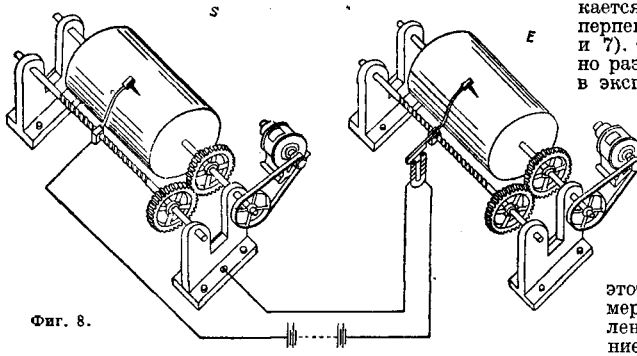




Фиг. 6. Фиг. 7.

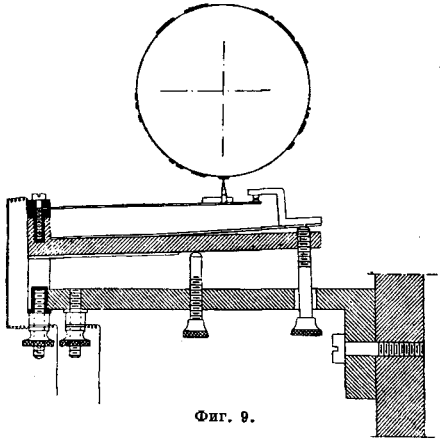
Самая передача наиболее простого штрихового изображения осуществляется следующим способом. Рисунок наносится на фольговый лист изолирующими чернилами, который затем навертывается на валик прибора (фиг. 8, S — передатчик, E — приемник). Контакт в виде легкого рычажка скользит по поверхности валика, размыкая электрич. цепь линии или реле при нахождении конца рычажка на изолирующих частях цилиндра. Э. Белен изменил эту систему, заменив фольговый лист с изображением бумажным, на к-ром рукопись пишется специальными чернилами, т. ч. буквы становятся рельефными. Обследующий механизм, имеющий вид замыкателя из двух легких пружинок (фиг. 9), работает на местную цепь реле, подающего сигналы в линию. Для передачи настоящих фотографий по такому принципу, например в системе Белена, фотография печатается на особой бумаге и после обработки становится рельефной. Скользящий по изображению замыкатель заменяется специальным шариковым микрофоном (фиг. 10), к-рый осуществляет модуляцию энер-

гии местных источников тока. Аппараты Белена (приемное устройство описано ниже) дают фотографии высокого совершенства, не хуже переданных новейшими аппаратами, и обладают лишь одним весьма существенным недостатком—слишком большой медленностью переда-

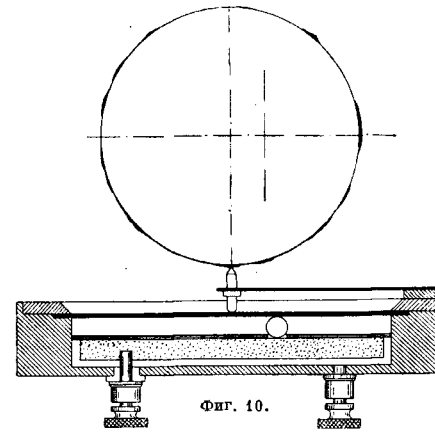


Фиг. 8.

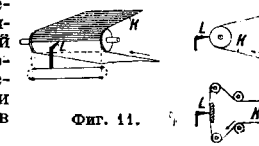
чи, так как в приборе передается не оригинал фотографии, но с нее делается специальный снимок на особую бумагу. Белен назвал свой аппарат телестереографом. Приборы его системы были установлены в Париже, Страсбурге и Лионе. Направление движения скользящего по изображению контакта или просвечивающего его луча света имеет важное принципиальное значение. При передаче изображения с барабана размеры изображения определяются самим барабаном и имеют ограниченную поверхность. Принципиальное отличие в работе механизмов разложения изображения было введено Ренджером (R. C. A.). В этой системе (фиг. 11) обследывающий механизм *L* (контактный или иной) движется сам, в то время как цилиндр, на к-ром наложено


Фиг. 9.

изображение, стоит неподвижно, причем движение контактной системы совершается параллельно оси цилиндра. Цилиндр поворачивается лишь на следующую строчку развертки изображения во время обратного хода контактного приспособления. Такой прием имеет то преимущество, что изображение может передаваться с широкой, очень длинной ленты *K*, сматывающейся с рулона и находящейся на цилиндре лишь для обследования его по строчкам. Этот принцип в иных формах выполнения был осуществлен фирмой Сименс и Гальске и «International Telephone Co.», в которой длинная лента с изображениями пересекается обследывающими устройствами перпендикулярно ее движению (фиг. 6 и 7). Однако наиболее конструктивно разработанные системы, вошедшие в эксплоатацию, построены по принципу передачи изображения с барабана, только системы Ренджера и Сименса работают с рулона, приобретая за последнее время особо важное значение для передачи газет. Новейшие разработки в области Ф. направлены именно на передачу изображений с бесконечной ленты, т. к. только этот принцип может сделать Ф. коммерчески рентабельной. Приспособление, обследывающее изображение, в виде контакта применяется теперь лишь в легких, портативных приборах для передачи карандашных (графитовых) рисунков. Фирмой Лоренц выпущены приборы с

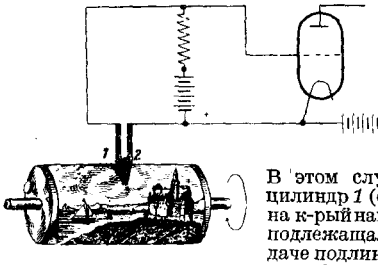

Фиг. 10.

контактными искателями, состоящими из двух тонких металлич. кружков *1* и *2*, разделенных изоляцией (фиг. 12). Часть карандашного слоя вводится этими колесиками в цепь сетки усилителя и является т. о. переменной утечкой, к-рая изменяет ток усилителя. В виду ограниченности применения штриховые аппараты даже в этой более удобной форме имеют очень небольшое значение и почти не вошли в эксплоатацию.


Фиг. 11.

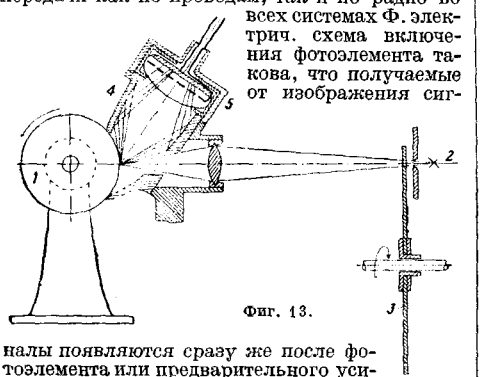
Вместо разложения изображения механич. искателем все современные системы применяют фотоэлектрич. методы. Один из них заключается в просвечивании элементарным лучом негативной или позитивной фотографич. пленки, навернутой на стеклянный цилиндр (Корн) или просто свернутой цилиндром, в соответствующей оправке на оси движущего механизма (Bell System). Внутри цилиндра

помещается фотоэлемент, на который свет попадает в количестве, зависящем от прозрачности данного элемента изображения. Фотосигналы усиливаются электронными усилителями и подаются в линию или же на модулятор радиопередатчика. Эта система опять же требует пересъемки материала, подлежащего передаче, и не м. б. особенно быстрой. Действительным шагом вперед в Ф. является способ передачи изображений отраженным светом (Экстрем, шведский патент 32 220 24/I 1910 г.).



Фиг. 12.

В этом случае на цилиндр *1* (фиг.13), на к-рый навернута подлежащая передаче подлинная фотография, направляется концентрированный пучок света, покрывающий один элемент изображения, *2*—источник света, *3*—диск с отверстиями. Отраженный от элементарной площадки свет захватывается специальным фотоэлементом кольцеобразной формы (Каролюс) или эллипсоидным рефлектором *4* (Зворыкин-Вестингауз), в фокусе которого находится фотоэлемент *5*. Количество света, получаемого по методу просвечивания пленки, значительно больше, чем при работе отраженным светом, но этот недостаток легко восполняется большим коэф-том усиления применяемого в этом случае усилителя. Для удобства усиления и передачи как по проводам, так и по радио во всех системах Ф. электрич. схема включения фотоэлемента такова, что получаемые от изображения сигналы появляются сразу же после фотоэлемента или предварительного усиления в форме переменного тока определенной несущей частоты, но переменной амплитуды, как это получается при модуляции радиотелефонных передатчиков микрофоном. Это позволяет применять для связи по радио радиотелефонные передатчики с модуляторными схемами, мало отличающимися от обычных. Чтобы получить указанный результат—модулированные колебания несущей частоты — эта последняя задается искусственно от отдельного генератора или же создается при помощи механич. прерывания света вращающимся диском с отверстиями. Отдельный генератор несущей частоты

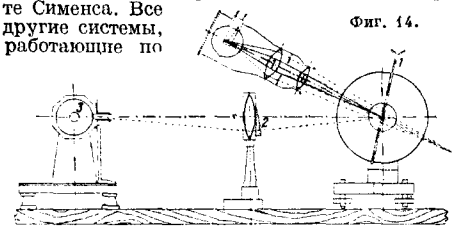


Фиг. 13.

применяется в системе American Telephone Co. (Bell System). Здесь фотосигнал (постоянный) обыкновенно усиливается усилителем постоянного тока, на сетку последней лампы которого подается несущая частота в 2 500 Hz. Фотосигнал, усиленный в первых двух каскадах усиления, перемещает рабочую точку характеристики, пропорционально увеличивая амплитуду несущей частоты на сетке последней лампы. В системе Каролюса перед источником света на пути луча в оптич. системе, концентрирующей свет на элементе изображения, имеется диск с 60 отверстиями по окружности, вращающийся со скоростью 3 000 об/мин., что создает несущую частоту в 6 000 Hz, так что фотоэлемент прямо вырабатывает сигналы 6 000 Hz, модулированные пропорционально яркости отраженного света. Эти сигналы усиливаются электронным усилителем с трансформаторами и поступают на модулятор радиопередатчика или в бронзовую проводную линию, как и в обычной телефонной связи. Применение несущей частоты, практически выгодное с точки зрения упрощения электрич. схем связи (линий и усилителей), вредно отражается на скорости передачи, ограничивая ее в известных пределах, так как на каждый фотосигнал, как найдено опытом, должно приходиться не менее двух полных периодов несущей частоты. При необходимости передать 600 000 точек изображения с несущей частотой 6 000 Hz, считая по два периода на точку, получим время передачи изображения $3^1/_3$ мин. Дальнейшее ускорение передачи вызовет уменьшение числа переданных элементов изображения или потребует увеличения несущей частоты, что м. б. невыгодно в радиотехнич. смысле (увеличение полосы спектра модуляции).

Воспроизведение сигналов на приемной станции осуществляется в наиболее простой форме химич. разложением на бумаге током сигнала. В большинстве систем механизмы приемных частей аппаратов почти не отличаются от передающих и имеют лишь ту особенность, что пишущий контакт скользит по поверхности пропитанной специальным раствором бумаги, на к-рой появляются пятна, пропорциональные по своей контрастности приходящим сигналам. Материал пишущего контакта может принимать участие в химич. реакции электролиза или же служить просто токоподводящим электродом. Работа с контактом, химически реагирующим при воспроизведении изображения, мало удобна, так как такой контакт быстро изнашивается и требует замены при каждом приеме нового изображения. Как пример подобной реакции можно привести пропитывание бумаги железистосинеродистым калием $K_4Fe(CN)_6$ и контакт из железной проволочки. Изображение получается синими штрихами. На практике нашел широкое применение только второй способ химической записи, при которой токоподводящий контакт химически не работает. Наиболее употребительный рецепт такого рода, применяемый в фототелеграфе Сименса, составляется из 100 *г* воды, 10 *г* иодистого цинка, 5 *г* иодистого кадмия и 15 *г* иодистого калия. Бумагу пропитывают раствором заранее и хранят в высушенном виде в рулонах или при работе смачивание совершают специальными валиками (Сименс). В любительском приеме изображений на простых приборах пропитывание производится непосредственно перед наложением бумаги на

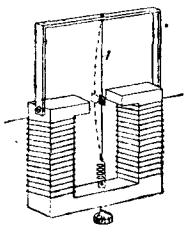
приемный аппарат. Кроме химической записи применяется еще запись нажимом электромагнитного штифта через копировальную бумагу (Дикман) или струей горячего воздуха, выходящего из специального сопла с электромагнитным краном. Но серьезные практич. результаты дала гл. обр. химич. запись, доведенная однако до совершенства только в аппарате Сименса. Все другие системы, работающие по



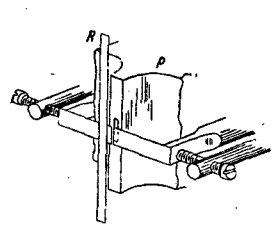
Фиг. 14.

этому способу (Фультон, Неспер, Торн-Бекер, Фрейнд), дают изображения лишь относительно хорошего качества. Поэтому эксплоатационные системы применяют в основном фотографич. запись сигналов, осуществляя трансформацию сигналов в световые импульсы при помощи модуляторов света или вспышками точечной лампочки тлеющего разряда.

Модуляторы света представляют собой механич. или электрооптич. затворы, закрывающие луч света, направленный в оптич. систему, к-рая создает на барабане приемного

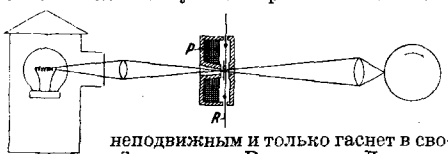


Фиг. 15.



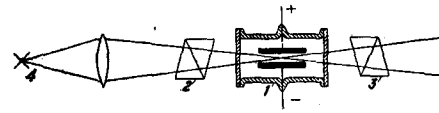
Фиг. 16.

аппарата элементарную освещенную площадку. На барабане навертывается фотографич. бумага, которая, подвергаясь световому воздействию, производит запись сигналов, полученных прибором, и обрабатывается затем как обычная фотография. Механический модулятор сист. Белена (фиг. 14) устроен в форме осциллографич. шлейфа *1*, который отклоняет луч по стеклянному клину *2*, прозрачность к-рого от острого конца к тупому постепенно уменьшается. В виду того что стеклянный клин исправляет отклонение луча от оптич. оси, световое пятно на бумаге барабана *3* остается



Фиг. 17.

неподвижным и только гаснет в своей яркости. В системе Лоренца-Корна луч просто заслоняется струной *1* гальванометра (фиг. 15). В системе American Telephone Co. такой заслон осуществляется поворотом узкой металлич. ленточки *R* в поле мощного электромагнита *P* (т. н. «световой клапан Вента», фиг. 16 и 17). Наиболее совершенным в частотном отношении модулятором света является электрооптический затвор Керра,

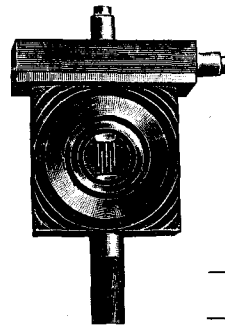


Фиг. 18.

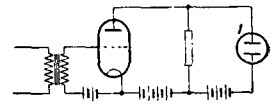
к-рый работает на частотах до 10^9 Hz. Он применяется в аппаратах Каролюса-Телефункен (фиг. 18) и в аппаратах Маркони-Райт. Камера Керра *1* в приборе Каролюса состоит из нескольких параллельных пластинок, число которых меняется от 2 до 9, расположенных, как в конденсаторе постоянной емкости, и погруженных в нитробензол. Световой поток, прошедший через систему николей *2*, *3* и камеру Керра, определяется по ф-ле

$$\Phi = \frac{\Phi_0}{4}(1 - \cos 2\pi BlE^2),$$

где E—градиент напряжения между пластин-

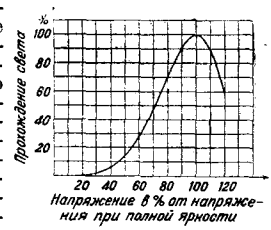


Фиг. 19.



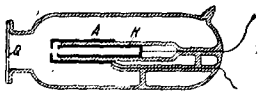
Фиг. 20.

ками, l—длина пути света между пластинками, B—постоянная Керра для нитробензола, равная 30, Φ_0—световой поток источника *4*, падающий на первый николь *2*. Для предохранения пластинок от химич. реакции (покрытия углеродом) с нитробензолом их поверхность покрывается золотом. В простой камере Каролюса-Керра (из двух пластинок) расстояние между пластинками 0,015 *см*, длина их 0,4 *см*. Многопластинчатая камера Каролюса (фиг. 19) имеет 4 пластинки, присоединенные к одному электроду, к-рые расположены между пятью пластинками другого электрода. Поверхность, на которую падает свет, равна 2 *мм*². Модулятор работает с линейной характеристикой в пределах 500 ÷ 900 V, пропуская 16 ÷ 94% света, из него выходящего. Схема включения камеры Керра *1* и ее световая характеристика показаны на фиг. 20 и 21. Лампы тлеющего разряда также могут дать модулированные световые сигналы высокой частоты. Применяемые для записи изображений лампы отличаются от подобных же ламп для *телевидения* (см.) только своими размерами и наполнением газа, свечение к-рого должно давать наиболее богатый химическими лучами спектр. Фирмой Телефункен разработана точечная лампа тлеющего разряда, электроды *A* и *K* которой сделаны в виде двух концентрич. железных трубок (фиг. 22), изолированных одна от другой



Фиг. 21.

стеклянной или стеатитовой трубкой. Разряд совершается в отрицательной части газового пространства. Лампа наполнена смесью аргона и азота, и часть баллона, перед к-рой происходит разряд, закрыта кварцевой пластинкой Q. Опыт показал, что фотографическое действие ламп с кварцевым окошком значительно более интенсивно, чем заключенных в простые стеклянные колбы. R. C. A. применяет газовые лампы с внешним положительным электродом *1* (фиг. 23), но эти лампы требуют питания их несущей частотой или наложения высокой частоты на приеме. Лампы тлеющего разряда должны включаться в оконечную ступень усилителя так, чтобы между электродами было приложено и дополнительное постоянное



Фиг. 22.

напряжение, работа сигнала должна вызывать лишь дополнительное напряжение до свечения газа (фиг. 24). Трансформаторные схемы без достаточного поляризационного напряжения создают обратный сигнал кроме основного, т. е. рядом со светлым импульсом на бумаге появляется импульс темный, и все контуры рисунка оказываются снабженными тенью. Это явление называется в Ф. «пластикой рисунка».

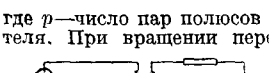
Механизмы разложения изображения передающей и приемной станций должны вращаться совершенно синхронно, т. к. в противном случае даже при небольшом расхождении в скоростях барабанов принятое изображение будет перекошено. Для

Фиг. 23.

стабилизации движения механизмов применяются многополюсные индукционные электродвигатели (фиг. 25), питаемые током от камертонных генераторов. Эти двигатели не насаживаются на одну ось с барабаном изображения, а сцепляются с ним переводными зубчатками. Кроме синхронного двигателя в большинстве установок применяется двигатель постоянного тока обычного типа, действующий на ту же рабочую ось, что и синхронный, т. ч. основной вращающий момент создается двигателем постоянного тока, а синхронный двигатель является лишь коррекционным механизмом. Число оборотов синхронного двигателя ν можно выразить через число колебаний камертона N ф-лой:

$$\nu = \frac{N \cdot 60}{p},$$

где p—число пар полюсов синхронного двигателя. При вращении передающего барабана с изображением световая точка пробегает по его поверхности путь $L = 2\pi R \cdot M$, где R—радиус барабана и M—число оборотов барабана за все время передачи изображения. Если приемный барабан идет со скоростью, отличной от скорости передающего барабана, то путь световой точки на нем будет отличаться на величину $\pm \Delta L$, которая определяет искажение принятого изображения из соотношения $\frac{\Delta L}{L}$. Но можно написать

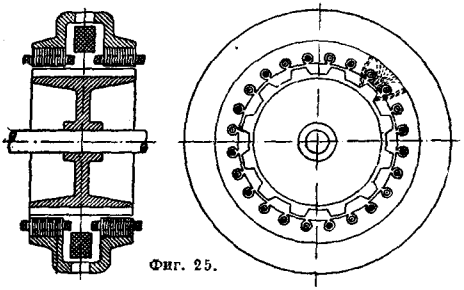

Фиг. 24.

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta L}{2\pi R \cdot M} = \frac{\Delta N}{N},$$

откуда

$$\Delta N = \Delta L \frac{N}{2\pi R \cdot M}.$$

Задаваясь допустимым значением величины перекоса, напр. $\Delta L = 1$ *мм* за все время передачи, найдем допустимое расхождение в работе камертонов. Например для аппарата Каролюса $2\pi R = 220$ *мм*, $M = 500$, $N = 1\,560$ Hz, получаем, что $\Delta N = 0{,}0156$ Hz. Такая точность работы камертонов требует особого к ним внимания в температурном отношении. В виду этого камертоны генераторов помещаются в изотермических сосудах и защищаются от всяких механических толчков. Система стабилизации движения камертонными генераторами принята во

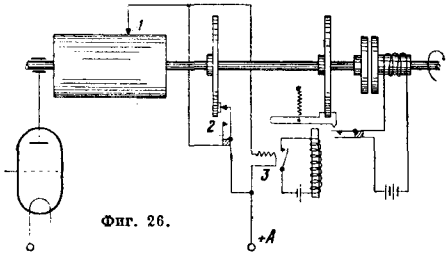

Фиг. 25.

всех фототелеграфах. Несколько отличается синхронизация станций American Telephone Co. (Bell System). Здесь имеется камертонный генератор только на передающей станции и переменный ток, им вырабатываемый, питает после усиления электродвигатель передатчика, а кроме того через систему фильтров направляется в линию, где, доходя до приемной станции, после усиления питает двигатель приемника. Такая система позволяет пользоваться одним камертоном для передачи и для приема, в связи с чем отпадают заботы об его термич. стабилизации, т. к. все изменения в его частоте одинаково изменяют скорость и передатчика и приемника. Но в этой системе имеется тот недостаток, что наличие фильтров в линии вводит еще одно ограничение в самую скорость передачи изображения. Число колебаний камертона определяется ф-лой

$$N = \frac{m^2}{4\pi\sqrt{3}} \frac{a}{l^2} \sqrt{\frac{E}{s}},$$

где m—постоянная, a—толщина ножки, l—длина ее, считая от узла стоячей волны, E—модуль упругости, s—плотность материала. Температурное изменение частоты камертона компенсируется, кроме термостатного окружения его, еще соответствующим выбором стального сплава. Наилучшие результаты дала комбинация: 54% Fe, 36% Ni и 10% Cr, имеющая $t°$-ный коэф. $4 \cdot 10^{-6}$, т. е. в сорок раз меньший, чем в обычной стали. Приборы, передающие и принимающие простые штриховые изображения («фультограф», приборы Дикмана, Неспера), синхронизируются упрощенным способом по т. н. стартстопному методу (фиг. 26). Он заключается в том, что движение передающего барабана, совершаясь непрерывно, подает в начале каждого оборота особый сигнал. В этот момент приемный барабан *1* еще не движется и имеет положение скользящих щеток *2*, подводящих сигнал с линии, на контактах коммутатора, соединенных с элек-

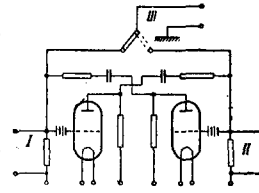
тромагнитным пусковым сцеплением *3*. При наличии стартного сигнала электромагнитное сцепление *3* пускает в ход приемный барабан, причем одновременно с этим дальнейшие сигналы уже попадают со скользящих щеток коммутатора на контакты химич. записи изображения. Совершив один оборот, приемный барабан останавливается до получения нового стартного сигнала. Скорость приемного барабана должна быть несколько выше, чем у передающего, чтобы приемный барабан успел остановиться перед получением стартного сигнала и начать движение одновременно с работой передающего устройства. Этот метод синхронизации, обычно применяемый в телеграфных аппаратах сист. Крида и других, при достаточно хорошей регулировке давал хорошие результаты даже при передаче фотографий (Белен). Передача специального сигнала в начале строчки изображения нашла себе применение и в приборах с автономной синхронизацией для установки фазы изображения (Каролюс-Телефункен, А. Е. Е.). Установка приема изображения в фазное совпадение с передачей,



Фиг. 26.

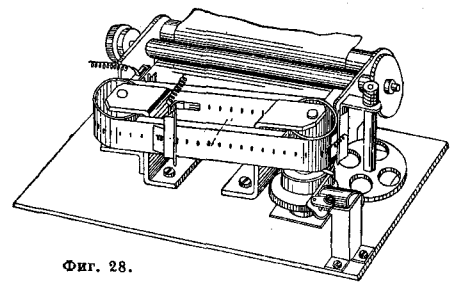
т. е. в такое положение, в к-ром принятое изображение совпало бы своим краем с краем фотографич. бумаги, осуществляется поворотом статора синхронного двигателя, как это принято и в телевидении. Статор двигателя снабжен червячным механизмом для поворота и контактными кольцами, т. ч. правильность фазного положения приема корректируется на ходу. Аппараты Каролюса принимают фазный сигнал (начало строчки) на специальную неоновую лампочку, вращающуюся вместе с ротором двигателя. Вспышка этой лампочки должна находиться перед индикатором начала строчки, что и корректируется поворотом статора.

По принципам работы фототелеграфных аппаратов, изложенным здесь и являющимся общими для многих систем, особняком стоит система Ренджера. В основании этой системы лежит точечное разложение изображения на элементы. В отличие от всех других систем, в которых изображение передается в виде непрерывной модуляции амплитуды несущей волны, как в радиотелефоне, по принципу Ренджера сигналы изображения представляются в виде точек одинаковой амплитуды, но с различными промежутками времени между каждым сигналом. Обычная журнальная иллюстрация имеет около 650 точек на 1 *см*^{2} (в среднем). Для получения же различных градаций оттенков от белого цвета до черного количество точек доходит до 2 500 на 1 *см*^{2}. Размеры точки (элемента изображения) зависят от оптических свойств системы разложения изображения и в данном случае применяются от 0,05 *мм*^{2} и меньше. Расположение таких точек по белой бумаге с различной степенью густоты дает различные градации теней рисунка. Т. о. эта система должна иметь специальную электрич. схему, к-рая автоматически создавала бы переменные токи различной частоты, в зависимости от яркости данного элемента изображения. Это осуществляется след. обр. (фиг. 27). Фотоэлемент (*I*, *II*— сигналы от фотоэлемента) включается в управление цепью сеток ламп *мультивибратора* (см.) и меняет внутреннее сопротивление их, изменяя частоту генерирования от нескольких Hz до нескольких тысяч. В



Фиг. 27.

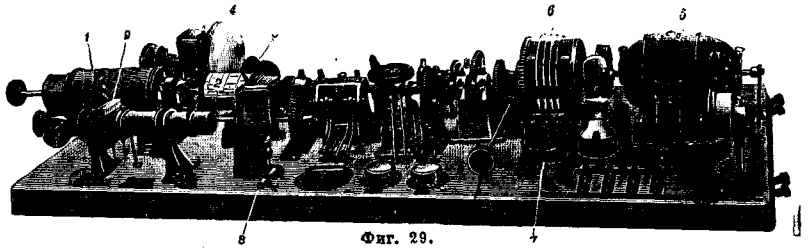
зависимости от освещения фотоэлемента схема генерирует *релаксационные колебания* (см.) переменной частоты и постоянной амплитуды, осуществляя т. о. принцип, изложенный выше (*III*—реле передатчика). Преимущества системы Ренджера особенно важны в условиях дальней связи, когда амплитудная модуляция всех других систем вследствие *замираний* (см.) вносит искажения в распределение оттенков изображения, в то время как работа сигналов точечного характера не подвергается подобным искажениям, так как амплитуда их искусственно держится постоянной, а явление замирания на временное распределение сигналов не оказывает влияния. На передаче, как уже указывалось выше, разложение изображения совершается параллельно оси барабана, по к-рому протягивается лента с изображениями. Сигналы получаются от оптической системы типа проекционного микроскопа, который проектирует увеличенное изображение части рисунка на стенку коробки с фотоэлементом с элементарной диафрагмой. Изображение освещается лампочками, расположенными в рефлекторе, в середине к-рого находится объектив микроскопа, т. ч. в этой части прибора работа идет по принципу непосредственного


Фиг. 28.

обследования изображения отраженным светом. Новейшим аппаратом, также работающим на рулон бумаги с изображениями, является приемное устройство «Bandchemographe» фирмы Сименс и Гальске (фиг. 28). Синтез изображения осуществляется бесконечной лентой с металлическими накладками, расположенной наклонно к рулону бумаги. Накладки прижимаются к бумаге, под к-рой находится контактный электрод в виде призмы. Запись изображения производится химич. путем.

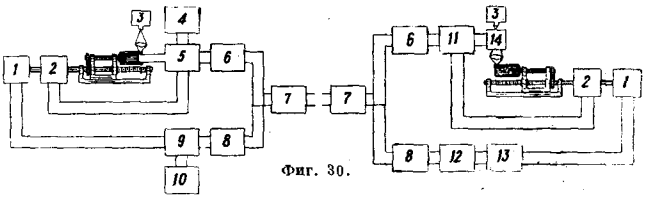
Барабанные аппараты фирм Телефункен-Каролюса, Маркони-Райта, Вестингауза-Зво-

рыкина, American Tel. and Tel. Co. и Белена уже вошли в эксплоатацию как по проводам, так и по радио. Аппарат Телефункен-Каролюса, наиболее разработанный из всех упомянутых, представлен на фиг. 29. На одной и той же оси насажены приемный *1* и передающий *2* барабаны. Фотоэлемент кольцевого типа заключен в камеру *3*; луч света проходит через перфорированный диск *4* и оптическую систему и попадает на барабан *2*. Ведущий электродвигатель *5* постоянного тока на 110 V, 1,24 A, на одной оси с синхронным *6*, ток к которому подводится через трансформатор *7*. Кольца на двигателе *6* позволяют поворачивать статор и менять фазу изображения. Приемный



Фиг. 29.

барабан получает световые импульсы от лампы *8*, которая посылает луч через конденсатор Керра *9* и призмы полного внутреннего отражения. Размеры изображения на барабане 100×220 *мм*, причем шаг винта, перемещающего барабан, поступательно равен 0,2 *мм*, т. е. в развертке приходится 5 строк на 1 *мм*. Аппараты этого типа приняты для связи в СССР (Ленинград—Москва и др.) и изготовляются Центральной лабораторией проводной связи. Аппарат American Tel. and Tel. Co.—один из немногих образцов, вошедший в эксплоатацию, с работой по методу просвечивания пленки. Пленка свертывается в виде цилиндра длиной по оси 20 *см* и диам. 4,5 *см*, что дает полезную высоту изображения 12,5 *см*. Внутри цилиндра по его оси перемещается фотоэлемент, подвигаясь за каждый оборот на 0,254 *мм*. Цилиндр совершает 90 об/мин. и работает от камертонного генератора на 400 Hz. Переменный ток для работы двигателя (от камертона) подан в одну и ту же линию, что и сигнал от изображения, через полосные фильтры, и на приеме после дополнительного усиления разделяется также фильтрами. Схема этого устройства показана на фиг. 30, где *1* — электродвигатель, *2* — пусковой механизм, *3* — лампа, *4* — генератор несущей частоты изображения, *5* — усилитель с модуляцией, *6*—фильтр сигналов изображения, *7* — линейные усилители, *8*—фильтр частоты синхронизации, *9*—камертон, *10*—генератор, управляемый камертоном, *11*—усилитель сигналов изображения, *12*—усилитель сигналов синхронизации, *13*—вторичный камертон, *14* — световое реле. Аппараты Белена, которые разработаны в последнее время, работают также по методу отраженного света (Экстрем-Каролюс), но применяют на приеме прежний мотод осциллографич. модуляции света, дающий весьма хорошие результаты. Аппараты Маркони-Райта применяют систему от-



Фиг. 30.

ражения света, обследуя изображения лучом от специальной оптич. системы, вращающейся внутри стеклянного цилиндра. Прием осуществляется химич. путем. Большинство вариантов разверток барабанных аппаратов вызвано скорее патентными соображениями, а не действительной целесообразностью конструкции. Наиболее простой аппарат, Каролюс-Телефункен, дает наилучшие результаты.

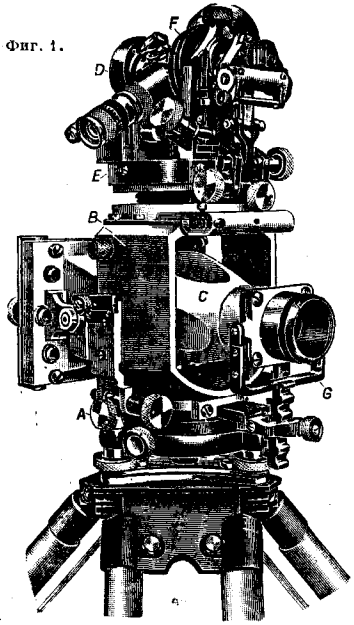
Несмотря на высокую конструктивную разработку большинства современных систем фототелеграфных аппаратов, в условиях действительной эксплоатации их коммерческая рентабельность оказалась незначительной в виду широкого развития авиационной почты (Америка и Европа). Кроме того причиной нерентабельности явилась сравнительно небольшая скорость передачи изображений, а главное недостаточная разработанность систем в целом для работы на большие расстояния. Явление замирания радиосигналов коротких волн, с к-рым найдены методы борьбы при передаче знаков Морзе, только отчасти м. б. скомпенсировано в телефонии и совершенно не устранено в передаче фотоизображений. Широкая полоса частот, получаемая при модуляции электромагнитных колебаний сигналами изображения, и непрерывная запись сигналов в форме принимаемой фотографии ставят непременным условием к каналу связи требование совершенной стабильности принимаемого излучения, вне зависимости от атмосферных помех. Поэтому Ф. имеет проблемной разработкой не конструирование только самого аппарата, а задачу связи в целом, включительно до введения новых принципов, т. к. современные аппараты отличаются от изобретенных более 60 лет тому назад в сущности только применением усилителей.

Лит.: Handb. d. Bildtelegraphie u. d. Fernsehens, hrsgs. v. F. Schröter, B., 1932 (полная библиография). **В. Гуров.**

ФОТОТЕОДОЛИТ, инструмент, применяемый при фотографических работах с целью получения фотографических снимков, позволяющих производить необходимые измерения (см. *Фототеодолитная съемка*). Основными частями Ф. являются *теодолит* (см.) и металлич. фотокамера, представляющая жесткую конструкцию, состоящую из объектива и рамки, прижимающей в момент экспозиции пленку или пластин-

ку. Рамка устанавливается нормально к оптич. оси объектива во втором главном его фокусе (практически в фокусе камеры). Пластинки имеют формат от 9×12 *см* до 18×24 *см*. Для получения главной точки снимка (пересечение

Фиг. 1.

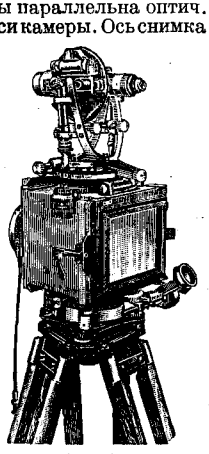


оптич. оси камеры с пластинкой) на противоположных сторонах камеры имеются метки (вырезы), позволяющие построить прямоугольную систему координат с началом в главной точке. Оси координат определяют положение снимка в пространстве, а также координаты (x, y) отдельных его точек. Координата же z равна фокусному расстоянию объектива камеры. Ф. снабжаются широкоугольными объективами с фокусным расстоянием от 100 до 1 000 *мм*, характеризующимися малыми искажениями (несколько микронов) не только в середине, но и на краях снимка. Для производства фототопографич. работ применяются Ф. самых разнообразных конструкций, позволяющих получать снимки как при горизонтальных, так и при наклонных оптич. осях.

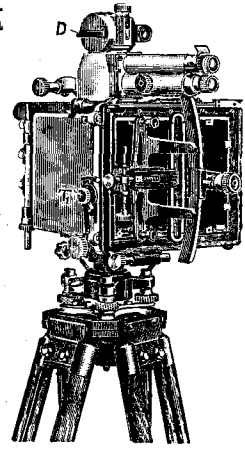
Ф. швейцарской фирмы Г. Вильда (фиг. 1) состоит из нижней части A, соединенной с трегером, из стальной рамы B, несущей фотокамеры C и из собственно теодолита Вильда D. Теодолит имеет стеклянный горизонтальный лимб E ⌀ 95 *мм*, вертикальный круг F ⌀ 50 *мм*. Круги имеют новое (400^g) или старое (360°) деление. Увеличение центральной трубы, переводящейся через зенит, равно 23×, а увеличение отсчетного микроскопа 34×. Свободное отверстие объектива 40 *мм*; труба имеет внутреннюю фокусировку и постоянную длину 175 *мм*. Окуляр имеет диоптрическое деление.

Фокусное расстояние объектива, *мм*	136
» » рассеив. линзы, *мм*	101
» » всей системы, *мм*	211
» » окуляра, *мм*	9
Предельные вертикальные углы	68°
Относительное отверстие объектива	$f:3,4$

Отсчет кругов происходит помощью оптич. микрометра сист. Вильда, с точностью до 1″, через отсчетный микроскоп, помещенный у окуляра трубы. Горизонтальный круг освещается помощью поворотной призмы, помещенной у стальной рамы. Вертикальный круг освещается парой призм, расположенных на трубе. Деления кругов отчетливо видны. Теодолит может применяться как простой или как повторительный (для специальных съемок), в последнем случае пользуются шариковыми подшипниками камеры. К стальной раме привинчены два лагера G **V**-образной формы, которые служат опорой для горизонтальной оси камеры. Два шибера удерживают вставленную камеру. Камеры переменные: камера, имеющая фокусное расстояние в 165 *мм*, м. б. легко заменена камерой, имеющей фокусное расстояние в 237 *мм*. У передней части камеры находится штанга, регулирующая наклонение камеры, т. е. позволяющая ставить камеру наклонно или горизонтально. Максимальный угол глубины при 24^g наклонения равен 47^g. Коэф-ты наклонения $+12^g$, $+6^g$, $\pm 0^g$, -6^g, -18^g, что предусматривает любой уклон местности. Отверстие диафрагмы постоянно и равно 1 : 12. Впереди объектива имеется желтый светофильтр, позволяющий срок экспонирования увеличить в 4 раза. Крышка камеры откидная и имеет особый механизм, прижимающий при экспонировании с постоянной силой пластинку к рамке, что гарантирует постоянство расстояния до изображения. Рамка имеет отметки (марки) для вертикальной и горизонтальной ее установки при последующей юстировке негативов на автографе. Помещенные сбоку и нумерованные колесики также попадают на снимок и позволяют нумеровать пластинки. Стальная рама вращается на шарикоподшипниках камеры. Горизонтальный круг теодолита монтирован на стальной раме так, что при отсчете 0° оптич. ось трубы параллельна оптич. оси камеры. Ось снимка



Фиг. 2.

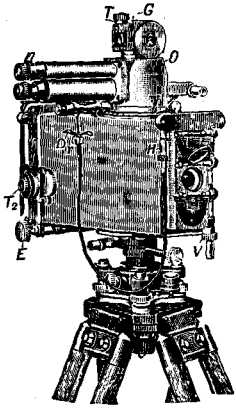


Фиг. 3.

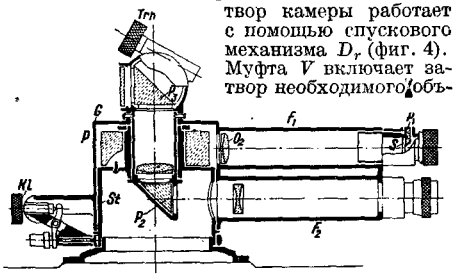
может устанавливаться под любым углом к оси камеры. Ф. фирмы Цейсса (модель 1913 года, сконструирована для стереофотограмметрической съемки) представляет фотокамеру, соединенную с теодолитом, к-рый м. б. легко отделен от нее. Объектив Ф. может передвигаться вверх и вниз и имеет светосилу 1 : 8 при фокусном расстоянии в 190 *мм* (фиг. 2). Теодолит и фото-

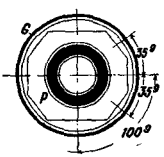
камера соединяются между собой помощью стопорных защелок, позволяющих давать отклонение оптич. оси на 30° вправо или влево. Для измерения горизонтальной проекции базиса помощью рейки имеется микрометренный винт, снабженный тангенциальной шкалой.

Ф. фирмы Цейсса, модель «$C^3/_b$» (фиг. 3, 4, 5), снабжен специальным ориентировочным приспособлением, позволяющим сохранять направление на противоположных концах базиса, и имеет в виду наземную стереофотограмметрическ. съемку при горизонтальном положении оптич. оси. В модели «$C^3/_b$» теодолит и фотокамера разделены, что рационализирует работу, ведя *полигонометрию* (см.) и *триангуляцию* (см.) отдельно от фотографической съемки, требующей более благоприятной погоды и освещения. Формат пластинок для Ф. 13×18 *см*, f=19 *см*. Фотокамера снабжена тремя объективами с желтыми светофильтрами сист. «Ортопротар» с относительным отверстием 1:25. Средний объектив расположен перед центром пластинки, верхний и нижний объективы закреплены в передней стенке камеры в расстоянии 35 *мм* от среднего объектива. Угол поля изображения 46° (горизонтальный) для всех объективов, вертикальный же угол поля зрения 33° для среднего объектива и 25° для крайних объективов. Затвор камеры работает с помощью спускового механизма D_r (фиг. 4). Муфта V включает затвор необходимого объектива, рычаг же H позволяет получить продолжительную экспозицию или делает объектив открытым. Рамка камеры снабжена двумя метками, фиксирующими главную вертикаль, и шестью (две для каждого объектива), фиксирующими главные горизонтали. Метка фиксируется двояко: кружок и зубец. Кроме меток фиксируется величина фокусного расстояния. Барабан T_1 с цифрами от 1 до 99 нумерует снимки, а барабан T_2 служит для установки условных знаков, фиксируемых на пластинке и показывающих точку стояния и случай съемки снимка — нормальный, с отклоненной оптич. осью вправо на 35° или с осью, отклоненной влево на 35°. Камера имеет кассеты для обыкновенных или зеркальных пластинок. Помощью винта E пластинка прижимается к раме камеры, если кассетная заслонка вынута из кассеты. Ориентировочное приспособление O (фиг. 4) позволяет ориентировать снимки по отношению к линии базиса и состоит из призмы P (фиг. 5), помещенной на призматическом основании St и соединенной с камерой, имеющей 8 отражающих зеркальных плоскостей. Нормали трех меньших пар плоскостей дают угол 35°, а две большие пары плоскостей и средние из меньших образуют угол 90°. Над призмой P расположен вращающийся футляр G, внутри к-рого имеются призмы P_3 и P_3, а сверху две трубы F_1 и F_2. Закрепление футляра G в определенном направлении производится винтом Kl, малые же перемещения камеры даются микрометренным винтом. Труба F_2 имеет увеличение 20× и служит для визирования на второй конец базиса. Визирная ось трубы, будучи горизонтальной, пройдя через призму P_2, поворачивается кверху и идет через отверстие в призме P и, падая на призму P_3, получает вновь горизонтальное положение. Винт *Trk* вращает призму P_3 около горизонтальной оси, что позволяет визировать зрительной трубой F_2 на противоположный конец базиса, если он расположен выше точки стояния. Угол наклона призмы измеряется по

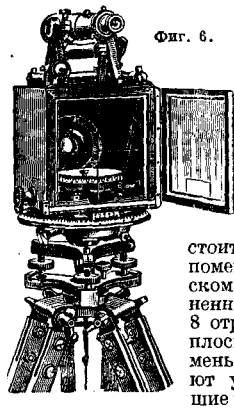


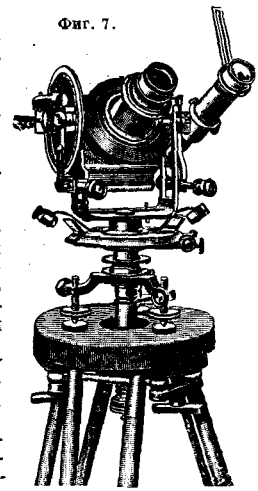
Фиг. 4.

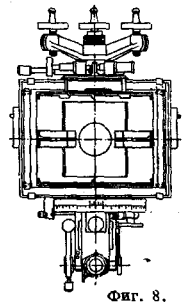


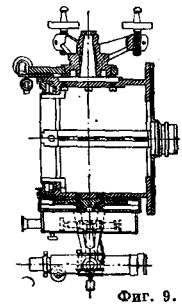


Фиг. 5.

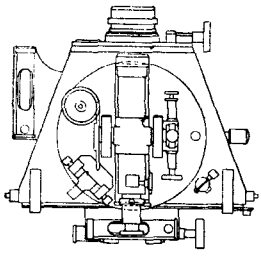

Фиг. 6.


Фиг. 7.


Фиг. 8.


Фиг. 9.

делениям G и барабану T (фиг. 4), дающему отсчет до 0,1′. Для удобства визирования имеется диоптр D (фиг. 3). Труба F_1—автоколлимационная, черта на верхней части пластинки S с нитями освещается призмой P_1 со стороны окуляра. Посредством объектива O_2 эта черта, передвинувшись в бесконечность, отразится одной из зеркальных плоскостей призмы P и, пройдя вновь через тот же объектив O_2, попадает в зрительную трубу F_1 на нижнюю часть пластинки, имеющей сетку нитей в виде двух вертикальных штрихов. Поворотом футляра G отраженная черта ставится посредине двух вертикальных штрихов сетки, давая перпендикулярность визирной оси трубы F_1 к отражающей поверхности призмы P. Юстировка призмы P д. б. произведена так, чтобы на второй точке стояния визирная ось трубы F_2 имела бы то же положение по отношению оптич. оси самой камеры. Автоматич. коллимация трубы F_1 позволяет использовать ту же отражающую плоскость призмы P, причем установка отраженной черты—метки—производится с точностью нескольких ск. дуги, т. е. установка параллельности оптич. осей фотокамеры получается с ошибкой $\pm 10''$.



Фиг. 10.

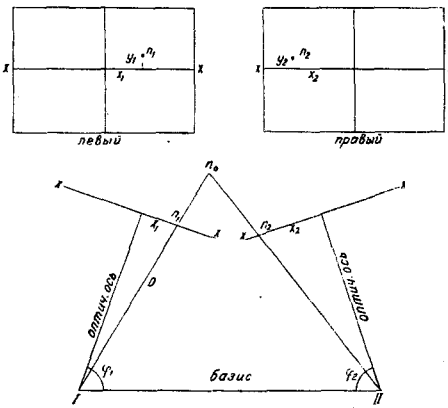
Ф. системы Bridges-Lee (фиг. 6) представляет комбинацию камеры и тахеометрич. теодолита, снабженного буссолью. Фокусное расстояние камеры 13 *см*, относительное отверстие объектива 1 : 8. Ф. системы Коппе (фиг. 7) имеет объектив kollinear с f : 5,4 с фокусным расстоянием 16 *см*. Ф. системы Гугерсгофа (новая модель) имеет объектив с отверстием f : 9, могущий передвигаться в пределах 25 *мм* (фиг. 8, 9, 10).

В военном деле для съемки отдаленных предметов прибегают к Ф. с большим фокусным расстоянием их объективов—от 600 до 1 200 *мм*, располагая оптич. оси вертикально. Перед объективом помещают призму с углом отклонения в 90°, что позволяет работать из-за закрытия.

Лит.: Тилле Р., Фототопография в современном развитии, т. 1—3, СПБ, 1908; Смирнов К., Универсальный теодолит Вильда, М., 1931; Gast P., Vorlesungen über Photogrammetrie, Lpz., 1930; Hugershoff R., Photogrammetrie u. Luftbildwesen, Handb. d. wissenschaftlichen u. angewandten Photographie, hrsg. v. A. Hay, B. 7, W., 1930; Gruber O., Ferienkurs in Photogrammetrie, Stg., 1930; «Archiv international de Photogrammetrie» 1930—31, *137*; Dolezal, Instrumentelle Neuerungen «Int. Archiv für Photogrammetrie», W., 1915. **Н. Смирнов.**

ФОТОТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА, один из видов фототопографической (наземной) съемки (см. *Фотосъемка*), служит для составления топографич. плана сфотографированной *фототеодолитом* (см.) местности. Каждый участок местности заснимается с двух точек стояния, к-рые выбираются на возвышенностях с тем, чтобы иметь хороший кругозор. Ф. с. основывается на тригонометрич. сети или на полигонометрич. ходах (см. *Триангуляция* и *Полигонометрия*). Для составления плана местности на парных фотографич. снимках нужно произвести измерение координат идентичных точек. В том случае, когда эти измерения проводятся на каждом снимке независимо друг от друга, Ф. с. называется наземной фотограмметрической. В случае же применения стереоскопич. методов измерения Ф. с. носит название наземной стереофотограмметрической съемки.

Наземная фотограмметрическая съемка, впервые примененная в 1850 г. французским военным инж. Э. Лосседа, часто называется мензульной фотограмметрией на том основании, что положение точек местности определяется графически при помощи прямой *засечки* (см.). Сущность этого вида съемки заключается в следующем: на местности выбирают базис, с которого производят фотографирование. Оптическая ось фототеодолита при съемке направляется примерно на середину фотографируемого пространства и вместе с координатной осью xx пластинки строго приводится в горизонтальное положение (фиг. 1). Точки стояния фототеодолита и положение оптических осей определяются во время полевых работ обычными способами геодезии. При составлении плана местности на чертежную бумагу накладывают по координатам базис и прочерчивают направления оптич. осей. На оптических осях от концов базиса откладывают фокусное расстояние камеры и проводят перпендикулярно к оптич. осям координатные оси xx пластинок. Для определения планового положения какой-либо точки местности нужно измерить координаты ее x_1 и x_2 на левом и правом снимках и отложить их на оси xx на плане. Проведя из концов базиса направления к точкам n_1



Фиг. 1.

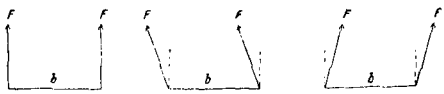
и n_2, получаем в пересечении точку n_0, к-рая и является плановым положением точки N местности. Превышение точки местности над горизонтом объектива (обычно на левом конце базиса) находится по ф-ле:

$$h = \frac{y}{\sqrt{x^2 + f^2}} D,$$

где D—удаление точки от левого конца базиса, определяемое по плану. Наложивши на план все точки и отметив их высоты, вычерчивают, руководствуясь снимками, контуры и проводят горизонтали. Недостатки фотограмметрич. съемки: 1) для получения надежных засечек при построении плана необходимо производить фотографирование с больших базисов (длина базиса равняется примерно половине глубины снимаемого пространства); 2) при больших базисах и однообразной местности становится

трудно, а иногда и совершенно невозможно найти идентичные точки на снимках; 3) процесс составления плана слишком кропотлив и отнимает много времени. Наземная фотограмметрич. съемка в описанном виде применяется редко.

Наземная стереофотограмметрическая съемка. При наземной стереосъем-



Фиг. 2.

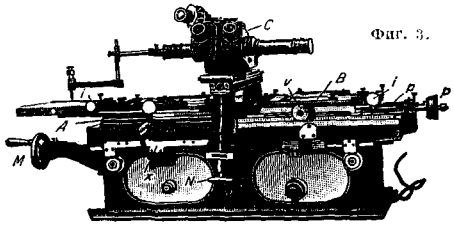
ке местность фотографируется сравнительно с небольших базисов. Съемка обыкновенно производится при трех положениях оптической оси (фиг. 2). В случае, когда оптическая ось F фототеодолита установлена перпендикулярно к базису, съемка наз. нормальной. Два других случая называются равномерно отклоненными влево и вправо. Плоскость пластинки и координатная ось yy занимают отвесное положение. Положение точек местности при наземной стереофотограмметрич. съемке определяется в прямоугольной системе координат. Начало координат располагается в передней узловой точке объектива на левом конце базиса. За координатную ось Z принимается направление оптической оси. Координатные оси X и Y занимают соответственно горизонтальное и вертикальное положения. Между пространственными координатами и координатами на фотографических снимках существует зависимость:

$$X = \frac{z}{f} x_1, \quad Y = \frac{z}{f} y_1,$$

$$Z = \frac{bf}{p}\left(\cos\varphi \mp \frac{x_2}{f}\sin\varphi\right), \ \ldots, \qquad (1)$$

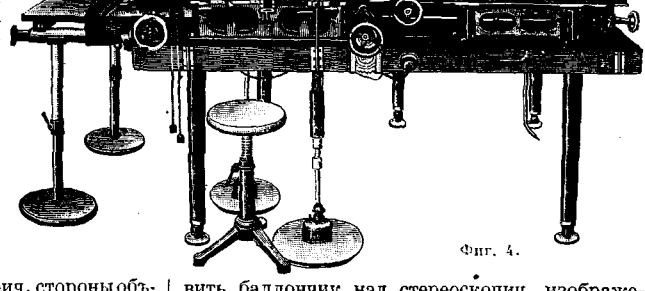
где b—длина базиса, f—фокусное расстояние камеры, φ—угол отклонения оптич. оси от нормали (для современных фототеодолитов равен 30—35°). Минус в скобке соответствует отклонению осей вправо, плюс—влево. Величина $p = x_1 - x_2$ называется горизонтальным стереоскопическим параллаксом.

Измерение координат и параллакса производится особыми инструментами на основе стереоскопического зрения (см. *Стереоскопия*). При стереоскопич. зрении два фотографич. снимка, сделанные с нек-рого базиса, рассматриваются одновременно: левым глазом левый снимок и правым глазом правый снимок. При таком рассматривании создается впечатление пластичности, наблюдатель видит перед собой как бы модель заснятой местности. Явление стереоскопичности с геометрич. стороны объясняется тем, что изображения на левом и правом снимках не совсем одинаковы, т. е. идентичные точки имеют параллакс. Для измерения координат и параллакса точек в 1900 г. Пульфрихом был сконструирован и фирмой Цейсс построен инструмент, называемый стереокомпаратором (фиг. 3). Основными частями стереокомпаратора являются: главная каретка A, каретка параллаксов B и бинокулярный микроскоп C. Главная каретка двигается вдоль основания прибора при помощи маховичка M. Каретка параллаксов, расположенная на главной каретке, может перемещаться вдоль главной каретки и перпендикулярной к ней при помощи винтов P и V. Бинокулярный микроскоп находится на мостике, перекинутом через главную каретку. Маховичок N сообщает движение бинокулярному микроскопу, перпендикулярное к движению главной каретки. Шкалы x, y, p, связанные соответственно с главной кареткой, бинокулярным микроскопом и кареткой параллельной, служат для отсчитывания абсцисс ординат и параллакса (на фиг. 3 шкала y не видна). Отсчеты по шкалам x и y производятся с точностью до 0,02 *мм*, по шкале p—до 0,01 *мм*. Главная каретка и каретка параллаксов имеют рамки для негативов, устанавливаемые при помощи исправительных винтов i так, чтобы координатные оси Y пластинок были



Фиг. 3.

параллельны движению бинокулярных микроскопов. В левом и правом окулярах имеются визирные марки в виде баллончика. Рассматривая в бинокулярный микроскоп негативы (или диапозитивы), надлежащим образом установленные, наблюдатель видит стереоскопич. изображение местности и баллончика, причем последний кажется находящимся в пространстве. Работая винтами M, N и P, наблюдатель получает впечатление, что баллончик перемещается в пространстве. Чтобы измерить координаты и параллакс какой-либо точки, нужно установить баллончик над стереоскопич. изображением этой точки, после чего сделать отсчеты по шкалам. Этот момент чувствуется наблюдателем чрезвычайно остро. Измерив координаты и параллакс точек местности по ф-лам (1), вычисляют или определяют графически пространственные координаты, на основании к-рых и составляется план местности. По точности составленный таким путем план можно считать одинаковым с мензульной съемкой. Кроме стереокомпараторов сист. Цейсса в настоящее время большое распространение имеют стереокомпа-



Фиг. 4.

раторы сист. Гугерсгоф-Гейде. Обработка снимков на стереокомпараторе дала возможность в значительной степени устранить отмеченные выше недостатки фотограмметрич. съемки, так как отпала необходимость в опознавании идентичных точек на снимках и вместе с тем повысилась точность измерения. Но самый процесс составления плана по существу остался тот же: план строится по точкам и горизонтали проводятся путем интерполирования. Этот весьма существенный недостаток удалось устранить Орелю, который в 1909 г. изобрел инструмент, названный стереоавтографом (фиг. 4).

Стереоавтограф дает возможность строить план автоматически, проводя горизонтали непрерывными линиями без интерполирования. В основном инструмент состоит из стереокомпаратора, соединенного с чертежной доской посредством ряда линеек-рычагов, механически решающих уравнения (1). На фигуре 5 дан образец проведения горизонталей на плане при помощи стереоавтографа. Кроме стереоавтографов системы Цейсса в настоящее время имеются стереоавтографы системы Вильда и ряд других инструментов, предназначенных для тех же целей. План, составленный при помощи стереоавтографа, по сравнению с мензульной съемкой имеет то преимущество, что контуры и горизонтали на нем нанесены с одинаковой точностью. Полевые работы при наземных стереофотограмметрич. съемках начинаются с рекогносцировки местности, во время к-рой намечается примерное расположение базисов. Величина базиса находится в зависимости от глубины фотографируемого пространства и фокусного расстояния камеры. На практике руководствуются формулой $b = 10\frac{Z_{max}}{f}$; Z_{max} определяется приближенно при помощи стереотрубы, по карте и т. д. (b—в *м*, f—в *мм*, Z_{max}—в *м*). Геодезические работы на каждом базисе состоят: 1) в измерении базиса, 2) привязке левого конца его к пунктам триангуляции или полигонометрии, 3) определении азимута направления оптич. осей и 4) определении контрольных пунктов, имеющих целью при камеральной обработке снимков выявить ошибки в положении фототеодолита при съемке. Координаты контрольных пунктов вычисляются двояким путем: на основании измеренных в поле углов и по фотограф. снимкам; сопоставляя полученные результаты, можно судить о точности фототеодолитных работ и в случае необходимости ввести соответствующие поправки при обработке снимков. Контрольными пунктами обеспечивается каждая пара снимков. При наземной стереофотограмметрич. съемке всегда остаются такие участки, к-рые нельзя бывает по каким-либо причинам заснять или обработать, напр. ущелья, густые заросли и т. д. Эти районы заполняются при помощи *мензулы* (см.) или *тахеометра* (см.). В среднем они составляют 10—20% снимаемой площади. При наземной стереофотограмметрич. съемке применяются масштабы 1 : 5 000—1 : 50 000; наиболее удобен для работ масштаб 1 : 10 000. При хорошо выбранных базисах каждая стереопара снимков захватывает площадь 5—12 *км*². Планшет масштаба 1 : 25 000 покрывается с 10—15 станций. Обработка одной пары на стереоавтографе продолжается ок. 6 час. Использование наземной стереофотограмметрич. съемки в гористых районах может дать экономию в расходах, доходящую до 300% по сравнению с наземной съемкой. Наземная стереофотограмметрич. съемка находит себе применение: 1) при государственных топографич. съемках в гористых районах, 2) в инженерном деле, например при изысканиях путей сообщения, в гидротехнич. работах и т. д., 3) при съемке морских побережий, 4) в экспедициях и во многих других случаях, когда применение методов наземной съемки бывает затруднительно.

Фиг. 5.

Лит.: Тиле Р., Фототопография в современном развитии, т. 1—3, СПБ., 1908; Курс геодезии, под ред. Ф. Красовского, ч. 2, М.—Л., 1930; Gast P., Vorlesungen über Photogrammetrie, Lpz., 1930; Gruber O., Ferienkurs in Photogrammetrie, Stg., 1930; Hugershoff R., Photogrammetrie u. Luftbildwesen, Handb. d. wissenschaftliche u. angewandte Photographie, hrsg. v. A. Hay, B. 7, W., 1930.

Н. Бобир.

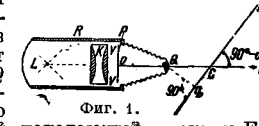
ФОТОТЕХНИКА, см. *Репродукционные процессы.*

ФОТОТИПИЯ, см. *Репродукционные процессы.*

ФОТОТОПОГРАФИЯ, отдел геодезии, занимающийся изучением всех видов *фотосъемки* (см.).

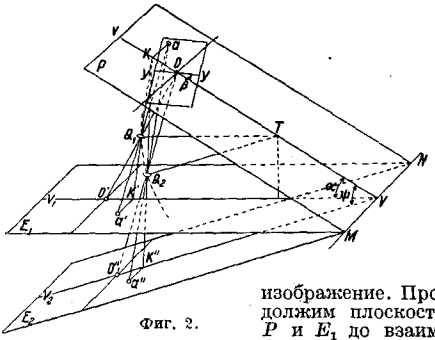
ФОТОТРАНСФОРМАТОР, оптико-механический прибор, применяемый для приведения аэроснимков к виду ортогональной проекции на горизонтальную плоскость в определенном, прежде заданном, масштабе при фотомеханич. методе трансформирования (см. *Фототрансформирование*). Ф. представляет собой усовершенствованный проекционный фонарь. Фототрансформаторы основаны на принципе оптически сопряженных взаимонаклонных плоскостей. По конструктивной идее они делятся на Ф. 1-го и 2-го рода. К Ф. 1-го рода относятся приборы, имеющие пучок лучей, идентичный тому, который был в момент аэросъемки; к Ф. 2-го рода—приборы, у к-рых пучок лучей не подобен бывшему в момент аэросъемки. Основными частями Ф. служат экран, объектив и негативная плоскость. Положение каждой из перечисленных частей Ф., а также и негатива м. б. изменено при помощи соответствующих механич. приспособлений. При конструировании Ф. основные его части располагаются либо в горизонтальном направлении либо в вертикальном. Отсюда и происходит деление Ф. на горизонтальные и вертикальные.

Конструктивная идея Ф. первого рода состоит в следующем (фиг. 1). Негатив P, установленный в Ф. R и освещенный источником света L через конденсор K, дает через объектив Q изображение на экране EC. Для того чтобы пучок лучей, попадающий на экран EC, был идентичен пучку, существовавшему в момент аэросъемки, необходимо установить негатив P перпендикулярно к прямой QF. Прямая QF должна проходить через главную точку



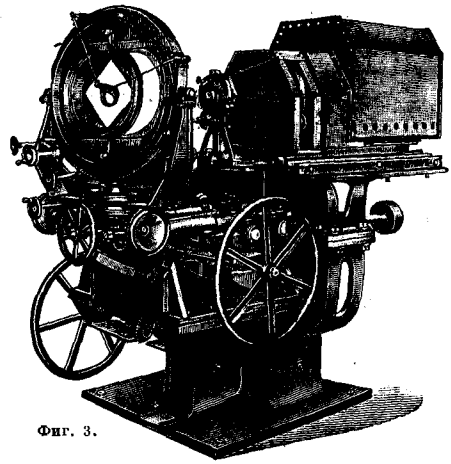
Фиг. 1.

снимка O и переднюю узловую точку объектива, а объектив д. б. установлен от негатива P на расстоянии, равном фокусному расстоянию объектива съемочной камеры. Для получения при помощи восстановленного проектирующего пучка лучей искомого ортогонального изображения необходимо экран EC установить так, чтобы угол $ECF = 90° - \alpha$ и чтобы длина перпендикуляра Qq равнялась $\frac{H}{m}$ (H—высота съемки, $\frac{1}{m}$—масштаб). Кроме этого необходимо повернуть негатив P в своей плоскости с таким расчетом, чтобы его ось yy была отклонена от главной вертикали vv на угол крена β. Ф. второго рода основан на следующем: пусть Q_1, E_2 и P—положения объектива, экрана и негатива в Ф. первого рода (фиг. 2) соответственно моменту аэросъемки. Допустим затем, что Q_2, E_2 и P—плоскости объектива, экрана и негатива у Ф. второго рода. Рассмотрим условия положения трех плоскостей Ф. второго рода, при котором получится ортогональное



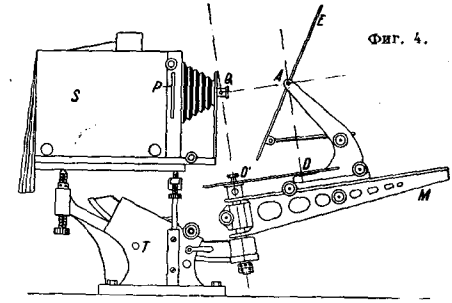
Фиг. 2.

изображение. Продолжим плоскости P и E_1 до взаимного их пересечения по прямой MN и проведем главную вертикальную плоскость. След главной вертикальной плоскости обозначим: на плоскости P через vV; на плоскости E_1 через v_1V; на плоскости E_2—через v_2V. Из точки Q_1 проведем в главной вертикальной плоскости прямую, параллельную плоскости E_1, до пересечения с плоскостью P в точке T и опишем из точки T дугу радиусом, равным TQ_1; какую бы точку этой дуги ни принять за узловую точку объектива Q_2, всегда возможно получить изображение, идентичное с изображением, получаемым на экране E_1. Для этого необходимо, чтобы плоскость экрана E_2 проходила через прямую MN и была параллельна прямой TQ_2. Для того чтобы доказать, что на экране E_2 получится через объектив Q_2 изображение, идентичное с изображением, полученным на экране E_1 через объектив Q_1, достаточно показать, что отрезки Ka и OK, являющиеся абсциссой и ординатой точки a, изобразятся на экране E_2 в виде отрезков $K''a''$ и $O''K''$, также взаимно перпендикулярных и соответственно равных отрезкам $K'a'$ и $O'K'$. Вследствие того, что точка a взята произвольно, можно считать, что изображения, полученные на экранах E_1 и E_2, никакого различия не имеют. Отсюда вытекают следующие данные, связывающие положение трех основных плоскостей Ф. второго рода: 1) положение главной вертикали vV определяется углом α и азимутом направления проекции оптич. оси аэросъемочной камеры на горизонтальную плоскость; 2) положение оси yy снимка по отношению к главной вертикали определяется углом крена $\beta = yOV$; 3) точка T на главной вертикали определяется


Фиг. 3.

длиной отрезка $OT = OQ_1 \operatorname{ctg} OTQ_1 = f \operatorname{ctg} \alpha$; 4) основание картины MN перпендикулярно к главной вертикали vV и отстоит от точки T на расстоянии $TV = \frac{H}{m \sin \alpha}$; 5) длина радиуса $TQ_1 = TQ_2 = \frac{f}{\sin \alpha}$; 6) направление радиуса TQ_2 определяется углом $\psi = vTQ_2$. Тем же углом $\psi = vV v_2$ и основанием MN картины определяется положение плоскости E_2.

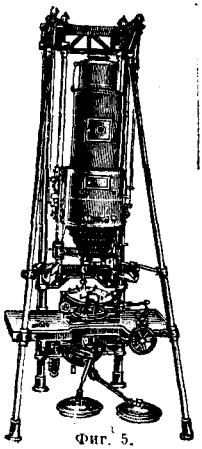
Ф. строятся по одному из указанных выше принципов, причем в зависимости от задач, к-рые ставятся перед фототрансформированием, выбирают тот или другой род. В производстве имеется ряд Ф., построенных на основе идеи первого и второго рода. В СССР применяют на аэросъемочных производствах оба типа Ф. Наиболее распространенными являются Ф. первого рода системы Соколова (горизонтальный и



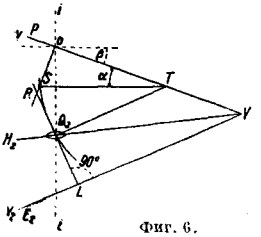
Фиг. 4.

вертикальный), а также и второго рода «Люфтбильд» и «Цейсс». Оба последние Ф.—вертикальные. К Ф. же отнесятся специальные приборы, служащие для развертывания перспективных снимков, сделанных многообъективными аэросъемочными камерами, в ортогональные. Эти типы Ф. имеют особое назначение и представляют собою фонари с особым оптич. устройством (Ф. сист. Ашенбреннера, советского изобретателя Дробышева, Фойргейльда, Цейсса и др.). Горизонтальный Ф. сист. Соколова

(фиг. 3, общий вид) устроен след. обр. На металлич. постаменте T (фиг. 4) находятся с одной стороны проекционный фонарь S с негативом P и объективом Q, а с другой—платформа M с экраном E. Негатив P вставляется в рамку, которая может вращаться в своей плоскости. Центр вращения лежит на перпендикуляре, опущенном из передней узловой точки объектива на плоскость негатива. Негатив устанавливается при помощи координатных меток так, чтобы его главная точка совпадала с центром вращения рамки. Объектив Q может менять свое

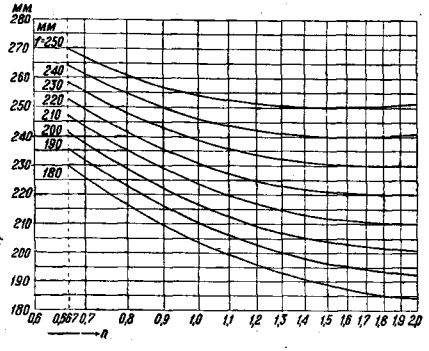


Фиг. 5.



Фиг. 6.

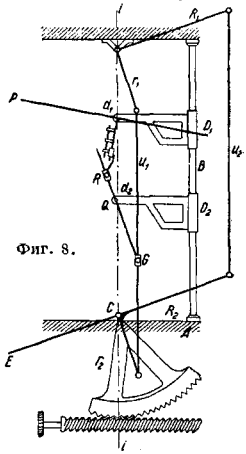
расстояние по отношению к плоскости негатива и при трансформировании устанавливается по отношению к плоскости P на расстояние, равное f. Для этой установки проекционный фонарь имеет шкалу с миллиметровыми делениями. Экран установлен на платформе, которая имеет два взаимно перпендикулярных вращения с центром вращения в передней узловой точке объектива Q. Одна из осей QO' вращения платформы находится в вертикальной плоскости, другая (не показанная на чертеже)—в горизонтальной. Независимо от вращения платформы экран в свою очередь имеет два взаимно перпендикулярных вращения и одно вращение в своей плоскости (с центром в точке A).



Фиг. 7.

Оси первых двух вращений экрана проходят через центр третьего вращения A и параллельны осям вращения платформы (ось AD параллельна QO'). Кроме трех вращений экран имеет еще одно движение вдоль платформы M по прямолинейным направляющим. Расстояния QO' и AD от центров вращения Q и A до направляющей равны между собой. Ф. системы Соколова позволяет восстанавливать существовавший в момент съемки проектирующий пучок лучей и пересечь его плоскостью экрана E. Для трансформирования в разных масштабах прибор должен иметь набор объективов с разными фокусными расстояниями. Вертикальный Ф. сист. Соколова отличается от описанного лишь конструктивным оформлением. Весь Ф. смонтирован на металлич. вертикальных штангах, несущих посредством особого скрепления проекционный фонарь, кассету и объектив (фиг. 5). Экран установлен на особом столике. Управление Ф. может производиться при посредстве ручного управления или ножных педалей, расположенных внизу под прибором. Вертикальный Ф. сист. Соколова является прибором более усовершенствованным и удобным при работе по сравнению с горизонтальным.

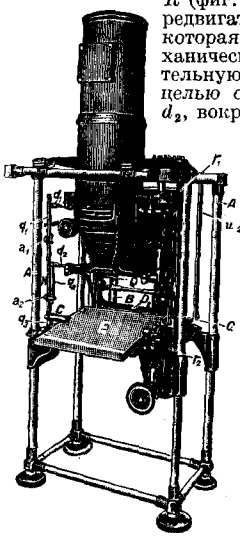
К Ф. второго рода относится «Люфтбильд», сконструированный по следующим принципам (фиг. 6): 1) плоскости негатива P, объектива Q_2 и экрана E_2 должны пересекаться по одной прямой V; 2) передняя узловая точка объектива Q_2 должна находиться на дуге Q_2S, описанной радиусом $TS=f\cdot\sin\alpha$; 3) экран E_2 должен занимать положение, параллельное прямой TQ_2; 4) негатив д. б. повернут в своей плоскости относительно главной вертикали vV на угол крена β. При конструктивном выполнении без ущерба для точности работ было отступлено от второго условия. Конструктор потребовал, чтобы объектив Q_2 находился не на дуге Q_2S, а на касательной к ней RL, т.к. величина RS является величиной малой для углов, находящихся в пределах 0—10°. Положение касательной RL в Ф. определяется прямым углом RLV и отрезком $oR=f+RS$. Величина отрезка oR определяется геометрически из фиг. 6. Практически же она определяется по графику фиг. 7. На графике величина $oR=f_e$ является ординатой кривых, вычисленных для разных значений фокусного расстояния f аэросъемочной камеры, абсцисса $n=\frac{H}{fm}$, где H — высота полета, f — фокусное расстояние объектива, $\frac{1}{m}$ —знаменатель масштаба (напр. $\frac{1}{m}=1:10\,000$).



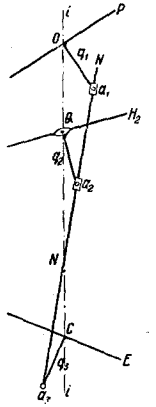
Фиг. 8.

Конструктивно фототрансформатор «Люфтбильд» оформлен следующим образом (фиг. 8, 9, 10). На металлической станине AA (фиг. 8 и 9) укреплены две вертикальные направляющие штанги B, вдоль которых перемещаются два парных кронштейна D_1 и D_2 (консоли). В консолях помещаются две горизонтальные вращающиеся оси, из к-рых первая d_1 скреплена с рамкой для негатива, а другая d_2 с рамкой для объектива Q. Экран E вращается также вокруг горизонтальной оси C. Все три оси вращения (негатива, объектива и экрана) парал-

лельны между собой. Горизонтальная ось вращения объектива проходит через его переднюю узловую точку. С горизонтально вращающейся осью d_1 скреплена под прямым углом линейка oR (фиг. 6), устроенная так, что ее длину можно изменить. Линейка oR имеет миллиметровую шкалу, позволяющую устанавливать ее длину соответственно величине f_c. Концом линейки oR служит центр вращения шарнира R (фиг. 8), который может передвигаться вдоль линейки RG, которая имеет назначение механически осуществлять касательную RL (фиг. 6). С этой целью она соединена с осью d_2, вокруг которой может вращаться независимо от вращения самой оси d_2. Вторым концом линейки RG служит центр вращения шарнира G, перемещающегося вдоль направляющей линейки u_1. Концы линейки u_1 соединены при помощи шарниров с рычагами r_1 и r_3, длина которых равна длине отрезка QG. Рычаг r_2 скреплен с вращающейся осью экрана E под прямым углом к плоскости экрана. Рычаги r_1 и r_2 скреплены под прямыми углами с рычагами R_1 и R_2, равными между собой по длине и соединенными шарнирами с линейкой u_2 такой же длины, как и линейка u_1. Т. о. при передвижении объектива Q и негатива P по направлению ii рычаги r_1 и r_2 и отрезок QG (фиг. 8) остаются параллельными между собой, а т. к. рычаг r_2 перпендикулярен к плоскости экрана E, то и прямая RG при любом положении Q перпендикулярна к плоскости экрана E. Линия RG остается перпендикулярной к плоскости экрана не только при перемещении объектива Q и негатива P по направлению ii, но и при вращении экрана, т. к., благодаря равенствам $r_1 = r_3 = QG$, $R_1 = R_2$ и $u_1 = u_2$, r_1 и QG остаются параллельны рычагу r_2. Кроме описанной системы рычагов и линеек, находящейся на правой стороне инструмента, у Ф. на противоположной его стороне имеется еще одна система рычагов, заставляющая пересекаться плоскость H_2 объектива (фиг. 6) с плоскостью экрана и негатива по одной (в смысле практическом) прямой V. Достигается это скреплением с вращающимися осями d_1, d_2 и C под прямыми углами трех рычагов q_1, q_2 и q_3 одинаковой длины (фиг. 10).



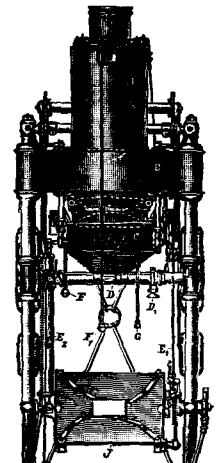
Фиг. 9.



Фиг. 10.

Концами этих рычагов служат центры вращения трех шарниров, из к-рых два—a_1 и a_2—могут перемещаться вдоль линейки NN, а третий шарнир a_3 служит только для соединения рычага q_3 с линейкой NN. Т. о. при вращении q_1 и q_2 рычаг q_2 вращает ось d_2 объектива Q и заставляет главную плоскость объектива пересекаться с плоскостями P и E по одной прямой. Трансформирование на этом приборе производится полуавтоматически. Прибор «Люфтбильд» в порядке усовершенствования был несколько изменен: 1) вместо ручного управления было установлено управление прибором специальными ножными шайбами, приводящими в движение части прибора посредством карданной передачи, и 2) заменена кассета 13×18 кассетой 18×18 и даже 18×24, благодаря чему Ф. может обрабатывать негатив любой из указанных величин. Переконструированный таким образом Ф. «Люфтбильд» имеет также широкое применение в практике советских аэросъемочных организаций.

Ф. сист. Цейсса (фиг. 11) смонтирован вертикально. Главной осью служит линия, соединяющая главную точку негатива и центр проекции на экране. Вертикальные штанги, несущие экран J, являются направляющими для муфт-штанги, заключающей в себе объектив D, и муфты B, несущей конденсор C с проекционным фонарем A. Обе муфты сбалансированы посредством противовесов. Инверзоры E_1 и E_2 представляют систему рычагов, соединяющих между собой экран, объектив и негатив, посредством к-рых достигается согласованное одновременное движение трех плоскостей Ф. Для регулирования равномерности освещения негатива часть конденсора может передвигаться вверх или вниз с помощью рычага F_1. В соответствии с требованиями наиболее общего случая трансформирования по четырем точкам прибор может иметь 5 независимых установок. 1) Плоскость экрана J может вращаться около горизонтальной оси при посредстве ножной педали M. 2) Объектив D также может иметь вращение. Установка производится ручным маховичком D_1. 3) Одновременное движение экрана, кассеты и объектива производится ножной шайбой L. 4) Поворот негатива вокруг вертикальной оси производится рычажком G. 5) Кассета может передвигаться по направлению оси вращения с помощью лежащего от нее влево ручного маховичка F. Главная точка негатива обозначается марками, имеющимися в кассете. Кассета благодаря особому устройству позволяет вести трансформирование с неразрезанной фильмы. Размер негатива, могущий трансформироваться этим прибором, 18×18. Величина прибора и передвижение частей вдоль штанг позволяют производить трансформирование на увеличение в 4—5 раз. Помимо этого

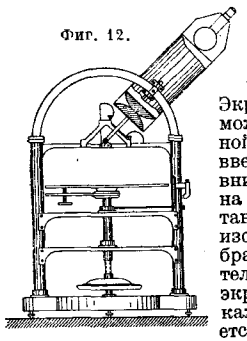


Фиг. 11.

Ф. позволяет приводить к ортогональной проекции перспективные негативы, сделанные с отклонением оптич. оси от вертикали до 40°. Последние два обстоятельства присущи только Ф. сист. Цейсса, что выгодно отличает его от других систем.

В настоящее время разрабатывается Ф. сист. Дробышева. К наиболее простым, но несовершенным по конструкции приборам относится неавтоматич. Ф. сист. Гугерсгофа, предназначенный для обработки пластинок 18×18; он дает возможность обрабатывать снимки, снятые с углом наклона 10—15°.

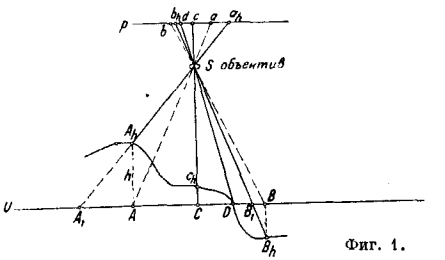
Применение многообъективных камер для аэрофотосъемки вызвало необходимость постройки специальных Ф., посредством к-рых перспективные снимки приводятся в ортогональные. Для развертывания восьми перспективных снимков девятиобъективной камеры Ашенбреннера и получения контактного отпечатка построен специальный Ф. Негативная рама и экран помещены на особой стойке. В объективной раме имеется два объектива; у одного оптич. ось направлена перпендикулярно к негативу. Второй объектив укреплен под углом, равным углу отклонения осей боковых объективов в камере. Экран может занимать положение, перпендикулярное к оптич. оси главного объектива, и отклоняется от этого положения на нек-рый угол. Во втором положении экран может вращаться около оси в установленной плоскости через 45°. Независимо от экрана негативная рама может вращаться и устанавливаться через каждые 45°. Техника работы на Ф. состоит в следующем: негатив устанавливается на кассете Ф., а на экране укрепляется светочувствительная бумага. Через главный объектив экспонируется центральная восьмиугольная часть негатива в масштабе съемки. После этого экран ставят во второе положение и производят постепенно экспонирование остальных 8 снимков. Это экспонирование производится путем вращения экрана и негативной рамы через каждые 45° одновременно до тех пор, пока все 8 боковых снимков не будут спродуцированы на один лист фотографич. бумаги. Подобный Ф. сконструирован русским изобретателем Дробышевым для тех же целей, что и описанный выше Ф. для аэрофотоаппарата Ашенбреннера. На станине (фиг. 12), несущей 2 столба, находится качающийся проекционный фонарь. Экран Ф. кроме наклона может посредством ножной шайбы подниматься вверх или же опускаться вниз, а также вращаться на 360°. В фонарь устанавливаются негативы, изображение которых отбрасывается последовательно одно за другим на экран, причем последний каждый раз поворачивается на угол в 45°. Благодаря этому получаем один общий снимок, который для дальнейшей обработки должен трансформироваться на обыкновенном Ф. К *упрощенным типам* Ф. следует отнести фонарь для приведения к масштабу аэроснимков системы Соколова. Этот прибор представляет вертикальный увеличительный фонарь, в основу к-рого положен Ф. Отличие его от Ф. заключается в том, что фонарь не имеет перспективного инверзора; в нем плоскости негатива, объектива и экрана закреплены жестко под углом в 90° к оси прибора. Для приведения к требуемому масштабу производится установка частей упрощенного Ф. по особой шкале на уменьшение или укрупнение масштаба аэроснимка до требуемого масштаба.


Фиг. 12.

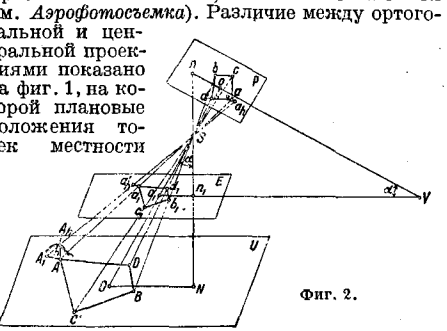
Лит.: Курс геодезии, ч. 2, М., 1931; «Труды Научно-исследовательского ин-та аэросъемки», Ленинград, 1932; Gruber O., Fereunkurs in Photogrammetrie, Stuttgart, 1930.

В. Платон.

ФОТОТРАНСФОРМИРОВАНИЕ, приведение аэроснимка, искаженного перспективой, в ортогональное положение в определенном масштабе. Фототрансформирование применяется в аэрофотосъемке и основано на следующих положениях. План местности представляет собой ортогональную проекцию; аэрофотоснимок является центральной проекцией, причем оптическая ось снимка может занимать отвесное положение (ортогональный снимок) или быть наклонной (см. *Аэрофотосъемка*). Различие между ортогональной и центральной проекциями показано на фиг. 1, на которой плановые положения точек местности



Фиг. 1.



Фиг. 2.

$A_hB_hC_h$ получаются в точках A, B, C пересечения уровенной поверхности U с перпендикулярами, опущенными на нее из точек местности. На плане эти точки должны были бы изобразиться в точках a, b, c. На горизонтальном аэрофотоснимке p, представляющем собой центральную проекцию, эти же точки местности изобразятся в точках a_hb_hc. Расхождения bb_h, aa_h характеризуют собой различие ортогональной и центральной проекций и практически являются искажениями аэрофотоснимка за рельеф. Из чертежа видно, что точка C, лежащая на оптической оси, и точка D, лежащая на уровенной поверхности, расхождения не имеют и являются совпадающими для снимка и плана. Следовательно изображение плоской местности на горизонтальном снимке является планом местности. При наклоне оптич. оси SO аэрокамеры (фиг. 2) от отвесного положения SN на угол α плоский контур трапеции $ADBC$ на плоской

местности U изобразится на перспективном аэроснимке p (через объектив S) в виде нек-рой искаженной фигуры $adbc$. Очевидно, что если мы пересечем пучок лучей $SADBC$ плоскостью E, параллельной плоскости U, то в сечении получим изображение трапеции $a_1d_1b_1c_1$, совершенно подобное трапеции $ADBC$, т. е. центральную проекцию, или в данном случае план плоской местности $ADBC$. В этом и заключается сущность Ф.

Если местность не плоская, а отдельные точки ее A_h (фиг. 2) имеют рельеф, то на перспективном аэрофотоснимке p изображение точки a_h получит суммарное искажение за перспективу и за рельеф. На секущей плоскости E рельефная точка a_h' не совпадет с своим плановым положением a_1, другими словами искажение за рельеф $a_h'a_1$ останется, но искажение за перспективу будет устранено. Ф. разрешает задачу получения центральной проекции изображения местности по ее перспективному изображению и для случая плоской местности дает план, т. е. такое изображение, как если бы снимок был сделан при строго отвесном положении оптич. оси аэрокамеры. Ф. обращает наклонное, перспективное изображение в горизонтальную проекцию и одновременно приводит его к заданному масштабу, не устраняя искажения за рельеф.

Задача трансформирования аэрофотоснимков разрешается на основании законов теории перспективы и проективной геометрии и может осуществляться различными путями: а) фотомеханическим, на специальных *фототрансформаторах* (см.), б) графическим, с разверстыванием снимка от руки, по перспективным сеткам, и в) графо-механическим, при помощи специального прибора, перспектографа.

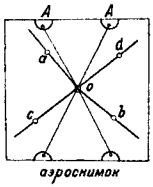
I. Фотомеханический способ Ф. заключается в том, что аэрофотонегатив p (фиг. 2), подлежащий Ф., закладывается в кассету фототрансформатора, и лучи, идущие от источника света, помещенного сзади негатива, проектируют негативное изображение через объектив S на экран E. Спроектированное изображение после надлежащей установки плоскостей негатива, объектива и экрана фиксируется на листе фотографической бумаги, положенном на экран. Полученный фотографич. отпечаток носит название трансформированного отпечатка. Масштаб этого трансформированного изображения $a_1d_1b_1c_1$ будет равен (см. *Аэрофотосъемка*) отношению любого отрезка на плане к соответствующему отрезку на местности, т. е. $\frac{a_1d_1}{AD} = \frac{d_1b_1}{DB} = \ldots = \frac{1}{m}$. Из подобия пирамид $Sa_1d_1b_1c_1$ и $SADBC$—масштаб $\frac{1}{m}$ будет равен отношению $\frac{Sn_1}{SN}$ или $\frac{1}{m} = \frac{Sn_1}{SN}$, где $SN = H$—высота полета при съемке, а Sn_1—расстояние секущей плоскости E от объектива S. Следовательно для получения плана местности в масштабе $\frac{1}{m}$ секущая плоскость E должна отстоять от объектива S на расстояние $Sn_1 = \frac{H}{m}$.

Ф. снимков может производиться по «элементам внутреннего и внешнего ориентирования» и по «ориентировочным точкам». Для первого необходимо знать эти элементы ориентирования, т. е. фокусное расстояние аэрокамеры $f = oS$, высоту съемки $H = SN$ (фиг. 2), угол наклона α и направление линии максимального наклона на снимке no, т. е. положение главной вертикали. *Для* фототрансформаторов 1-го рода негатив p устанавливается перпендикулярно к главной оптич. оси oSO на расстоянии oS, равном фокусу аэрокамеры, а плоскость экрана E наклоняется на угол $So_1V = 90° - \alpha$ по отношению к оптич. оси oSO и устанавливается на расстоянии $Sn_1 = \frac{H}{m}$ от объектива S. Далее негатив p поворачивается в своей плоскости вокруг точки o так, чтобы направление главной вертикали на снимке совпало с линией наибольшего наклона экрана, т. е. чтобы обе линии no снимка и n_1o_1 экрана лежали в одной вертикальной плоскости nVn_1. И при таком положении прибора производится экспонирование изображения на экране E. Т. о. на приборе в уменьшенном масштабе воспроизводится операция, существовавшая в действительности в момент съемки, но только в обратном порядке. Установка фототрансформаторов 2-го рода происходит несколько сложнее, и нужные для этого величины предварительно вычисляются по определенным ф-лам, по данным элементам ориентирования. Но если элементы внутреннего ориентирования (фокусное расстояние камеры и положение координатных осей снимка), являясь постоянными для данной камеры величинами, м. б. определены с высокой точностью, то задача непосредственного определения элементов внешнего ориентирования (высота съемки, угол наклона и его направление на снимке) до сего времени не разрешена, и непосредственно они получаются с крайне низкой степенью точности. Точное определение этих данных требует производства наземных геодезич. измерений на местности и дальнейших сложных вычислений. Поэтому Ф. по элементам ориентирования применяется или для приближенного Ф. сильно перспективных аэроснимков или же по точным ф-лам в нек-рых методах стереофотограмметрич. обработки аэрофотоснимков с получением рельефа.

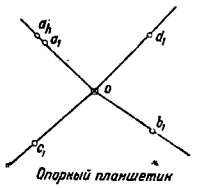
В массовом производстве применяется более простой способ Ф. по ориентировочным (фотограмметрическим) точкам, заключающийся в том, что на краях используемой центральной части каждого аэрофотоснимка намечаются 4 хорошо заметные точки контуров местности (контурные точки), координаты к-рых независимо определяются методами геодезических измерений. Точки наносятся в заданном масштабе на «опорный планшетик». Далее негатив с проколотыми на нем ориентировочными точками вкладывается в кассету фототрансформатора, а опорный планшетик прикрепляют к экрану и передвижением и наклонением плоскостей фототрансформатора добиваются совмещения изображения всех 4 светящихся точек негатива с точками планшетика. Достигнув этого, заменяют опорный планшетик на экране листом фотобумаги и производят экспонирование. Необходимость и достаточность 4 точек для правильного Ф. всего снимка базируются на законах проективной геометрии (условие коллинеации плоскостей; задача о 4 точках).

Определение ориентировочных точек. Расположение ориентировочных (фотограмметрических) точек на снимке должно быть близко по форме к прямоугольнику, охватывающему собой полезную используемую часть снимка (фиг. 3). Координаты ориентировочных точек могут быть: а) взяты с имеющейся карты, б) определены непосред-

ственно в поле (графически при помощи мензулы или аналитически — теодолитными ходами, прямыми и обратными засечками, цепочками треугольников и т. п.), в) получены методами *фототриангуляции* (см.) по аэроснимкам. В первые годы применения аэрофотосъемки в СССР (1925—28 гг.) ориентировочные точки



Фиг. 3.

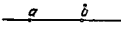


Фиг. 4.

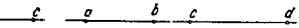
определялись исключительно в поле по 4 точки на каждый снимок («сплошная привязка») или по 4 точки на основные снимки, выбирая их через маршрут и через снимок («привязка в шахматном порядке») и получая точки для Ф. необеспеченных промежуточных снимков с перекрывающихся частей основных снимков. С 1929 г. производство ввело метод фототриангуляции, причем определяют лишь небольшое количество ориентировочных точек в поле, а все остальные получают камеральным путем. В результате этих работ получают плановое положение ориентировочных точек, т. е. координаты точек $a_1 d_1 b_1 c_1$ (фиг. 2); но из фиг. 2 видно, что если местность в точке A_h имеет заметный рельеф, то для правильного восстановления пучка лучей необходимо на опорном планшетике E иметь нанесенные точки a'_h, d_1, b_1, c_1, если все остальные точки DBC лежат на одном уровне. Следовательно в положение точки a_1 на опорном планшетике д. б. введена поправка за рельеф $a_1 a'_h$, величина к-рой определяется ф-лой: $a_1 a'_h = \frac{d_a \cdot h_a}{H}$, где $a_1 a'_h$—искомая поправка в *мм*, d_a—расстояние $a_1 n_1$, к-рое берется с опорного планшетика в *мм*, $h_a = AA_h$ определяется в поле или приближенно берется с существующей карты в *м*, H—высота съемки в *м*, определяемая по ф-ле: $H = \frac{L \cdot f \cdot l}{m}$, где L—расстояние между какими-нибудь двумя ориентировочными точками на планшете, l—расстояние между этими же точками на снимке, m—знаменатель численного масштаба плана, т. е. самого масштаба Ф., и f — фокус съемочной камеры. Нек-рые затруднения встречаются в определении расстояния d_a между точкой a_1 и точкой n_1 на опорном планшетике. Точки n и n_1 суть точки пересечения отвесной линии, опущенной из центра передней узловой точки объектива S, соответственно с плоскостями негатива p и секущей плоскостью Ф. E, или «точки надира», на снимке и плане. Для определения положения точки надира n на снимке нужно знать величину угла наклона α и его направление. Она будет находиться на расстоянии $on = -f \operatorname{tg} \alpha$ от центра o (главной точки) снимка. При малых углах наклона ($\alpha = \pm 3°$), имеющих место в плановой аэрофотосъемке, точка надира n будет близка к главной точке снимка o, определяемой пересечением диагоналей между координатными метками A снимка (фиг. 3), а потому в практике вместо точки n пользуются близкой к ней точкой o. Для перенесения точки o со снимка на опорный планшетик накладывают на снимок восковку и проводят на ней направления из точки o на все ориентировочные точки a, d, b, c. Полученную восковку накладывают на опорный планшетик, совмещая лучи oa, od, ob, oc с точками a, d, b, c на планшетике. Этим одновременно поверяется точность определения и накладки ориентировочных точек (метод поверки «центральными лучами»). Добившись этого, перекалывают точку o со снимка на планшетик, получая искомое положение точки o_1, которую практически и принимают за точку n_1. Поправку за рельеф $a_1 a'_h$ откладывают по направлению oa_1 (фиг. 4), причем при положительных высотах h дальше от центра, а при отрицательных—ближе к центру, как это видно на фиг. 1. Величина поправки за рельеф вычисляется по вышеприведенной ф-ле или берется со специальных номограмм. Самая техника совмещения точек на фототрансформаторах различных типов производится по инструкциям и правилам, имеющим узкоспециальное значение. Трансформированные аэрофотоснимки (отпечатки) соединяются в планшетфотоплан (см. *Фотоплан*). Фотомеханический метод трансформирования является самым распространенным методом в производстве для обработки масштаба от 1 : 1 000 до 1 : 25 000, преимущественно для плановой аэрофотосъемки однообъективной камерой.

2. Графический способ Ф. при помощи сеток заключается в том, что на одной из двух взаимно коллинеарных плоскостей (аэрофотоснимка или плана) наносится произвольная сетка из пересекающихся прямых, а на второй плоскости (плана или снимка) ищется сетка, ей коллинеарная, пользуясь или 4 ориентировочными точками или известными элементами ориентирования. Когда обе сетки построены, то, интерполируя на-глаз, легко перерисовать все нужные контуры со снимка на план по идентичным клеткам сетки на снимке и плане.

Основы проективной геометрии. Ф. вообще и графич. метод в частности базируются на следующих основных законах и определениях проективной геометрии. Относительное взаимное положение трех точек a, b, c прямой (фиг. 5) вполне определяется про-



Фиг. 5.



Фиг. 6.

стым отношением расстояний одной из этих точек до двух других, напр. отношением отрезков ab и ac, с соблюдением правил знаков направления отрезков. Обозначая простое отношение буквой K, получим:

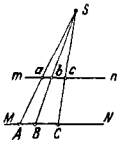
$$K = \frac{ab}{ac}. \qquad (1)$$

Двойное, или ангармоническое, отношение определяет относительное взаимное положение 4 точек прямой. Рассматривая на прямой (фиг. 6) сначала какие-либо 3 точки a, c, d и затем b, c, d, получим 2 простых отношения: $K_1 = \frac{ac}{ad}$ и $K_2 = \frac{bc}{bd}$; отношение между этими простыми отношениями и называется двойным, или ангармоническим, отношением 4 точек a, b, c, d; обозначив его буквой λ, получим:

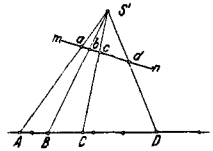
$$\lambda = \frac{K_1}{K_2} = \frac{ac}{ad} : \frac{bc}{bd} = \frac{ac \cdot bd}{ad \cdot bc}. \qquad (2)$$

Имея 4 точки на прямой, можно определить значение λ, и, обратно, имея только 3 точки на прямой и значение λ, можно определить поло-

жение 4-й искомой точки. Ангармоническое отношение четырех точек равно или ангармонич. отношению синусов углов между 4 лучами, которые проходят через данные 4 точки, или просто ангармонич. отношению этих 4 лучей. Практич. смысл этих определений заключается в том, что, имея 2 или несколько параллельных линий MN, mn (фиг. 7) и пересекающий



Фиг. 7.



Фиг. 8.

их пучок лучей $SABC$, на основании теории перспективы мы будем иметь равенство простых отношений отрезков, т. е.

$$\frac{AB}{BC} = \frac{ab}{bc} = K. \qquad (3)$$

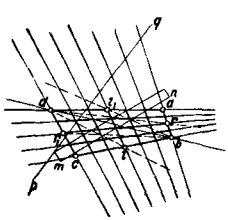
Следовательно если известны положения трех точек a, b, c (на снимке), то, зная положение только 2 точек (напр. A и B на плане) и получив из ур-ия (1) величину простого отношения K, можно найти положение неизвестной точки C (на плане). Это имеет место в аэрофотосъемке только в частном случае параллельности плоскости негатива поверхности земли. Обычно плоскость негатива не параллельна плоскости земли, и равенства простых отношений существовать не будет, а будет иметь место равенство ангармонич. отношений, т. е.

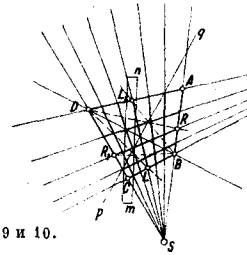
$$\frac{ac \cdot bd}{ad \cdot bc} = \frac{AC \cdot BD}{AD \cdot BC} = \lambda$$

(фиг. 8). По основной теореме, зная положение точек A, B, D на плане и получив из ур-ия (2) величину ангармонич. отношения λ, можно найти положение четвертой искомой точки C на плане. Ряды точек a, b, c, d и A, B, C, D будут носить название взаимно-проективных, или коллинеарных, если каждой точке одного ряда соответствует своя точка другого ряда и притом так, что ангармонич. отношения каждых 4 соответственных точек равны, что и имеет место на фиг. 8. Коллинеарными плоскостями называются такие плоскости, когда любой данной точке одной плоскости будет соответствовать вполне определенная точка на другой плоскости. Определение 4-й точки или луча методом ангармонич. отношения м. б. произведено различными путями. Наиболее часто применяется метод механич. перенесения ангармонич. отношения при помощи полоски бумаги, к-рый поясним ниже на примере построения перспективной сетки.

Графическое Ф. по ориентировочным точкам. Графич. Ф. может производиться или по ориентировочным точкам или по элементам ориентирования. В практике имеют место оба случая, но более распространен первый способ. Сетки строятся произвольные, или в виде параллелограмов или квадратные, размерами клетки в 1 *см*, а в случае надобности и с более мелкими подразделениями.

Для уяснения техники дела ниже разобран один из способов графич. Ф. контура аэроснимка по ориентировочным точкам, расположенным вблизи углов контура, для случая Ф. по неправильной сетке. Пусть (фиг. 9) имеется 4 ориентировочные точки a, b, c, d на снимке, ограничивающие собой какой-либо контур (на фиг. не показан), и соответственные им точки A, B, C, D (фиг. 10), нанесенные по координатам в заданном масштабе на план. Задача заключается в нанесении на снимке произвольной сетки и построении соответствующей ей сетки на плане. Соединяем точки a, b, c, d снимка прямыми и делим противоположные стороны полученного четырехугольника на четное и равное количество частей. На фиг. 9 линии ab и cd разделены на 4 части, а линии ad и bc—на 6 частей. Средины линий отмечены соответственно буквами r, r_1 и l, l_1. Нахождение соответствующих им точек R, R_1 и L, L_1 на плане производится путем механич. перенесения ангармонич. отношения пучка лучей со снимка на план. Для этого, приняв за полюс одну из точек, напр. d, проводим из нее диагональ db и направления на точки r и l; т. о. на фиг. 9 мы будем иметь пучок лучей из точки d на точки a, r, b, l, c. Проведя диагональ DB на плане, мы на фиг. 10 будем иметь коллинеарный пучок лучей из точки D на точки A, B, C. Искомые ангармонич. лучи DR и DL, соответствующие лучам dr и dl, найдутся способом механич. перенесения ангармонич. отношения. Для этого полоска бумаги mn накладывается в произвольном положении на пучок лучей $darblc$ (фиг. 9) на снимке, и на краю бумажки отмечаются следы всех этих лучей. Затем полоска mn переносится на план (фиг. 10), и ищется такое ее положение, чтобы следы лучей da, db и dc на бумажке попали точно на имеющиеся лучи DA, DB и DC на плане. В таком положении на план перекалываются с бумажки направления

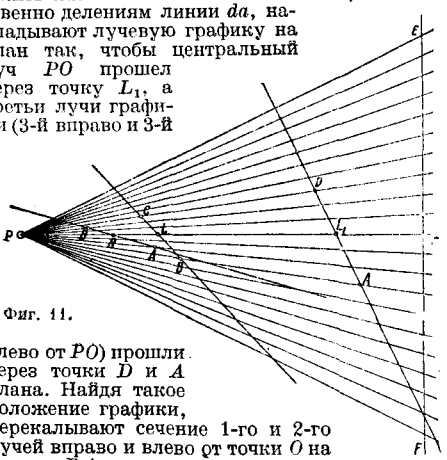




Фиг. 9 и 10.

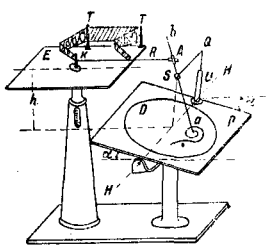
2 других лучей dr и dl, и, проведя лучи DR и DL, получим в пересечении их с линиями AB и BC искомые точки R и L на плане, соответствующие точкам r и l на снимке. Приняв далее точку b за полюс, при помощи полоски pq получим таким же образом точки L_1 и R_1 на плане, соответствующие точкам l_1 и r_1 на снимке. Остальные точки пересечения линий сеток со сторонами AB, BC, CD и DA на плане также можно получить методом ангармонич. отношений при помощи отдельных бумажек; но при большом числе клеток сетки поступают иначе. Т. к. линии ad, ab и т. д. на снимке разделены на равные части, то отдельные полоски можно заменить единой «лучевой графикой», которая строится на прозрачном целлюлоиде сл. обр.: прямая EF (фиг. 11) делится на равные части по 2 *см* в обе стороны от точки O, к которой восстанавливается перпендикуляр OP длиной 40 *см*, и из точки P, как из полюса, проводятся лучи к точкам 2-*см* делений на линии EF.

При необходимости построения более мелкой сетки проводят промежуточные лучи, деля отрезки в 2 *см* еще на 2 или 4 части и для удобства пользования вытягивают каждые четвертые и восьмые лучи разноцветной тушью. Чтобы разделить линию DA плана на 6 частей, соответственно делениям линии da, накладывают лучевую графику на план так, чтобы центральный луч PO прошел через точку L_1, а третьи лучи графики (3-й вправо и 3-й влево от PO) прошли через точки D и A плана. Найдя такое положение графики, перекалывают сечение 1-го и 2-го лучей вправо и влево от точки O на линию DA плана и получают искомые деления сетки. Таким же путем делят линию CB, причем графика конечно займет иное положение. Далее делят линию AB уже на 4 части, совмещая вторые лучи и т. д. Для примера на лучевой графике (фиг. 11) отмечены положения точек D, L_1, A, C, L, B, и B, R, A при делении (точки D, R, C не показаны, чтобы не затемнять чертежа); на фигуре 11 показано также положение точки P при делении линии CLB. Соединяя линиями точки деления на противоположных сторонах, получим искомую сетку на плане, коллинеарную сетке на снимке. Полученную сетку можно распространить и за пределы контура $ABCD$, отмечая четвертое, пятое и т. д. деления графики с продолжениями линий DA, AB и т. д. Продолжения линий сетки как снимка, так и плана обязательно должны пересечься в одной точке, составив пучки лучей из точек S и S_1 (фиг. 10); это может служить контролем правильности построения сетки, но часто эти пересечения могут получаться вне пределов чертежа (фиг. 9). Получив сетку, далее перерисовывают по ней нужные контуры со снимка на план, интерполируя их на-глаз по клеткам сетки. Методы трансформирования по сетке применяются в производстве для гражданских целей, преимущественно при перспективной, мелкомасштабной аэрофотосъемке, и в военной боевой обстановке для быстрого перенесения отдельных важных военных объектов с аэрофотоснимка на карту. В последнем случае ориентировочные точки могут быть взяты непосредственно с имеющейся карты. Это обстоятельство, а также и то, что метод сеток не требует никакой аппаратуры, придает ему особую важность.



Фиг. 11.

3. Графо-механический способ Ф. производится на специальном приборе, который по идее представляет собой фототрансформатор с тем различием, что в фототрансформаторе все точки снимка одновременно проектируются на экран пучком световых лучей и воспринимаются на листе фотографической бумаги в виде фотоизображения, а у перспектографа каждая точка снимка по отдельности проектируется при помощи механического луча в виде металлич. стержня и передается на лист ватманской бумаги в виде карандашного графич. изображения по принципу *пантографа* (см.). Перспектограф Алексапольского состоит (фиг. 12) из 2 колонок, монтированных на массивном металлич. основании. На одной колонке укреплен горизонтальный подъемный столик E, на к-рый накладывается лист ватмана с геодезич. основой, а на другой колонке укреплен подъемный столик P, могущий наклоняться вокруг горизонтальной оси HH с наложенным на нем вращающимся диском D, на котором прикрепляется трансформируемый контактный отпечаток. Столик P снабжен полой стойкой U с подвижным изогнутым под прямым углом стержнем Q, несущим кольцо карданного подвеса для муфты S, внутри к-рой скользит стержень ba, конец к-рого a снабжен острием и служит для обвода контуров трансформируемого аэрофотоснимка. Муфта A, внутри к-рой скользит другой конец стержня ba, подвешена при помощи карданного подвеса в кольце на конце рычага R пантографа T; другой конец рычага R снабжен карандашом K. Ф. на перспектографе может производиться или по ориентировочным точкам или по элементам ориентирования. Прибор применяется на производстве преимущественно для обработки материалов перспективной аэрофотосъемки в средних и мелких масштабах и для исправления старых карт.



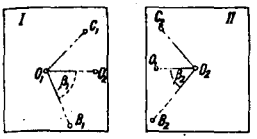
Фиг. 12.

Лит.: Курс геодезии под ред. Ф. Красовского, ч. 2, М., 1930; Соколов П., Материалы к курсам проективной геометрии и контурной аэросъемки, М., 1931; Инструкция по производству контурно-комбинированной аэрофотосъемки, Москва, 1932; Перспектограф, Сов. П. 16427/1930.

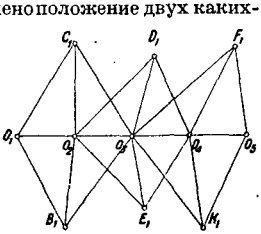
Н. Веселовский.

ФОТОТРИАНГУЛЯЦИЯ, определение дополнительных ориентировочных (фотограмметрических) точек, необходимых для *фототрансформирования* (см.) снимков без выхода на местность, при наличии самого ограниченного числа наземных точек геодезич. основы. Применение Ф. в *аэрофотосъемке* (см.) обусловливается необходимостью удешевления и ускорения создания сети точек для трансформирования снимков, для чего надо иметь на каждом аэроснимке четыре ориентировочные точки. Но не всегда эти точки можно определить на местности. Например при создании сети ориентировочных точек в лесистых местах или в непроходимых болотах геодезич. измерения затруднительны и требуют значительных времени и расходов материальных средств. Сущность развития Ф. на снимках основана на том, что пересечение направлений, проведенных из фокальных точек (см. ниже) перекрывающихся между собой снимков на идентичные точки каждого из них, дает истинное положение этих точек в плане. Для уяснения сущности Ф. рассмотрим два последующих снимка, сделанных при строго вертикальном положении оптич. оси и перекрывающихся между собой на 60%, причем

предполагаем, что снятая местность горизонтальна и плоска. Вследствие того что снимки сделаны при строго вертикальном положении оптич. оси и плоскости этих снимков параллельны плоской местности, ситуационные контуры на снимках д. б. подобны соответствующим контурам местности, и углы между какими-нибудь направлениями на снимках в точности равны углам между соответствующими направлениями на местности. Направления O_1O_2 и O_1B_1 на снимке (фиг. 1) заключают между собою угол β_1; направления O_2O_1 и O_2B_2—угол β_2 и т. д. Измеряя на снимках эти направления и принимая базис O_1O_2 известным, получим все данные, необходимые для построения засечки только пока в неизвестном масштабе. Если точки O_1 и O_2—фокальные точки снимков, то из самих снимков при помощи описанного выше определим положение точек B, C и т. д. Присоединяя подобным образом третий, четвертый и т. д. снимки, получим в результате цепь тр-ков (фиг. 2). Масштаб этой цепи тр-ков во всех ее частях одинаков с масштабом принятого за известный базиса O_1O_2. Поскольку последний неизвестен, следовательно и масштаб сети и ориентирование неизвестны. Но как только будет определено положение двух каких-нибудь точек этой сети, напр. концов базиса O_1O_2, этим самым определится масштаб и ориентирование сети. Т. о. для случая горизонтальной местности определение ориентировочных точек на самих снимках возможно при условии, что снимки сделаны при строго вертикальном положении оптической оси, чего на практике не бывает. Почти все снимки имеют искажение от наклона местности и крена самолета. Из теории искажения снимков известно, что, каков бы ни был наклон аэроснимка, на нем всегда имеется точка, называемая фокальной (точкой нулевых искажений), углы при которой в точности равны соответственным углам на местности. Поэтому если за центры снимков (фиг. 2) брать фокальные точки, то построение даст сеть, подобную той, которая была бы получена методами наземной *триангуляции* (см.). Но здесь приходится столкнуться с вопросом определения фокальной точки. Для определения положения на снимке фокальной точки необходимо знать угол наклона α и угол крена x. Если бы углы наклона и крена были известны, то тогда расстояние фокальной точки от главной определилось по ф-ле



Фиг. 1.


Фиг. 2.

$$d_\phi = F \operatorname{tg} \frac{x}{2}$$

(главной точкой называется та, через к-рую проходит оптич. ось объектива); расстояние надирной точки от главной—по ф-ле

$$d_n = F \operatorname{tg} \alpha$$

(надирной точкой называется точка, лежащая на вертикали), что дает при $\alpha = 3°$ и $F = 20$ *см* расстояние надирной точки от главной, равное 1 *см*, а расстояние фокальной точки от главной—примерно 0,5 *см*. Если для отсчета направлений вместо фокальной точки пользоваться главной точкой снимка, то средняя ошибка направления, т. е. угла, отсчитанного от нек-рого начального направления, будет выражаться в мин.:

$$m = \pm 0{,}607' \sin^2 \alpha.$$

Вычисленные по этой ф-ле значения m для разных углов приведены ниже:

α	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
m	0,2′	0,7′	1,7′	3,0′	4,6′	6,5′	9,0′	11,8′	14,8′	18,3′

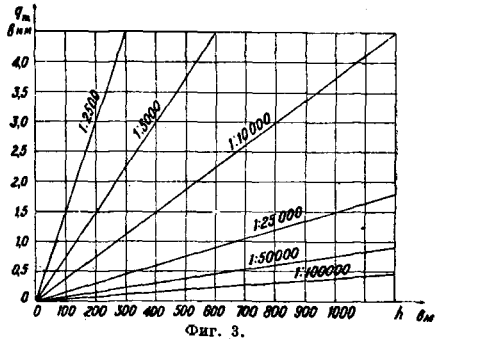
Величина ошибки в положении засекаемой точки зависит не только от ошибки в угле, но и от длины стороны тр-ка, образующегося при засечке. При наибольших употребительных форматах снимков 18×24 эта длина от главной точки снимка до засекаемой точки не м. б. больше 12—13 *см*. Дальнейшие вычисления показывают, что для того, чтобы при этих условиях указанная ошибка не была больше графич. точности (0,2 *мм*), ошибка в угле не должна превышать примерно 5′. Отсюда вытекает, что при углах наклона, не превышающих 3°, вполне допустимо пользоваться вместо фокальной точки главной точкой снимка. С другой стороны, наблюдения показывают, что при нормальных условиях съемки (60—65% перекрытия всех снимков) снимки имеют углы наклона, не превышающие 3°. Наличие снимков с бо́льшими углами наклона приводит к тому, что в Ф. получаются невязки. По этой причине практически необходимо на всю сеть брать не две ориентировочные точки, определенные геодезически, а больше, чтобы этим дать возможность произвести уравнивание сети между этими точками. Что касается разности высот, то при пользовании для Ф. главной точкой вместо надирной точки среднее поперечное смещение q_m засекаемой точки определяется ф-лой

$$q_m = F \operatorname{tg} \alpha \frac{\Delta h_{max}}{2} m,$$

где Δh_{max}—наибольшая разность высот в пределах одного снимка, а m—знаменатель численного масштаба Ф. Если принять, что угол наклона в среднем равен 3°, то эта формула примет вид

$$q_m = \pm 0{,}0124 \Delta h_{max} m.$$

Вычисление по этой формуле для различных масштабов и разностей высот дает диаграмму,



Фиг. 3.

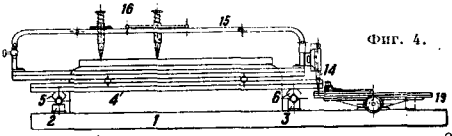
изображенную на фиг. 3. Она показывает, что графич. точность при Ф. не будет нарушена, если при обработке снимка в указанном ниже

масштабе разность высот в пределах одного снимка не будет превышать сл. величин:

$\frac{1}{m}$	1 : 2 500	1 : 5 000	1 : 10 000
Δh_{max} в м	12	30	60
$\frac{1}{m}$	1 : 25 000	1 : 50 000	1 : 100 000
Δh_{max} в м	130	300	600

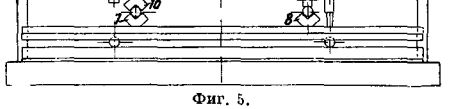
Развитие Ф. состоит из следующих основных процессов: 1) накидного монтажа (см. *Фотоплан*) и определения центров (главных точек) снимков (по меткам), 2) разбивки сети в заданном или произвольном масштабе и 3) переноса сети на геодезич. основу (ее сгущение), по к-рой будет в дальнейшем вестись трансформирование снимков. Ф. производится графич. и аналитич. методами. Графич. Ф. в свою очередь может вестись при посредстве специального прибора—надир-триангулятора или при посредстве калек в масштабе геодезич. основы или в произвольном масштабе.

Надир-триангулятор Дробышева служит для развития Ф. графич. путем. Графич. надир-триангулятор (фиг. 4, 5, 6) смонтирован



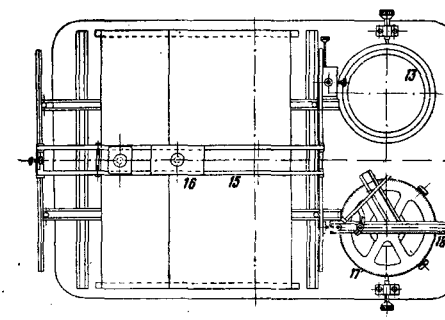
Фиг. 4.

на столе *1*, на к-ром прикреплены рельсы *2* и *3* (фиг. 4). Для передачи движения верхней части надир-триангулятора в желобах рельсов имеется по два шарика. На шариках катается нижняя рама *4*, состоящая из 4 желобчатых рельсов, из которых два *5* и *6* желобками обращены вниз (фиг. 4), а два *7* и *8*—вверх (фиг. 5). На каждом из верхних двух желобчатых рельсов *7* и *8* рамы *4* находится по два шарика. На этих шариках катается верхняя рама *9*, у к-рой имеется один желобчатый *10* и один простой *11* рельсы. Благодаря описанной конструкции достигнуто точное и легкое движение по двум направлениям верхней рамы *9*, кроме того эта система дает возможность легко переносить точки, прочерчивать засечки, что необходимо при Ф. На верхней раме *9* имеется микроскоп *12*, расположенный над стеклянным диском *13*, имеющим движение вокруг вертикальной оси



Фиг. 5.

(фиг. 6). Ведущий стержень *14* со сферич. концом и накладной штангой *15* с ползушкой *16* для установки иглы над выбранной точкой укреплен на диске *17*, имеющем по краю градусные деления. Диск *17* имеет желобок *18*, к-рый является направляющим и к-рый можно устанавливать вместе с лимбом на тот или иной угол. Ведущий стержень сферич. концом опущен в желобок *19* (фиг. 4), чем и осуществлена связь верхней рамы с лимбом. При движении ведущего стержня по направляющей получаем движение всей системы: микроскопа и карандаша в любом направлении. Построение Ф. на надир-триангуляторе Дробышева сводится к построению засечек по имеющимся ориентировочным точкам и главным точкам негативов. Перед началом работ определяется эксцентриситет лимба с помощью микроскопа. Сама засечка осуществляется следующим образом. Положив стекло, покрытое специальной массой, на планшет, ставят ведущий стержень в центр лимба; микроскоп ползушки наводят на начальную точку, а негатив, по которому будут делаться засечки, центрируют надирной точкой на диске. После этого диск с негативом поворачивают до тех пор, пока линия надира не будет стоять в желаемом направлении. Сделав эту установку, прочерчивают на покрытом массой стекле линию, руководствуясь при этом выбранным масштабом. Повторяя описанные действия, получают ряд прочерченных направлений. Устанавливая второй негатив и ориентируя его, прочерчивают по нему направления на те же точки. Пересечения направлений с первого и второго негативов дадут точки Ф. Для приведения полученной сети к определенному масштабу стекло вставляют в фоторедуктор (проекционный фонарь), проектирующий сеть в необходимом масштабе на экран с листом бумаги. На этом листе накалывается изображение всех вершин сети. Посредством надир-триангулятора Дробышева можно решать еще следующие задачи: 1) построение прямоугольных



Фиг. 6.

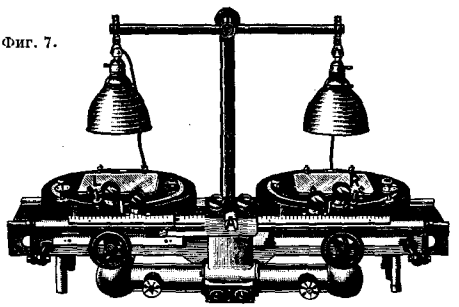
координат, 2) построение полярных координат, 3) копирование в масштабе 1 : 1 и 4) копирование в дробных масштабах.

Способ калек дает графич. построение Ф. При этом способе кальки, снятые с отдельных снимков, тоже накладываются на общий лист бумаги или целлюлоида, но направления с калек на бумагу не перекалываются. Построение Ф. ведется при помощи лучей, проведенных на самих кальках. На общем же листе бумаги наносится лишь положение определенных этим способом точек. В этом случае Ф. ведется не в произвольном масштабе, а в масштабе основы. Для облегчения уравнивания и для повышения точности масштаб этой основы следует брать бо́льшим, примерно в $1^1/_2$—2 раза, масштаба трансформирования. При взаимном ориентировании калек, снятых со снимков, на к-рые приходятся два каких-нибудь опорных пункта, принятых за основание, необходимо несколько раз перекладывать их, пока не будет достигнуто точное совпадение пунктов на кальках с пунктами основы. Ориентирование же остальных калек идет уже обычным способом. После

наложения всех калек и совмещения (не всегда точно) со всеми опорными пунктами необходимо передвинуть отдельные кальки так, чтобы опорные пункты на них точно совпали с опорными пунктами на основе и чтобы при этом возникающие в других местах тр-ки погрешностей имели наименьшую возможную величину. Центры тяжести тр-ков погрешностей принимаются за окончательное положение вершины фотограмметрич. сети. Для применения такого способа необходимо наличие: 1) хорошей прозрачной и недеформирующейся от влажности и тепла кальки и 2) монтажных столов со стеклянной крышкой и электрич. освещением снизу, причем во избежание сильного нагревания зеркального стекла и вместе с ним бумаги и калек (что влечет за собой расширение) под зеркальным стеклом на расстоянии 10—20 *см* д. б. еще одно стекло не зеркальное, покрытое папиросной бумагой. Способ калек особенно удобен в тех случаях, когда исполнена довольно большая наземная подготовка и без обеспечения остались только отдельные группы по 4—7 снимков, так что Ф. можно вести прямо в масштабе.

Аналогичный метод Ф. осуществляется при посредстве специальных приборов, называемых радиальными надир-триангуляторами (фиг. 7)

Фиг. 7.



Цейсса. По своему принципу они одинаковы и отличаются только в деталях. Каждая пара соседних снимков маршрута укрепляется на вращающихся дисках L и R (фиг. 7). Диски вместе со снимками могут перемещаться по направляющей F. Первоначальным положениям каждого центра вращения соответствует отсчет по измерительной метке стереомикроскопа A. Ориентирование снимков в первом приближении производится так: точку вращения снимка L приводят в оптич. совмещение с соответствующей измерительной меткой и затем перемещают и вращают снимок R до тех пор, пока точка местности снимка R, соответствующая центру вращения L, не покажется совмещенной с измерительной меткой R. Аналогичным образом ориентируют снимок на диске L. Ориентирование соответствует приближенному предварительному совмещению снимков вдоль прямой, направление к-рой определяют. Указанный метод позволяет наметить прямую между двумя соседними центрами вращения самым точным образом. Направление этой прямой отсчитывается с точностью до 16″. Для определения направлений на дальнейшие точки рамка с одним из снимков снимается с диска и заменяется рамкой с другим соседним перекрывающимся снимком. Вспомогательный круг позволяет передвигать и вращать снимок в рамке так, чтобы выбранная точка совпала с центральной меткой, а какая-нибудь другая выбранная точка снимка — с нулевой меткой рамки. Точность определения направлений на радиальном надир-триангуляторе Цейсса соответствует точности тригонометрич. сети V класса. В описании различных способов фототриангуляции, сделанном выше, намечена только схема работ для построения фототригонометрических сетей, соединение которых дает собственно сеть. На практике часто оказывается выгоднее строить сразу сеть для нескольких маршрутов, особенно когда последние перекрываются больше чем на 50%. В этом случае, если маршруты равны, основную сеть можно строить сразу для двух маршрутов и при этом из одних только главных точек. Возможны и другие варианты. Выбор того или иного из них обусловливается исключительно практич. целесообразностью. Особого упоминания заслуживает вопрос о наколке точек Ф. на негативах: ошибки, обусловливаемые неточной наколкой точек, могут превысить ошибки, обусловливаемые искажением углов; поэтому эту работу необходимо выполнять со всей возможной тщательностью, подвергая ее всегда контролю. В последнее время произведены попытки аналитич. уравнивания Ф., аналогично обыкновенной наземной триангуляции. В этом виде Ф. углы тр-ков измеряют по аэроснимкам с помощью специально устроенного диска и проекционного фонаря, а затем ведут обычные вычисления по уравниванию сети, несколько упрощенные. Такого рода аналитич. Ф. не может конечно заменить основную тригонометрич. сеть высших разрядов и пригодна только для обоснования съемок невысокой точности в мелком масштабе.

В. Платон.

Лит.: см. *Фототрансформатор.*

ФОТОФОРЕЗ, увлечение световым потоком микроскопических или ультрамикроскопических частиц, взвешенных в разреженном пространстве. Явление наблюдалось Эренгафтом при освещении частиц интенсивным дуговым светом. Ф. на металлических частицах происходит в направлении светового потока и в основном объясняется световым давлением. На частицах из плохо проводящих веществ (сера, селен) Эренгафт наблюдал также отрицательный Ф. в направлении, противоположном распространению света. Как показали теоретич. расчеты Рубиновича и Эйнштейна, отрицательный Ф. может быть сведен к радиометрическому эффекту, объясняющемуся плохой теплопроводностью соответствующих частиц. Окончательно вопрос об отрицательном Ф. до сего времени еще не разрешен.

С. Вавилов.

ФОТОХИМИЯ, учение о химич. действиях света. Ф. является одной из самых молодых областей знания и как научная дисциплина насчитывает сто с небольшим лет. Это объясняется тем, что в течение долгого времени наиболее известные фотохимич. реакции (фотосинтез в растении, выцветание красок на солнце) приписывали не свету, но теплоте солнца. Начало количественному исследованию фотохимич. процессов положено работами Гроттуса (1817 г.) и затем Дрепера (1841—1845 гг.), впервые сформулировавших закон, согласно к-рому химически действуют только те лучи, к-рые поглощаются веществом. С другой стороны, Бунзен и Роско (на основании исследований фотохимич. образования HCl из газообразных H_2 и Cl_2) установили связь между количеством превращенного вещества и количеством падающей лучистой энергии. Согласно закону

Бунзена-Роско фотохимич. действие будет одно и то же, если произведение интенсивности падающего света на время его действия постоянно, т. е. если свет разной интенсивности J_1 и J_2 действовал в течение различных промежутков времени t_1 и t_2, то эффект будет одинаков, если $J_1t_1 = J_2t_2$. Поскольку в законе Бунзена-Роско речь идет о падающей интенсивности и не учитываются возможные изменения абсорбции в течение самой реакции, применимость его ограничена, и в целом ряде случаев наблюдаются заметные отступления от этого закона. В начале 20 в. (Вант-Гофф, 1904) в качестве обобщения законов Гротгуса-Дрепера и др. было высказано предположение о том, что фотохимический эффект определяется полным количеством поглощенной энергии. Это предположение было подвергнуто экспериментальной проверке, причем впервые были применены точные физические методы (Лютер, Вейгерт, Лазарев), и получило полное количественное подтверждение для случая, когда реакция идет в одной полосе поглощения. Однако начало пониманию внутреннего механизма фотохимич. процессов было положено тогда, когда было понято, что Ф. есть проблема теории *квантов* (см.). Истинным основным законом Ф. является фотохимич. закон эквивалентности (Эйнштейн, 1912), связывающий количество прореагировавших молекул с числом поглощенных световых квантов. Быстрое развитие теории молекулярных спектров, последовавшее за возникновением теории атома Бора, позволило уже в самое последнее время (Франк, 1926) окончательно понять природу элементарного фотохимич. процесса.

Независимо от общей Ф. развивалась научная фотография; к пониманию природы т. н. скрытого изображения удалось прийти лишь в самое последнее время благодаря чисто физич. работам над фотопроводимостью кристаллов.

Фотохимич. закон эквивалентности. Процесс поглощения света согласно современным представлениям сводится к поглощению отдельными молекулами целых квантов излучения, так что не все молекулы в результате поглощения получают избыток энергии, но только нек-рые. Величина этого избытка энергии весьма значительна: так, поглощение квантов фиолетовых лучей ($\lambda = 4\,000$Å) эквивалентно сообщению энергии ~80 Cal на моль. Очевидно, что число молекул, получивших такую избыточную энергию, как-раз равно числу поглощенных световых квантов. Поэтому если в результате поглощения света происходит фотохимич. реакция, то число первичных фотохимич. процессов д. б. равно числу поглощенных световых квантов. В этом и заключается фотохимич. закон эквивалентности (Эйнштейна), к-рый т. о. является простым следствием квантовой природы поглощения. Экспериментальное изучение квантовых выходов, т. е. числа прореагировавших молекул на один поглощенный квант, показало (Э. Варбург), что в то время как для значительного числа реакций величина квантового выхода близка к 1, как это д. б. по закону Эйнштейна, существует много реакций, где этот закон кажущимся образом грубо нарушается. Так напр., при фотохимич. реакции $H_2 + Cl_2 = 2HCl$ на 1 поглощенный квант приходится до 10^5 образующихся молекул HCl. Отступления происходят вследствие того, что при фотохимич. реакциях вслед за первичным процессом весьма часто следует ряд вторичных. Если при этом цепь вторичных процессов обрывается быстро, квантовый выход выражается небольшим числом (2—3); в отдельных же случаях получаются весьма длинные цепи, и квантовый выход достигает огромной величины (см. ниже).

Элементарные фотохимич. процессы в газах. Фотохимич. закон эквивалентности дает определенный критерий наличия или отсутствия вторичных процессов, следующих за первичным. Зная квантовый выход и кинетику реакции, можно сделать заключение об ее механизме, но природа самого первичного процесса м. б. раскрыта лишь путем изучения спектра абсорбции реагирующего вещества. Проблема состоит в следующем. Если молекула поглощает квант света, то каков непосредственный результат этого поглощения: происходит ли непосредственно вслед за ним спонтанный распад молекул на более простые части или же возбужденная молекула должна испытать еще последующее соударение, для того чтобы произошел распад? Ответ на этот вопрос сделался возможным благодаря успехам в изучении т. н. полосатых, или молекулярных, *спектров* (см.). Рассмотрим простейший случай двухатомной молекулы. Согласно условию частот Бора испускание и поглощение света происходит только при переходах между двумя стационарными энергетич. состояниями, причем $h\nu_{mn} = E_m - E_n$, где E_m и E_n—энергии соответственных состояний. Первая задача сводится к отысканию возможных энергетич. состояний молекулы. Энергия молекулы E, вообще говоря, м. б. представлена как сумма трех слагаемых: электронной энергии E_e, энергии колебаний ядер, образующих молекулу E_v, и энергии вращения молекулы как целого E_r:

$$E = E_e + E_v + E_r;$$

$$E_e \gg E_v \gg E_r.$$

Энергия вращения молекулы как целого в простейшем случае вполне симметричной электронной оболочки (состояние $^1\Sigma$) сводится к энергии вращения одних только ядер и м. б. точно вычислена при помощи волновой механики:

$$E_r = K(K+1)\frac{h^2}{8\pi^2 J} = K(K+1)B,$$

где K—квантовое число вращения—целое число, равное 0, 1, 2...; J—момент инерции, а $B = \frac{h^2}{8\pi^2 J}$. Если мы положим, что при возбуждении молекулы изменяется только одна энергия вращения, т. е. $\Delta E_e = \Delta E_v = 0$, то мы получим т. н. ротационный спектр. Частоты

$$\nu_r = \frac{\Delta E}{h} = \frac{\Delta E_r}{h};$$ но $$\Delta E_r = [K'(K'+1) - K''(K''+1)]\ B.$$

При помощи квантовой механики можно показать, что не все мыслимые переходы между различными состояниями вращения возможны, но только такие, при к-рых K изменяется на единицу, т. е. $K' - K'' = \Delta K = \pm 1$. Имея это в виду, получим

$$\Delta E_r = 2(K+1)B = 2MB,$$

где $M = K + 1 = 1, 2, 3 \ldots$

И следовательно

$$\nu_r = 2M\frac{h}{8\pi^2 J},\ M = 1, 2, 3, \ldots,$$

т. е. чисто ротационный спектр должен состоять из ряда равноотстоящих линий. Т. к. ΔE_r имеет относительно весьма малые значения (порядка cal), то ν_r также имеют малые значения, и весь спектр лежит в далекой инфракрасной части. Такие спектры действительно известны и промерены, напр. в случае газообразных HF, HCl, HBr, HJ (Черни). Т. к. изменения энергии вращения ограничены правилом отбора ($\Delta K = \pm 1$), то эти изменения слишком малы, чтобы можно было ожидать в результате их каких-либо фотохимич. превращений.

Энергия колебаний. С грубым приближением можно рассматривать молекулу как гармонический вибратор, механич. моделью к-рого могут служить два шара, соединенные упругой пружиной. Для такого вибратора сила, возвращающая шары к их положе-

нию равновесия, пропорциональна элонгации $F = -fx$; f—*постоянная* квазиупругой силы, а частота колебаний вычисляется по известной из механики ф-ле $\omega = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{f}{\mu}}$, где μ—приведенная масса: $\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_A} + \frac{1}{m_B}$. Энергия гармонич. вибратора м. б. вычислена по квантовой механике:

$$E_v = \left(v + \frac{1}{2}\right) h\omega, \quad v = 0, 1, 2, 3 \ldots$$

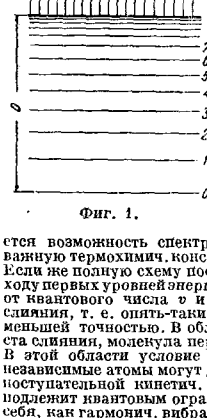
Заметим, что при $v = 0$ получается $E_v = \frac{1}{2} h\omega$, т. е. квантовая теория требует существования «нулевого колебания» $= \frac{1}{2} h\omega$. Частота, излучаемая или поглощаемая молекулой—гармонич. вибратором,

$$\nu_v = \frac{\Delta E_v}{h} = \left[\left(v' + \frac{1}{2}\right) - \left(v'' + \frac{1}{2}\right)\right] \omega = (v' - v'')\omega.$$

Т. к. здесь также имеет место «правило отбора» $\Delta v = \pm 1$, то $\nu_v = \omega$, т. е. частота колебаний такой молекулы д. б. равна частоте колебаний механич. модели. На самом деле однако допущение гармоничности колебаний молекулы б. или м. отвечает действительности лишь при малых значениях v, т. е. *при малых амплитудах* колебаний. По мере усиления колебаний сила связи в молекуле все в большей степени будет отличаться от квазиупругой. При больших амплитудах связь расслабляется и в конце-концов становится равной нулю—молекула диссоциирует. Мы можем с известным *приближением*, к-рое оказывается во многих случаях вполне достаточным, принять, что отступление от гармоничности—степень ангармоничности—пропорционально квантовому числу $v + \frac{1}{2}$, т. е. что

$$E_v = \left(v + \frac{1}{2}\right) h\omega \left[1 - x\left(v + \frac{1}{2}\right)\right] =$$
$$= h\omega \left[\left(v + \frac{1}{2}\right) - x\left(v + \frac{1}{2}\right)^2\right],$$

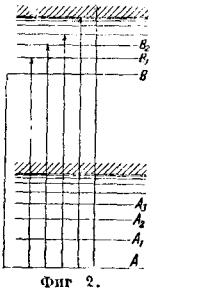
где x—фактор ангармоничности. Из этого ур-ия следует, что по мере усиления колебаний (увеличение v) разность между соседними значениями энергии убывает. Т. о. если мы построим схему уровней *колебательной* энергии, то получим последовательность, изображенную на фиг. 1, где видно, что соседние уровни постепенно сближаются вплоть до полного слияния. Последнему отвечает случай, когда сила связи между атомами становится равной нулю, т. е. молекула перестает существовать как целое—она диссоциирует. Очевидно, что высота этого места слияния над нулевым уровнем равна энергии диссоциации. В нек-рых случаях подобная схема колебательных уровней м. б. полностью построена на основании изучения молекулярного спектра. В таких случаях имеется возможность спектроскопически определить столь важную термохимич. константу, как энергия диссоциации. Если же полную схему построить не удается, то все же по ходу первых уровней *энергии можно найти их зависимость* от квантового числа v и затем экстраполировать место слияния, т. е. опять-таки найти энергию D, хотя уже с меньшей точностью. В области, расположенной выше места слияния, молекула перестает существовать как целое. В этой области условие квантования *теряет* свою силу: независимые атомы могут двигаться с любыми значениями поступательной кинетич. энергии, т. к. последняя не подлежит квантовым ограничениям. Пока молекула ведет себя, как гармонич. вибратор (при малых v), соблюдается правило отбора $\Delta v = \pm 1$, т. е. *переходы возможны* только между соседними уровнями, и молекула излучает или поглощает только одну основную частоту $\nu = \omega$; частоты, отвечающие «обертонам»—2ω, 3ω, невозможны. Для больших значений v гармоничность нарушается, и правило отбора падает; вместе с тем *появляются линии* «обертонов». Однако интенсивность их мала и чрезвычайно быстро убывает, что указывает на малую вероятность переходов $\Delta v > 1$. Отсюда следует, что распад молекулы путем одного только накопления колебаний (без одновременного электронного перехода) *практически мало вероятен*.



Фиг. 1.

Электронная энергия является наибольшим по величине слагаемым в сумме $E_e + E_v + E_r$. Электронные уровни молекулы могут образовывать такие же последовательности, как и электронные уровни атома. *На самом деле для большинства молекул* известно лишь весьма небольшое число таких уровней. Электронная энергия характеризуется квантовыми числами, из к-рых важнейшим является Λ, аналогичное квантовому числу L *орбитального момента* у атомов, но отличающееся от него тем, что Λ представляет собою проекцию орбитального момента на электрическую ось молекулы (прямую, соединяющую ядра). Подобно тому как в зависимости от величины L (0, 1, 2 ...) у атомов различают S-, P-, D-термы, в случае молекул значениям $\Lambda = 0, 1, 2$ ... отвечают различные серии термов, к-рые здесь обозначаются как Σ-, Π-, Δ- ... термы. Переходы между различными термами регулируются правилами отбора, а именно $\Delta\Lambda$ м. б. равно 0 или ± 1, т. е. *возможны* переходы $\Sigma - \Sigma$, $\Pi - \Pi$ или $\Sigma - \Pi$ и т. д. (см. *Спр. ТЭ*, т. IX, стр. 112 и 132).

Пусть A (фиг. 2)—уровень с нулевым колебанием ($v=0$) при нормальном состоянии, B—такой же уровень при возбужденном состоянии электронной оболочки. Над каждым из электронных уровней A и B *расположен* еще ряд колебательных уровней $A_1, A_2, \ldots B_1, B_2, \ldots$ Поэтому при поглощении света возможны не только переходы между A и B, но еще и переходы AB_1, AB_2, ... Т. о. вместо одной линии мы получим уже целую последовательность их. Но между каждыми двумя соседними колебательными уровнями *лежит* еще целая серия гораздо более тесно расположенных вращательных уровней, к к-рым также возможны переходы. Эти последние в еще большей степени усложняют спектр, так что вместо каждой линии, отвечающей переходу между определенными колебательными уровнями, получаются полосы, состоящие из большого числа очень тесно расположенных линий и часто имеющие с одной стороны *резкий край или кант*. Вследствие значительной разницы в величине отдельных слагаемых энергии молекулы ($E_e \gg E_v \gg E_r$) мы получаем следующую градацию: электронный переход определяет область длин волн, где расположен весь спектр; переходы между колебательными уровнями создают последовательность полос, и наконец переходы между вращательными уровнями обусловливают тонкую структуру каждой отдельной полосы. Колебательные уровни верхнего состояния, так же как и уровни нижнего состояния, сближаются до полного слияния, отвечающего диссоциации возбужденной молекулы.



Фиг 2.

Фотохимические реакции возбужденных атомов и молекул. В предыдущем мы рассматривали исключительно такие случаи, где переходы происходят между дискретными энергетич. состояниями; атом или молекула, возбужденные до одного из таких дискретных энергетич. уровней, обладают способностью пребывать в этом возбужденном состоянии в течение заметного промежутка времени. Разнообразные экспериментальные методы позволяют непосредственно определить это «время задержки», обычно обозначаемое через τ. В большинстве случаев τ равно $10^{-8} \div 10^{-7}$ ск.; реже наблюдаются более значительные величины τ (напр. для возбужденного NO_2 $\tau = 10^{-5}$ ск.). В масштабе внутриатомных (молекулярных) процессов эти промежутки времени имеют огромную величину: достаточно указать, что за 10^{-8} ск. молекула успевает совершить 10^5 колебаний. Если газ достаточно разрежен, то по истечении времени τ молекула спонтанно возвращается в нормальное состояние, отдавая свой избыток энергии вновь в виде света (флуоресценция газов). При этом оказывается, что количества энергии, которые молекулы

могут таким путем поглощать и испускать, сохраняя свою целостность, могут значительно превосходить их энергию диссоциации. Так, молекула J_2 при освещении линией $\lambda = 1\,849$ Å (далекий ультрафиолет) дает типичный молекулярный спектр флуоресценции, свидетельствующий о сохранении молекулы как целого несмотря на то, что избыток энергии, которым обладает при этом возбужденная молекула J_2, в пять раз превосходит энергию ее диссоциации. Таким образом при достаточно низком давлении выход флуоресценции равен 100%, а фотохимич. выход равен нулю. Но возбужденные молекулы, обладающие столь значительными избытками энергии, обладают и повышенной способностью к химич. реакциям. Если примешать к разреженному газу какой-нибудь другой газ, то интенсивность флуоресценции, вообще говоря, убывает («гашение флуоресценции»), но вместе с тем во многих случаях наблюдается фотохимич. реакция. Естественно представить, что те из возбужденных молекул, к-рые за время τ не испытают соударения, возвратятся в нормальное состояние спонтанно, отдавая избыток энергии в виде излучения флуоресценции; те же, к-рые в возбужденном состоянии соударяются с посторонними молекулами, могут затрачивать свой избыток энергии на химическую реакцию и в этом случае излучения не дадут. — Простейшей фотохимической реакцией этого типа является например реакция между возбужденными атомами Hg и молекулами O_2. При освещении разреженных паров Hg монохроматическим светом $\lambda = 2537$ Å наблюдается интенсивная флуоресценция с испусканием той же линии $\lambda = 2537$ Å (резонансное излучение); если же примешать к парам Hg кислород, то флуоресценция сильно ослабляется, а вместе с тем начинает итти реакция с образованием HgO. Нетрудно видеть, что только в предельном случае достаточно высокого парциального давления примешанного газа каждая возбужденная молекула в течение времени τ испытает соударение, ведущее к реакции. В этом случае квантовый выход будет равен 1 [если не происходит *цепной реакции* (см.)]; если же давление низко, то часть возбужденных молекул вернется в нормальное состояние (с испусканием света), и квантовый выход будет < 1. Итак, для случая, когда первичный процесс сводится к возбуждению, возможны сколь-угодно малые квантовые выходы, и кроме того квантовый выход должен сильно зависеть от давления.

Наряду с обычными возбужденными состояниями, для которых $\tau \cong 10^{-8}$, известны и т. н. метастабильные состояния, где τ может достигать относительно огромных значений от 10^{-2} ск. и даже до нескольких ск. Ясно, что в этом случае квантовый выход даже при низких давлениях должен в огромной степени возрастать. Замечательным примером таких состояний является недавно открытое метастабильное состояние молекулы O_2 (состояние $^1\Sigma$), где τ достигает 7 ск.; энергия возбуждения для этого состояния равна 37 Cal, и следовательно все реакции, где тепловой эффект меньше или равен этой величине, могут легко возбуждаться молекулами O_2 в этом метастабильном состоянии. Повидимому оно играет большую роль в фотохимическом разрушении озона в верхних слоях атмосферы.

Возбужденные атомы и молекулы могут давать начало фотохимич. реакции, не только вступая в реакцию сами, но также путем передачи энергии другим молекулам посредством ударов второго рода. При этих ударах возбужденная молекула возвращается в нормальное состояние без излучения и весь свой избыток энергии передает соударяющейся частице. Самый простой случай здесь состоит в том, что последняя при этом увеличивает свой запас кинетич. энергии. Результатом этого явился бы переход энергии возбуждения в энергию хаотических тепловых движений. Опыт и теория согласно показывают однако, что такое использование энергии возбуждения на самом деле происходит с весьма малой степенью вероятности. Гораздо вероятнее передача энергии тогда, когда соударяющаяся частица может использовать значительную часть получаемой энергии, для того чтобы в свою очередь перейти в возбужденное состояние. Может случиться при этом, что, получив таким путем избыток энергии, частица отдаст его в виде излучения — сенсибилизированной флуоресценции; в других случаях частица под влиянием полученной энергии может вступить в реакцию с какой-нибудь другой частицей или сама испытать распад. Во всех случаях этого типа происходит т. н. сенсибилизированная фотохимич. реакция. Наиболее типичными сенсибилизаторами являются атомы Hg: при поглощении света с $\lambda = 2\,537$ Å они приходят в возбужденное состояние ($^3p_1$) с избытком энергии ~110 Cal на моль. Если в смеси с парами Hg имеются пары Cd, то при соударении с Hg* (звездочка указывает на возбужденное состояние) атомы Cd возбуждаются и начинают флуоресцировать, хотя в отсутствие Hg пары Cd в этой области совсем не поглощают света и следовательно не могут флуоресцировать. Это — типичный случай сенсибилизированной флуоресценции. Если же к ртутному пару примешан водород, то при освещении той же $\lambda = 2\,537$ Å наблюдается диссоциация H_2:

$$Hg + h\nu = Hg^*; \quad Hg^* + H_2 = 2H + Hg,$$

хотя часть атомов реагирует по схеме:

$$Hg + h\nu = Hg^*; \quad Hg^* + H_2 = HgH + H.$$

Известен и ряд других реакций возбужденных атомов Hg: в смеси $H_2 + O_2$ под влиянием освещения в присутствии Hg происходит образование воды при комнатной $t°$; наблюдались также многочисленные реакции углеводородов в присутствии Hg*. Вероятность передачи энергии при таких процессах тем больше, чем меньшая часть энергии идет при этом на увеличение кинетической энергии молекул и следовательно чем бо́льшая ее часть превращается в энергию возбуждения. Мы имеем здесь дело со своеобразным резонансным эффектом, к-рый проявляется весьма резко. Так, при флуоресценции паров Na, сенсибилизированной Hg, в спектре флуоресценции подавляющая часть интенсивности приходится на линию, отвечающую переходу $7^2S - 2^2P$; но как-раз этому переходу отвечает энергия (4,880 V), весьма близкая к энергии возбуждения атома $Hg(^3p_1) = 4{,}860$ V. Подсчет расстояний, на к-рых происходит передача энергии при условии резонанса, показывает, что расстояние это всегда значительно (иногда в сотни раз) превосходит величину радиуса молекулы, вычисленную на основании кинетич. теории газов. Причина появления повышенных эффективных радиусов передачи энергии при резонансе разъяснена при помощи волновой механики.

Фотохимические изменения связей. Близкими к рассмотренному типу первичных фотохимич. процессов являются реакции, в которых изменяется характер связей. Одним из наиболее замечательных новых результатов спектроскопии сложных молекул является возможность решения вопроса о том, имеем ли мы дело с простой, двойной или тройной связью; характерной для вида связи является величина K, определяемая из ур-ия

$$2\pi\omega = \sqrt{\frac{2K}{I}},$$

где ω—частота механических колебаний, а I—момент инерции. Обе эти величины определяются путем анализа молекулярных спектров: первая — путем исследования последовательностей кантов, вторая—путем анализа тонкой структуры полосы. Оказывается, что в веществах с двухатомной молекулой (углерод, азот, кислород) значения K в самых разнообразных соединениях с простой, двойной и тройной связями весьма близки соответственно 27ν, 54ν и 79ν, т. е. почти точно относятся, как 1 : 2 : 3. Вместе с тем частоты колебаний во всех случаях весьма близки к одним и тем же средним значениям: для тройной связи X ⋮ X—2 200, для двойной — X : X—1 650 и для простой — X · X ~ 1 000. Если выбрать три молекулы с одинаковым числом электронов: N_2, CO и C_2H_2, то они обнаруживают поразительную аналогию—все три в нормальном состоянии обладают двойной связью, и т. к. у них кроме того электронные оболочки имеют замкнутый характер, то в нормальном состоянии все три являются инертными в химическом отношении. Однако анализ спектров этих молекул показывает, что в возбужденном состоянии тройная связь заменяется двойной (ω изменяется от 2 200 до 1 700), вместе с тем одна связь освобождается, и молекула приобретает способность легко реагировать. Т. о. известная реакция окисления ацетилена в формальдегид (по Мекке) м. б. истолкована сл. обр.:

$$1\ HC \equiv CH + h\nu \rightarrow H\underset{\cdot}{C} = \underset{\cdot}{C}H;$$

$$1\ H\underset{\cdot}{C} : \underset{\cdot}{C}H + \underset{\cdot}{O} = \underset{\cdot}{O} \rightarrow H\underset{\cdot}{C} = \underset{\cdot}{C}H \rightarrow \underset{\underset{O}{\parallel}}{\overset{\overset{H}{\diagdown}}{C}} - \underset{\underset{O}{\parallel}}{\overset{\overset{H}{\diagup}}{C}} \rightarrow H_2C = O + CO$$

$O = O$ — формальдегид; глиоксаль

Аналогичное явление имеет место в случае молекул с двойной связью: O_2, H_2CO, C_2H_4. Здесь в результате абсорбции света двойная связь заменяется простой, и молекулы опять-таки приобретают повышенную способность к реакции. Как известно, двойные связи играют большую роль в химии красителей: именно они являются «хромофорными» связями. Т. о. анализ молекулярных спектров приводит к выводу, что краска устойчива к свету тогда, когда абсорбция не изменяет характера ее связей.

Оптическая диссоциация, фотодиссоциация, важнейший тип элементарных фотохимических процессов, при котором возбужденная молекула спонтанно, т. е. без последующего соударения, распадается на атомы или вообще на составляющие ее части. Механизм таких процессов выяснился благодаря изучению молекулярных спектров. Для понимания этого механизма необходимо ознакомиться с одним удобным вспомогательным приемом, получившим за последнее время широкое применение, — с методом рассмотрения при помощи потенциальных кривых.

Потенциальная кривая изображает зависимость потенциальной энергии молекулы от расстояния между ее ядрами. Очевидно, что образование устойчивой молекулы из атомов возможно только в том случае, когда потенциальная энергия $U(r)$ при нек-ром расстоянии атомов r_e имеет минимум, отвечающий устойчивому равновесию. Разложим $U(r)$ в ряд по степеням смещения $r—r_e$:

$$U(r) = U(r_e) + (r - r_e)\left(\frac{dU}{dr}\right)_{r=r_e} + \frac{(r-r_e)^2}{2}\cdot\left(\frac{d^2U}{dr^2}\right)_{r=r_e} + \ldots$$

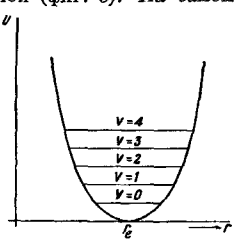
Если смещение мало, то в этом ряде можно ограничиться написанными членами и отбросить все члены с высшими степенями $(r - r_e)$. Принимая за нуль потенциальной энергии то ее значение, при к-ром ядра находятся в равновесии, получим $U(r_e) = 0$, а т. к. при $r = r_e$ получаем минимум потенциальной энергии, то и

$$\left(\frac{dU}{dr}\right)_{r=r_e} = 0.$$

Отсюда

$$U(r) = \frac{(r-r_e)^2}{2}\left(\frac{d^2U}{dr^2}\right)_{r=r_e} = k\xi^2,$$

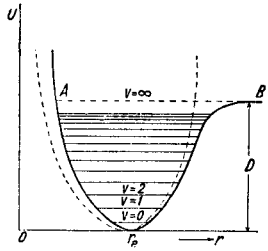
где $\xi = r - r_e$. На основании соотношения между силой и потенциалом получим $F = -\frac{\partial U}{\partial \xi} = -2k\xi$. Т. о. для малых смещений мы всегда можем принять, что сила пропорциональна смещению, т. е. что колебания гармонические, и т. к. в этом случае $U = k\xi^2$, то кривая потенциальной энергии будет параболой (фиг. 3). На самом деле однако это будет верно только для r, близких к r_e. По мере возрастания r сила увеличивается не беспредельно, но возрастает до некоторого максимума, после чего начинает убывать, падая до нуля, когда атомы раздвинуты настолько, что связь между ними нарушается, и молекула диссоциирует. Но при этих условиях отбрасывание высших членов ряда становится недопустимым, и формула, выражающая зависимость U от смещения, приобретает более сложный вид. Мы можем однако легко установить качественно ход кривой потенциальной энергии. Так как сила связи при некоторой величине смещения начинает ослабляться, то кривая $U(r)$ в сторону возрастающих r поднимается медленнее, нежели парабола, затем проходит через точку перегиба и наконец идет параллельно оси абсцисс, когда связь между атомами нарушается. Наоборот, влево от r_e реальная кривая идет круче, нежели парабола, вследствие чрезвычайно быстрого возрастания отталкивательных сил на малых расстояниях (фиг. 4). В нормальном, невозбужденном состоянии молекулы атомы покоятся на расстоянии r_e. Если мы их раздвинем или сблизим, то появится сила, тянущая их обратно к положению равновесия. Под влиянием этой силы молекула придет в колебание, причем изменение потенциальной энергии при этом колебании наглядно будет представляться потенциальной кривой молекулы. Если мы себе представим, что один из атомов закреплен в начале координат, то другой будет



Фиг. 3.

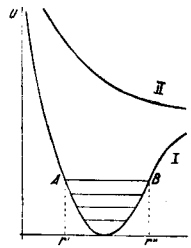
колебаться так, как колеблется под действием силы тяжести шарик, положенный в чашу, сечение к-рой имеет форму потенциальной кривой.

Мы знаем однако, что колеблющаяся молекула не может обладать любым запасом энергии колебаний, но только определенными количествами этой энергии, образующими дискретный ряд. Эти возможные значения энергии образуют лестницу уровней (фиг. 1 и 2). Весьма удобно комбинировать потенциальную кривую со схемой уровней (фиг. 3 и 4). С точки зрения классическ. физики описанные взаимодействия между атомами, ведущие к образованию молекулы, являются единственно возможными. Новая квантовая механика показала однако, что два атома водорода при сближении взаимодействуют по потенциальной кривой *I* (фиг. 5) лишь в 25% из числа всех возможных случаев; в 75% случаев они взаимодействуют по кривой *II*, вовсе не имеющей минимума. Так как эта последняя кривая при уменьшении расстояния монотонно идет вверх, то это значит, что атомы на всех расстояниях отталкиваются. Возможность такого рода взаимодействий, подтверждаемая многочисленными спектроскопическими фактами, не ограничивается водородными атомами. Очевидно, что при взаимодействии по кривой *II* устойчивая молекула вообще не может образоваться, и следовательно при переходе с кривой типа *I* на кривую типа *II* уже существовавшая молекула должна испытать распад. Существованием таких кривых объясняется фотохимический распад в целом ряде случаев.

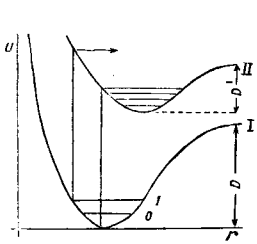


Фиг. 4.

Потенциальными кривыми можно воспользоваться при рассмотрении механизма элементарных фотохимич. процессов. Непосредственным результатом поглощения квантов видимой или ультрафиолетовой части м. б. только возбуждение электронной оболочки. Между тем распад молекулы всегда является следствием колебаний ее ядер. Объяснение того, каким образом происходит передача части электронной энергии колеблющимся ядрам, дал Франк: электронное возбуждение есть весьма быстрый процесс, т. ч. значительно более тяжелые ядра в момент, когда электронный переход уже завершен, еще сохраняют прежнее положение равновесия; но возбуждение электрона как правило резко изменяет условия равновесия в молекуле; в результате ядра, находившиеся в момент поглощения в равновесии, после перехода приобретут избыток потенциальной энергии и начнут совершать колебания около нового положения равновесия. Рассуждение приобретает особую ясность, если воспользоваться потенциальными кривыми: на фиг. 6: *I*—потенциальная кривая нормального состояния, *II*—потенциальная кривая возбужденного состояния. Т. к. при электронном переходе по принципу Франка расстояние между ядрами не меняется, то переход ведет в ту точку верхней потенциальной кривой, к-рая лежит непосредственно над точкой нижней потенциальной кривой, изображающей расстояние ядер в невозбужденном состоянии. Т. о. для нахождения колебательного состояния после возбуждения достаточно провести вертикальные стрелки, как показано на чертеже. При том взаимном расположении верхней и нижней потенциальных кривых, к-рое дано на этом чертеже, переход из «неколеблющегося» состояния ведет к образованию сильно колеблющейся возбужденной молекулы ($v'=4$). Переход же из более высокого колебательного состояния нижней потенциальной кривой ведет в такую точку верхней потенциальной кривой, к-рая лежит выше горизонтальной асимптоты кривой, т. е. запас потенциальной энергии в этом случае превосходит энергию диссоциации, и молекула испытает распад в результате одного только электронного возбуждения без всякого последующего соударения. Наступление подобной оптич. диссоциации сказывается на виде спектра абсорбции. Именно, пока возбуждение ведет к определенным дискретным уровням верхнего состояния, спектр абсорбции имеет обычную линейчато-полосатую структуру, так как и в нормальном и в возбужденном состояниях мы имеем дискретные уровни энергии. Как только переходы начинают происходить в точках потенциальной кривой, лежащих выше горизонтальной асимптоты, линейчатая структура исчезает, спектр приобретает вид сплошной области, совершенно не поддающейся разрешению. Причина состоит в том, что переходы последнего типа завершаются диссоциацией и получающиеся при этом атомы разлетаются с кинетич. энергией, к-рая имеет сплошной, неквантованный характер. Весьма типичным с этой точки зрения является спектр абсорбции паров J_2, где имеется серия полос, канты к-рых при переходе к коротким λ постепенно сближаются до полного слияния, за к-рым следует сплошная область абсорбции. Опыт показывает, что, в то время как в дискретной части спектра молекула J_2 при освещении сохраняется как целое, в области сплошного спектра наблюдается диссоциация и притом вплоть до самых низких давлений, когда соударения между молекулами редки.



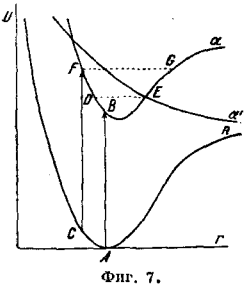
Фиг. 5.



Фиг. 6.

Не всегда однако сплошной части спектра предшествует дискретная. Нередки случаи, когда последняя вовсе отсутствует и весь спектр абсорбции вещества в газообразном состоянии является сплошным. Таков напр. спектр абсорбции HJ. Здесь диффузный характер спектра указывает на то, что поглощение всегда завершается диссоциацией, откуда следует, что возбужденное состояние, к которому совершается переход, характеризуется потенциальной кривой, не имеющей минимума, т. е. кривой отталкивания (фиг. 6). Фотохимич. исследование показывает, что квантовый выход при освещении HJ при всех условиях (от ультраразрежен-

ного состояния до давлений в несколько атмосфер) сохраняет одно и то же значение. Это и указывает на то, что возбуждение молекулы HJ всегда завершается спонтанной диссоциацией, для к-рой не требуется последующих соударений. Наконец при некоторых условиях спонтанная диссоциация оказывается возможной не только в сплошной, но также и в дискретной части спектра. Это имеет место в случае т. н. предиссоциации (В. Анри, 1925). Спектроскопически это явление обнаруживается в том, что, начиная с нек-рой длины волны, внезапно исчезает тонкая структура полос. Полосы как таковые продолжают существовать, но отдельные ротационные линии, из к-рых они построены, сливаются между собой. Это означает, что, в то время как колебания молекулы еще носят квантованный характер, вращение становится неквантованным. Анри назвал состояние, в к-рое приходят молекулы при освещении длинами волн из области, где наблюдается описанное размывание полос, состоянием предиссоциации, т. к. молекула в этом состоянии обнаруживает особую химич. активность. В настоящее время установлено, что эта активность обусловлена не «разрыхлением» молекулы, предшествующим диссоциации, как думал Анри, но самой диссоциацией—спонтанным фотохимич. распадом. Причина размывания полос в случае предиссоциации состоит в сильном сокращении времени жизни возбужденной молекулы. Из оптики известно, что идеально тонкую монохроматич. линию может дать только бесконечно длинный ряд волн. Если излучающая молекула пребывает в возбужденном состоянии ограниченный промежуток времени и следовательно дает ряд волн ограниченной длины, то получающаяся спектральная линия должна обладать конечной «естественной шириной», к-рая тем больше, чем меньше время жизни возбужденной молекулы. Из оценки ширины линий в спектрах предиссоциации можно установить, что τ *в этом случае порядка* 10^{-13} *ск.*, т. е. в 10^5 раз меньше нормального значения (10^{-8} ск.). За этот укороченный период жизни молекула все же может успеть совершить примерно 100 колебаний, но не успеет совершить ни одного оборота (период обращения $10^{-11} \div 10^{-12}$ ск.). Отсюда понятно, почему в спектрах предиссоциации сохраняется квантование колебательных движений и исчезает квантование вращения. Сокращение времени жизни в области предиссоциации обусловлено спонтанным распадом молекулы. Одна из возможных схем такого распада представлена на фиг. 7.



Фиг. 7.

Пусть n—обычная потенциальная кривая нормального состояния и пусть те же атомы могут еще взаимодействовать иным способом, а именно так, что потенциальная кривая для этого взаимодействия будет кривой отталкивания a'; пусть наконец a — потенциальная кривая возбужденного состояния. Кривые a и a' между собою пересекаются; вследствие этого при известных условиях могут осуществляться переходы *с кривой* a *на кривую* a' — переходы, влекущие за собой спонтанный распад молекулы. В самом деле, если величина поглощаемого кванта такова, что при возбуждении молекула попадает в какую-нибудь точку B кривой a, лежащую ниже уровня DE, то таким переходам отвечают обычные полосы с тонкой структурой. Если же при возбуждении молекула попадает в область кривой a, лежащую выше уровня ED, то положение существенно изменяется. Пусть переход ведет в точку F. Попав в эту точку, молекула будет колебаться, как шарик, положенный в чашу с сечением FBG и поднятый на уровень $G'F$. Т. к. этот уровень лежит ниже асимптоты a, то в отсутствии кривой a' молекула не могла бы испытать распад. Но кривая a в точке E пересекает кривую отталкивания a', поэтому, проходя при колебаниях по $FDEG$ через эту точку, молекула будет обладать запасом энергии, равным энергии одного из возможных состояний, отвечающих кривой a'. Согласно общему положению квантовой механики между различными состояниями равной энергии, при наличии связи между ними, обязательно должны иметь место спонтанные переходы. Это значит, что если молекула находится в точке E кривой a, то она имеет конечную вероятность перейти на кривую a'. Но последняя есть кривая неустойчивого состояния, и переход на нее завершается распадом, диссоциацией молекулы. Итак, колеблясь по кривой a, молекула рано или поздно должна перейти на кривую a' и в результате испытать распад.

Предиссоциация наблюдается как в сложных молекулах, так и простых. К первым принадлежит напр. ацетальдегид, в спектре абсорбции которого при $\lambda = 3\,050$ Å наблюдается исчезновение тонкой структуры полос, одновременно с этим обнаруживается и фотохимич. реакция, при к-рой ацетальдегид распадается на метан и окись углерода:

$$CH_3 \cdot COH + h\nu \rightarrow CO + CH_4.$$

В качестве других примеров можно назвать формальдегид, где размывание полос обнаруживается у $\lambda = 2\,800$ Å и одновременно наблюдается реакция

$$\begin{matrix} H \\ H \end{matrix}\!\!>\!C=O + h\nu = H_2 + CO,$$

аммиак, сероуглерод и др.

Сопоставляя все сказанное о первичном фотохимич. процессе в газах, мы видим, что единого механизма этого процесса не существует. В одних случаях он сводится к возбуждению молекулы, и тогда для фотохимич. распада требуется еще последующее соударение; в других—первичным процессом служит спонтанная оптическая диссоциация или предиссоциация. Т. к. распад в последнем случае не зависит от соударений, то квантовый выход таких реакций не должен зависеть от давления.

Элементарные процессы в растворах. С практич. точки зрения фотохимич. реакции в растворах являются особенно важными. При истолковании механизма элементарных фотохимич. процессов здесь следует различать два случая: 1) вещества, к-рые хорошо растворяются в воде, не испытывая электролитич. диссоциации (галоиды, CO_2, SO_2, H_2O_2, NH_3 и др.); 2) вещества, испытывающие электролитич. диссоциацию. В первом случае спектр абсорбции в растворе б. или м. приближается к таковому для газообразного состояния.

Поэтому и элементарные фотохимич. процессы в том и другом случае д. б. аналогичными, т. е. мы можем ожидать, что у таких веществ первичный процесс будет возбуждением или спонтанной диссоциацией, смотря по тому, в какой части спектра абсорбции возбуждается реакция. Во втором случае спектр абсорбции принадлежит ионам. Здесь часто наблюдаются т. н. спектры электронного сродства, т. е. спектры, отвечающие процессу отщепления электрона от аниона и захвату его катионом. Такой спектр наблюдается напр. у ионов J', Br', Cl', и в этом случае результатом элементарного процесса будет появление в растворе вместо ионов J' и какого-нибудь катиона, напр. Na^*, нейтральных атомов. Действительно при освещении водных растворов иодидов и бромидов можно обнаружить появление свободных атомов J или Br, а вместе с тем раствор приобретает щелочную реакцию. Описанный переход электрона от аниона к катиону в водном растворе отнюдь нельзя представлять себе как непосредственный перескок электрона. Т. к. растворенный ион окружен огромным количеством молекул растворителя, с к-рыми он находится в состоянии постоянного соударения, то поглощающим центром является не сам ион, но комплекс из иона и слабо связанной с ним молекулы воды, напр. J', H_2O. Результатом поглощения кванта таким комплексом является освобождение электрона от J' и переход его к связанной с J' молекуле H_2O, к-рую этот электрон разбивает на H и OH'; последующее соударение H с катионом (напр. Na^*) ведет к перезарядке, в результате к-рой появляется свободный атом:

$$\dot{N}a+H=Na+\dot{H}.$$

Аналогичную природу имеет спектр абсорбции ионов сульфита SO_3'', где поглощение света ведет к появлению радикала HSO_3, при посредстве которого осуществляется цепная реакция окисления сульфита кислородом.

Значительный интерес представляют растворы органических веществ, причем здесь также удалось обнаружить нек-рые простые закономерности. Так, оказалось, что все одноосновные к-ты испытывают распад по схеме

$$OC\begin{matrix}R\\OH\end{matrix}+h\nu=RH+CO_2.$$

Напр. уксусная к-та распадается с образованием 50% CO_2 и 50% метана:

$$OC\begin{matrix}CH_3\\OH\end{matrix}+h\nu\rightarrow CH_4+CO_2.$$

Далее исследование альдегидов и кетонов показало, что все вещества состава $\begin{matrix}R_1\\R_2\end{matrix}>C=O$ реагируют по схеме

$$\begin{matrix}R_1\\R_2\end{matrix}>C=O+h\nu\rightarrow\begin{matrix}R_1\\|\\R_2\end{matrix}+CO.$$

Вероятно и самый элементарный процесс протекает по той же схеме, т. е. при поглощении света освобождается радикал R_1, к-рый, реагируя с остаточной молекулой R_2CO, дает R_1R_2 и CO. Вследствие значительно большей сложности и недостаточной изученности спектров растворов исследование механизма фотохимических процессов в них пока еще в сравнительно немногих случаях привело к установлению такой же отчетливой картины, как это имеет место в газах.

Кинетика фотохимических реакций. Вслед за первичным фотохимич. процессом обычно следует целый ряд вторичных, которые нередко сильно маскируют механизм явления. Для того чтобы разобраться во всех стадиях процесса, недостаточно одного изучения спектра; необходимо использовать все возможные данные, в особенности величину квантового выхода и кинетику реакции, т. е. зависимость ее скорости от различных факторов (интенсивности освещения, концентрации компонентов, температуры и пр.).

Согласно закону Гротгуса-Дрепера-Вант-Гоффа скорость фотохимической реакции для данной длины волны пропорциональна количеству поглощенной энергии. Т. о. если реакция происходит в одном веществе (например распад HJ), то получается кинетич. уравнение вида

$$\frac{dx}{dt}=KJ_{abs},$$

где x—концентрация продукта реакции, а J_{abs}—поглощенная энергия. По закону Бера-Ламберта

$$J_{abs}=J_0(1-e^{-kcd}),$$

где J_0—падающая интенсивность, c—концентрация, d—толщина слоя, k—постоянная—коэф. погашения. Если величина kcd достаточно мала, то функцию e^{-kcd} можно разложить в ряд, отбросив все члены со степенями kcd, начиная со второй. В таком случае

$$\frac{dx}{dt}=KJ_{abs}=KJ_0\ (1-e^{-kcd})\cong K_{kcd}J_0\equiv K_1J_0c.$$

Итак, при малых концентрациях реагирующего вещества скорость реакции д. б. пропорциональна интенсивности падающего света и концентрации реагирующего вещества. Наоборот, если kcd настолько велико, что e^{-kcd} можно без большой погрешности положить равным 0, то

$$\frac{dx}{dt}=KJ_0,$$

т. е. скорость реакции пропорциональна падающей интенсивности и вовсе не зависит от концентрации. Оба рассмотренных крайних случая встречаются весьма часто в фотохимич. кинетике. В более общем случае молекула, поглотившая квант энергии и испытавшая вследствие этого возбуждение или диссоциацию, представляет собою лишь начальное звено реакции, за которым следует ряд вторичных процессов. Пусть напр. реакция между поглощающим веществом состава A_2 и другим участвующим в реакции, но не поглощающим веществом B осложняется тем, что только часть возбужденных молекул A_2^*, получающихся вследствие поглощения молекулами A_2 квантов $h\nu$, вступает в реакцию с B, тогда как остальная часть возвращается в нормальное состояние, вновь испуская квант $h\nu$, т. е. пусть процесс протекает по схеме:

$$[A_2]+h\nu\rightarrow[A_2]^*\ \ldots\ldots\ k_1$$
$$[A_2]^*\rightarrow[A_2]+h\nu_{fl}\ \ldots\ldots\ k_2$$
$$[A_2]^*+[B]\rightarrow\text{результ.}\ \ldots\ k_3$$

(звездочкой обозначена возбужденная молекула). Полагая, что поглощение слабое, и применяя к отдельным стадиям этого процесса законы химич. кинетики, можно убедиться, что кинетич. ур-ие для конечного продукта реакции имеет уже довольно сложный вид:

$$\frac{dx}{dt}=\frac{k_3k_1J_0[A_2][B]}{k_2+k_3[B]};$$

если же начальная стадия процесса состоит в диссоциации молекулы A_2 по схеме: $A_2+h\nu\rightarrow 2A$, а исчезновение полученных атомов A происходит в результате воссоединения $2A\rightarrow A_2$, то

кинетич. ур-ие осложняется еще тем, что интенсивность J_0 и начальная концентрация A_2 войдут в него с дробным показателем степени $\left(\frac{1}{2}\right)$, т. е. скорость реакции будет пропорциональна квадратному корню J_0 и концентрации $[A_2]$. Подобные случаи в фотохимич. кинетике встречаются довольно часто. В качестве примеров можно указать на разложение озона ультрафиолетовым светом, окисление иода щавелевокислым калием в водном растворе и др. Пропорциональность скорости реакции квадрату интенсивности означала бы, что реакция происходит в результате одновременного поглощения двух световых квантов. Такой случай мало вероятен, и поэтому квадратичная зависимость от интенсивности наблюдается редко.

Влияние $t°$ на скорость фотохимич. реакции, вообще говоря, мало. Темп-рные коэф-ты большинства фотохимич. реакций близки к 1. Тем не менее существует ряд реакций, для к-рых темп-рный коэф. имеет значительную величину. С точки зрения современной химич. кинетики наличие темп-рной зависимости скорости реакции указывает на существование особой «энергии активации»—избытка энергии, к-рым должна обладать реагирующая молекула и к-рый в случае темповых реакций черпается за счет термич. энергии. В фотохимических реакциях этот избыток энергии доставляет свет, и этим объясняется отсутствие темп-рной зависимости для большинства фотохимич. реакций. Если однако темп-рный коэф. не равен единице, то это может быть обусловлено двумя причинами: а) темп-рная зависимость скорости реакции м. б. ложной, т. к. на самом деле под влиянием $t°$ изменяется спектр абсорбции чувствительной компоненты, б) в случае «истинного» влияния $t°$ это последнее указывает на значительную величину энергии активации тех темповых процессов, к-рые следуют за первичной чисто фотохимич. реакцией. Так напр., значительный температурный коэф. реакции $Br_2 + H_2 \rightarrow 2HBr$ находит себе объяснение в том, что вслед за первичным процессом $Br_2 + h\nu \rightarrow 2Br$ следует вторичный $Br + H_2 \rightarrow HBr + H$, требующий значительной энергии активации в 16,2 Cal.

Истолкование фотохимич. реакций. К числу простейших фотохимич. реакций принадлежит фотохимич. разложение HJ и HBr, происходящее в ультрафиолетовой части спектра (в интервале 2 820 ÷ 2 070Å). В том и другом случае квантовый выход для всех длин волн равен 2 и совершенно не зависит от давления. Спектры абсорбции обоих веществ в газообразном состоянии сплошные—без дискретной части. Последнее обстоятельство прямо указывает на то, что первичный процесс есть спонтанная оптич. диссоциация. Следовательно для HJ имеем: $HJ + h\nu = H + J$. Образующиеся атомы H и J могут затем реагировать разными способами, а именно:

I.	$H+HJ = H_2+J$	+ 32,1 Cal
II.	$H+J_2 = HJ+J$	+ 33,7 Cal
III.	$J+H_2 = JH+H$	− 32,1 Cal
IV.	$J+HJ = J_2+H$	− 33,7 Cal
V.	$H+H = H_2$	+101,9 Cal
VI.	$J+J = J_2$	+ 35,6 Cal
VII.	$J+H = HJ$	+ 69,8 Cal

Из этих реакций для атома H практически может осуществиться только I, т. к. концентрации компонентов, необходимых для реакций II, V и VII, слишком ничтожны; для атомов же J осуществима только реакция VI, т. к. реакции III и IV требуют значительных энергий активаций и потому протекают крайне медленно, реакция же VII отпадает из-за незначительности концентрации H-атомов, исчезающих при реакции I. Так. обр. полная схема реакции будет:

$$\begin{array}{l} HJ+h\nu = H+J \\ H+HJ = H_2+J \\ J+J \quad = J_2 \\ \hline 2HJ+h\nu = H_2+J_2 \end{array}$$

т. е., в согласии с экспериментом, на один поглощенный квант разлагаются две молекулы HJ. Значительно сложнее протекает реакция образования HBr из H_2+Br_2. Чисто кинетич. исследование привело к следующей зависимости от концентраций компонентов для случая, когда реакция протекает термически без освещения:

$$\frac{d[HBr]}{dt} = \frac{k[H_2]\sqrt{[Br_2]}}{m+\frac{2[HBr]}{[Br_2]}}.$$

Фотохимич. образование HBr подчиняется аналогичному ур-ию с тем добавлением, что скорость реакции пропорциональна квадратному корню из числа поглощенных световых квантов. Это сложное ур-ие м. б. полностью истолковано, если принять во внимание вторичные реакции, следующие за первичным процессом:

$$\begin{array}{l} Br_2+h\nu = Br+Br \\ Br+H_2 = HBr+H \quad -15{,}2 \\ H+Br_2 = HBr+Br+40{,}5 \\ H+HBr = H_2+Br+18{,}2 \\ Br+Br = Br_2+45{,}2 \end{array}$$

Разница в кинетике последнего процесса и разложения HJ объясняется иными термохимич. соотношениями: так напр., реакция $J+HJ = J_2+H$ требует затраты 33,7 Cal, а реакция $Br+HBr = Br_2+H$ протекает с выделением 16,2 Cal.

Наиболее сложной и вместе с тем наиболее интересной является реакция Бунзена-Роско: фотохимическое образование HCl из H_2 и Cl_2. Одна из наиболее поразительных особенностей этой реакции состоит в том, что квантовый выход ее достигает огромной величины: на один поглощенный квант приходится до 10^5 образовавшихся молекул HCl. Объяснение этой особенности дано впервые Боденштейном, к-рый указал на то, что реакция H_2+Cl_2 является типичной *цепной реакцией* (см.): каждый элементарный фотохимич. процесс является лишь начальным звеном целого ряда реакций, к-рые непосредственно следуют друг за другом, создавая цепь реакций, распространяющуюся в пространстве до тех пор, пока она не встретит стенку сосуда, на к-рой цепь обрывается. Обрыв цепи может произойти также и в объеме газа при встрече цепи с молекулами некоторых веществ, обладающих способностью сильно тормозить реакцию. Наиболее близкая к действительности формулировка отдельных процессов, составляющих звенья цепи, дана Нернстом:

I.	$Cl_2+h\nu = 2Cl$	
II.	$Cl+H_2 = HCl+H$	− 0,5 Cal
III.	$H+Cl_2 = HCl+Cl$	+41,5 Cal и т. д.

Здесь только реакция II требует небольшой теплоты активации, зато реакция III протекает с большим выделением тепла. Именно поэтому отдельные реакции, образующие звенья цепи, протекают легко при каждом соударении, вследствие чего, раз начавшись, цепь уже сама идет до вынужденного обрыва. Значительное выделение теплоты, сопровождающее цепь, позволило Вейгерту и Келерману сделать распространение цепи видимым. С этой целью они использовали изменение показателя преломления вследствие нагревания и применили для обнаружения цепи т. н. «метод полос» Теплера, при помощи которого можно было наблюдать разви-

тые цепи на темном фоне в виде светлой полосы, постепенно заполняющей реакционное пространство. Цепные фотохимич. реакции наблюдаются не только в газах, но также и в растворах. Сюда относятся напр. реакции между иодом и щавелевокислым калием в растворе, т. н. реакция Эдера (реакция между сулемой и щавелевокислым аммонием в растворе), окисление сульфита SO_3'' в сульфат SO''. Цепной характер последней реакции был впервые обнаружен Бекштремом, к-рый показал, что реакция сохраняет свой цепной характер и тогда, когда она возбуждается термич. путем без участия света. Это открытие дало повод к перенесению цепной теории от фотохимич. процессов к обычным темповым реакциям, причем Семеновым была развита стройная теория цепных реакций, с особенным успехом примененная им к истолкованию взрывных процессов.

Применение фотохимич. процессов в технике. До настоящего времени только одна группа фотохимич. реакций получила широкое технич. использование—фотохимическое разложение галоидо-серебряных солей. Кроме этого большое практич. значение имеют также различные биологич. процессы, вызываемые светом (стерилизация воды ультрафиолетовыми лучами, фототерапия и др.). Т. к. фотохимич. процессы в настоящее время впервые получили наиболее полное теоретич. истолкование, то можно ожидать в недалеком будущем значительного развития также и прикладной Ф. Можно думать, что наиболее прямой путь к технич. методам использования солнечной энергии ведет через Ф. В разрешении этой проблемы особую роль играет детальное исследование процесса ассимиляции углерода зеленым листом растения, изучение которого при помощи точных физич. методов еще только начато. Основную роль в этом процессе играет передача энергии от молекулы хлорофилла, поглощающего углерод в видимой части спектра, к исходным веществам фотосинтеза—углекислоте и воде, имеющим полосы абсорбции в далекой ультрафиолетовой части; фотосинтез—типичная фотосенсибилизированная реакция. Работы О. Варбурга (сына) и Э. Негелейна показали, что в этой реакции выполняется фотохимич. закон эквивалентности, на основании к-рого выход уменьшается с уменьшением длины волны. Определение энергетич. выхода реакции показало, что у исследованного Варбургом и Негелейном объекта (зеленая водоросль Chorella) использование поглощенной энергии достигает 70%, в то время как наибольший из известных выходов для других фотохимич. реакций составляет 50% (реакция $3O_2 \rightarrow 2O_3$). Самый механизм фотосинтеза еще неясен, а попытки воспроизвести его in vitro при помощи различных сенсибилизаторов оказались неудачными.

Лит.: Кёп А. и Юнг Г., Фотохимия, пер. с нем., М.—Л., 1933; Теренин П., Введение в спектроскопию, М.—Л., 1933; Кондратьев, Фотохимия, М.—Л., 1933; Лазарев П., Основы учения о химич. действиях света, П., 1919—1920; Шпольский Э., «УФН», 1927, т. 7, стр. 433, 1933, т. 13, стр. 325; «УФН», 1933, т. 13, стр. 325; Семенов Н., «Успехи химии», 1932, т. 1, стр. 19; Гиншельвуд Ч., Кинетика газовых реакций, пер. с англ., М.—Л., 1933; Kistiakowsky G., Photochemical Processes, N. Y., 1928; Berthoud A., Photochimie, P., 1928; Griffith R. a. Mc Keown A., Photoprocesses in Gaseous a. Liquid Systems, L., 1929; Style D., Photochemistry, L., 1930; Bonhoeffer K. u. Harteck P., Grundlagen d. Photochemie, Dresden—Leipzig, 1933; Kassel L., The Kinetics of Homogeneous Gas Reactions, N. Y., 1932; Spoehr H., Photosynthesis, New York, 1926.

З. Шпольский.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСТВО. Фотоэлектрические явления возникают при поглощении телом лучистой энергии; *кванты* (см.) света срывают с атомов тела электроны, к-рые затем м. б. обнаружены в фотоэлектрическом токе. Смотря по тому, где происходит срывание электронов, различают фотоэффект поверхностный (внешний) и объемный (внутренний). Фотоэффект был открыт в конце 19 в., когда Герц (1887) и Галльвакс (1888) нашли, что металлы под действием ультрафиолетового света теряют отрицательный заряд. Впоследствии фотоэффект был обнаружен во всех веществах для области спектра от инфракрасной до рентгеновской; были установлены его характерные свойства, его безинерционность и независимость от $t°$. Фотоэлектрические явления, возникающие при взаимодействии квантов и электронов, могли получить свое истолкование только после развития теории квантов; основные закономерности фотоэффекта вытекают из квантовой теории света и являются прямым ее подтверждением. В основе их лежат два положения Эйнштейна. 1) Каждый квант срывает один электрон. Экспериментальная проверка этого положения встречает затруднения, так как не все сорванные светом электроны проявляют себя в фотоэлектрич. токе. Фактически промеренное их число, приходящееся на один квант поглощенной энергии, называют квантовым выходом. Квантовый выход во внешнем фотоэффекте весьма мал (порядка 0,01), во внутреннем—он близок к единице. 2) При столкновении с электроном квант отдает ему свою энергию $h\nu$; она тратится в общем случае на то, чтобы: а) освободить электрон из атома и выбросить его через поверхностный слой в другую среду (работа выхода P); б) сообщить электрону кинетическую энергию $\frac{mv^2}{2}$, где v—максимальная скорость электрона. В электростатических единицах эта энергия равна eV, где e—заряд электрона, а V—разность потенциалов, под влиянием к-рой электрон мог бы приобрести скорость v *см/сек*. Величину этой разности потенциалов принято называть скоростью электронов в вольтах; энергия электрона V тогда выражается в вольт-электронах. Применяя закон сохранения энергии к каждому отдельному кванту, получаем ур-ие Эйнштейна:

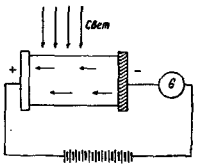
$$h\nu = P + \frac{mv^2}{2} = P + eV.$$

Отсюда можно вывести основные закономерности фотоэффекта, установленные экспериментальным путем. 1) Сила фототока, определяемая количеством протекающих по внешней цепи электронов, прямо пропорциональна интенсивности света. Действительно интенсивность светового луча пропорциональна числу квантов, но этому же числу пропорционально число фотоэлектронов. 2) Энергия выброшенного электрона не зависит от интенсивности света, а определяется исключительно частотой света, являясь ее линейной ф-ией. Этот результат непосредственно вытекает из ур-ия Эйнштейна, в к-ром h и m—величины постоянные, а P имеет для данного тела вполне определенное значение. Интенсивность света сюда не входит. 3) Испускание электронов (во внешнем фотоэффекте) начинается только с нек-рой, для каждого вещества определенной длины световой волны («красная граница»), при меньших частотах срывания электронов не происходит.

Значение границы получается из ур-ия, если положить $\nu = 0$; $h\nu_0 = P$. Для этой частоты вся энергия кванта идет только на преодоление работы выхода.

Объемный фотоэффект происходит в тех случаях, когда свет может проникнуть на достаточную глубину внутрь вещества и там срывать электроны. Он наблюдается в газах и парах, в нек-рых жидкостях, в ряде полупроводников (селен), наконец в диэлектриках. Основные свойства фотоэффекта м. б. выяснены только на больших кристаллах хороших изоляторов (алмаз, киноварь, каменная соль). Картина первичного процесса срывания электронов внутри кристаллов щелочно-галоидных солей рисуется сл. образом. Кристаллы этих солей, решетка к-рых построена из расположенных попеременно ионов металла и галоида, имеют сильное «собственное» поглощение в ультрафиолетовой области спектра. Кванты света, соответствующие этой области, срывают электроны с ионов галоида; эти электроны нейтрализуют ионы металла, в результате чего внутри решетки выделяются незаряженные атомы металла и галоида. Атомарное распределение металла вызывает изменение оптич. свойств соли, — появляется новая полоса поглощения, в большинстве случаев в видимой части спектра, и соль окрашивается (каменная соль становится желтой). Если окрашенную соль освещать лучами, поглощаемыми в новой области абсорбции, происходит повторное явление фотоэффекта, но уже с нейтрализованных атомов металла, вкрапленных в решетку, к-рая т. о. приходит в исходное положение, и соль обесцвечивается. Подобная же картина наблюдается и в кристаллах галоидо-серебряных солей, вкрапленных в светочувствительную эмульсию; выделение атомарного серебра и составляет по новейшим данным сущность латентного (непроявленного) фотографического изображения.

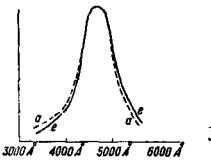
Если сорванные светом электроны подхватываются внешним электрич. полем (фиг. 1), они начинают двигаться внутри диэлектрика от катода к аноду и дают во внешней цепи фотоэлектрич. ток (первичный



Фиг. 1.

Фиг. 2.

ток). Диэлектрик в это время теряет свои изолирующие свойства, электропроводность может возрастать в миллионы раз. Это явление фотопроводимости наблюдается и у полупроводников, но там оно осложняется вторичными процессами. Первичный ток по Гудену и Полю обладает перечисленными выше свойствами, характерными для фотоэлектрич. явлений, т. е. прямой пропорциональностью интенсивности света и безинерционностью; сила первичного тока возрастает сначала прямо пропорционально приложенному напряжению, а затем достигает нек-рого постоянного его значения (ток насыщения) (фиг. 2). Это состояние наступает тогда, когда все срываемые светом электроны доходят до анода. Кривая e спектрального распределения первичного фототока идет параллельно кривой a поглощения света (фиг. 3); чем больше квантов поглощено, тем сильнее фототок. Если силу фототока отнести к единице поглощенной энергии, максимум пропадает; квантовый выход для всех длин волн на данном участке спектра имеет одно значение, близкое к единице. Этот параллелизм кривых поглощения и фототока наблюдается однако только для атомарно-окрашенных солей; в области «собственного поглощения» имеются отступления, еще недостаточно выясненные. Вторичный ток возникает в результате прохождения первичного тока: происходит порча кристаллич. решетки, вследствие чего уменьшается ионная проводимость кристаллов, к-рой все вещества обладают в б. или м. степени. Природа вторичного тока — электролитическая, а не фотоэлектрическая, на что указывают его свойства — инерция, непропорциональность интенсивности света, температурная зависимость. Вторичные токи (исследованы Кезом) особенно сильно выражены в селене и в ряде сернистых соединений; к их



Фиг. 3.

Фиг. 4.

числу относится и таллофид, соединение таллия, серы и кислорода. Широкое практич. применение этих веществ в резистивных фотоэлементах (см.) объясняется их большою светочувствительностью.

Внешний фотоэффект наблюдается у всех тел как у проводников, так и у диэлектриков; особенно подробно изучен фотоэффект с металлич. поверхностей. Экспериментальные исследования касаются трех главных характеристик фотоэлектрич. поверхностей: 1) скорости и энергии фотоэлектронов; 2) границы фотоэффекта; 3) спектрального распределения. 1) Скорость и энергия фотоэлектронов. Во внешнем фотоэффекте существенное значение имеет работа выхода, к-рую должен преодолеть электрон, прежде чем попасть в анод. Если энергия кванта больше работы выхода, электрон вылетит с нек-рой собственной скоростью, величина к-рой при одной и той же длине волны падающего света может иметь различные значения, от максимальной до нуля. Максимальная скорость в свою очередь определяется величиной кванта: чем больше квант, тем бо́льшая его часть, за вычетом работы выхода, идет на «разгон» электрона. Изучение скоростей и энергии электронов сводится к следующим задачам: а) определению зависимости максимальной скорости (или энергии) от величины кванта (частоты света ν); б) выяснению закона распределения скоростей при данной длине волны; в) изучению направления вылета электронов. Первые две задачи м. б. решены одним и тем же методом задерживающего поля: испускающая электроны поверхность делается не катодом, а анодом, иначе говоря, прикладывается поле противоположного направления, так что сорвавшиеся электроны должны вернуться обратно. Сила фототока при этом падает (фиг. 4). Постепенно увеличивая поле, можно добиться

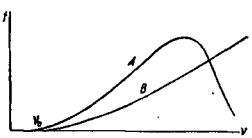
того, что ни один даже самый быстрый электрон не сможет достичь электрода: в этот момент величина задерживающего потенциала как-раз равна максимальной скорости электрона, выраженной в V (точка P). Порядок ее в ультрафиолетовых лучах—2—3 V, что соответствует скорости в 10^8 *см/сек*; большие кванты рентгеновых лучей выбрасывают электроны со скоростью порядка сотен V. Тщательные исследования показали, что: α) зависимость максимальной скорости от частоты света выражается в точности прямой линией, в полном соответствии с ур-ием Эйнштейна; β) число электронов, имеющих максимальную скорость, весьма мало; наибольшее число электронов имеют скорости ок. 0,4 максимальной; γ) большинство электронов вылетает под прямым углом к направлению пучка.

2) Граница фотоэффекта определяется той частотой ν_0, при к-рой максимальная скорость электронов равна нулю; отсюда по ур-ию Эйнштейна $h\nu_0 = P = eV_0$, где V_0—энергия в вольтэлектронах. Т. о. граница фотоэффекта всецело определяется работой выхода. Граница фотоэффекта находится или вышеописанным методом задерживающего поля или непосредственно из кривых спектрального распределения. Среди экспериментальных данных существуют большие разногласия, вызванные главным образом чрезвычайной чувствительностью фотоэлектрич. поверхностей к загрязнениям; ничтожные количества посторонних веществ, в особенности газов, абсорбированных и адсорбированных поверхностью, сильно смещают границу фотоэффекта. Среди других факторов следует отметить влияние $t°$ и сильных электрич. полей. Повышение $t°$ обычно уменьшает работу выхода и смещает границу в сторону длинных волн; в том же направлении действует и сильное электрич. поле. Все методы, при помощи к-рых можно сместить границу фотоэффекта из ультрафиолетовой в видимую и инфракрасную области спектра, имеют чрезвычайно большое значение для техники фотоэлементов. В настоящее время наиболее точно известны границы фотоэффекта и работы выхода следующих металлов:

Граница фотоэффекта и работа выхода для некоторых металлов.

Вещество	Граница фотоэффекта, Å	Работа выхода, V	Вещество	Граница фотоэффекта, Å	Работа выхода, V
Серебро 20°	2 610	4,43	Никель . .	2 483	5,01
» 600°	2 700	4,56	Платина . .	1 962	6,30
Золото 20°	2 650	4,82	Палладий .	2 488	4,96
» 740°	2 610	4,73	Родий . . .	2 500	4,57
Железо . .	2 620	4,72	Тантал 20° .	3 050	4,05
Ртуть . . .	2 735	4,53	» 700° .	3 150	3,92

3) Спектральное распределение. Задача изучения зависимости силы фототока от частоты света имеет очень большое практич. значение, т. к. фотоэлектрич. чувствительность различных поверхностей, применяемых в технике фотоэлементов, м. б. определена только в том случае, если известна кривая спектрального распределения. Различают два типа этих кривых. В первом случае (кривая A, фиг. 5) сила фототока плавно увеличивается с частотой, начиная с границы фотоэффекта ν_0; это—кривая нормального фотоэффекта, изученного на чистых металлич. поверхностях. В нек-рых случаях при особом состоянии поверхности, особенно легко достигаемом у щелочных металлов, на фоне нормального эффекта наблюдается резкое увеличение фототока в определенной области спектра (кривая B). Это явление называется селективным фотоэффектом. Характерной особенностью его является его зависимость от направления электрич. вектора в луче света. Если колебания вектора происходят в плоскости, перпендикулярной плоскости падения (луч поляризован в плоскости падения), наблюдается нормальная кривая спектрального распределения; максимум появляется только в том случае, если вектор колеблется в плоскости падения. Селективный фотоэффект обычно связан с загрязнением фотокатода, т. е. с появлением каких-то соединений на его поверхности; когда же действительно удавалось получить совершенно чистую поверхность металла, эффект в данной области ослабевал или вообще прекращался. Этот факт был широко использован в последнее время в технике фотоэлементов, к-рая выдвигает все новые и новые комбинации светочувствительных слоев; по своему строению они м. б. разделены на два типа. В первом случае мы имеем только два агента: любой тяжелый металл, являющийся подслоем, и адсорбированные на нем атомы щелочного металла, образующие невидимую глазу пленку (тип MX). Во втором случае поверхность фотокатода покрыта сложным соединением, чаще всего—гидридом или оксидом; схема такой поверхности—M—MH—X или M—M_2O—X.

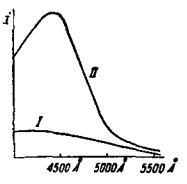


Фиг. 5.

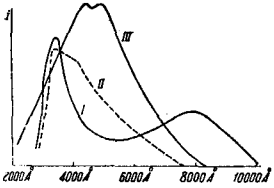
Тонкие (невидимые) пленки. В зависимости от толщины пленки явление носит двоякий характер. При толщине слоя меньше моноатомной, когда щелочной металл расположен островками, электроны вырываются еще из подкладки, и роль чужих атомов сводится к уменьшению работы выхода, вследствие чего эффект передвигается в видимую часть спектра. Наименьшая работа выхода достигается при моноатомном слое. При увеличении толщины слоя начинается фотоэффект с атомов щелочного металла и появляется кривая селективного фотоэффекта, достигающая максимального значения при двух-, трехатомном слое.

Сложные слои. Состав сложных поверхностей, употребляемых в технике фотоэлементов, весьма разнообразен; т. к. во всех случаях мы имеем значительное увеличение чувствительности по сравнению с поверхностью чистого металла, представляется уместным говорить о сенсибилизации фотокатодов; она может происходить различными путями и под воздействием различных веществ. Обычный метод заключается в следующем: на поверхность фотокатода дистиллируется тот или иной щелочной металл, затем в фотоэлемент вводятся следы сенсибилизирующего вещества; таковыми обычно служат водород, кислород, сера и теллур; азот оказывается неактивным. Это—первая стадия сенсибилизации; она ведет к образованию нечувствительных бесцветных соединений—гидридов или оксидов. Увеличение чувствительности происходит при дальнейшей обработке, которая заключается в том, что на поверхность вторично дистилли-

руются следы щелочного металла (очевидно получается 1-атип), или же в том, что тем или иным способом—пропусканием тихого разряда, воздействием катодных лучей—добиваются окрашивания слоя (фиг. 6, где *I*—кривая фототока для калия до сенсибилизации, *II*—кривая



Фиг. 6.

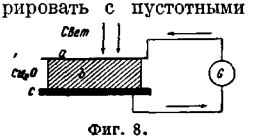


Фиг. 7.

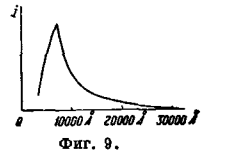
фототока после сенсибилизации). На фиг. 7 приведены кривые для ряда сложных поверхностей (*I*—Cs на оксиде цезия, *II*—Cs на Mg, *III*—Na—S—Na); максимум в большинстве случаев лежит в видимой части.

Природа селективного фотоэффекта, т. е. причина, вызывающая резкое увеличение эмиссии в определенной части спектра, еще не вполне выяснена. Наиболее естественным является предположение, что селективный фотоэффект связан с избирательным поглощением света и что, так же как и в случае внутреннего фотоэффекта, мы имели бы исчезновение максимума или бы стали относить силу фототока к единице поглощенной энергии. Для проверки этого предположения необходимо: 1) промерить кривую истинного поглощения; 2) удостовериться в том, что фотоэлектрич. поверхность обладает *дихроизмом* (см.), т. е. что спектр ее зависит от направления электрич. вектора. Это обстоятельство действительно было обнаружено для тонких пленок: слой калия на платине поглощает свет только в том случае, когда электрич. вектор колеблется в плоскости падения, т. е. когда имеет место фотоэффект. Что касается *поглощения*, то здесь затруднения заключаются в том, что до сих пор не удавалось узнать ту долю поглощенной энергии, к-рая идет действительно на срывание электронов; ряд косвенных наблюдений однако все более и более подтверждает мысль о чисто оптич. природе селективного фотоэффекта.

Вентильный фотоэффект, или фотоэффект в запорном слое (Sperrschichteffekt), имеет место на границе соприкосновения двух тел в том случае, если между ними существует очень тонкий зазор или прослойка плохо проводящего вещества (запорный слой) толщиной ок. 10^{-6} *см*; наличие фотоэффекта связано с существованием односторонней проводимости (вентильности) в этом слое. Эффект наблюдается в ряде полупроводников, среди к-рых особое место занимает купрокс (закись меди Cu_2O); запорный слой в этом случае представляет собой повидимому тонкую (порядка 10^{-6} *см*) прослойку бедной примесями закиси меди, обладающей бо́льшим сопротивлением, чем обычная закись меди, загрязненная кислородом. Кроме купроксных фотоэлементов известны фотоэлементы селеновые, карборундовые, сернистосвинцовые и др. На фиг. 8 дана схема вентильного фотоэлемента; здесь *a*—полупрозрачный металлич. электрод, *b*—слой закиси меди, *c*—медь, являющаяся другим электродом. Смотря по тому, у какого электрода находится запорный слой, у заднего (по отношению к свету) или у переднего, различают фотоэффект тыловой и фронтовой. Последний очевидно сильнее, т. к. свет не должен проходить через весь слой закиси меди. Срывание электронов происходит как в металле, так и в полупроводнике, но в последнем случае квантовый выход больше, и из полупроводника в металл будет итти больше электронов, чем в обыкновенном направлении. Вследствие этого металл будет заряжаться отрицательно, а полупроводник положительно, и, если между ними есть запорный слой, возникнет разность потенциалов, к-рая будет во внешней цепи давать фотоэлектрич. ток. Порядок этой разности потенциалов для купрокса ~ 0,4 V, для селена ~0,24 V, т. о. здесь можно говорить о непосредственном преобразовании световой энергии в электрическую. Ничтожный достигнутый до сих пор кпд (0,01—0,1%, в лучшем случае—2%) не позволяет пока говорить о практич. применении вентильных фотоэлементов для этой цели, но в других областях они по своей дешевизне и простоте устройства (отпадает необходимость в добавочном напряжении для разгона электронов), а также по спектральному распределению (значительная чувствительность в инфракрасной области, фиг. 9) начинают конкурировать с пустотными



Фиг. 8.



Фиг. 9.

фотоэлементами несмотря на ряд недостатков: здесь, как во внутреннем фотоэффекте, первичный электронный процесс маскируется целым рядом вторичных явлений, вызывающих инерционность, температурную зависимость и непропорциональность интенсивности света.

Лит.: Иоффе А., Элементарный фотоэлектрич. эффект, СПБ, 1913; Хвольсон О., Курс физики, 2 часть дополнительного тома, М.—Л., 1926; его же, Курс физики, т. 1, 7 изд., М.—Л., 1933; Наследов Д. и Неменов Д., Твердые выпрямители и фотоэлементы, М.—Л., 1933; «Труды конференции по твердым выпрямителям и фотоэлементам», 1931; «Журнал техн. физики», 1931, т. 1, вып. 7, стр. 629—731; Pohl R. u. Pringsheim P., Die lichtelektrischen Erscheinungen, Brschw., 1914; Hughes A., Photo-Electricity, Cambridge, 1919; Allen H., Photo-Electricity, 2 ed., L., 1925. **С. Тауберман.**

ФОТОЭЛЕМЕНТЫ, приборы, позволяющие превращать лучистую энергию в электрическую. Все виды Ф. основаны на способности света передавать свою энергию электронам; при этом электроны, находящиеся в освещаемом теле, могут или изменить его электропроводность или выйти за пределы поверхности, ограничивающей тело. Потеря отрицательного заряда проводником при освещении его ультрафиолетовым светом была обнаружена впервые Герцом в 1887 г. Это явление послужило основанием для создания Ф. с внешним фотоэффектом (см. *Фотоэлектричество*). В целом ряде веществ изменение электропроводности под действием света, получившее название внутреннего фотоэффекта, оказалось настолько значительным, что его также можно было использовать для создания Ф. В последнее время удалось построить Ф., основанные на перемещении электронов под действием света через границу двух соприкасающихся тел; эти Ф. получили название Ф. с запирающим слоем, в силу того что чувствительный к свету пограничный слой между двумя вещест-

вами обладает еще способностью выпрямлять переменный ток. Ф. с запирающим слоем называются также вентильными, или твердыми, Ф. Первый опыт, к-рый послужил к созданию фотоэлемента вообще, был произведен за границей Гальваксом в 1888 г., а у нас проф. Столетовым.

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом. При внешнем фотоэффекте движение электрона, вырванного квантом света частоты ν из поверхности металла, подчиняется данному Эйнштейном ур-ию, выражающему закон сохранения энергии,

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - P, \qquad (1)$$

где m—масса электрона, v—его скорость после выхода из поверхности металла и P—работа, затраченная на вырывание электрона. Положив в ур-ии (1) скорость фотоэлектрона равной нулю, получим $h\nu = P$; отсюда

$$\nu_0 = \frac{P}{h},$$

ν_0 или соответствующая длина волны λ_0 называется порогом фотоэффекта, т. к. фотоэффект наблюдается только при $\nu > \nu_0$ или $\lambda < \lambda_0$. Заменяя в ур-ии (1) P через $h\nu_0$ и $^1/_2\, mv^2$ через eV, где e — заряд электрона, а V—разность потенциалов, пройдя которую электрон обладает кинетич. энергией $\frac{mv^2}{2}$, уравнение (1) можно написать в следующем виде:

$$eV = h\nu - h\nu_0. \qquad (1')$$

Ф., основанный на данном принципе, осуществляется следующим образом. Металлич. пластинка K и металлич. сетка A, расположенные, как указано на фиг. 1, помещаются в баллон, из которого выкачивают воздух. Соединяя K и A с чувствительным гальванометром G и освещая пластинку K светом, содержащим в своем составе частоты $\nu > \nu_0$ для данного материала пластинки, при достаточной интенсивности света можно наблюдать отклонение стрелки гальванометра. Если не принимать во внимание контактную разность потенциалов, можно считать, что происхождение тока обязано, как следует из уравнения (1), исключительно начальным скоростям фотоэлектронов. Т. о. разобранный случай дает возможность превращать световую энергию в электрическую. Однако кпд такого прибора весьма мал. Если же K и A через потенциометр P соединить с источником эдс (фиг. 2) и, освещая пластинку K постоянным светом, измерить величины тока при различных напряжениях между K и A, можно получить зависимость фототока от напряжения V, выраженную кривой на фиг. 3. Эта кривая, называемая вольтамперной характеристикой вакуумного фотоэлемента, может быть выражена ф-лой:

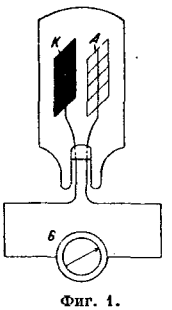
$$i_0 = kV^a,$$

где k и a определяются свойствами катода, размерами, формой и расположением электродов. В вакуумном Ф., когда разность потенциалов, приложенная к его электродам, достаточно велика, т. ч. для наибольшего светового потока, к-рым располагают при измерениях, получается *ток насыщения, фототок прямо пропорционален* величине светового потока, падающего на поверхность катода:

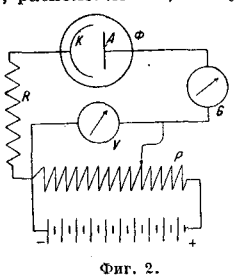
$$i = kJ,$$

где J—световой поток и k—коэф. *пропорциональности*. Величина k, так же как ν_0, определяется материалом катода и методикой его изготовления. В качестве материала для катодов применяются гл. обр. щелочные металлы Na, K, Rb и Cs, т. к. только они имеют заметную чувствительность в видимой части спектра. Пороги фотоэффекта для щелочных и некоторых других металлов, употребляющихся для изготовления Ф., следующие:

Вещество	Li	Na	K	Rb	Cs	Mg	Ca	Ba	Cd	Al
λ_0 в Å	5 260	6 800	10 000	10 300	14 000	3 300	4 000	5 600	3 200	3 310



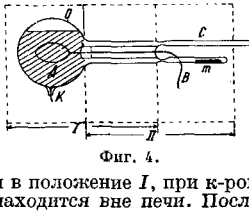
Фиг. 1.



Фиг. 2.

Применяя соответствующую обработку поверхностей щелочных металлов, удается значительно повысить их чувствительность; поэтому в настоящее время для технич. целей используются исключительно Ф. с сенсибилизированными катодами. Одним из первых методов сенсибилизации, получившим практич. применение, была обработка калия водородом. В существенных чертах метод изготовления Ф. с калиевым катодом и обработка его водородом заключаются в следующем. Заготовка Ф., представляющая собой посеребренную с внутренней стороны сферич. стеклянную колбу с двумя впаянными в нее электродами K и A (фиг. 4) и трубкой B, содержащей ампулку m с продистиллированным под вакуумом металлич. калием, присоединяется посредством трубки C к высоковакуумному насосу, дающему разрежение 10^{-6} мм Hg. Откачав воздух из заготовки, ее прогревают в печи при 400° в течение ~30 мин. для удаления сорбированного газа из стенок колбы. В этом случае печь, указанная на фиг. 4

Фиг. 3.

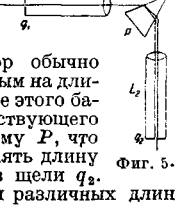


Фиг. 4.

пунктиром, ставится в положение I, при к-ром ампулка с калием находится вне печи. После обезгаживания печь передвигают в положение II и, нагревая ее до той же $t°$, производят перегонку калия из трубки B в колбу. Калий, оседающий на непосеребренную часть поверхности баллона, предназначенную для пропускания света в Ф., сгоняется с нее пламенем газовой горелки. На фиг. 4 эта часть O поверхности,

называемая «окном» Ф., не заштрихована. Когда на серебряной подкладке, в данном случае играющей роль контактной поверхности для калиевой пленки, образуется ровный слой калия толщиною ~0,1 *мм*, дистилляцию калия прекращают, печь снимают, трубочку *B* отпаивают и в Ф. впускают водород. Давление водорода устанавливается ок. 1 *мм* Hg. Присоединяя отрицательный электрод источника постоянного тока к калиевому слою *K*, а положительный—к аноду *A* (фиг. 4), к-рый обычно имеет вид кольца или сетки, производят кратковременный (в течение 5—10 сек.) тлеющий разряд в водороде и затем измеряют чувствительность Ф. Кратковременные разряды повторяют до тех пор, пока чувствительность катода не достигнет максимальной величины. В конце процесса обработки водородом блестящая металлич. поверхность калия становится синей (или иногда зеленой). После обработки водород откачивают и Ф. отпаивают. Позднее было найдено, что кислород, сера, селен, теллур и ряд других веществ, приведенных в соприкосновение с поверхностью щелочного металла, производят большее увеличение чувствительности катода по сравнению с водородом. Максимум чувствительности катода обычно наступает при поглощении поверхностью катода ок. 50×10^{-8} *г* сенсибилизирующего вещества.

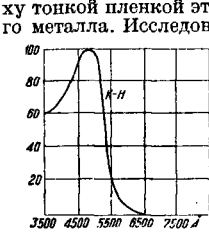
Сенсибилизация производится след. образом. После получения описанным методом слоя щелочного металла сенсибилизирующее вещество из трубочки, припаянной к Ф., перегоняют маленькими дозами на поверхность катода Ф., находящегося под непрерывной откачкой на вакуумном насосе и включенного в измерительную схему, позволяющую следить за ростом чувствительности катода. Когда достигается максимум чувствительности, перегонку сенсибилизирующего вещества прекращают и Ф. отпаивают. Сенсибилизация обычно изменяет отношение чувствительности щелочного металла к монохроматическому свету данных длин волн. Получение монохроматич. света производится или при помощи фильтров, выделяющих из белого света составляющие его цвета, или, лучше, при помощи м о н о х р о м а т о р а, схематич. устройство к-рого приведено на фиг. 5. Свет от яркого источника *S* попадает через узкую щель q_2 в трубу Z_1, из к-рой параллельным пучком лучей он падает на преломляющую призму *P*. Разложенный пучок света по выходе из призмы попадает во вторую трубу L_2, к-рая оканчивается щелью q_3, вырезающей определенный участок спектра. Монохроматор обычно снабжается проградуированным на длины волн барабаном. Вращение этого барабана при помощи соответствующего устройства передвигает призму *P*, что позволяет непрерывно изменять длину волны света, выходящего из щели q_2.



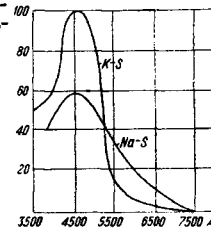
Фиг. 5.

Измерив термоэлементом для различных длин волн энергию света, выходящего из монохроматора, можно определить спектральную характеристику Ф. Спектральные характеристики водородно-калиевого K—H, серно-калиевого K—S и серно-натриевого Na—S катодов приведены на фиг. 6 и 7. По горизонтальным осям характеристик отложены длины волн в Å, а по вертикальным—фототок в относительных единицах. Как видно, все характеристики имеют максимум, называемый «селективным максимумом».

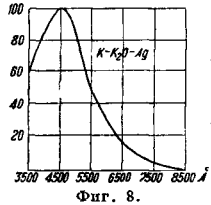
По современным представлениям катод из щелочного металла, обработанный тем или другим сенсибилизирующим веществом, имеет следующее строение. Поверхность щелочного металла покрыта продуктом реакции его с сенсибилизирующим веществом. Эти продукты реакции (напр. в случае сенсибилизации кислородом—окисел щелочного металла) покрыты сверху тонкой пленкой этого металла. Исследования фотоэффекта тонких металлич. пленок показали, что при толщине пленки в несколько молекулярных слоев фотоэффект больше, чем у толстого слоя и при определенной толщине пленки наблюдается максимум чувствительности. Далее, интегральная чувствительность к белому свету и вид спектральной характеристики зависят от природы подкладки, на к-рой расположена тонкая пленка щелочного металла. Из сказанного становятся ясными причины,



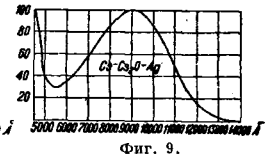
Фиг. 6.



Фиг. 7.



Фиг. 8.



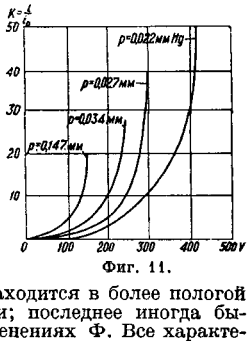
Фиг. 9.

вызывающие изменение фотоэффекта щелочного металла при описанных методах сенсибилизации. Однако эти методы не дают возможности изменять толщину поверхностной пленки и следовательно достигать максимальной чувствительности катода на данной подкладке. Позднее был найден метод, в к-ром удалось варьировать толщину пленки, и этим самым чувствительность Ф. была значительно повышена. Процесс изготовления таким методом цезиевых катодов, получивших широкое применение, заключается в следующем. Посеребренную поверхность колбы Ф. окисляют разрядом в кислороде до тех пор, пока не получится слой окисла в 200—300 молекул толщиною. На окисленную поверхность серебра дистиллируется цезий. Последний, вступая в реакцию с окислом серебра, образует окись цезия, к-рая впоследствии покрывается пленкой этого металла. При такой структуре катода щелочной металл находится только в поверхностной пленке, что позволяет путем нагревания Ф. в печи с $t°$ ~200° уменьшить толщину этой пленки до желаемого предела, не разрушая остальной части катода. Заменяя в описанном процессе цезий другим щелочным металлом, можно изготовить так называемые тонкопленочные катоды с различными щелочными металлами. Спектральные характеристики тонкопленочных катодов K — K_2O — Ag и Cs — Cs_2O — Ag приведены на фиг. 8 и 9, а интегральная чувствительность при $t°$ источника света 2 800° абс. следующая:

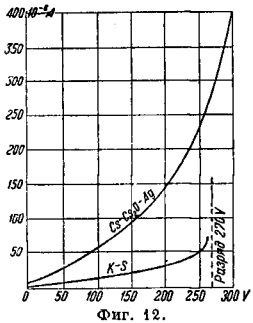
Катод	K—H	K—S	Na—S	K—K_2O—Ag	Rb—Rb_2O—Ag	Cs—Cs_2O—Ag
Пределы чувствительности в μA на lm . .	1—1,5	3—6	2—5	5—7	8—15	15—60

Газонаполненные Ф. Для увеличения тока в Ф. его наполняют инертным газом—аргоном, неоном или гелием. В газонаполненном Ф. электроны, вышедшие с поверхности катода, сталкиваясь с молекулами газа, ионизуют их, что приводит к увеличению числа носителей электричества в Ф. и следовательно к возрастанию тока. Отношение всего тока i через газонаполненный Ф. к току с поверхности катода i_0 называется коэфициентом усиления $k=\frac{i}{i_0}$. Коэф. усиления зависит от давления и природы газа, от размеров и формы электродов, от разности потенциалов на Ф. и наконец от свойств катода. Зависимость коэф-та усиления от разности потенциалов на электродах приведена на фиг. 10 для сферич. Ф. с кольцевым анодом и наполненного аргоном до ~1 *мм* Hg. В точке Z, где кончается характеристика, наступает самостоятельный разряд газа, при к-ром ток в неосвещенном Ф. не падает до нуля. Следовательно максимальное рабочее напряжение V на газонаполненном Ф. должно быть меньше потенциала V_z — начала самостоятельного разряда. Чем ближе потенциал V к потенциалу V_z, тем больше коэф. усиления, однако тем неустойчивее становится работа Ф., поэтому практически $V_z-V=d$ д. б. не менее 5 V, а в большинстве случаев 20—50 V. Из приведенных на фиг. 11 характеристик коэф-тов усилений, снятых при различных давлениях p газа в Ф., вытекает, что в данной области давлений с уменьшением давления максимальный коэф. усиления, соответствующий окончаниям приведенных кривых, увеличивается. При этом один и тот же коэфициент усиления с уменьшением давления получается при более высоком напряжении на Ф. и находится в более пологой части характеристики; последнее иногда бывает выгодно в применениях Ф. Все характеристики были сняты при постоянном и одинаковом токе с поверхности катода $i_0=1{,}3\cdot10^{-7}$ A. При изменении фотоэлектрич. тока с поверхности катода характеристики смещаются параллельно самим себе, а точка начала самостоятельного разряда перемещается в сторону уменьшения потенциала по нек-рой кривой, форма к-рой зависит от геометрич. параметров Ф. и давления газа в нем. Следовательно работа Ф. при потенциалах, близких к V_z, сопряжена с возможностью появления тока самостоятельного разряда и с изменением коэф-та усиления, нарушающим пропорциональность между фототоком и освещением. Характеристики газонаполненных K—S и Cs—Cs_2O—Ag фотоэлементов Всесоюзного электротехнич. ин-та (ВЭИ) приведены на фиг. 12. В различных областях применения Ф. большой интерес представляет время, в течение к-рого устанавливается величина фототока, соответствующая данному освещению. В вакуумных Ф. после включения освещения фототок устанавливается практически мгновенно, поэтому эти Ф. не обладают инерцией. В газонаполненных Ф. инерция появляется уже при звуковой частоте, что выражается в уменьшении амплитуды фототока a_ν, соответствующего одной и той же силе света, при увеличении частоты модуляции ν светового потока. В качестве прерывателя светового потока при измерении инерции обычно используется круглый диск, насаженный на одну ось с мотором. По внешней окружности диска проделывают круглые отверстия так, чтобы диаметр отверстия равнялся расстоянию между отверстиями. В этом случае при вращении диска возрастание и убывание светового потока происходят по закону, близкому к закону гармонич. колебания, и следовательно гармоники переменного фототока, возникающего в цепи Ф., будут малы. Схема включения Ф. при измерениях инерции дана на фиг. 13, где Φ — фотоэлемент, V— вольтметр, показывающий постоянное напряжение на Ф., E— батарея аккумуляторов, C—шунтирующая переменный ток емкость и W — катодный вольтметр, служащий для определения амплитуды переменного напряжения, возникающего на сопротивлении R при освещении Ф. прерывистым светом. Исследования инерции Ф. привели к заключению, что инерция увеличивается с увеличением напряжения на Ф. и с увеличением давления газа в нем. Приведенные на фиг. 14 характеристики инерции, снятые при разностях потенциалов на Ф., которые были ниже потенциалов появления тока самостоятельного разряда на одинаковое число V, показывают еще, что инерция зависит от природы газа, наполняющего Ф. Давление газа p для каждой характеристики указано на фиг. 14. Пунктирные кривые относятся к неону, сплo-

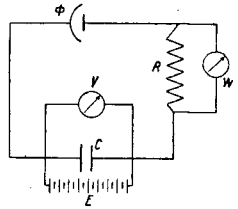
Фиг. 10.



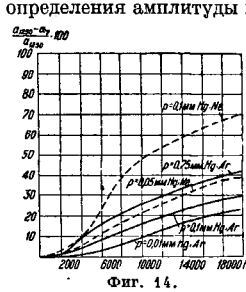
Фиг. 11.



Фиг. 12.



Фиг. 13.

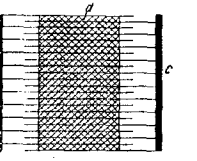


Фиг. 14.

шные—к аргону. По горизонтальной оси характеристик отложены частоты ν прерывания светового потока, а по вертикальной $\frac{a_{1125}-a_\nu}{a_{1125}}$, где a_{1125} и a_ν—амплитуды переменного фототока при частоте 1 125 Hz и при более высокой частоте ν. В аргоне по сравнению с другими газами инерция оказалась наименьшей. Последние исследования инерции указывают на зависимость ее от природы катода, например у Ф. с цезиевыми катодами она больше, чем с калиевыми. Вследствие строгой пропорциональности между фототоком и освещением и относительно небольшой инерции Ф. с внешним фотоэффектом нашли широкое применение в *кино звуковом* (см.) и *телевидении* (см.).

Ф. с внутренним фотоэффектом (селеновые и таллофидные). Эти Ф. представляют собой полупроводник, электропроводность к-рого меняется под действием света. По представлениям Гуддена и Поля изменение электропроводности полупроводника происходит вследствие освобождения квантами света электронов в полупроводнике. Увеличение тока, происходящее за счет электронов, освобожденных светом, называется первичным током. Первичный ток разделяется на две части: «отрицательный первичный» ток и «положительный первичный» ток. Электроны, освобожденные светом и уходящие к аноду, образуют отрицательный ток. Происходящая при этом потеря электронов полупроводником приводит к образованию положительного пространственного заряда в нем. Электронный ток, идущий с катода и нейтрализующий положительный пространственный заряд, представляет положительный первичный ток. Первичный ток пропорционален интенсивности освещения полупроводника и изменяется с изменением освещения без инерции. Перемещение по полупроводнику электронов первичного фототока вызывает в свою очередь изменение его электропроводности. Получающийся по этой причине прирост тока называется вторичным током. Образование вторичного тока происходит аналогично образованию электронной лавины при разряде в газе, т. е. вследствие освобождения электронов в полупроводнике толчками электронов первичного тока. Ясно, что вторичный ток быстро растет с увеличением разности потенциалов, приложенной к полупроводнику. С вторичным током связаны неприятные последствия, обесценивающие Ф. с внутренним фотоэффектом, а именно непостоянство чувствительности, отклонение от прямолинейной зависимости фототока и интенсивности освещения и наконец возникновение большой инерции.

Наиболее распространенными Ф. с внутренним фотоэффектом являются селеновые и таллофидные. В первых в качестве полупроводника используется кристаллич. или металлич. модификация селена, получаемая из аморфного селена путем длительного прогрева его при $t°$ 200—210°. В конструктивном отношении все виды данных Ф. весьма сходны. При изготовлении их стремятся к тому, чтобы светочувствительный слой селена был возможно тоньше и промежуток между электродами, заполненный селеном,—возможно меньше. На фиг. 15 приведен схематич. вид одного из селеновых Ф. Этот Ф. состоит из стеклянной пластинки *a* с нанесенными на ней двумя электродами *b* и *c* в виде гребенок. Электроды обычно изготовляются из золота, платины или графита. Селен *d* наносится на них испарением или катодным распылением и прогревается при $t°\cong 200°$ до наступления максимума чувствительности Ф. Сопротивление селеновых Ф. в темноте бывает порядка 10^5—$5\cdot10^7$ Ω и зависит от $t°$ и времени прогрева. Чем выше $t°$ и больше время прогрева, тем обычно меньше сопротивление Ф. В таллофидных Ф. в качестве полупроводника используется смесь соединений таллия с серой и кислородом. Исходные материалы должны быть тщательно очищены.

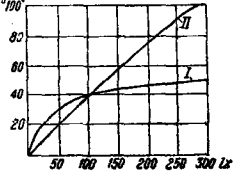


Фиг. 15.

Очистка таллия производится следующим образом. Гранулированный таллий, содержащий ок. 5% примесей, растворяется в кипящей разбавленной серной к-те. При выпаривании и охлаждении раствора выпадает сернокислый таллий. После очищения сульфата тройной перекристаллизацией его растворяют в воде. Из этого раствора электролизом получается губчатый таллий. Плотность тока при электролизе 0,9 А. Положительный платиновый электрод помещается в пористый цилиндр, к-рый частично погружается в раствор сульфата таллия, где находится отрицательный электрод, тоже платиновый. Очищенный таллий переводят в гидроокись таллия, к-рая затем чистым сероводородом переводится в сульфид таллия. Последний тщательно высушивается в электрич. печи при 80° до тех пор, пока его темный цвет не перейдет в серый (стальной) цвет, что указывает на наступление окисления. В этом состоянии таллофидная масса является наиболее чувствительной. При изготовлении Ф. полученный данным способом таллофидный порошок напыляется на предварительно нагретую до 400—500° кварцевую пластинку с нанесенными на ней графитовыми электродами, имеющими вид, аналогичный электродам у селеновых Ф. Затем эти пластинки быстро охлаждаются и запаиваются в колбы, из к-рых удаляется воздух, что делается для предохранения светочувствительного слоя от разрушения. Сопротивление таллофидных Ф. в темноте порядка $5\cdot10^5$—$500\cdot10^6$ Ω. Чувствительность Ф. с внутренним фотоэффектом определяется или по изменению сопротивления или по величине фототока, вычисляемого из выражения

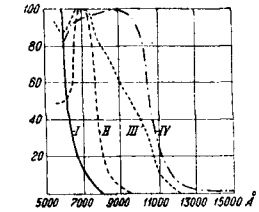
$$i = E\left(\frac{1}{R_a}-\frac{1}{R_0}\right) = A a^x, \qquad (2)$$

в к-ром E—напряжение на Ф., R_a—сопротивление его при освещении световым потоком a, R_0—сопротивление в темноте и A—коэф. пропорциональности. На фиг. 16 приведены статич. характеристики для двух Ф., где по горизонтальной оси отложена интенсивность света в люксах, а по вертикальной $\frac{1}{R_a}-\frac{1}{R_0}$. Кривая I относится к селеновому Ф. со светочувствительной поверхностью 13×50 *мм*, кривая II—к таллофидному Ф. со светочувствительной поверхностью 12×18 *мм*. Из приведенных харак-

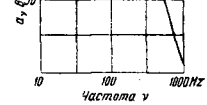


Фиг. 16.

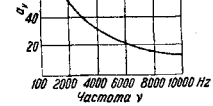
теристик вытекает, что для таллофидных Ф. показатель степени a в равенстве (2) близок к единице, т. е. фототок почти пропорционален интенсивности освещения, в то время как для селенового Ф. он значительно отклоняется от этого закона и в большинстве случаев $x \cong \frac{1}{2}$. Сопротивление в темноте R_0 зависит от $t°$ Ф., наложенного напряжения и от предварительного освещения, которому были подвергнуты Ф.; действие света, повышение $t°$ и увеличение напряжения обычно уменьшают их темновое сопротивление R_0. Чувствительность таллофидных и селеновых Ф. к различным участкам спектра характеризуют кривые, приведенные на фиг. 17. Кривая *I* относится к тонкослойному селеновому Ф., *II*—к обычному селеновому Ф., *III*—к селеновому тонкослойному Ф. с примесью 14% теллура и наконец *IV*—к таллофидному Ф. Существенным недостатком селеновых и таллофидных Ф. является инерция, появляющаяся уже при низких частотах модуляции светового потока. На фиг. 18 и 19 приведены частотные характеристики таллофидного Ф. фирмы «Осрам» и одной из последних конструкций селенового Ф. Ординатами этих характеристик являются амплитуды a_ν переменного фототока, соответствующие различным частотам прерывания одного и того же светового



Фиг. 17.



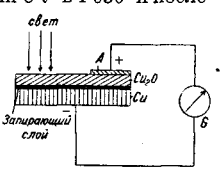
Фиг. 18.



Фиг. 19.

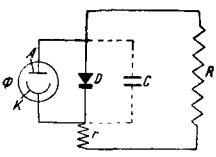
потока, падающего на Ф. Несмотря на инерцию и непостоянство чувствительности описанные фотоэлементы вследствие большой чувствительности к инфракрасным лучам находят широкое применение.

Ф. с запирающим слоем впервые был открыт в 1916 г. Пфундом. Он состоял из медной пластинки Cu, покрытой закисью меди Cu_2O. Слой закиси меди на пластинке получается нагреванием ее в печи с $t°$ в 1 050° и последующим охлаждением в кипящей воде. Схема включения этого купроксного Ф. приведена на фиг. 20, где *G*—гальванометр, *A* — плотно прижатая проволочная спиралька, служащая контактом с закисью меди. Свет, падающий на поверхность закиси меди (указано на фиг. 20 стрелками) без постороннего источника эдс, вызывает в цепи ток, к-рый в большом диапазоне освещенностей пропорционален силе света. Вызываемое светом движение электронов в этом Ф. начинается на границе запирающего слоя,

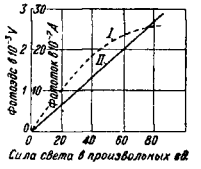


Фиг. 20.

куда свет проникает через пленку закиси меди. Пройдя запирающий слой, электроны могут возвращаться в первоначальное положение двумя путями: во-первых, обратно через запирающий слой и, во-вторых, через гальванометр *G*. Отсюда следует, что силы токов, идущих по этим двум направлениям, зависят от величины их сопротивлений; поэтому в данном случае при измерении фототока выгодно пользоваться гальванометром с малым сопротивлением. Все Ф. рассматриваемого вида обычно обладают детекторными свойствами. Направление выпрямленного тока в них противоположно направлению фототока, т. е. фотоэлектроны движутся от закиси меди к меди, а при выпрямлении переменного тока преимущественное движение электронов будет совершаться от меди к закиси меди. Эквивалентная схема (фиг. 21) выражает электрич. свойства описанных Ф. На схеме *Ф*—



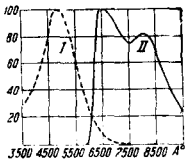
Фиг. 21.



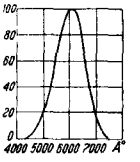
Фиг. 22.

вакуумный Ф., *A*—его анод, *K*—катод, *r*—сопротивление закиси меди, называемое «путевым» сопротивлением, *R*—сопротивление внешней цепи. В случае освещения прерывистым светом данная схема дополняется еще емкостью *C*. В этой схеме возникающий на аноде Ф., вследствие перемещения электронов под действием света, отрицательный заряд стекает частью через детектор *D*, а частью через внешнюю цепь. Возникновение отрицательного заряда на аноде связано с появлением на электродах Ф. тормозящей фототок разности потенциалов. При освещении Ф. монохроматич. светом частоты ν согласно ур-ию Эйнштейна эта разность потенциалов не может превышать величины $V_{max} = \frac{h\nu - P}{e}$, прекращающей дальнейший переход электронов с катода на анод. В данном выражении *P* представляет работу, к-рая затрачивается на передвижение электрона через запирающий слой. Отсюда вытекает, что при больших интенсивностях света, когда напряжение *V* на разомкнутом Ф. становится близким к V_{max}, ток короткого замыкания через гальванометр и напряжение *V* не будут возрастать в прямой пропорции с увеличением силы света. В действительности же отклонение от пропорциональности между силою света и напряжением *V* на разомкнутом Ф. появляется значительно раньше, когда еще фототок короткого замыкания сохраняет линейную зависимость от силы света. Последнее объясняется изменением сопротивления запирающего слоя при увеличении силы света, падающего на Ф. На фиг. 22 приведены характеристики зависимости фототока *I* и напряжения *II* от интенсивности освещения для купроксного Ф. Кроме описанного купроксного Ф., т. н. «тылового», изготовляются еще Ф. «лицевые», обладающие большей чувствительностью вследствие меньшей потери света по пути к запирающему слою. Они представляют собой также медную пластинку с нанесенным слоем закиси меди, к-рый катодным распылением или восстановлением

закиси меди покрывается тонкой медной, золотой или платиновой пленкой. В данном случае активный к свету слой находится непосредственно под этой пленкой, поглощающей значительно меньше света, чем слой закиси меди, к-рый приходится проходить свету в тыловых Ф. Кроме купроксных Ф. получили ши-

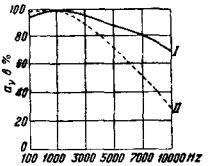


Фиг. 23.



Фиг. 24.

рокое применение селеновые лицевые Ф. с запирающим слоем. Селеновые Ф. приготовляются след. обр. На железную пластинку испарением в вакууме наносится слой селена, который сверху катодным распылением покрывается тонкой пленкой платины. Селеновые Ф. имеют интегральную чувствительность 100—500 μA на 1 lm; у купроксных она несколько меньше: 50—200 μA на 1 lm. Спектральные характеристики *I* (лицевого) и *II* (тылового) купроксных Ф. приведены на фиг. 23, а селенового—на фиг. 24. По своей природе фотоэлементы с запирающим слоем безынерционны аналогично вакуумным Ф. Однако вследствие большой собственной емкости инерция их уже обнаруживается при звуковых частотах. На фиг. 25 приведены характеристики инерции лицевого купроксного Ф.—кривая *I* и селенового—кривая *II*.



Фиг. 25.

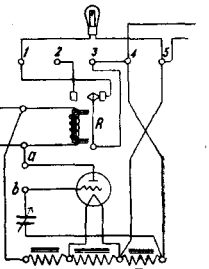
Вследствие малой эдс и малого внутреннего сопротивления у Ф. с запирающим слоем 500—1 000 Ω они значительно уступают другим видам Ф. при использовании их в усилительных схемах, поэтому в настоящее время они применяются гл. обр. для измерительных целей.

Существуют еще электролитические Ф., обладающие электрич. свойствами, подобными Ф. с запирающим слоем. Электролитич. Ф. можно осуществить, погрузив медную пластинку, покрытую закисью меди так же, как и в купроксных Ф., в электролит, напр. в NaOH. При освещении через электролит закиси меди на электродах, присоединенных к меди и электролиту, аналогично Ф. с запирающим слоем, возникает эдс. Чувствительность последних Ф. достигает 500 μA на 1 lm.

Лит.: Тимофеев и Налимов, «Журнал технической физики», Л., 1933, т. 3, стр. 602; Тимофеев и Хлебников, «Вестник электротехники», М., 1931, *11-12*, стр. 464; Отчет о конференции по твердым выпрямителям и фотоэлементам, «Журнал технической физики», Л., 1931, т. 1, вып. 7; Наследов Д. и Немеров Л., Твердые выпрямители и фотоэлементы, М.—Л., 1933; Simon H. u. Suhrman R., Lichtelektrische Zellen und ihre Anwendung, B., 1932; Fleischer R. u. Teichman H., Die Lichtelektrische Zelle und ihre Herstellung, Dresden u. Lpz., 1932; Hughes A. L. and Bridge D., Photoelectric Phenomena, N. Y., 1932.

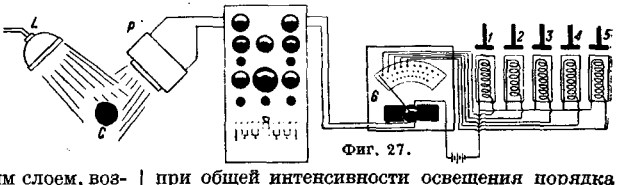
П. Тимофеев.

Технические применения Ф. Кроме основных применений Ф. в *телевидении* (см.), *кино звуковом* (см.) и *фототелеграфии* (см.) Ф. находят применение в следующих областях: контроль и управление различными производственными процессами, автоматич. сигнальные устройства, управление движущимися механизмами, измерительные процессы и др. Для большинства практич. применений Ф. используется как источник, создающий под действием падающего на него света электрич. сигналы, усиливаемые электронной лампой и приводящие в действие электромагнитное реле. В настоящее время соединение Ф. с электронной лампой и электромагнитным реле объединяется в особом приборе, называемом фотоэлектронным реле. В этом устройстве Ф. помещается в особом металлич. чехле, имеющем окно, через к-рое производится его освещение. Чехол Ф. соединяется гибким шнуром в металлической оплетке с усилительной лампой и электромагнитным реле, находящимся в особом ящике. Конструкция прибора дает возможность располагать Ф. в любом положении вблизи пункта, освещенность к-рого контролируется. Ф. присоединяется к точкам *a* и *b* цепи электронной лампы (фиг. 26); анодный ток лампы проходит через обмотку электромагнитного реле *R* и, увеличиваясь под действием фотосигналов, действующих на сетку лампы, притягивает якорь реле и замыкает контакт *2*. Внешняя цепь, на которую работает, реле, присоединяется к контактам *3* и *4*. Фотоэлектронное реле снабжено контрольной лампой накаливания (между *1*—*5*), которая указывает правильность работы. Полное питание фотоэлектронного реле осуществляется переменным током через автотрансформатор *T*. В случае необходимости фотоэлектронное реле может действовать от постоянного тока. В цепи сетки лампы включается переменный конденсатор, служащий для подбора лучшего режима работы Ф. Фотоэлектронное реле действует при изменении освещенности Ф. в пределах 40—50%



Фиг. 26.

при общей интенсивности освещения порядка 3 метросвечей. В производственных процессах фотоэлектронные реле находят практич. применение в следующих случаях.



Фиг. 27.

Сортировочные устройства. При массовом производстве предметов, различающихся по цвету, осуществляется автоматич. сортировка предметов по группам, обладающим одним цветом. Примером является сортировка сигар. Сортировочное устройство (фиг. 27) состоит из источника света *L* и фотоэлектронного устройства *P*, в к-ром вместо обычного реле включено гальванометрич. реле *G*, имеющее 30 контактов. Под влиянием фотосигналов гальванометрическое реле замыкает цепь различных

селекторов *1, 2, 3,...*, к-рые заставляют поступающие непрерывным потоком сигары *C* распределяться в зависимости от их цвета по различным ящикам. Такой же способ находит применение для автоматич. сортировки карандашей на соответствующих фабриках.

Контроль цвета производственной массы. При составлении красок на красильных ф-ках или окрашенных пластич. масс для различных изделий получение совпадающей окраски при повторном составлении массы точно контролируется Ф., соединенным с электронной лампой и гальванометром, при освещении массы источником постоянной силы света. *Такой же способ контроля применяется* для регистрации нагрева металлич. изделий в закалочных печах.

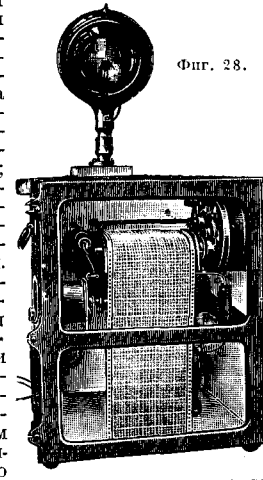
Регистрация изделий на конвейере. При конвейерном производстве прохождение изделий по конвейеру регистрируется фотоэлектронным реле путем установки источника света, луч от к-рого проходит в поперечном направлении к конвейеру и освещает Ф. Проходящие детали прерывают освещение Ф. и создают регистрирующие сигналы, приводящие в действие счетчик числа прошедших деталей.

Управление машинами с помощью Ф. имеет применение для контроля автоматов, когда к автоматич. станку, изготовляющему какие-либо мелкие детали (напр. винты), прекращается подача материала; фотоэлектронное реле размыкает цепь мотора, вращающего станок, или подает звуковой сигнал. Фотоэлектронное реле применяется также на бумажных ф-ках, где в случае обрыва бумажной ленты при помощи фотореле производится автоматич. остановка машины.

Автоматическая регулировка освещения. Ф. применяется в производственных помещениях, в к-рых должна непрерывно поддерживаться постоянная освещенность. В данном случае применяется фотоэлектронное реле, автоматически включающее искусственное освещение в случаях уменьшения дневного освещения. В нек-рых случаях применяется фотоустановка для непрерывного регистрирования освещенности; устройство состоит из Ф., воздействующего через электронную лампу на самопишущий электрич. прибор, автоматически записывающий кривую изменения освещенности (фиг. 28).

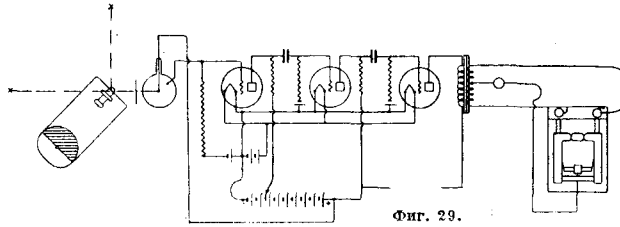
Контроль температуры в помещениях или в производственных печах; $t°$, измеряемая термопарой, отмечается гальванометром, стрелка к-рого при нормальной $t°$ занимает положение, в к-ром она закрывает отверстие на шкале; через это отверстие падает луч света на Ф. При изменении $t°$ свет попадает на Ф., причем посредством реле включается устройство, приводящее снова к нормальной $t°$.

Широкое применение Ф. имеют в различных сигнальных устройствах. Фотоэлектронное реле часто применяется в кассовых помещениях, где в обычных условиях установка состоит из лампы, бросающей луч света на Ф., который держит электромагнитное реле в положении разомкнутой сигнальной цепи; в случае какого-либо прерывания освещенности Ф. (прохождение человека между лампой и Ф.) немедленно происходит замыкание сигнальной цепи и подается извещающий сигнал в помещение охраны. Подобного же рода сигнальные устройства применяются для регистрации дыма в туннелях. Применяемые в данном случае фотоэлектронные реле регулируются так, что при небольшом увеличении дыма или пара (5—10%) в помещении они автоматически включают вентиляционные приспособления. Фотоэлектрич. устройства применяются также в качестве сигнальных *противопожарных устройств*; при появлении дыма или огня в помещении фотоэлектронное реле подает звуковой сигнал. Ф. находит применение для автоматич. управления маяками в тех случаях, когда маяки установлены в мало доступных местах. Маяк снабжается Ф., связанным через ламповый усилитель и реле со световым и звуковым сигналами (колокол). На Ф. направляется луч света от источника, расположенного на значительном расстоянии. Когда Ф. освещен, цепь сигнального устройства выключена. В случае появления тумана освещенность Ф. падает, и реле автоматически включает сигнальное устройство. Иногда на Ф. направляется прерывистый свет от прожектора, перед которым находится вращающийся перфорированный диск, чем доставляется проблесковое свечение сигнальных огней маяка.



Фиг. 28.

Применение фотоэлементов для различных измерений весьма разнообразно. Практическое значение имеют следующие устройства. Фотометр с объективным отсчетом (фиг. 29) состоит из фотоэлемента, включенного в цепь



Фиг. 29.

лампового усилителя. Отсчет освещенности производится по гальванометру. Предварительная градуировка осуществляется по стандартным фильтрам. Фотоэлектрическая делительная машина состоит из точной шкалы, деления к-рой проходят перед Ф. и создают сигналы, действующие на сетку электронной лампы. Усиленные электрич. сигналы действуют на электромагнитный механизм, к-рый отмечает деления на градуированной шкале. Связывая движение основной и градуируемой шкал при помощи передаточного механизма, осуществляют различное относительное пере-

мещение шкал, чем достигается возможность градуировки в различном масштабе. Калибровка электрических счетчиков осуществляется путем освещения Ф. прерывистым светом, к-рый получается при вращении зубчатого диска, расположенного между Ф. и источником света. Усиленные сигналы от Ф. воздействуют на неонову лампу, к-рая создает прерывистое освещение диска счетчика. Если счетчик делает правильное число оборотов, то знак (полоса) на его диске при освещении светом от неоновой лампы кажется наблюдателю неподвижным.

Применение Ф. для непосредственного управления движением находится в стадии опытов. В этом направлении имеет значение автоматич. торможение поезда при проходе закрытого семафора. В данном случае Ф., соединенный через усилитель и реле с тормозным краном, находится на паровозе. Источник света располагается на семафоре. При закрытом семафоре луч света падает на Ф. и приводит в действие тормозное устройство. При открытом семафоре источник света отключается, и Ф. не получает сигнала. Из других применений Ф. следует отметить использование Ф. для автоматич. открывания дверей в помещениях; применяемое в данном случае устройство состоит из источника света, бросающего луч на фотоэлектронное реле, т. ч. луч проходит параллельно закрытым дверям. Открывание дверей осуществляется электромотором, к-рый приходит в действие в условиях отсутствия освещения Ф. Это получается каждый раз, когда кто-либо подходит к дверям и пересекает луч света, падающий на Ф. В настоящее время поставлена проблема использования Ф. в качестве источника электрич. энергии. Особенно любопытны при этом вентильные Ф., в к-рых происходит самое непосредственное превращение световой энергии в электрическую. Незначительность кпд их не разрешает пока эту актуальнейшую проблему. Тем не менее принципиальное решение ее вполне возможно.

Лит.: Наследов Д. и Неменов Л., Твердые выпрямители и фотоэлементы, М.—Л., 1933; Zworykin V., Photocells a. Their Application, New York, 1932.

С. Какурин.

ФРАУНГОФЕРОВЫ ЛИНИИ, темные вертикальные линии в спектре солнца. Ф. л. указывают на те лучи, которые были поглощены на пути между массою солнца, испускающей сплошной спектр, и глазом наблюдателя. Фраунгофер дал в 1814 г. первый рисунок солнечного спектра, в к-ром насчитывалось до 700 темных линий. Первый подробный атлас солнечного спектра был составлен Кирхгофом в 1863 г., объяснившим Ф. л. как линии поглощения в фотосфере солнца, содержащей пары различных веществ. Сравнивая положение темных линий в спектре солнца с положением светлых линий спектров испускания водорода и паров различных металлов, Кирхгоф нашел, что многие из этих двух рядов линий совпадают, и тем самым установил присутствие целого ряда элементов, известных на земном шаре, в фотосфере солнца. Дальнейшие обширные исследования спектра солнца принадлежат Ангстрему и Роллэнду. Часть Ф. л. происходит вследствие поглощения лучей в самой атмосфере земли; эти линии называются теллурическими. Попытки Ангстрема и Роллэнда использовать Ф. л. в качестве спектральных нормалей (см. *Спектроскопия*) имеют в настоящее время лишь исторический интерес.

Наиболее интенсивные Ф. л. в спектре солнца обозначаются буквами. В виду того, что лучи, совпадающие с этими линиями, до сих пор иногда обозначаются теми же буквами (напр. в табл. коэф-тов преломления оптич. стекол и других прозрачных веществ), приводим длины волн для нек-рых из них:

Обозначение	Длина волны	Происхождение
A	7 594,06 Å	O
B	6 867,48 »	O
C	6 562,83 »	H
D_1	5 895,93 »	Na
D_2	5 889,97 »	Na
F	4 861,33 »	H
G	4 307,91 »	Fe
	4 307,74 »	Ca
H	3 968,48 »	Ca

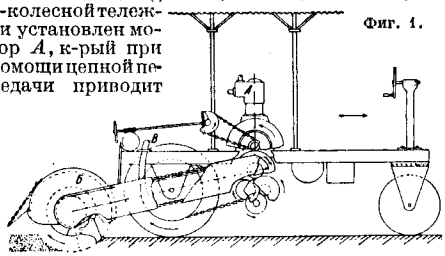
Ф. л. наблюдаются также в спектрах многих других небесных тел: планет и звезд. Детальное изучение Ф. л. играет огромную роль в астрофизике. Их длины волн позволяют установить химич. состав внешних слоев солнца и звезд и атмосферы планет; расширение—физич. условие на поверхности светил. Наконец их смещение по сравнению с соответственными линиями в земных источниках позволяет в силу т. н. принципа Допплера определить скорость движения светил по отношению к земле (см. *Допплера эффект*).

С. Фриш.

ФРЕЗА, землефреза, машина, применяемая в с. х-ве для обработки почвы и для размельчения торфа при *торфоразработках* (фрезерование торфа). При помощи плуга, к-рый по способу своей работы является собственно струг, нельзя получить за один проход того равномерного и совершенного рыхления и перемешивания пахотного слоя, к-рые достигаются напр. при помощи ручного заступа или лопаты (см. *Плуги*). Стремление механизировать обработку почвы заступом и привело к появлению фрезерных машин.

Первые попытки заменить ручную лопату машиной относятся к 1850 году, когда французы Гибаль и Тенар предложили свои «копающие колеса». В 1865 г. в Англии появилась «механическая лопата» Дерби, приводимая в действие паровой машиной. Эта машина работала при помощи остроумного и сложного механизма тремя большими копающими вилами, к-рые имели по 14 зубьев и захват в 1,5 *м*. Подобное же устройство имела и «паровая лопата» Купера, снабженная 4 вилами. Вскоре Дерби перешел от колебательного движения органов своей машины к вращательному и заменил вилы вертикальными Ф. наподобие коловоротных перок, а затем и их заменил иными органами в виде опрокинутых грибов, соединенных попарно. Одновременно с ними появилась в Египте машина Богос Нубара Паши, у которой две горизонтальные и параллельные оси вращения двух Ф. расположены по направлению движения самой машины, а рабочие органы (лапы) вращаются в направлении, перпендикулярном к этому движению; т. о. рыхление производится по нек-рым винтовым линиям и происходит не на одинаковую глубину. Около 1900 г. появилась машина Ганца с горизонтальным барабаном позади, составленным из 3 косых ножей. Ось вращения этого барабана расположена перпендикулярно к направлению движения машины, и она поэтому производит рыхление на одинаковую глубину. По схеме машины Ганца построены все современные Ф. С появлением двигателей внутреннего сгорания и с разработкой их конструкции для

автомобиля они быстро вытеснили паровую машину и в землефрезах. Из схемы Ф. системы Кошеги-Ланца (фиг. 1) видно, что на раме 3-колесной тележки установлен мотор *A*, к-рый при помощи цепной передачи приводит



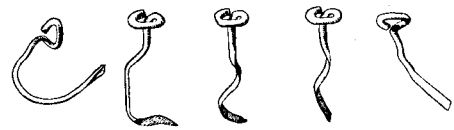
Фиг. 1.

в действие два ходовых колеса, что сообщает поступательное движение всей машине и барабану Ф. *Б*, положение к-рого относительно рамы можно фиксировать при помощи полосы с отверстиями (подвеса) *В* и тем самым устанавливать глубину обработки почвы. Машина управляется от штурвала при помощи переднего колеса, а барабан поднимается в конце загона и по окончании работы или при помощи стального троса от мотора или же вручную от штурвала; фиг. 2 изображает барабан Кошеги. У него на валу наглухо посажены диски, с к-рыми жестко соединены лапы, имеющие на концах рабочие пластинки сердцевидной формы, для более легкого и постепенного внедрения их в почву и для предупреждения мгновенной нагрузки на барабан. В этих же целях лапы расположены на барабане не по образующей, а по винтовым линиям, благодаря чему в почву беспрестанно входит такое же количество лап, какое оканчивает работу, и поэтому барабан остается равномерно нагруженным. Но разумеется такая жесткая лапа, встречая на своем пути в почве такое сопротивление, как камень, толстый корень и т. п., должна или его

Фиг. 2.

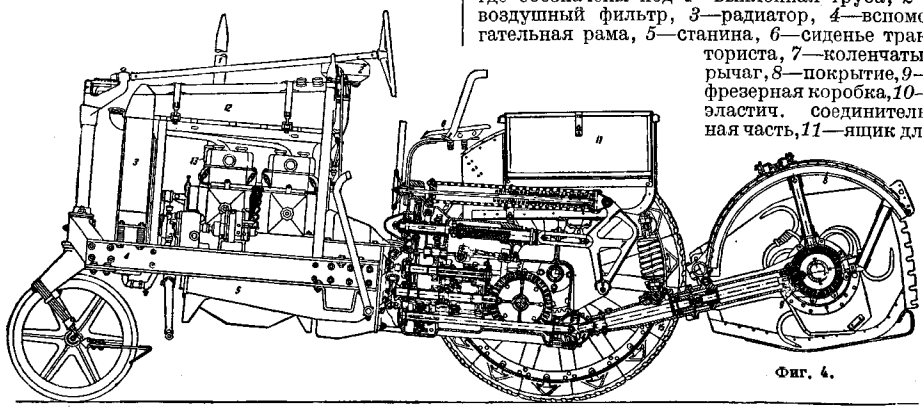
преодолеть или же сама деформироваться и даже сломаться. При быстром движении машины и при глубокой обработке лапы такой формы могут при входе в почву упираться в нее з а т ы л к о м. Во избежание этого Кэлленек снабдил барабан кривыми лапами в виде трехгранных клиньев, отогнутых назад по ходу барабана. Но всякая лапа, жестко соединенная с валом, будет неизбежно испытывать удары во время работы, а следовательно вызывать излишнюю потерю в работе и преждевременные износы всей машины.

Для устранения этого большого недостатка Мейенбург предложил новую конструкцию э л а с т и ч н о й лапы. Его барабан имеет следующее устройство. На горизонтальном валу барабана посажена наглухо 6-конечная звезда, имеющая на концах обоймы, в к-рые продеты 6 круглых стержней, расположенных параллельно оси вала. На эти стержни надеты пружины из стальной проволоки, заканчивающиеся петлями, направленными к периферии барабана. В эти петли вставляют рабочие органы в виде стальных крючков, долот, лопа-



Фиг. 3.

ток и т. п. (фиг. 3). Установка их на месте и смена крайне просты и занимают всего несколько секунд. Группы таких эластичных лап располагаются на барабане также по винтовым линиям с таким расчетом, чтобы барабан был нагружен всегда равномерно. Благодаря эластичности лапы системы Мейенбурга при встрече с препятствиями в почве смягчают всякий удар, а в случае большого сопротивления пружинят и, отгибаясь назад, или преодолевают его или же обходят и только в крайнем случае разгибаются. Построенные по этому принципу лапы вполне оправдали предположение Мейенбурга на рядовой работе, и последние выпуски современных землефрез снабжены барабанами с эластично посаженными на них лапами. На фиг. 4 дана Ф. з-да Сименс-Шуккерт, типа GIVP с мотором в 35 Р, где обозначены под *1*—выхлопная труба, *2*—воздушный фильтр, *3*—радиатор, *4*—вспомогательная рама, *5*—станина, *6*—сиденье тракториста, *7*—коленчатый рычаг, *8*—покрытие, *9*—фрезерная коробка, *10*—эластич. соединительная часть, *11*—ящик для



Фиг. 4.

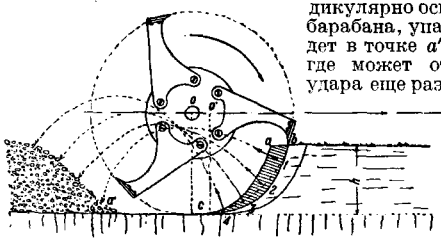
инструментов, *12*—топливный бак, *13*—двигатель, *14*—карданное соединение, *15*—карданная труба. Этот же з-д выпускает еще два размера Ф.: с а д о в у ю Ф. и п л а н т а ж-

ную Ф. Данные об этих машинах приведены в нижеследующей таблице:

Характеристика фрез.

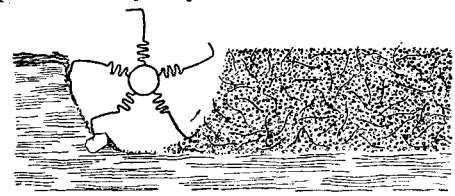
Показатели	Садовая	Плантажная	GIVP
Мотор . . .	1-цилиндр. 2-тактный	1-цилиндр. 2-тактный	4-цилиндр. 4-тактный
а) мощность, HP	4	8	35
б) охлаждение .	воздушное	водяное	водяное
в) число об/м. . .	1 500	—	1 055
Горючее . .	бензин	бензин и спец. приспос. для керосина	бензин и керосин
Скорость, м/сж . . .	1—0,25 2—0,50	1—0,30 2—0,60	1—0,50; 2—0,70 3—1,10, задн. ход 0,5
Глубина обработки, м	до 0,25	до 0,25	до 0,35
Ширина захвата, м	0,50	0,90	1,60
Часов. производ., га	0,015	0,09—0,18	0,2—0,5
Вес машины, кг . .	280	380	2 850
Диам. барабана, м	0,81	0,81	0,81
Число об/м.	150—180	150—180	150—180

Обращаясь к самому процессу работы Ф., можно сказать, что процесс этот близок к работе обыкновенной ручной цапки, но с тем только отличием, что лезвие ручной цапки движется в обрабатываемом слое неравномерно, а каждая лапа барабана Ф. равномерно. Возьмем для примера барабан Кошеги и пусть (фиг. 5) им обрабатывается слой почвы толщиною, равной h. Если за время прохождения лапой пути, равного ab, ось барабана передвинется по направлению движения машины на величину OO', то лезвие лапы отрежет по некоторой кривой клинообразную изогнутой формы порцию земли вида abc. Так как масса этой порции и ее толщина невелики, то лапа, проходя свой путь со скоростью более 15 м/сж, быстро обрывает ее и сообщает ей сильный толчок, от к-рого вся порция должна рассыпаться на мелкие куски. Допустим, что она распадется только на 4 части (*1*, *2*, *3*, *4*). Пусть каждая из этих частей получит ускорение по направлению стрелок, проведенных из ц. т. отдельных масс. Первой должна отделиться верхняя часть *1* и, пройдя нек-рый параболич. путь перпендикулярно оси барабана, упадет в точке a', где может от удара еще раз-



Фиг. 5.

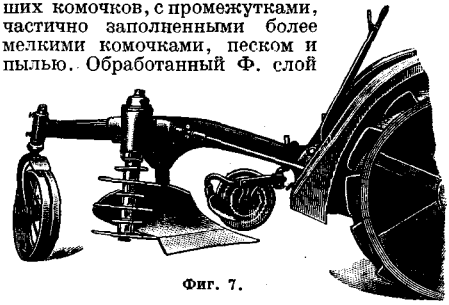
дробиться. Следующая часть *2*, с меньшей массой, получив толчок под большим углом к горизонту, упадет несколько выше и т. д. Т. о. здесь заметно некоторое стремление к «переворачиванию» обрабатываемого слоя, т. к. верхние его частицы стремятся лечь внизу, а нижние наоборот. Но в действительности такая картина перемещения частиц несколько иная. Каждый снимаемый Ф. слой земли будет, во-первых, дробиться на бесконечное число частиц и отбрасываться лапой не только перпендикулярно к оси вращения барабана, но и под углом к ней. Частицы, отброшенные соседними лапами, будут между собою сталкиваться, ударяться о кожух барабана в защитную доску,



Фиг. 6.

или щит, и при обратном падении вновь встречаться с лапами барабана и т. д. Следовательно правильного перемещения слоев здесь ожидать нельзя; наоборот, налицо все условия для их перемешивания, что и подтверждается в действительности.

После прохода Ф. весь обрабатываемый слой почвы получается разрыхленным совершенно равномерно на всю толщину, в виде небольших комочков, с промежутками, частично заполненными более мелкими комочками, песком и пылью. Обработанный Ф. слой



Фиг. 7.

очень мало поднимается над необработанной поверхностью поля, что указывает на отсутствие больших пустот и большого нарушения капиллярности. Поле получает за один проход машины сразу законченный в обработке вид и если нуждается в дополнительном бороновании, то только для выравнивания его поверхности; это и является главнейшим достоинством фрезерных машин вообще. Благодаря тщательному перемешиванию почвы вносимое удобрение (навоз, туки и др.) распределяется также равномерно по всему слою (фиг. 6), что дает большое преимущество этим машинам сравнительно с пахотными орудиями. Проветривание пахотного слоя здесь также значительно благодаря перемещению измельченных частиц почвы в воздухе и притоку свежего воздуха к оси барабана Ф. с обоих его концов, под действием центробежной силы, отбрасывающей воздух вместе с частицами почвы к периферии. Но наряду с достоинствами есть и значительные недостатки в работе этих машин. Так, жесткосидящий рабочий орган Ф., проходя через слой почвы, дробит и крошит ее частицы и разрушает структуру. При обработке почв, засоренных корневищами пырея, Ф. разрывает их на мелкие куски и равномерно

распределяет по разрыхленному ею слою. После этого достаточно одного дождя, чтобы появилось обильное прорастание корневищ и поле засорилось пыреем. Это явление наблюдалось на опытном поле Петровской академии (в Москве) и в Белоруссии на Старосельском машиноиспытательном пункте (наблюдения автора). Последнее обстоятельство однако делает фрезы особенно пригодными при луговом хозяйстве. Вообще же они должны найти себе большое применение в хозяйствах, приспособленных к производству овощей, в различного рода питомниках, где могут дать за один проход готовую гряду, а также и при закладке плантажа для сада, виноградников и т. п. Кроме того их можно с большой выгодой применять и в дорожностроительном деле для перемешивания различных земляных грунтов с целью улучшения грунтовых дорог. При торфоразработках фрезу применяют для размельчения по слоям торфяных пластов для получения мелкого фрезерного *торфа* (см.). По результатам рыхления близким к фрезе является рыхлитель «Tiller» (землеобработник). Эта конструкция по существу является фрезой с вертикальной осью вращения, снабжена ножами, устанавливается около рабочей поверхности плужного корпуса (фиг. 7) и, получая вращательное движение непосредственно от трактора «Power-take-off», рыхлит поднятый плужным корпусом пласт при 300 об/мин. своего ротора. Поле получается с совершенно ровной поверхностью, и обрабатываемый слой почвы рыхлится равномерно по всей толщине.

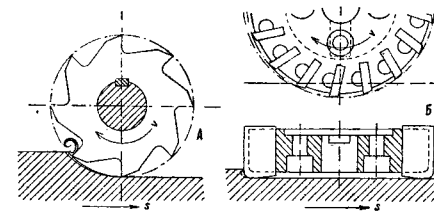
Следует однако отметить, что работа землефрезы вообще еще очень мало изучена. Несомненно, что более детальное изучение процесса «фрезования» и его результатов внесет соответствующие коррективы в конструкцию современной Ф. и может дать сильный толчок к более широкому распространению землефрез в различных областях народного х-ва.

Лит.: Жюльен Ш., Мотокультура, пер. с франц., П., 1915; Сборник статей Фр. Брутшке и других, Мотокультура, Прилож. к «Извест. бюро с.-х. механ. за 1913 г.», СПБ, 1913; Сладков Н., Машина для обработки почвы, «Вестник сельского хозяйства», М., 1913, *21* и *22*; Некрасов П. и Антипин А., Работа фрезы и плуга, М., 1931. **Н. Сладков.**

ФРЕЗЕРОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ, фрезерные станки (англ. Miller, Milling Machine, нем. Fräsmaschine, франц, fraiseuse, machine à fraiser), машины-орудия для обработки металлов и дерева резанием, путем снятия стружки многорезцовым инструментом—*фрезером* (см.). Процесс фрезерования отличается вращательным главным движением резания и направленным перпендикулярно к нему движением подачи. В зависимости от направления подачи м. б. различаемы: фрезерование линейное, когда подача совершается в касательном к окружности фрезера направлении (фиг. 1, А), и фрезерование лобовое—при подаче в радиальном направлении (фиг. 1, Б). В первом случае форма обработанной поверхности зависит от очертания режущей кромки фрезера и является (при прямолинейной и перпендикулярной к оси фрезера подаче) цилиндрич. поверхностью с образующей, параллельной подаче, и с обращенным меридиональным сечением фрезера в качестве направляющей. При лобовом фрезеровании обработанная поверхность имеет цилиндрич. форму с эллипсом в качестве направляющей, причем оси $2a$ и $2b$ эллипса определяются ур-иями:

$$2a = D;\ 2b = D\cos\alpha,$$

где D—наружный диам. фрезера, а α—угол наклона оси его к направлению подачи. При $\alpha = 90°$ малая ось эллипса равна нулю и обрабатываемая поверхность представляет собой плоскость; при линейном фрезеровании для получения плоскости необходимо, чтобы меридиональное сечение фрезера (точнее тела вращения, образованного вращением режущей кромки фрезера) представляло собой прямую, т. е. чтобы фрезер был цилиндрический, конический или дисковый. В обоих случаях фрезер снимает стружки переменной толщины, имеющие в сечении форму запятой (фиг. 1), причем толщина t их зависит от угла φ поворота зуба с момента начала резания, от числа z зубьев фрезера, от его скорости вращения n об/мин. и



Фиг. 1.

от скоростей подачи s и резания v (фиг. 1 и 2); зависимость эта выражается следующей приближенной ф-лой:

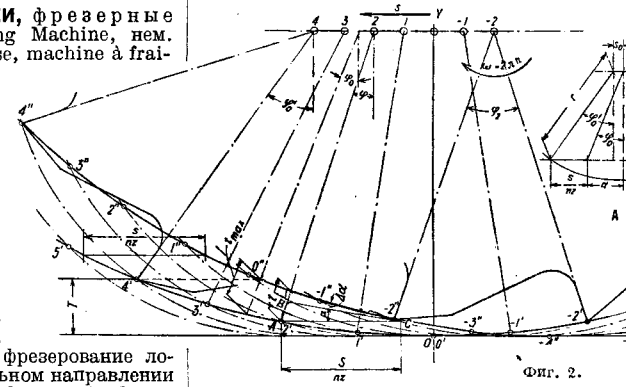
$$t = \frac{s\sin\left(\varphi + \frac{180\,k}{z}\right)}{nz\sqrt{k^2 + 2k\cos\varphi + 1}}, \qquad (1)$$

где $k = \frac{s}{v}$—отношение скорости подачи к окружной скорости фрезера.

Вывод этой формулы основан на том, что обе сокращенные циклоиды, описываемые предыдущим (x_2 и y_2) и данным (x_1 и y_1) зубьями фрезера и определяемые в параметрич. форме через время ϑ в мин. и угол поворота фрезера $\varphi = \omega\vartheta$ системой ур-ий:

$$x_1 = s\vartheta + r\sin\varphi, \qquad x_2 = s\vartheta + r\sin(\varphi + \varphi_z),$$
$$y_1 = r(1 - \cos\varphi), \qquad y_2 = r[1 - \cos(\varphi + \varphi_z)],$$

где φ_z—угол между двумя зубьями фрезера, сдвинутый в направлении оси x-ов на постоянную величину x_0,



Фиг. 2.

равную подаче за время поворота фрезера на угол φ_z. Величина x_0 определяется из ур-ия:

$$x_0 = s\frac{\varphi_z}{\omega} = s\frac{\frac{2\pi}{z}}{2\pi n} = \frac{s}{zn},$$

где ω—угловая скорость фрезера (радиан в мин.). Глубина стружки в первом приближении определяется из тр-ка ABC, как $\frac{s}{zn}\sin\alpha$, где α—угол, составляемый касательной к циклоиде в данной точке;

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{dy_1}{dx_1} = \frac{\frac{\partial y_1}{\partial\varphi}}{\frac{\partial x_1}{\partial\varphi}} = \frac{r\sin\varphi}{\frac{s}{\omega} + r\cos\varphi};$$

заменяя ω через $\frac{v}{r}$, имеем

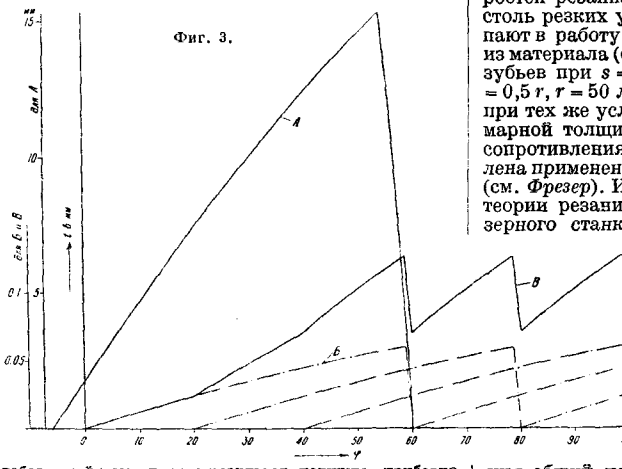
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin\varphi}{k+\cos\varphi},$$

откуда

$$\sin\alpha = \frac{\sin\varphi}{(k+\cos\varphi)\sqrt{1+\frac{\sin^2\varphi}{(k+\cos\varphi)^2}}} = \frac{\sin\varphi}{\sqrt{k^2+2k\cos\varphi+1}};$$

замечая, что резать фрезер начинает не с угла $\varphi = 0$, а несколько раньше, получим величину t во втором приближении, как $t = \frac{s}{zn}\sin(\alpha+\Delta\alpha)$, где $\Delta\alpha$—неизвестный добавочный угол; тот же результат получим, прибавив к углу φ в числителе дроби некоторый добавочный угол $\Delta\varphi$, равный $\frac{\pi k}{z}$ или в градусах $\frac{180k}{z}$.

Фиг. 3.



Т. о. толщина стружки идет, возрастая от 0 при $\varphi = -\frac{180k}{z}$ до нек-рого максимального значения t_{max} в момент начала выхода фрезера из обрабатываемого предмета, определяемый углом φ_0 поворота фрезера в момент прохождения радиуса вектора через точку пересечения циклоиды, описанной предыдущим зубом, и поверхности изделия. Угол φ_0 м. б. определен, исходя из следующих соображений (см. фиг. 2, схема А). Угол φ_0' поворота фрезера в момент выхода лезвия из обрабатываемого предмета определяется легко из ур-ия

$$\varphi_0' = \arccos\frac{r-T}{r}, \qquad (2)$$

где T—глубина фрезерования. Угол φ_0 определяется из следующего выражения:

$$\operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{a}{r-T},$$

$$a = \sqrt{r^2-(r-T)^2} - \frac{s}{nz} + s_0,$$

где s_0—подача, происшедшая за время поворота фрезера на угол $\varphi_0' - \varphi_0$,

$$s_0 = s\frac{(\varphi_0'-\varphi_0)}{\omega} = \frac{s}{2\pi n}(\varphi_0'-\varphi_0).$$

Подставляя полученные значения, получаем для вычисления φ_0 следующее выражение:

$$A\operatorname{tg}\varphi_0 + B\varphi_0 + C = 0,$$

где $A = r - T$, $B = \frac{s}{2\pi n}$ при вычислении φ_0 в радианах и $B = \frac{s}{360n}$ при вычислении φ_0 в градусах, а

$$C = -\sqrt{2rT-T^2} - \frac{s}{n}\left(\frac{\arccos\frac{r-T}{r}}{2\pi} - \frac{1}{z}\right).$$

Т. о. толщина стружки, снимаемой фрезером, от 0 возрастает до t_{max} при угле поворота φ_0 и затем снова убывает до 0 при угле φ_0'. Графически эта зависимость для одиночного зуба при $n = 10$ об/мин., $v = 6\,000$ *мм/мин*, $s = 1\,200$ *мм/мин*, $z = 6$, $T = 0{,}5\,r$, $r = 95{,}6$ *мм* изображена кривой A на фиг. 3. В случае фрезера с более мелкими зубцами и с более нормальным отношением скоростей резания и подачи эта кривая не имеет столь резких уступов, т. к. другие зубцы вступают в работу раньше, чем предыдущий вышел из материала (фиг. 3, *Б*—кривые для одиночных зубьев при $s = 120$ *мм/мин*, $v = 60$ *м/мин*, $T = 0{,}5\,r$, $r = 50$ *мм*, $z = 18$; *В*—суммарная кривая при тех же условиях). Резкость изменения суммарной толщины стружки, а следовательно и сопротивления резанию м. б. значительно ослаблена применением фрезеров с наклонным зубом (см. *Фрезер*). Из этой приводимой сокращенно теории резания фрезера для конструкции фрезерного станка важен главным образом тот факт, что сопротивление резания фрезера изменяется во времени б. или м. резкими скачками, влекущими за собой сотрясения и динамичность нагрузки частей станка, заставляющие обращать особое внимание на жесткость всей конструкции Ф. с. и способность ее противостоять колебательной нагрузке.

Принимая для фрезерования общий параболич. закон изменения давления *резания* (см.) в ф-ии площади сечения стружки, получим мгновенное усилие P_1 резания одного зуба по ф-ле:

$$P_1 = k_p \cdot f_c = k_p b t,$$

где $k_p = F(t)$—изменяющееся удельное давление резания, f_c—сечение стружки и b—ширина фрезерования. Принимая для изменения k_p параболическую зависимость от толщины стружки t, имеем

$$k_p = C_\phi' t^\varkappa,$$

где C_ϕ' и $\varkappa$—постоянные для данного обрабатываемого материала. Пользуясь для выражения t упрощенной ф-лой

$$t = \frac{s}{nz}\sin\varphi, \qquad (1')$$

получаем для P_1 выражение вида

$$P_1 = C_\phi' b t^{\varkappa+1} = C_\phi' b\left(\frac{s}{nz}\right)^{\varkappa+1}\sin^{\varkappa+1}\varphi; \qquad (3)$$

работа A_1 одного зуба за угол поворота

$\varphi_0' = \arccos\frac{r-T}{r}$ получится из определенного интеграла:

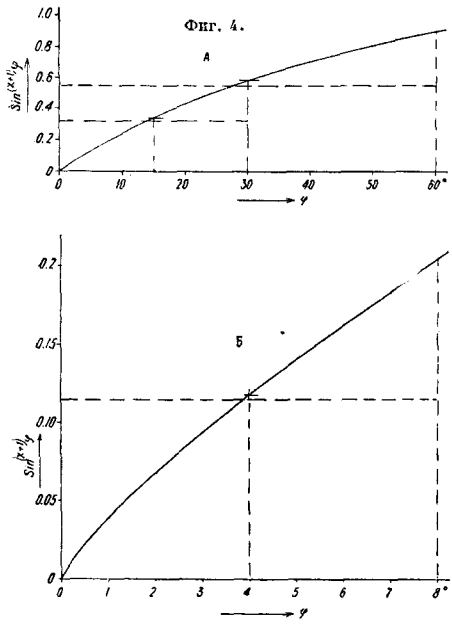
$$A_1 = \int_0^{\varphi_0'} P_1 r\, d\varphi = C'_\phi b r \left(\frac{s}{nz}\right)^{x+1} \int_0^{\varphi_0'} \sin^{x+1}\varphi\, d\varphi. \quad (4)$$

Саломон дал приближенное решение этого интеграла в форме

$$A_1 = C'_\phi b r \left(\frac{s}{nz}\right)^{x+1} \frac{2^{x+2}}{x+2} \sin^{x+2}\frac{\varphi_0'}{2}. \quad (4')$$

Изменение $\sin^{x+1}\varphi$ в зависимости от φ для $x = -0{,}196$ (сталь по Кроненбергу), а следовательно и закон изменения P_1 изображены графически на фиг. 4 (А — для $\varphi = 0 \div 60°$, Б — для $\varphi = 0 \div 8°$). Работа пропорциональна площади, заключенной между этой кривой, осью абсцисс и конечной ординатой. Определяя ее, мы видим, что она м. б. заменена площадью прямоугольника, имеющего то же основание, но высота которого приблизительно равна средней ординате; ошибка колеблется в пределах от + 7,2% (для $\varphi_0' = 60°$) до +3% (для $\varphi_0' = 8°$), уменьшаясь вместе с углом φ_0'.

Фиг. 4.



Т. о. в ф-ле (4) $\int_0^{\varphi_0'} \sin^{x+1}\varphi\, d\varphi$ можно заменить через $\varphi_0' \sin^{x+1}\frac{\varphi_0'}{2}$, и в выражение (4) работы можно ввести понятие о средней силе резания P_{cp}, равной силе при угле поворота $\frac{\varphi_0'}{2}$. Эта сила распределяется на сечение $t_{cp.}$, причем по ф-ле (1'):

$$t_{cp.} = \frac{s}{nz}\sin\frac{\varphi_0'}{2} = \frac{s}{nz}\sqrt{\frac{T}{2r}}.$$

Ф-лу (4') можно переписать в виде

$$A_1 = C'_\phi b \left(\frac{s}{nz}\sin\frac{\varphi_0'}{2}\right)^x \frac{s}{nz}\,\frac{2^{x+1}}{x+2}\, 2r\sin^2\frac{\varphi_0'}{2};$$

замечая, что $2r\sin^2\frac{\varphi_0'}{2} = T$ и полагая $\frac{2^{x+1}}{x+2} = k_1$, имеем

$$A_1 = C'_\phi t_{cp.}^x \cdot k_1 \cdot b \cdot T \cdot \frac{s}{nz} = C_\phi k_1 \cdot b \cdot T \cdot \frac{s}{nz}, \quad (4'')$$

где $C'_\phi \frac{s^x T^{0,5x}}{n^x z^x x_D^{0,5x}} = C'_\phi t_{cp.}^x = C_\phi$—коэф. сопротивления фрезерования, выраженный в зависимости от $t_{cp.}$ параболич. ф-ией с показателем x. Работу за один оборот фрезера получим, помножая ф-лу (4'') на число зубьев z:

$$A_0 = C_\phi k_1 \cdot b \cdot T \frac{s}{n} = C_\phi k_1 \cdot b \cdot T s_1, \quad (5)$$

где s_1—подача в *мм* за 1 оборот фрезера. Мощность фрезерования в Н при скорости вращения фрезера n об/мин. получим из ф-лы

$$N_0 = \frac{C_\phi k_1 \cdot b \cdot T s}{60 \cdot 75 \cdot 1\,000} \quad (6)$$

или в kW

$$N_0' = \frac{C_\phi k_1 \cdot b \cdot T s}{60 \cdot 102 \cdot 1\,000}. \quad (6')$$

Мощность $N_{пр.}$ привода Ф. с. получим из ф-л (6), разделив их на механич. кпд η станка и прибавив мощность N_x холостого хода:

$$N_{пр.} = \frac{N_0}{\eta} + N_x.$$

Балеке при своих опытах напр. нашел $\eta = 0{,}86$ и $N_x = 1{,}0$—$1{,}3$ kW; последняя величина возрастает при увеличении n от 21 до 86 об/мин. Механич. кпд слегка уменьшается с увеличением нагрузки станка. Числовые значения C'_ϕ и x для различных материалов по данным различных исследователей приведены вместе с углами α и γ резания фрезера в табл. 1. Величины K_1 приведены в табл. 2.

Табл. 1.—Значения постоянных C'_ϕ и x в выражении удельного сопротивления фрезерования.

Материал	$\alpha°$	$\gamma°$	C'_ϕ	x	Примечания
Чугун $H_{Br} = 103$	20	50	105	−0,326	по Балеке
» $H_{Br} = 100$	5	50	110	−0,30	по Шлезингеру
	17				
	20				
Сталь прочностью 50 *кг/мм²*	15	50	142	−0,265	по Шлезингеру (ADB)
	17	50			
Латунь	10	60	37	−0,55	$v = 120 \div 140$ *м/мин*
			25	−0,67	$v = 70 \div 80$ *м/мин*
Латунь	35	45	40	−0,4	$v = 85 \div 150$ *м/мин*
Электрон	—	—	11	−0,61	$v = 170 \div 340$ *м/мин*

Табл. 2.—Значение постоянной K_1 (по данным Refa).

Материал	K_1
Сталь прочностью (*кг/мм²*) 30	0,0034
40	0,0039
50	0,0044
60	0,0049
70	0,0052
80	0,0056
90	0,0059
Чугун	0,0035÷0,0053
Латунь	0,0028÷0,0032

Refa (Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung, Berlin) рекомендует применять для определения мощности Ф. с. N в HP следующую ф-лу:

$$N = K_1 \left(\frac{s}{nz}\right)^{0,8} T^{0,75} b v. \quad (7)$$

По Н. Саввину для определения максимального давления на зубец при фрезеровании можно пользоваться ф-лами: 1) для стали

$$P = 4K_z T^{1+\varkappa} b \sin^{1+\varkappa} \varphi_0', \quad (8)$$

где K_z—временное сопротивление материала на разрыв, а $\varkappa = -0{,}25$;

2) для мягкого чугуна

$$P = 54bT^{0,67} \sin^{0,67} \varphi_0'; \quad (8')$$

3) для среднего чугуна

$$P = 82bT^{0,67} \sin^{0,67} \varphi_0'; \quad (8'')$$

4) для твердого чугуна

$$P = 114bT^{0,67} \sin^{0,67} \varphi_0'. \quad (8''')$$

Для определения мощности Ф. с. по Н. Саввину служит ф-ла

$$N = \frac{7T \cdot bs \cdot K_2}{10\,000\,000}, \quad (9)$$

а для среднего усилия резания $P_{ср.}$—ф-ла

$$P_{ср.} = \frac{1{,}3T \cdot bs \cdot K_2}{nD}, \quad (9')$$

где D—диам. фрезера в *мм*; значения коэф-та K_2 приведены в табл. 3.

Табл. 3.—Значения постоянной K_2 (по Н. Саввину).

Материал	K_2
Сталь прочностью (*кг/мм²*) 40	120
Сталь прочностью (*кг/мм²*) 60	160
Сталь прочностью (*кг/мм²*) 80	220
Сталь прочностью (*кг/мм²*) 90	250
Стальное литье мягкое	140
» » среднее	200
» » твердое	240
Чугун мягкий	70
» средний	100
» твердый	140
Латунь, бронза мягкая	50
Красное литье среднее	75
Алюминий твердый	100

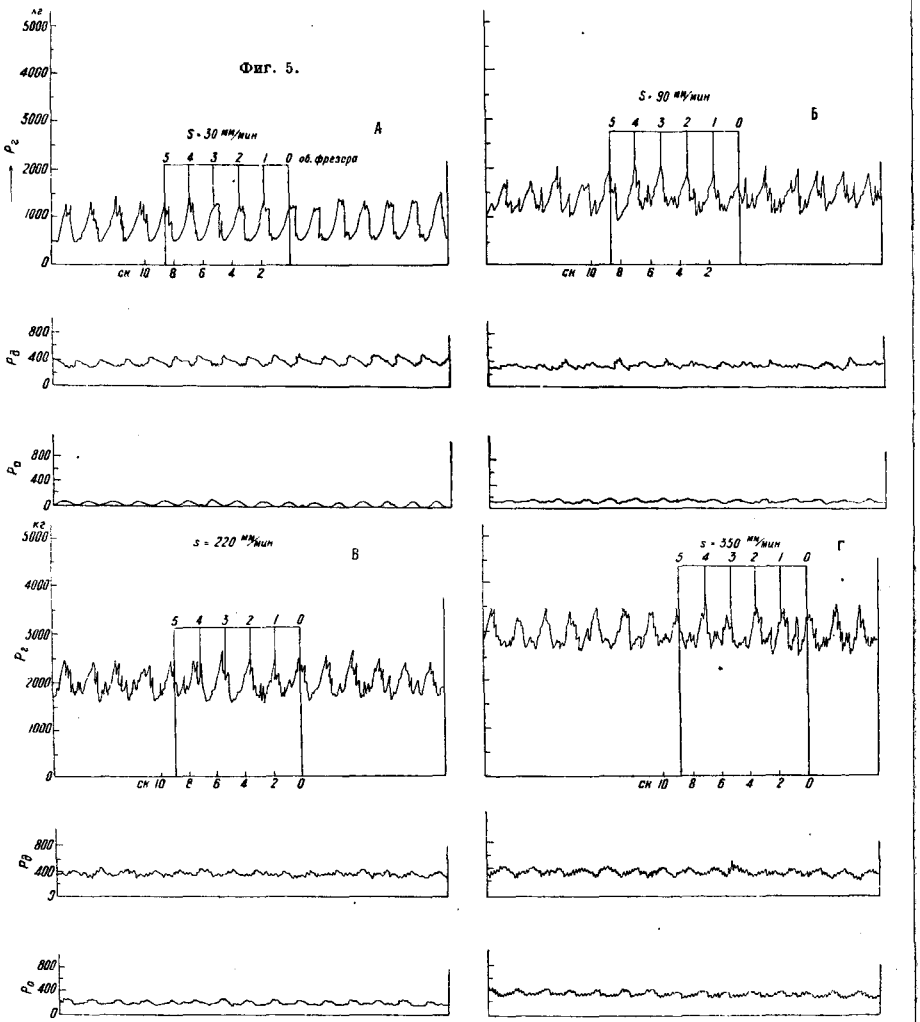
Научно-исследовательским ин-том станков и инструмента (НИИСТИ) предложена для определения максимального окружного усилия фрезерования ф-ла вида:

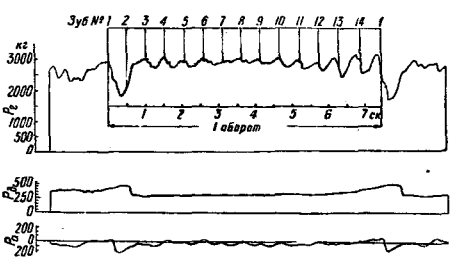
$$P_{max} = C''_{\sigma_B^2} b \left(\frac{s}{nz}\right)^{1+\varkappa} \left(\frac{T}{D}\right)^{1+\frac{\varkappa}{2}}, \quad (10)$$

где для машинной стали твердостью $H_{Br} = 143$ (прочность 50 *кг/мм²*) $C''_{\sigma_B^2} = 61{,}3$, $\varkappa = -0{,}22$. Надо отметить, что для более правильных теоретически формул (4) и (5) в настоящее время не имеется достаточно большого числа опытных данных. Все приведенные выше ф-лы дают величину главного усилия резания P_z, т. е. составляющей общего сопротивления резанию, направленной касательно к окружности фрезера. Величина нормального (радиального) давления P_∂ ранее считалась равной $1{,}0\,P_z$ (Саввин) и даже $1{,}4\,P_z$ (Фишер), чем и объясняется тогдашняя конструкция Ф. с., обращавшая главное внимание на придание жесткости станине, столу и шпинделю в вертикальном направлении. В настоящее время выяснено, что величина P_∂ гораздо меньше, чем предполагалось раньше, и составляет лишь $0{,}15 \div 0{,}25\,P_z$, так что равнодействующая направлена под углом около 15° к горизонту. По опытам Шлезингера вертикальная составляющая для данного фрезера почти не зависит от скорости подачи, т. е. от толщины стружки, как это видно на диаграммах фиг. 5, представляющих изменения всех трех составляющих усилия резания: главного усилия P_z, радиального давления P_∂ и осевого давления P_a для фрезера диам. 120 *мм*, с 10 зубьями, углом спирали 58° при $T = 5$ *мм*, $n = 33{,}5$ об/мин., $b = 92{,}5$ *мм*; обрабатываемый материал — сименс-мартеновская сталь прочностью 36 *кг/мм²*; подача s равнялась: на фиг. 5,А—30 *мм/мин*, Б—90 *мм/мин*, В—220 *мм/мин* и Г—350 *мм/мин*. В виду крутой спирали зубьев фрезера колебания нагрузки от изменения толщины стружки при работе одиночного зуба скомпенсированы, и значительные колебания кривых P, обусловлены некруглостью фрезера, вызывавшей неравномерность работы отдельных зубьев его. Влияние отдельных зубьев видно на фиг. 6, более растянутой в длину (⌀ фрезера 130 *мм*, $z = 14$, $b = 92{,}5$ *мм*, $n = 8{,}2$ об/мин., $T = 4{,}6$ *мм*, $s = 89$ *мм/мин*, угол спирали 61°10′); уменьшение P_z и соответствующее ему возрастание P_∂ объясняются тем, что один зуб был на несколько сотых *мм* ниже остальных. Еще более вредное влияние оказывает один или небольшое количество выдающихся из общего уровня зубьев, тогда P_z возрастает до 100 и более % от средней величины. Как окончательный вывод получаем, что главнейшая составляющая усилия фрезерования—горизонтальная, вертикальная же и в еще большей мере осевая составляющие имеют второстепенное значение; величина горизонтальной составляющей меняется во времени, а именно наблюдаются две основные частоты: с периодом $\frac{60}{n}$ ск. и значительной амплитудой, вызванная биением оси фрезера и неравномерной высотой его зубьев, и с периодом $\frac{60}{nz}$ ск. и амплитудой очень большой у фрезеров с прямолинейными зубьями и незначительной при спиральных зубьях. Даже в наиболее благоприятных случаях приходится рассчитывать на 100%-ное увеличение нагрузки против среднего значения. Виброграммы Ф. с., снятые при подкрепленной и свободной консоли, при прочих равных условиях показывают преимущество фрезеров с малым числом зубьев и простой спиралью перед таковыми с большим числом зубьев и двойной спиралью.

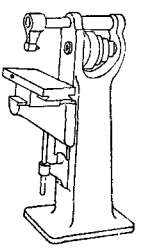
Расчет станины Ф. с., фрезерной оправки, поддерживающего рукава, консоли, ходового винта продольной подачи производится по максимальному усилию фрезерования, определяемому ур-ием (3) при $\varphi = \varphi_0$ или приближенно при $\varphi = \varphi_0' = \text{arc cos}\,\frac{r-T}{r}$ с учетом числа работающих одновременно зубьев. Расчет привода и передач следует производить по среднему усилию резания $P_{ср.}'$, определяемому из ур-ия (3), полагая $\varphi = \frac{\varphi_0'}{2}$, или по средней мощности N_0 из ф-лы (6). Применяемые при фрезеровании скорости резания и подачи—см. *Фрезер*. Описанный выше теоретич. расчет вполне справедлив конечно лишь при фрезере, совершенно свободном от биения на оси; в нормальных условиях однако фрезер обычно бьет на 0,03—0,07 *мм*, вследствие чего нарушается равномерность распределения стружки по отдельным зубьям. Величина максимального усилия при этом возрастает до 1,5 и даже больше раз, тогда как среднее усилие изменяется довольно незначительно. Волнообразные выступы, видимые на поверхности изделия, фрезерованного бьющим на оси фрезером, являются следами не отдельных зубьев фрезера, а одиночных оборотов его.

Фиг. 5.

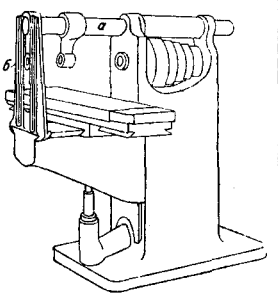




Фиг. 6.

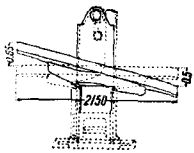


Фиг. 7.



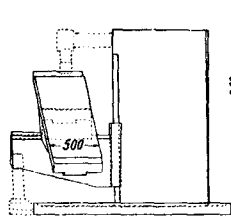
Фиг. 8.

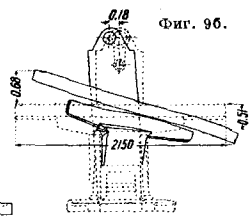
Основным типом Ф. с. являются станки колонно-консольного типа (англ. Column and Knee Type, нем. Konsol-Fräsmaschine, франц. fraiseuse à colonne et équerre, или à colonne et console), созданные в то время, когда считалось, что вертикальное давление фрезера является одним из главных; эта мысль отражается на всей конструкции машины, приспособленной гл. обр. к воспринятию вертикальных нагрузок. Два типичных образчика подобных Ф. с. изображены на фиг. 7 и 8. Эти станки оказались совершенно неудовлетворительными при повышенных требованиях к мощности Ф. с., вызванных переходом этих станков от легкой работы, гл. обр. по изготовлению инструмента, к производственной работе взамен строгальных станков. В настоящее время внимание конструкторов устремлено по линии увеличения жесткости станины по отношению к изгибающим и гл. обр. скручивающим усилиям в горизонтальной плоскости. Первоначально стремились достигнуть этого, связывая консоль с поддерживающим плечом *а* (фиг. 8) при помощи диагональных тяг или иного вида стержневых связей *б* (фиг. 8). Насколько мало уменьшали эти мероприятия деформации станка и каких величин достигали последние, видно из фиг. 9а и 9б, изображающих в сильно искаженном виде деформации Ф. с. консольного типа под влиянием горизонтальной силы в 2 000 *кг*, действующей между фрезерным шпинделем и столом: фиг. 9а—с поставленной связью между консолью и плечом и фиг. 9б—без нее (размеры и деформации указаны в *мм*).



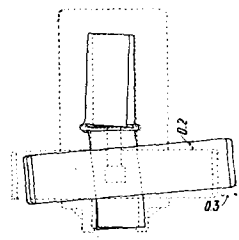
Фиг. 9а.

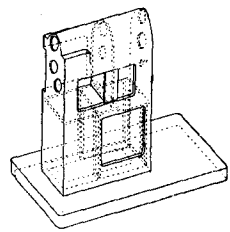
Особенно слабыми местами конструкции д. б. признаны: сама колонна, ослабленная к тому же многочисленными вырезами для помещения внутри ее передаточных механизмов (фиг. 10), затем консоль, имевшая большее протяжение по высоте; круглое поддерживающее плечо, не учитывающее преимущественного направления усилия резания; отсутствие жесткой связи между консолью и фундаментной плитой и наконец малая длина направляющих и весьма невыгодное соединение трех последовательных направлений движения (вертикальное—консоль по станине, поперечное—седло по консоли и продольное—стол по седлу), причем игра во всех трех системах направляющих складывается. В настоящее время развитие конструкции обыкновенных Ф. с. идет по двум направлениям. Часть конструкторов, удерживая общую схему консольного типа, стремится связать жестко консоль с фундаментом при помощи литых направляющих (фиг. 11а) или круглых стальных колонн (фиг. 11б); одновременно консоли придают форму, лучше сопротивляющуюся горизонтальным усилиям, и значительно удлиняют направляющие седла для рабочего стола (фиг. 11в), делая их не короче последнего. На фиг. 12а, 12б и 12в противопоставлены старая (слева) и новая (справа) формы колонны (фиг. 12а), консоли (фиг. 12б: *А*—старая форма с широкими направляющими и узкими опорными поверхностями и *Б*—новая форма консоли) и поддерживающего плеча (фиг. 12в, *А*—старая, *Б* и *В*—новые формы). Другой путь состоит в усовершенствовании плоско-фрезеровального станка, т. н. типа Линкольн, т. е. в сохранении за рабочим столом только продольного движения (фиг. 13), тогда как вертикальное и поперечное перемещения выполняются шпиндельной бабкой; в станках этого типа направляющие стола делаются иногда такой длины, что стол не имеет свеса даже при своих крайних



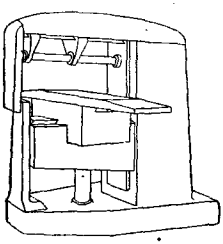


Фиг. 9б.

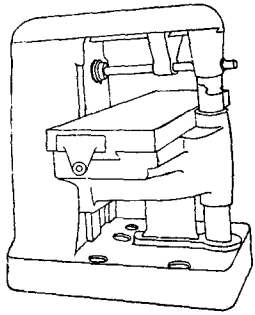




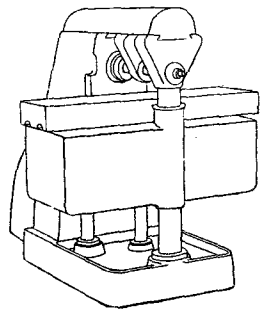
Фиг. 10.



Фиг. 11а.

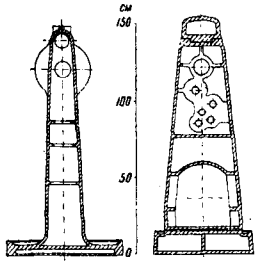


Фиг. 11б.

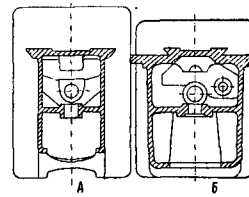


Фиг. 11в.

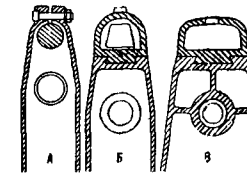
положениях. Неудобством Ф. с. этого типа является малая подвижность шпинделя в поперечном направлении и отсутствие поперечного



Фиг. 12а.

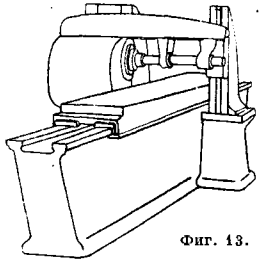


Фиг. 12б.

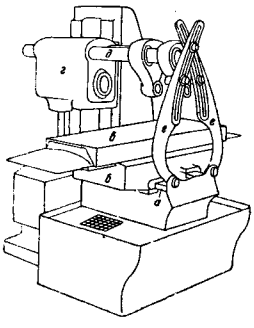


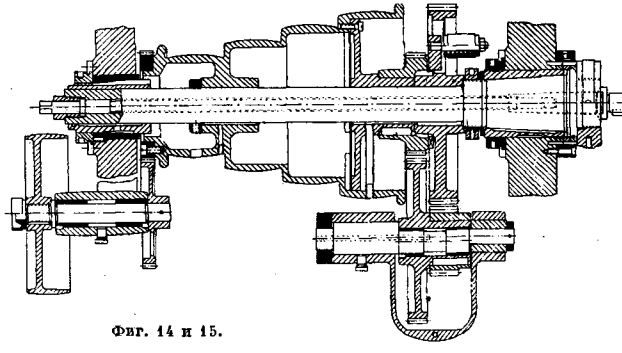
Фиг. 12в.

самохода. Промежуточную конструкцию представляют собой Ф. с. типа, изображенного на фиг. 14, у к-рого консоль—главный источник ошибок—заменена поперечными направляющими *а*, составляющими одно целое со станиной Ф. с., по ним движется седло *б*, несущее в призматич. направляющих рабочий стол *в*. Вертикальное перемещение имеет фрезерная бабка *г*, оправка поддерживается двумя цилиндрич. плечами *д* и раскосными тягами *е*, шарнирно скрепленными со станиной. Ф. с. этих последних типов носят название ж е с т к и х или м о щ н ы х Ф. с. (англ. Rigid Milling Machines, нем. Starrfräsmaschinen, французское fraiseuses à bâti fixe).


Фиг. 13.

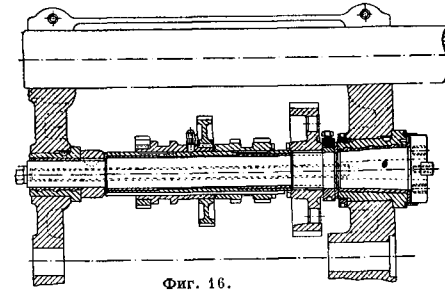
Весьма важной деталью Ф. с. является шпиндель. От правильности его вращения и жесткости зависит во многом чистота работы и мощность станка. Силы, действующие на шпиндель, можно подразделить на сопротивление резания, передаваемое фрезерной оправкой, силы




Фиг. 14 и 15.

привода, передаваемые через шкивы и зубчатые колеса, и наконец опорные реакции, воспринимаемые подшипниками. Главные нагрузки действуют перпендикулярно к оси шпинделя; осевая нагрузка, обусловленная гл. обр. косыми зубьями фрезеров, сравнительно ничтожна и практически не оказывает влияния на деформацию шпинделя. По способу передачи вращения на шпиндель различают передачу со ступенчатыми шкивами (фиг. 15), у которых шпиндель, имеющий к тому же значительную длину, нагружен тягой ремня, и передачу зубчатыми колесами от одиночного шкива или от индивидуального мотора, при к-рой на шпиндель действует лишь давление на зубчатое колесо, сидящее вдобавок обычно вблизи переднего более сильного подшипника (фиг. 16).

Насколько значительны деформации шпинделя первого типа, видно из фиг. 17, где шпиндель вместе с фрезерной оправкой диам. 38 *мм*

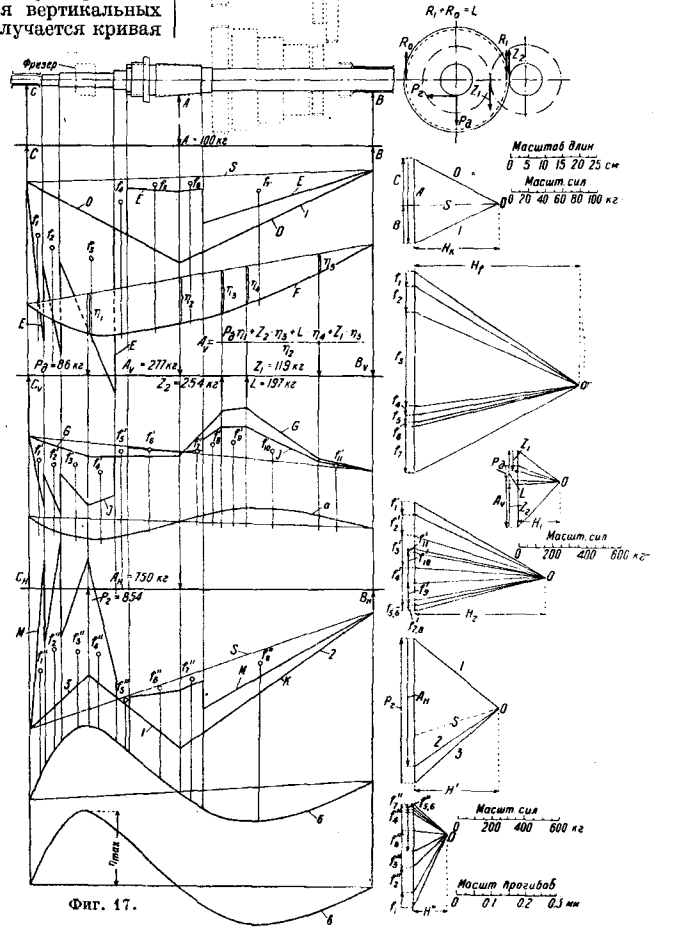

Фиг. 16.

рассматривается как балка на трех опорах A, B и C, нагруженная силами резания $P_z = 854$ *кг* и $P_\partial = 86$ *кг*, тягой ремня $R_1 + R_0 = L = 197$ *кг*, давлением на зубцы шестеренок перебора $Z_1 = 119$ *кг* и $Z_2 = 254$ *кг*. На фиг. 17: D—кривая моментов M_0 для одиночной нагрузки в опоре $A = 100$ *кг*, при полюсном расстоянии $H_k = 25$ *см*, E—кривая фиктивных нагрузок для одиночной нагрузки в опоре $A = 100$ *кг*, ординаты к-рой равны $\frac{M_0}{EI}$, где E—модуль упругости, I—момент инерции в данном сечении. Кривая F, пред-

ставляющая собой веревочный мн-к площадей $f_1, f_2, \ldots, f_7$ с полюсным расстоянием H_f, изображает упругую линию под действием одиночной нагрузки. Зная стрелки прогибов $\eta_1, \eta_2, \ldots, \eta_6$ под действующими силами, вычисляем реакции опор A_v, B_v, C_v под действием вертикальных сил. Строя кривую G изгибающих моментов вертикальных сил (с полюсным расстоянием H_1) и кривую J фиктивных нагрузок, получаем упругую линию a от действия вертикальных сил как веревочный мн-к площадей $f'_1, f'_2, \ldots, f'_{11}$ с полюсом H_2. Затем, строя такие же кривые K и M с полюсами H' и H'', получаем упругую линию $б$ от действия горизонтальных сил. Из геометрич. суммирования ординат упругих линий a для вертикальных сил и $б$ для горизонтальных получается кривая $в$ общей деформации шпинделя. Как видно из $в$, максимальная деформация достигает 0,215 *мм*. Следует при этом отметить, что взятая свободная длина значительно меньше, чем обычно бывает на практике, так что практически прогиб будет иметь более значительные размеры. В исследовании совершенно не принята во внимание жесткость подшипников.

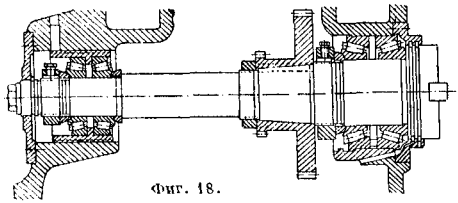
В последнее время все большее распространение получают двойные роликовые конусные подшипники (фиг. 18) для шпинделей, имеющие ряд преимуществ по сравнению с подшипниками скользящего трения: 1) легкость уничтожения игры, 2) разнос опорных точек на края подшипника и как следствие увеличение жесткости и уменьшение прогиба шпинделя, 3) облегчение обслуживания и 4) уменьшение потерь на трение. Неудобства ременной передачи ступенчатыми шкивами заставили почти совершенно отказаться от этой системы передачи и перейти к передаче зубчатыми колесами от одиночного шкива или от индивидуального мотора, помещаемого в основании станины и соединенного с первым валом перебора через зубчатую или цепную (бесшумными цепями Рейнольдса) передачу. В последних моделях фрезеровальных станков применяется почти исключительно передача при посредстве скользящих шестеренок, перемещаемых по многошпоночным валам (передача автомобильного типа); применявшиеся ранее коробки Нортона и переборы с передвижными шпонками в настоящее время применяются редко: первые — как затрудняющие быструю перемену скоростей, вторые — как мало надежные при значительных мощностях, поглощаемых современными станками. Передача Нортона ставится иногда на простых Ф. с. большой мощности, так называемых производственных фрезеровальных станках, предназначенных для массовой обработки одной детали и не требующих частой смены скоростей вращения шпинделя.

Передача такого типа изображена на фиг. 19: шкив a через фрикционную муфту $б$, включаемую тягой $в$ (проходящей внутри полого вала), вращает вал I с сидящей на нем на скользящей шпонке шестеренкой 1, перемещаемой вместе с паразитом 2 при помощи вилки $г$; паразитная шестеренка 2 зацепляется с любой из четырех, составляющих один блок шестеренок $3, 4, 5, 6$, сидящих вхолостую на оси II. С шестернями 3 или 5 нортонова перебора могут поочередно зацепляться две шестерни 7 и 8, скользящие на шпонке по муфте III, сидящей вхолостую на шпинделе IV. Вращение последнему передается или непосредственно сцеплением кулачковой муфты $д$ на передвижной шестеренке 9 с муфтой на главной приводной шестерне 12 шпинделя либо через перебор $\frac{9}{10} \cdot \frac{11}{12}$, в зависимости от взаимного положения шестеренок 9 и 10-11, перемещаемых по соответствующим оси II и



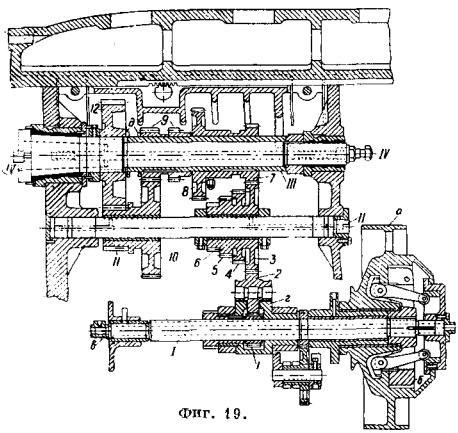
Фиг. 17.

муфте *III* в противоположных направлениях при помощи одного рычага. Таким обр. эта передача, имеющая всего 12 зубчаток, может осуществлять 16 различных скоростей вращения,



Фиг. 18.

что д. б. признано весьма удачным решением. Диаграмма Гермера этой передачи приведена на фиг. 20 для числа об/мин. ведущего шкива $n_0 = 300$ и 16 скоростей нормального ряда со скачком 1,26 и диапазоном 11,75 ÷ 380 об/мин. шпинделя; числа зубцов шестеренок: *1*—44, *2*—70, *3*—112, *4*—88, *5*—70, *6*—56, *7*—70, *8*—112, *9*—26, *10*—65, *11*—26, *12*—65; максимальная ошибка сравнительно с теоретическим рядом от +1,5 до −2,1%.



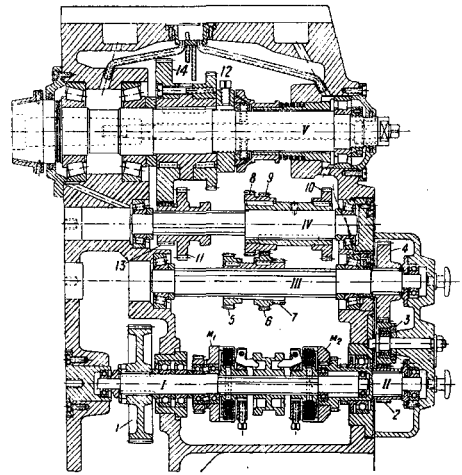
Фиг. 19.

Передача со скользящими шестеренками на 6 различных скоростей изображена на фиг. 21. Вращение от электромотора передается через зубчатую передачу на шестеренку *1*, заклиненную на валу *I*; от последнего движение передается через фрикционную муфту $м_1$ на передачу быстрого холостого самохода консоли и рабочего стола станка или через муфту $м_2$ валу *II*, а от последнего через сменные шестеренки *2*, *3*, *4* многошпоночному валу *III* со скользящими сблокированными шестеренками *5-6-7*, зацепляющимися попеременно с зубчатыми колесами *8*, *9* и *10*, заклиненными на валу *IV*. От последнего движение шпинделю *V* сообщается скользящей сдвоенной шестеренкой *11-13*, зацепляющейся попеременно с зубчатыми колесами *12* и *14*, заклиненными на шпинделе *V*.

Обслуживание перемены скоростей объединено очень остроумным механизмом, изображенным схематически на фиг. 22. Камень, соединенный с открытой с одной стороны кулисой *б*, входит в прорез сдвоенной шестеренки *11-13* (фиг. 21), а камень (фиг. 22), сидящий на одном конце рычага, снабженного закрытой кулисой *г* (фиг. 21),—в прорез строенной шестеренки *5-6-7* (фиг. 21). Обе кулисы перемещаются одним пальцем *д*, сидящим на шайбе, приводимой во вращение ручным маховичком. Различные положения *1*, *2*, ..., *6* кулис, соответствующие 6 скоростям вращения шпинделя, показаны на фиг. 2. Пружинные защелки удерживают в однажды приданном им положении шайбу и рычаг с кулисой *б*. При необходимости иметь большее число скоростей шпинделя приходится ставить больше скользящих шестеренок, перемещение к-рых однако также м. б. централизовано посредством кулачковых шайб или барабанов. В этом случае легко добиться полного автоматизма включения скоростей, а отсюда как дальнейший шаг в направлении ускорения смены скоростей и самоповоро-

Фиг. 20.

чивание распределительного валика м. б. осуществлено машиной от фрикционной муфточки, связанной с первым непрерывно вращающимся валом передачи; такое устройство имеется напр. у Ф. с. сист. Цинциннати модели 1933 г., у к-рых для смены скоростей достаточно нажать в одном направлении рычажок, помещенный впереди консоли, и держать его нажатым до тех пор, пока на приходящем вследствие этого в медленное вращение номерном диске не появится нужная цифра; отпущенный рычажок возвращается сам

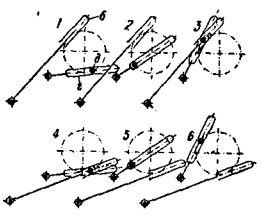


Фиг. 21.

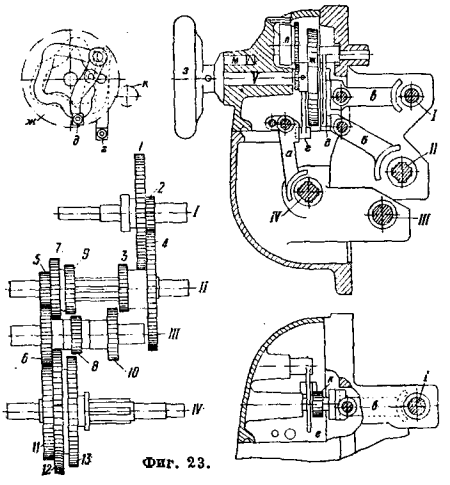
в нейтральное положение; наклонение его в другую сторону вызывает такую же автоматич. смену скорости самохода—продольного, поперечного или вертикального, смотря по тому, какой в данный момент включен.

Передача движения механизму подач также совершается через перебор—к о р о б к у п о д а ч, обычно снабженную также скользящими шесте-

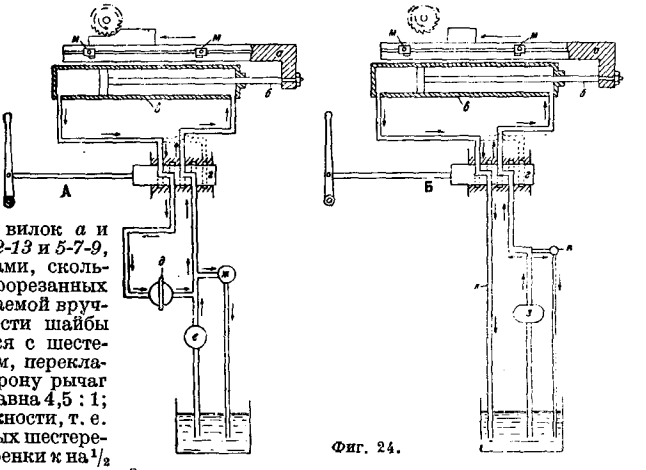
ренками и управляемую в современных станках одним маховичком. Принципиальная схема подобной коробки на 18 подач с унифицированным обслуживанием изображена на фиг. 23; 13 шестеренок: две сдвоенные *1-2* и *3-4* и три строенные *5, 6, ..., 13* сидят на четырех валах *I, II, III* и *IV*. Вал *IV* связан с карданным телескопическ. валом, передающим движение ходовым винтам на консоли, а вал *I*—с главным приводом станка. Перемещением трех скользящих шестеренок *1-2, 5-7-9* и *11-12-13* получают 18 различных скоростей. При этом каждому из 9 различных положений обеих строенных шестеренок должны соответствовать два положения сдвоенной шестеренки *1-2*. Перемещение всех шестеренок осуществляется тремя вилками *а, б* и *в*, скользящими по трем прутькам и соединенными с тремя рычагами *г, д* и *е*. Первые два, управляющие посредством вилок *а* и *б* перемещением шестеренок *11-12-13* и *5-7-9*, приводятся в движение роликами, скользящими в фасонных канавках, прорезанных с обеих сторон шайбы *ж*, вращаемой вручную маховичком *з*; на окружности шайбы нарезаны зубцы, зацепляющиеся с шестеренкой *к*, соединенной с кулаком, перекладывающим в ту или другую сторону рычаг *е* вилки *в*. Передача от *ж* на *к* равна 4,5 : 1; т. о. повороту шайбы на $^1/_9$ окружности, т. е. смене одного положения строенных шестеренок, соответствует поворот шестеренки *к* на $^1/_2$ окружности и следовательно перевод сдвоенной шестеренки. По окончании одного полного оборота *ж* в виду дробности передаточного числа зубчатка *к* окажется повернутой на 180° относительно исходного положения, и т. о. полный цикл всех 18 различных подач будет осуществлен лишь за два оборота маховичка *з*. Включенная подача указывается цифрой, нанесенной на окружности барабанчика *л*, приводимого во вращение от вала *V* маховичка через зубчатую передачу с отношением 1 : 2; защелка *м* служит для удержания маховичка в приданном ему однажды положении. Из способов осуществления подачи на Ф. с. применяются в громадном большинстве случаев ходовые винты, допускающие без особенного усложнения передаточного механизма получение требуемых при фрезеровании малых скоростей подач и имеющие по сравнению с гидравлич. подачами преимущество жесткой связи между различными самоходами, требуемое при обработке сложных, напр. винтовых, поверхностей. Гидравлическая подача применяется иногда в Ф. с. производственного типа, предназначенных исключительно для обработки плоскостей, например в станках с фрезерными головками.



Фиг. 22.



Фиг. 23.

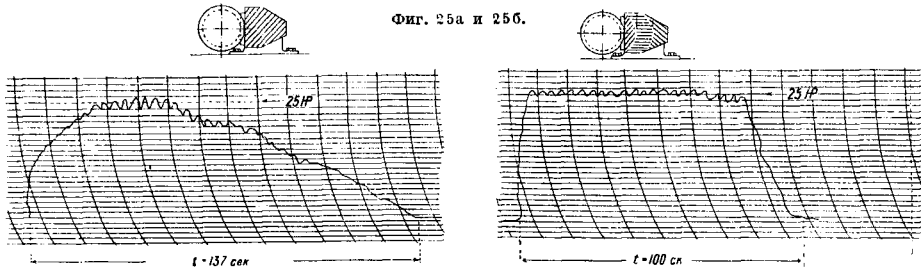


Фиг. 24.

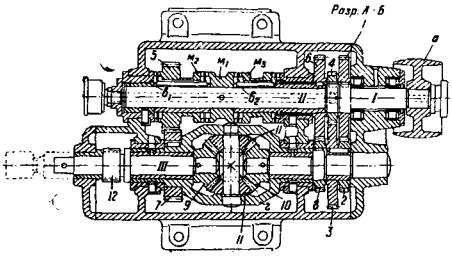
Схема гидравлич. привода горизонтального Ф. с. показана на фиг. 24. Стол *а* станка имеет в каждом направлении медленный рабочий ход (положение, изображенное на фиг. 24, А), регулируемый от 0 до максимальной величины, и быстрый холостой ход с постоянной скоростью (положение фиг. 24, Б). Стол *а* связан со штоком *б* поршня, ходящего в гидравлич. масляном цилиндре *в*, скрепленном со станиной Ф. с.; управление совершается посредством цилиндрич. распределительного золотника *г*, двигающегося поступательно для перемены направления движения стола или поворачиваемого для сообщения трубопроводов, ведущих к цилиндру, попеременно с циклом подачи или быстрого холостого хода. В первом случае движение осуществляется масляным насосом *д* с бесступенно-регулируемым количеством подаваемой жидкости; для того чтобы не возникало слабины в направлении стола, возможной при наличии малого давления или даже вакуума в полости цилиндра, из к-рой в данный момент отсасывается жидкость, насос *д* является по существу лишь регулятором количества протекающей жидкости, а само рабочее давление создается независимо и непрерывно работающим добавочным насосом *е* и устанавливается регулировочным вентилем *ж*. Т. о. по обе стороны поршня имеется повышенное

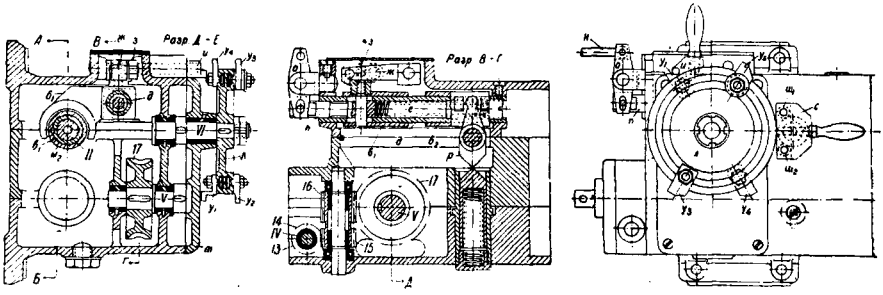
давление, и он является как бы зажатым между двумя слоями жидкости. Для включения быстрого холостого хода стола золотник *г* поворачивают, вследствие чего каналы в теле последнего сообщат трубопроводы цилиндра с трубопроводом цикла быстрого хода, состоящего из насоса низкого давления *з*, регулировочного вентиля *к* и обратной трубы *л*. Смена скоростей производится кулачками *м*, действующими на золотник; для непрерывного изменения подачи в зависимости от формы обрабатываемого предмета к столу может быть прикреплен шаблон, производящий соответственные перемещения регулировочного элемента насоса *д*. Получаемая при этом выгода во времени за счет использования нормальной мощности станка по сравнению с постоянной подачей видна из фиг. 25а и 25б на к-рых приведены диаграммы мощности главного привода станка в ф-ии времени при постоянной (фиг. 25а) и меняющейся в зависимости от нагрузки фрезера подачей (фиг. 25б); выигрыш в продолжительности обработки t в данном случае равен 37%.

Фиг. 25а и 25б.



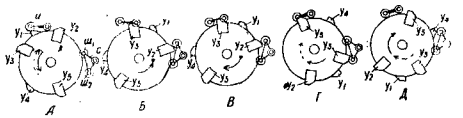
При серийной обработке в приспособлениях бывает желательно производить смену подачи на быстрый холостой ход и обратно автоматически. Для этой цели служат автоматич. коробки скоростей, напр. типа, изображенного на фиг. 26. Короткий валик *I* приводится во вращение через ременную или цепную передачу от главного привода станка или непосредственно от контрпривода; от него движение через сменные зубчатки *1*, *2*, *3*, *4* передается на вал *II*, на котором заклинена двусторонняя кулачковая муфта $м_1$. На двух втулках $в_1$ и $в_2$, сидящих вхолостую на валу *II*, скользят две двусторонние кулачковые муфты $м_2$ и $м_3$, могущие сцепляться поочередно с муфтой $м_1$ или с зубцами, нарезанными на кожухе коробки, и т. о. либо приводить во вращение либо останавливать соединенные с ними шестеренки *5* и *6*. Шестерня *5* зацепляется с зубчаткой *7*, приводящей во вращение кожух *г* диференциала, а шестерня *6* через зубчатое колесо *8* вращает конич. шестеренку *10*, зацепляющуюся через два сателлита *11* с шестеренкой *9*, сидящей на выводном валу *III* коробки. При муфтах $м_3$, $м_2$, передвинутых вправо, коническая шестерня *10* стоит неподвижно, кожух диференциала вращается шестерней *7* и сателлиты, обкатываясь по *10*, приводят в быстрое вращение вал *III*, т. е. сообщают быстрый холостой самоход столу Ф. с. в рабочем направлении, для подвода фрезера к изделию или проходки необрабатываемых участков при фрезеровании прерывистых поверхностей. После переключения муфты $м_3$ влево сменные шестерни *6* и *8* приводят во вращение коническую шестеренку *10* в том же направлении, что и кожух диференциала; при этом скорость вращения выводного вала *III* $\omega_0 = \omega_k - \frac{\omega_1}{2}$, где ω_k—скорость вращения кожуха и ω_1—скорость вращения шестеренки *10*. При этом положении муфт имеем т. о. медленное движение рабочей подачи, причем величина его изменяется подбором шестеренок *1*, *2*, *3*, *4*, *6* и *8*. При передвижении муфты $м_2$ налево блокируется посредством шестеренок *5* и *7* кожух диференциала, и т. о.





Фиг. 26.

продолжающая вращаться шестеренка *8* через конич. зубчатки *10*, *11* и *9* вращает вал *III* в обратном направлении с увеличенной скоростью ω_1 (т. к. ω_1 обычно лишь немного меньше $2\ \omega_k$) и осуществляет быстрый обратный отвод стола. При муфте $м_3$, отодвинутой направо, заблокировывается также и шестеренка *10*, и т. о. стол Ф. с. останавливается. Переключение обеих муфт $м_1$ и $м_3$ осуществляется двумя вилками $б_1$ и $б_2$, скользящими по трубчатым направляющим *д*. Точная перекладка муфты $м_3$, необходимая при фрезеровании до упора непроходных канавок и т. п., осуществляется пружиной *е*, заключенной в направляющих *д* и давящей на вилку $б_1$ влево; в рабочем положении эта вилка удерживается собачкой *эс*, поднимаемой вилкой *з*, сидящей на одном валике с кулачком *и*, поворачиваемым либо вручную рукояткой либо автоматически упорной $у_1$, закрепленной на распределительной шайбе *л*. Обратное включение муфты $м_2$ совершается только вручную посредством тяги *н* двуплечего рычага *о* и ползунка *п*. Вторая муфта $м_3$ перемещается вилкой



Фиг. 27.

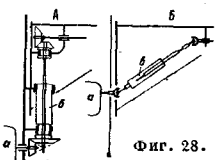
$б_2$, управляемой рычагом *р*, сидящим на одном валике с кулачком *с*, снабженным двумя штифтами—на передней стороне верхним длинным $ш_1$ и нижним коротким $ш_2$—и одним штифтом на задней стороне, соответствующим штифту $ш_1$ на передней.

Цикл обработки и автоматич. перемена скоростей ясны из фиг. 27: рабочая подача продолжается до того, пока упорка $у_1$ не поднимет кулачком *и* (фиг. 26) собачку *эс*, после чего под действием пружины *е* вилка $б_1$ переведет муфту $м_3$ влево (фиг. 27, А) и заблокирует т. о. кожух дифференциала, после чего медленная подача сменится быстрым обратным ходом, и шайба *л* начнет вращаться в обратном направлении. Свое движение шайба *л* получает от выводного вала *III* через винтовую зубчатую передачу *12* : *13*, валик *IV*, винтовые шестеренки *14*, *15* и червячную передачу *16* : *17* на вал *V*, а от последнего через пару сменных шестеренок, не изображенных на фиг. 26, на вал *VI*; для смены последней пары шестеренок открывается крышка *т* и шестеренки насаживаются на соответственные места валов *V* и *VI*. Обратный ход стола продолжается до тех пор, пока упорка $у_2$ не переведет за длинный штифт $ш_1$ кулачок *с* и вместе с ним муфту $м_3$ вправо, после чего подача остановится (фиг. 27, Б).

После смены обработанного изделия рабочий включает вручную муфту $м_3$ направо (фиг. 27, В), после чего стол совершает быстрый подвод изделия к фрезеру; упорка $у_2$, снабженная с задней стороны вырезом, при этом свободно проходит над коротким штифтом $ш_2$. Упорка $у_3$ за штифт $ш_2$ поворачивает кулачок *с*, а вместе с тем и муфту $м_3$ влево, вследствие чего быстрый подвод сменяется медленной подачей (фиг. 27, Г); смена медленной подачи на быстрый передний ход производится упоркой $у_4$, сидящей на задней стороне шайбы *л* и перекладывающей за задний палец кулачок *с* и муфту $м_3$ вправо (фиг. 27, Д); рабочая подача включается снова упоркой $у_5$, вполне аналогичной упорке $у_3$. Такая смена быстрого хода и рабочей подачи м. б. произведена столько раз, сколько необходимо по роду работы, затем упорка $у_1$ (фиг. 27, А) поднимает собачку *эс*, и цикл начинается сначала. Для того чтобы упорки $у_3$, $у_4$, $у_5$ и т. д. не поворачивали кулачка *с* при обратном вращении шайбы, они делаются откидными на шарнире.

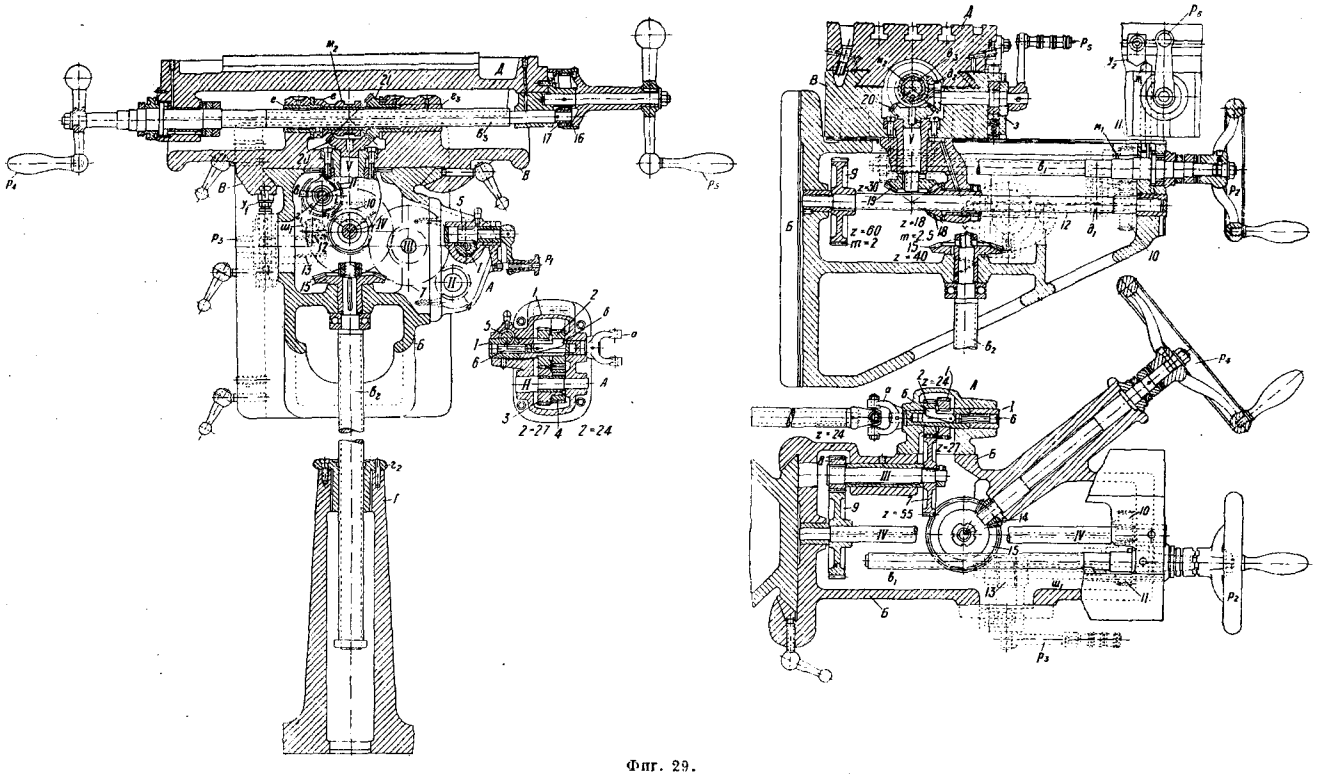
Движение от коробки подач *а* (фиг. 28), закрепленной на станине, передается на механизмы подач (обычно ходовые винты) консоли и рабочего стола либо через систему конич. зубчатых колес и вертикальный телескопич. вал *б* (фиг. 28, А) либо через карданный телескопич. валик *в* (фиг. 28, Б); первая система употребительнее в тяжелых Ф. с. америк. типа, вторая употребляется чаще в более легких станках, хотя иногда применяют эту систему и в тяжелых Ф. с.

Устройство консоли и рабочего стола обыкновенного Ф. с. показано на фиг. 29. Движение от карданного валика передается на вилку *а* вала *I* реверсивного механизма *А*, укрепленного на консоли *Б*. Реверсивный механизм, или реверс, делается либо с конич. шестернями либо, как в данном случае, с цилиндрическими; он заключает в себе 4 шестеренки *1*, *2*, *3*, *4*, из к-рых *1* и *2* сидят вхолостую на валу *I* и поочередно сцепляются с ним помощью передвижной шпонки *б*, приводимой в движение рукояткой $р_1$ через зубчатый валик *5* и круглую рейку *6*; спаренные шестеренки *3-4* сидят вхолостую на оси *II*. Шестеренки *1* и *3* находятся в постоянном зацеплении друг с другом, а *2* и *4*—с шестеренкой *7*, заклиненной на валике *III*. Т. о. *смотря по положению рукоятки* $р_1$ движение вала *I* будет передаваться на валик *III* либо через шестеренки *2* : *7* в прямом направлении либо через шестеренки *1* : *3* · *4* : *7* в обратном. С валика *III* движение через передачу *8* : *9* передается на шпоночный вал *IV*, от к-рого берут движение механизмы всех самоходов. Перемещение поперечного супорта, или седла, *В* производится с помощью ходового винта $в_1$, ходящего в гайке $г_1$, укрепленной с седлом, и вращаемого либо вручную маховичком $р_2$ либо механически от вала *IV* через зубчатую передачу *10* : *11*. Шестеренка *11* сидит вхолостую на винте $в_1$ и м. б. сцеплена с ним при посредстве кулачковой муфты $м_1$, перемещаемой вилкой $д_1$, сидящей на штанге $ш_1$, передвигаемой посредством нарезанной на последней рейки *12* зубчаткой *13*, поворачиваемой рукояткой $р_3$. Автоматич. выключение поперечного самохода производится упоркой $у_1$, закрепленной в Т-образном пазе седла *В*. В изображенной модели подъем консоли осуществляется только вручную маховичком $р_4$ через пару конич. шестеренок *14*, *15*, вращающих винт $в_2$, к-рый ходит в неподвижной гайке $г_2$, укрепленной в колонне *Г* станины.



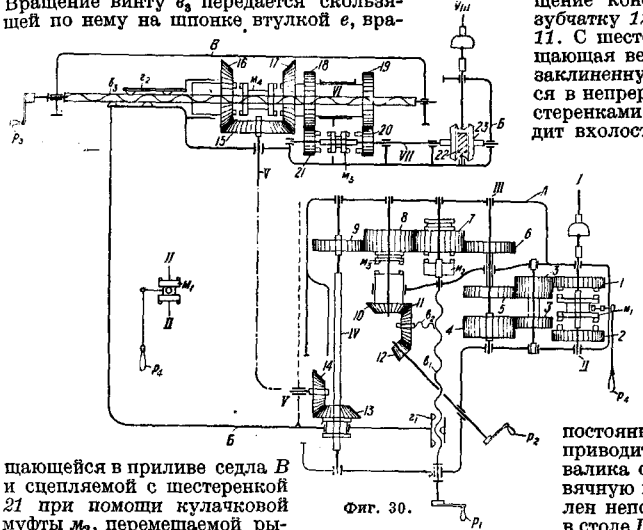
Фиг. 28.

Продольный супорт, или стол, Ф. с. *Д* перемещается в направляющих седла при помощи винта $в_3$, закрепленного в столе и вращающегося в гайке $г_3$, укрепленной в приливе седла *В*. Вращение винту $в_3$ сообщается либо вручную—медленное для рабочей подачи рукояткой $р_4$ или быстрое для обратного хода рукояткой $р_5$ через передачу *16*, *17*—либо механически от шпоночного вала *IV* через пару конич. шестеренок *18*, *19*, перемещающихся вместе с



Фиг. 29.

седлом, на валик V, составляющий одно целое с конич. шестеренкой *20*, зацепляющейся с шестеренкой *21*, сидящей вхолостую на гайке $г_3$. Вращение винту $в_3$ передается скользящей по нему на шпонке втулкой $е$, вращающейся в приливе седла $Б$ и сцепляемой с шестеренкой *21* при помощи кулачковой муфты $м_2$, перемещаемой рычажком $д_2$ с сухариком, ходящим в выточке муфты. Передвижение муфты совершается либо вручную ручкой $р_6$ либо автоматически упоркой $у_3$, закрепляемой в Т-образном пазе стола при помощи пальца $ж$ с вырезом и шайбы $з$ с зубом, укрепленной на валике рычажка $д_2$.

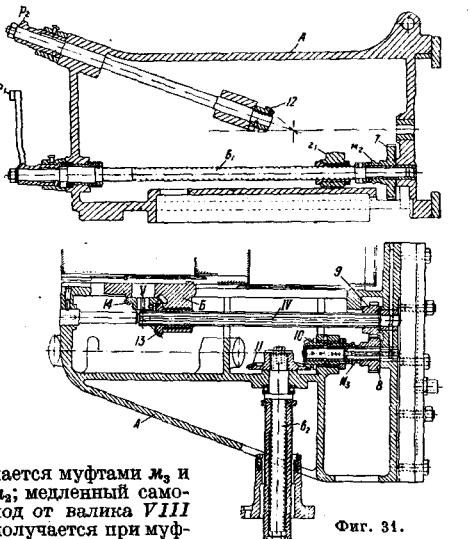


Фиг. 30.

Производственные Ф. с. в последнее время снабжают ускоренными самоходами для производства всех нерабочих ходов стола—подвода обрабатываемого предмета к фрезеру, прохода необрабатываемых участков и быстрого отвода стола обратно после оконченной работы. С этой целью коробка подач имеет два выходных валика: один с переменными скоростями вращения для рабочей подачи и другой, вращающийся с неизменной скоростью, для ускоренных холостых ходов.

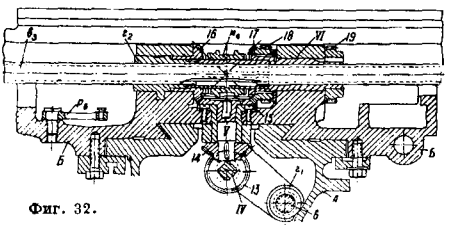
Кинематическая схема консоли Ф. с. с таким приводом изображена на фиг. 30, конструктивное оформление—вертикальный и горизонтальный разрезы консоли—на фиг. 31, вертикальный продольный разрез стола—на фиг. 32, механизм рабочей подачи и перемены подач—на фиг. 33 и 34. Ускоренное движение передается от коробки подач через телескопич. валик *I* на валик реверса *II*, на котором сидят вхолостую две зубчатки *1* и *2*, сцепляемые поочередно с валом муфтой $м_1$. Зубчатка *1* зацепляется через спаренную паразитную шестеренку *3-3* со спаренной шестерней *5-6*, сидящей вхолостую на валу *III*. Зубчатка *2* находится в постоянном зацеплении с шестерней *4*, зацепляющейся с паразитной шестеренкой *3*; т. о. смотря по положению муфты $м_1$ исходная шестерня *6* быстрых самоходов будет вращаться в ту или другую сторону. С шестерней *6* зацепляются последовательно шестерни *7*, *8*, *9*, сообщающие соответственно движения: *7*—через муфту $м_2$ винту $в_1$ поперечной подачи, ходящему в гайке $г_1$; *8*—через муфту $м_3$ и конич. шестеренки *10*, *11* винту $в_2$ вертикального перемещения консоли *А*; *9*—шпоночному валику *IV*, по к-рому скользит конич. шестеренка *13*, лежащая в подшипнике седла *Б*. Поперечный самоход осуществляется вручную ручкой $р_1$, вертикальное перемещение консоли—ручкой $р_2$ через конич. зубчатку *12*, зацепляющуюся с зубчаткой *11*. С шестеренкой *13* сцеплена *14*, вращающая вертикальный валик V, несущий заклиненную шестеренку *15*, находящуюся в непрерывном зацеплении с двумя шестеренками *16* и *17*, из к-рых первая сидит вхолостую на закрепленной на седле *Б* гайке $г_3$ винта $в_3$ продольной подачи, а вторая, спаренная с цилиндрической шестеренкой *18*, сидит вхолостую на втулке VI, вращающейся в подшипнике седла и свободно пропускающей винт $в_3$. Втулка VI снабжена с одной стороны зубцами, могущими сцепляться с муфтой $м_4$, а с другой—шестеренкой *19*, зацепляющейся с *20*, сидящей вхолостую на валу VII и могущей сцепляться с ним муфтой $м_5$ поочередно с шестеренкой *21*, находящейся в постоянном зацеплении с *18*. Вал VII приводится во вращение от телескопич. валика сменных подач VIII через червячную передачу *22* : *23*. Винт $в_3$ укреплен неподвижно в осевом направлении в столе *В* и м. б. вращаем вручную ручкой $р_3$. Валики *I* и VIII вращаются оба в одном направлении, и перемена основного направления подачи производится реверсом, находящимся в коробке подач.

Смена подач производится сл. обр.: подача в вертикальном и поперечном направлениях включается муфтами $м_3$ и $м_2$; медленный самоход от валика VIII получается при муфте $м_1$ в среднем положении и муфте $м_5$, переключенной влево через $\frac{22}{23} \cdot VII \cdot \frac{21}{18} \cdot \frac{17}{15} \cdot \frac{14}{13} \cdot \frac{9}{8} \cdot \frac{8}{7}$, муфта $м_4$ при этом должна стоять в среднем положении или быть передвинутой направо. При перемещении муфты $м_5$ в среднее положение, сцепляя муфту $м_1$



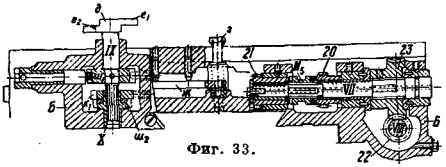
Фиг. 31.

с шестеренкой *1*, получаем ускоренный ход в направлении, обратном рабочей подаче, а при сцеплении с шестеренкой *2*—в том же направлении, что и рабочая подача. Т. о. при поперечной и горизонтальной подачах д. б. включены попеременно либо муфта $м_1$ ускоренной либо



Фиг. 32.

муфта $м_5$ рабочей подачи; при выключении рабочей подачи муфтой $м_5$ передвижением вниз рычага $р_4$, управляющего движением муфты $м_1$, получают быстрый отход в направлении, обратном рабочей подаче, а при передвижении рычага $р_4$ вверх—быстрый подвод в направлении рабочей подачи совершенно независимо от направления последней. При продольном самоходе стола *B* могут быть включены одновременно обе муфты: $м_1$ быстрого хода и $м_5$ рабочей подачи, переведенная в этом случае направо. Подача стола осуществляется вращением винта $в_3$ посредством муфты $м_4$, сцепляемой попеременно: для рабочей подачи с втулкой *VI* (движение от валика *VIII* через $\frac{22}{23} \cdot VII \cdot \frac{20}{19} \cdot м_4 \cdot в_5$) или для ускоренного холостого хода в том или другом направлении (в зависимости от положе-



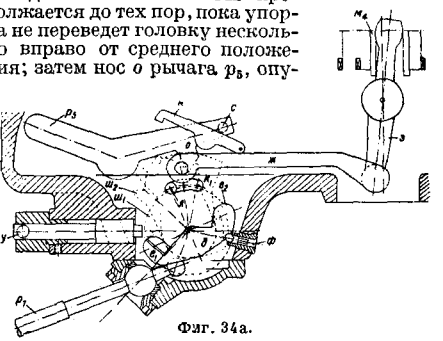
Фиг. 33.

ния рычага $р_4$) с шестеренкой *16*, вращаемой от валика *I* через передачу:

$$I \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{5} \text{ или } \frac{2}{4} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{3}{3}$$

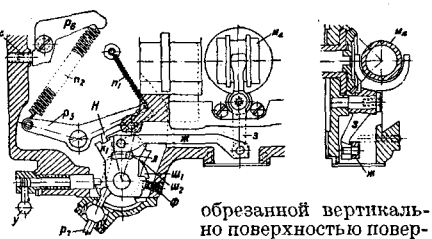
и далее $\frac{6}{7} \cdot \frac{7}{8} \cdot \frac{8}{9} \cdot IV \cdot \frac{13}{14} \cdot V \cdot \frac{15}{16} \cdot м_4 \cdot в_3$.

Т. о. переключение продольных подач осуществляется перекладыванием муфты $м_4$, совершающимся вполне автоматически посредством механизма, показанного на фиг. 33, 34а и 34б. Распределительный валик *IX* несет наверху головку *д* с двумя лежащими в разных плоскостях выступами: правым верхним $е_1$ плоским и левым нижним $е_2$, скошенным крышеобразно. На валике сидит наглухо стопорная шайба $ш_1$ и на скользящей шпонке втулка *X*, несущая: 1) вхолостую кулак $к_1$, соединенный тягой *эж* с переводной вилкой *з* муфты $м_4$, и 2) перекидную шайбу $ш_2$, сцепляющуюся с кулаком $к_1$ посредством ходящего в прорезе последнего штифта *л*. Кулак $к_1$ удерживается в среднем положении защелкой *н*, притягиваемой пружиной $п_1$; на шайбу $ш_2$ нажимает своим носом *о* рычаг $р_5$, оттягиваемый пружиной $п_2$; натяжение последней регулируется посредством рычага $р_6$, отклоняемого винтом $в_1$. При повороте направо рычаг $р_5$ штифтом *с* отклоняет вверх защелку *н*. Весь валик *IX* может поворачиваться вручную рычагом $р_7$, входящим в вырез шайбы $ш_1$. Положим, что валик *IX* повернут вручную против часовой стрелки доотказа, причем защелка *у* выдвинута и все части механизма имеют положение, указанное на фиг. 34а. При этом положении муфта $м_4$ переведена вправо и стол совершает рабочую подачу, предположим, вправо. По окончании рабочего хода укрепленная на столе верхняя упорка начнет медленно поворачивать за верхний выступ $е_2$ головки *д* по часовой стрелке валик *IX*, а вместе с ним и шайбу $ш_2$, поднимающую рычаг $р_5$, причем защелка *н* опускается на кулак $к_1$; последний пока неподвижен, т. к. штифт *л* свободно ходит в прорезе, и кулак удерживается в крайнем левом положении защелками *ф* и *н*. Медленное движение валика *IX* продолжается до тех пор, пока упорка не переведет головку несколько вправо от среднего положения; затем нос *о* рычага $р_5$, опу-



Фиг. 34а.

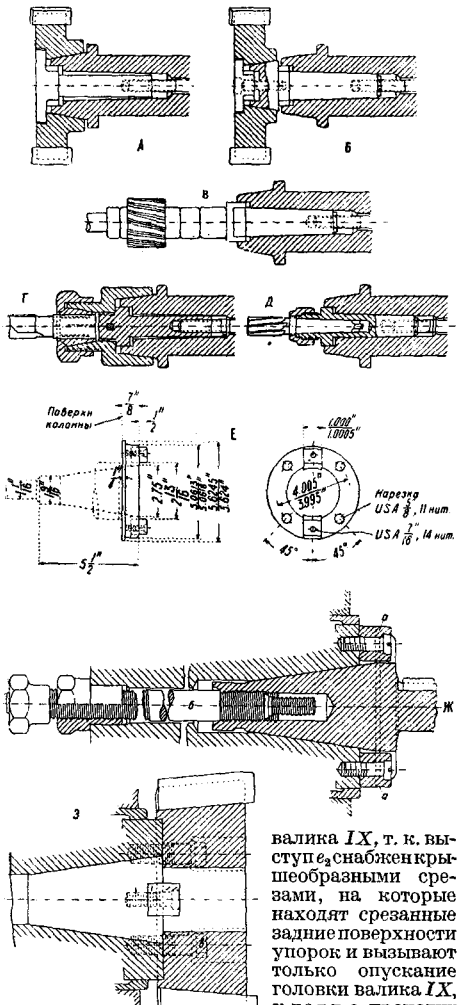
скаясь под действием пружины вниз, быстро повернет шайбу $ш_2$ вправо доотказа, а вместе с ней и кулак $к_1$, т. к. под конец движения рычаг $р_5$ снова поднимет защелку *н*; т. о. кулак $к_1$ перейдет свое среднее положение и, передвинув муфту $м_4$ влево, включит быстрый самоход в направлении, определяемом положением рычага $р_4$. Предположим, что мы фрезеруем прерывистую поверхность и быстрый подвод совершается в направлении рабочей подачи, т. е. рычаг $р_4$ повернут вверх; тогда, незадолго перед тем, как свободное пространство будет пройдено, нижняя упорка своей передней



Фиг. 34б.

обрезанной вертикально поверхностью повернет валик *IX* за выступ $е_1$ против часовой стрелки, причем по окончании поворота все части займут положение, данное на фиг. 34а, и стол снова начнет совершать рабочую подачу. Такая смена может производиться произвольное число раз; по окончании обработки двойная упорка ставит принудительно, опираясь на оба выступа $е_1$ и $е_2$, части механизма в неустойчивое положение, изображенное на фиг. 34б, причем муфта $м_4$ занимает среднее положение и стол останавливается. Для быстрого отвода назад стола перекладываем рычаг $р_4$ вниз и затем рычагом $р_7$

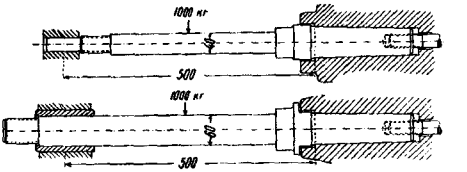
поворачиваем валик *IX* по часовой стрелке, для чего необходимо опустить его предварительно вниз, повернув рычаг кверху, т. к. двойной упор задерживает оба выступа e_1 и e_2 головки валика *IX*; после поворота начинается быстрый отход стола в исходное положение. Приходящиеся на пути нижние упорки не поворачивают



Фиг. 35.

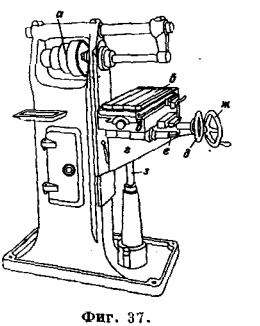
валика *IX*, т. к. выступ e_2 снабжен крышеобразными срезами, на которые находят срезанные задние поверхности упорок и вызывают только опускание головки валика *IX*, к-рая т. о. проходит свободно под ними; в конце отхода двойной упор останавливает стол снова. Остановку в конце каждого поворота валика *IX* получаем, включая защелку *y*, к-рая, входя в вырез шайбы $ш_1$, не дает валику и шайбе $ш_2$ поворачиваться до конца и освобождать т. о. посредством рычага p_5 защелку *н*, удерживающую кулак $к_1$ и муфту $м_4$ в среднем положении.

Весьма важное значение в процессе фрезерования имеет способ закрепления инструмента на шпинделе и метод передачи ему вращающего момента. Основными требованиями, предъявляемыми к закреплению, являются: 1) достаточная жесткость как несущих фрезер деталей (оправка), так и соединения этих деталей со шпинделем Ф. с.; 2) автоматич. центрирование оси оправки или фрезера по оси шпинделя Ф. с.; 3) уменьшение до минимума деформаций кручения самого фрезера, опасных для целости последнего. В отношении жесткости соединения и точности центрировки наиболее совершенным является соединение на конус, принятое издавна для укрепления фрезерных оправок в шпинделях Ф. с. В европ. системах Ф. с. старались обеспечить трением между конусными поверхностями передачу крутящего момента, что требовало пологих конусов и больших давлений между поверхностями соприкосновения, следствием чего являлся быстрый износ их и потеря соединением первоначальной точности. Нормальная герм. головка шпинделя Ф. с. (стандарты DIN 2201÷2207), изображенная на фиг. 35, А—Д совершеннее старой конструкции в том отношении, что функции центрирования выполняет конус, а передачу крутящего момента принимает на себя выфрезерованное в торцовой части шпинделя четырехугольное углубление, в к-рое входит снабженная соответствующими лысками часть оправки (фиг. 35, В). Очень удачно разрешена задача насадки больших фрезерных головок, для чего шпиндель снабжен конич. выступающим центрирующим концом (фиг. 35, А и Б), на к-рый насаживается головка; вращение передается особым захватывателем, входящим своим передним плоским концом наполовину в четырехугольную выемку шпинделя, наполовину в выемку головки. Для насаживания мелких фрезеров с цилиндрич. или конич. хвостом предусмотрены особые оправки с затяжными патронами (фиг. 36, Г) или конич. муфтой (фиг. 36, Д). Основным недостатком нем. стандартной формы является пологость конуса и как следствие этого малый диам. оправки и незначительный разнос опорных поверхностей, передающих вращательное движение фрезерной оправке или головке.



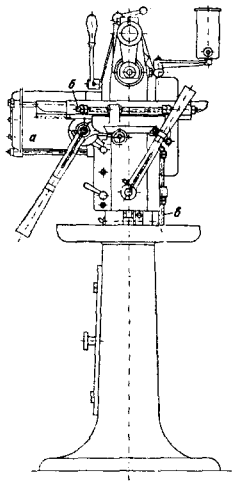
Фиг. 36.

Образцовой в этом отношении является новая америк. головка шпинделя, принятая Америк. ассоциацией станкостроителей. Как видно из фиг. 35, Е, центрирующему конусу придан значительно больший угол (конусность $3^1/_2$ дм. на 1 фт. или 1 : 3,42857 против 1 : 20,0000 у метрических конусов и 1 : 24 у конуса Браун и Шарп); захват как оправок (фиг. 35, Ж), так и фрезерных головок (фиг. 35, З) совершается камнями *а*, входящи-



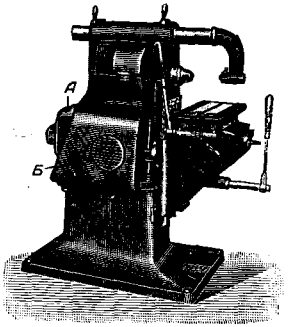
Фиг. 37.

ми в соответственные вырезы в оправке или головке; укрепление оправок в осевом направлении производится затяжным болтом *б*. Фрезерные головки центрируются выступом шпинделя и укрепляются четырьмя болтиками *в*. Помимо правильного закрепления в шпинделе важны также возможно значительный диам. фрезерной оправки и способ опоры ее свободного конца. На фиг. 36 изображены две оправки ⌀ 40 и 60 *мм*. Под влиянием одинакового усилия 1 000 *кг* первая получает прогиб в 0,042 *мм*, вторая лишь в 0,0083; конец первой опирается на палец малого диаметра, причем давление в опорном подшипнике ≅0,22 *кг/мм*², тогда как у второй оправки, снабженной стальной закаленной втулкой, давление составляет всего лишь около 0,04 *кг/мм*²; очевидно, износ подшипника во втором случае гораздо меньше и первоначальная точность будет дольше сохранена.



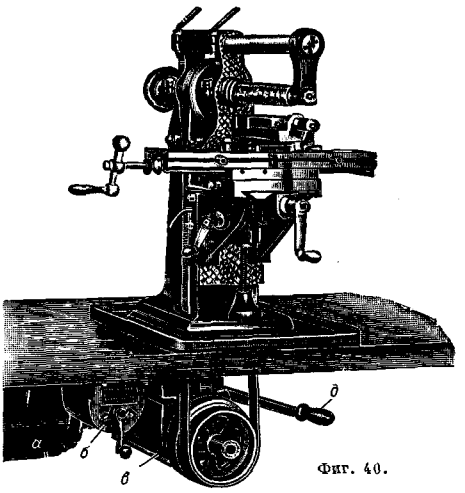
Фиг. 38.

Типы Ф. с. Ручной Ф. с. (англ. Hand Miller, нем. Handfräsmaschine, франц. fraiseuse à avance manuelle) представляет собой простой Ф. с. консольного типа (фиг. 37) с приводом от конич. шкива *а*, обычно без перебора; все три движения рабочего стола—продольная подача стола, или продольного супорта, *б*, поперечная подача седла, или поперечного супорта, *в* и подъем и опускание консоли, или кронштейна, *г*—совершаются только вручную, у данной модели посредством маховичков, действующих на соответствующие ходовые винты непосредственно (маховичок *д* поперечной подачи) или же через винтовую (маховичок, одеваемый на конец вала *е* для продольной подачи) или коническую (маховичок *же*, вращающий подъемный винт *з* консоли) зубчатые передачи. Ф. с. подобного типа применяются для простейших работ в ремонтных и мелких мастерских при легкой штучной работе. Специально для обработки мягких металлов в мелкосерийном производстве сконструированы Ф. с. с подачей стола посредством рычагов (англ. Hand Lever Miller, нем. Handhebel Fräsmaschine, франц. fraiseuse à levier), вращающих оси с шестеренками, зацепляющимися с соответственными рейками на столе или станине (фиг. 38); эти Ф. с., как показано на этой фигуре, в последнее время иногда снабжаются приводом от индивидуального электромотора *а*; ограничение хода стола в горизонтальном и вертикальном направлениях осуществляется винтовыми упорками *б* и *в*.



Фиг. 39.

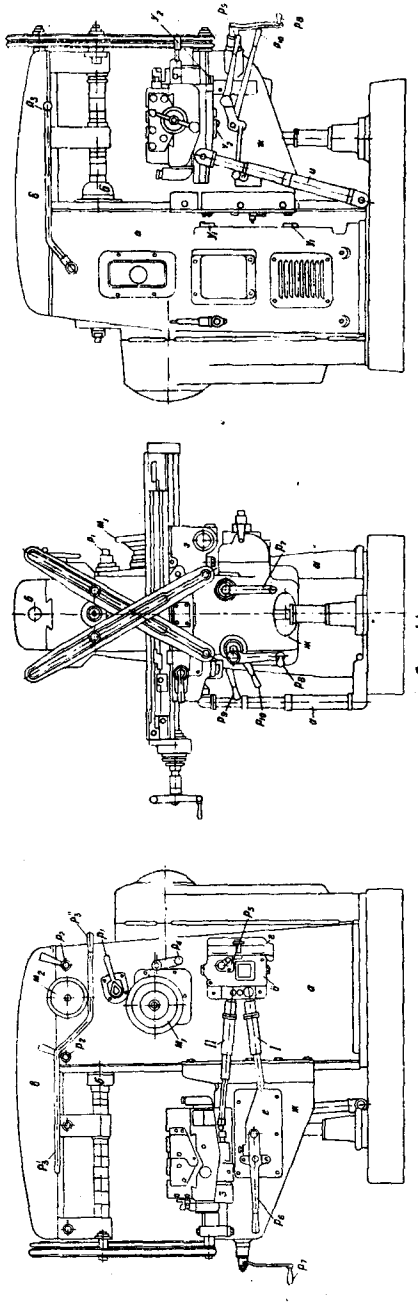
Зачастую Ф. с. этого типа делаются с короткой станиной для помещения их на верстаке—настольные, или верстачные, ручные Ф. с. (англ. Bench Miller, нем. Werkbank-Fräsmaschine, франц. fraiseuse d'établi); на фиг. 39 представлен такой рычажный Ф. с. с приводом от индивидуального мотора *А*, помещенного в станине *Б*. Ф. с. такого же типа, но



Фиг. 40.

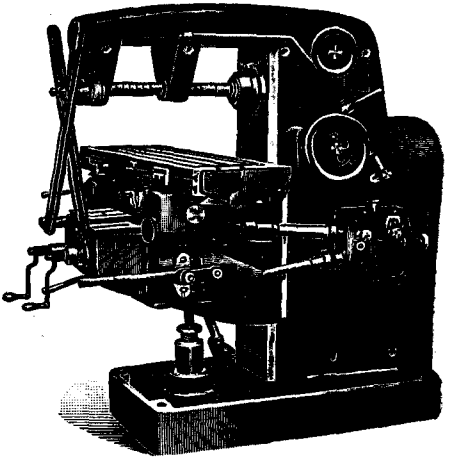
с подачами посредством ходовых винтов изображен на фиг. 40; привод осуществляется также индивидуальным мотором *а*, помещающимся под верстаком вместе со своим контроллером *б* и бесступенной фрикционной коробкой скоростей *в*, управляемой рычагом *д*.

Ф. с. аналогичного с описанными типа, но с механизированной подачей называются простыми Ф. с. (англ. Plain Miller или Plain Milling Machine, нем. einfache Fräsmaschine, франц. fraiseuse horizontale simple). Простой Ф. с. консольного типа изображен на фиг. 41 и 41а. Мотор, стоящий в станине *а*, сообщает вращение главному шпинделю *б* через 12-ступенную коробку передач, аналогичную описанной выше 6-ступенной (фиг. 21, 22), управляемой маховичком $м_1$ с добавлением двухступенного перебора, управляемого рукояткой $р_1$. Опорный рукав *в* перемещается маховичком $м_2$ и закрепляется рукоятками $р_2$. Главная фрикционная муфта включается тройным рычагом $р_3$, $р_3'$ и $р_3''$. Рукоятка $р_4$ служит для реверсирования вращения шпинделя, а $р_5$—для реверсирования подач. Перемена величины подачи производится сменными шестернями, устанавливаемыми под съемной крышкой *г* коробки подач *д*; при помощи прилагаемых к станку 8 шестеренок можно получить 16 различных подач. Ускоренная холостая подача передается телескопич. валиком *I* на укрепленную на консоли *же* коробку *е* реверса, управляемого рычагом $р_6$ ($р_4$ на схеме фиг. 30). Рабочая подача



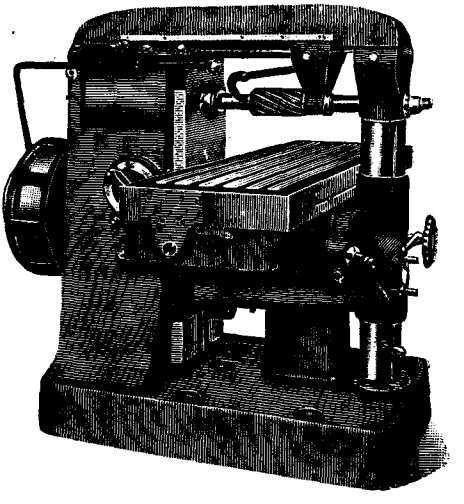
Фиг. 41.

передается на седло *з* посредством телескопич. валика *II*. Ручки p_7 (p_1 на фиг. 30) и p_8 (p_2 на фиг. 30) служат для поперечной подачи седла и вертикального перемещения консоли. Рычаг p_9 служит для включения поперечного, а рычаг



Фиг. 41а.

p_{10}—для вертикального самохода путем перемещения соответственных муфт ($м_2$ и $м_3$ на фиг. 30). Упорки y_1 и y_2 служат для выключения соответствующих самоходов. Телескопич. труба *и* отводит стекающую со стола охлаждающую

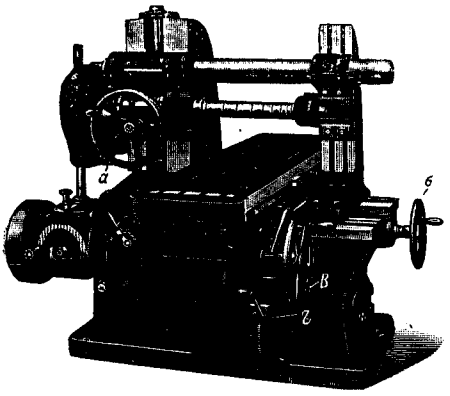


Фиг. 42.

жидкость в основание станины, служащее резервуаром, откуда она вновь засасывается особым насосиком и подается к фрезеру.

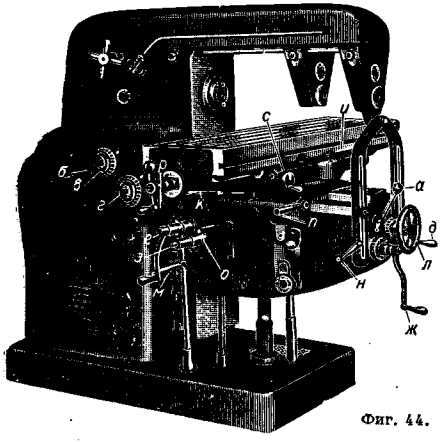
Простой Ф. с. консольного типа с жесткой опорой консоли и поддерживающего рукава изображен на фиг. 42. Станки эти—производственного типа, т. е. предназначены для массовой обработки однотипных деталей, вследствие

чего делается возможным обслуживание их после наладки низкоквалифицированным персоналом; этим объясняется стремление конструкторов упростить обслуживание станков путем упрощения конструкции и уменьшения органов управления, хотя бы за счет удлинения времени смены подач и уменьшения механизации обслуживания станка вообще.



Фиг. 43.

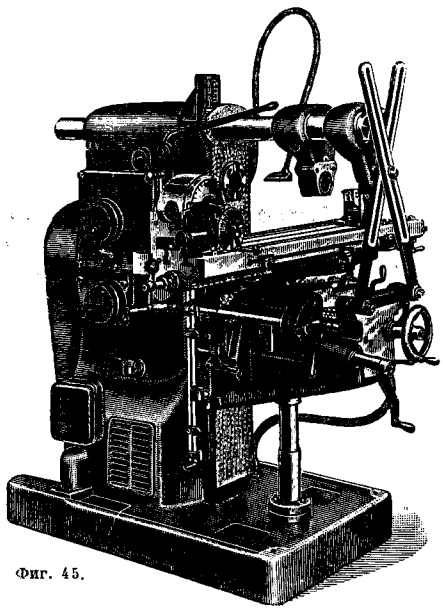
Простые Ф. с. жесткого типа с разделением вертикального перемещения и отнесением его к шпиндельной бабке (фиг. 43), т. е. станки с неподвижной консолью (англ. Rigid Plain Milling Machine, нем. Planfräsmaschine, франц. fraiseuse horizontale à bâti fixe), обладают еще большей жесткостью. Станки этого типа имеют обычно лишь продольный самоход, тогда как вертикальное перемещение шпинделя и поперечное перемещение седла являются установочными и производятся поэтому вручную (на фиг. 43 маховичками *а* и *б*); ручное перемещение стола совершается маховичком *в*. Для увеличения поперечной устойчивости седла оно опирается на



Фиг. 44.

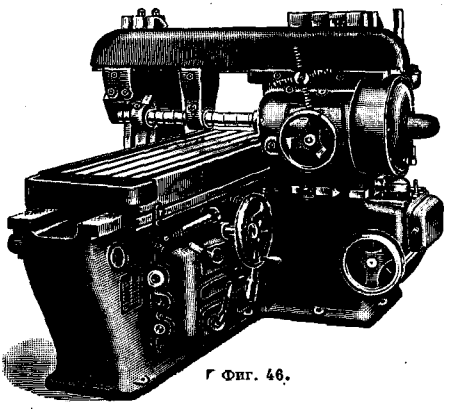
линейки *г*, прикрепленные к станине Ф. с. В совершенно другом направлении идет развитие универсальных Ф. с. (англ. Universal Miller, нем. Universal-Fräsmaschine, франц. fraiseuse horizontale universelle) и тех типов простых Ф. с., к-рые предназначены для обработки сложных деталей при штучном или короткосерийном производстве, напр. в инструментальных цехах при постройке приспособлений и опытных станков, при ремонтных работах и т. п. У них все усилия конструкторов сводятся к возможному ускорению установочных работ, занимающих при этих работах доминирующее место, к облегчению смены скоростей вращения шпинделя и подач и к достижению возможной универсальности станка, обеспечиваемой обычно применением поворотного седла (отличительный признак универсальных Ф. с.) и значительного количества различных приспособлений, главным из к-рых является делительная головка (см. *Делительные аппараты*, простая делительная головка).

Образцы двух универсальных Ф. с. изображены на фиг. 44 и 45: первый—более тяжелого

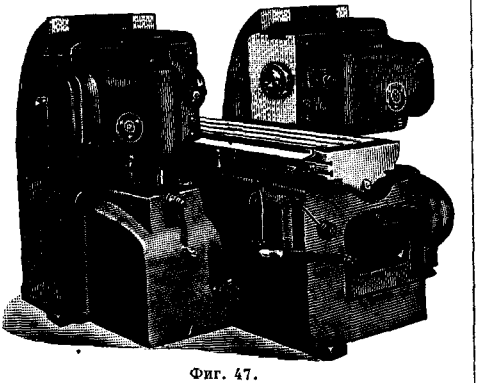


Фиг. 45.

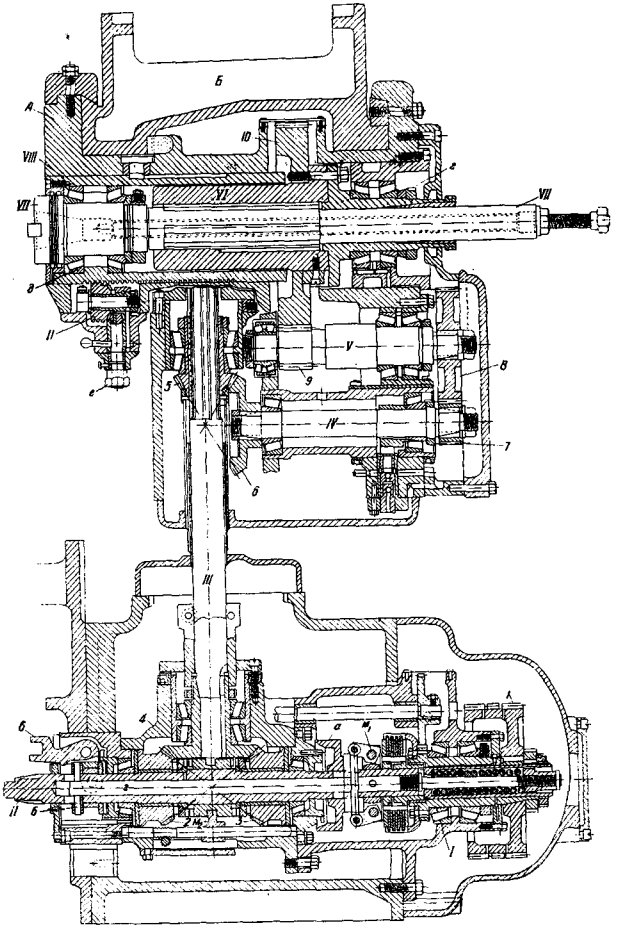
типа, пригодный и для серийного производства, второй—более легкого типа, гл. обр. для штучной работы. Ф. с., изображенный на фиг. 44, имеет следующие интересные особенности: 1) механич. смена скоростей вращения шпинделя и подач, производимая простым нажатием в ту или другую сторону любого из рычажков *а* или *б*; при этом начинают вращаться шайбы *в* или *г*, указывающие: первая — скорость вращения шпинделя, а вторая—величину подачи; 2) основные элементы управления дублированы, так что можно управлять станком как стоя впереди стола, так и с левой стороны сзади стола. Дублированы следующие органы управления: *д* и *е*—ручная поперечная подача, *ж* и *з*—ручная вертикальная подача, *и* и *к*—рычаги управления продольным самоходом, *л* и *м*—рычаги управления вертикальным самоходом, *н* и *о*—рычаги управления поперечным самоходом, *п* и *р*—рычаги управления ускоренными ходами стола (рычаги *л* и *р* плохо видны на фигуре, т. к. закрыты выступающими частями);



Фиг. 46.



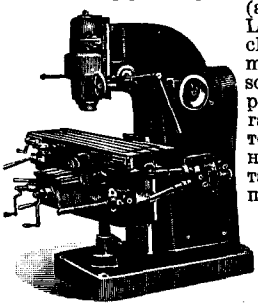
Фиг. 47.



Фиг. 48.

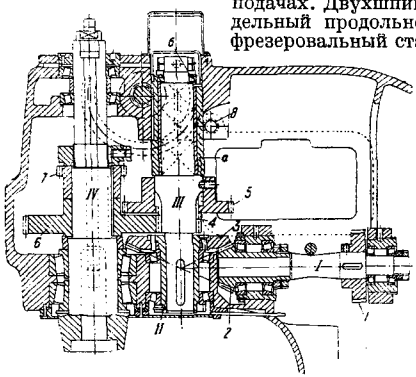
3) смазка направляющих стола из одного места поворотом рукоятки *c*; 4) автоматическая смазка под давлением всех подшипников, причем устроен даже подвод смазки к подвижным опорам шпинделя, сделанным, кстати сказать, из алюминиевого сплава для большего удобства обслуживания.

Логич. завершением простых горизонтальных Ф. с. с неподвижной станиной являются продольно-фрезеровальные станки (англ. Plano Miller, Lincoln Milling Machine, нем. Langfräsmaschine, Planfräsmaschine, франц. fraiseuse plane, fraiseuse type raboteuse), у к-рых не только вертикальные, но и поперечные установочные движения перенесены на шпиндель, а рабочий стол совершает одну лишь продольную подачу. Одношпиндельный станок такого типа, предназначенный



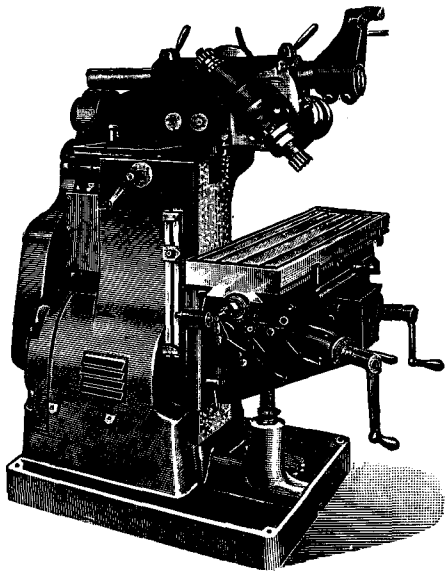
Фиг. 49.

гл. обр. для обработки горизонтальных поверхностей цилиндрич. или наборными фасонными фрезерами, изображен на фиг. 46. Длинные продольные направляющие рабочего стола обеспечивают надежное движение последнего; длина их настолько велика, что даже при крайних положениях стола не имеется перевеса. Это обстоятельство в связи с жесткостью всей остальной конструкции позволяет применять высокие скорости резания при соответственно больших подачах. Двухшпиндельный продольно-фрезеровальный ста-



Фиг. 50.

нок узко производственного типа изображен на фиг. 47, а конструктивное оформление передачи к главному шпинделю—на фиг. 48. Вращение от мотора передается бесшумной цепью на зубчатое колесо *1*, заклиненное на втулке *I*, свободно вращающейся на пустотелом валу *II* и сцепляемой с последним посредством фрикционной муфты $м_1$. Включение фрикциона совершается кольцом *a*, перемещаемым втулкой *б*, связанной с ним штангой *г*; перемещение втулки *б* осуществляется рычагом *в*. От вала *II* движение через реверс, состоящий из трех конич. зубчатых колес *2*, *3* и *4*, передается на вертикальный вал *III*. Сцепление одного из двух зубчатых колес *2* или *3* реверса осуществляется муфтой $м_2$. От вертикального вала движение передается скользящей по его многошпоночной верхней части конич. шестеренке *5*, вращающейся в подшипнике шпиндельной головки *А*, перемещающейся по вертикальным направляющим станины *Б* станка. Шестеренка *5* передает вращение через шестерню *6* валу *IV* и от него через сменные шестеренки *7* и *8* валу *V*, вращающему через цилиндрич. шестерни *9* и *10* втулку *VI* шпинделя. Последняя вращается в роликовых подшипниках *д*, обеспечивающих ее неподвижность в осевом направлении. Сам фрезерный шпиндель *VII* перемещается в осевом направлении посредством втулки *VIII*, несущей его передний двойной конусный подшипник *д*;

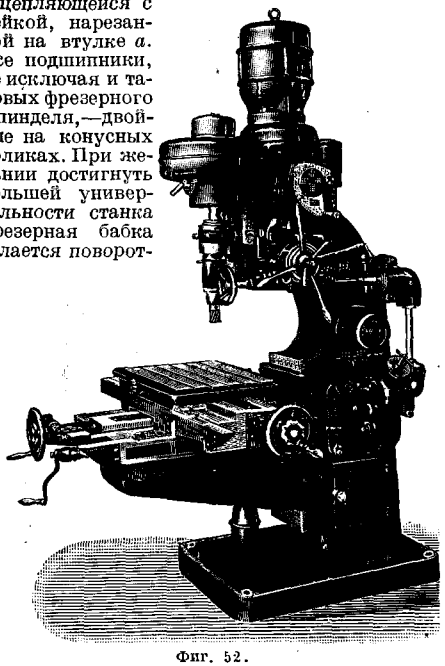


Фиг. 51.

вращение шпинделю *VII* передается от втулки *VI* на многошпоночную среднюю часть его. Осевое перемещение втулки *VIII* осуществляется червяком *11*, зацепляющимся с соответствующей нарезкой на теле втулки и снабженным конич. зубчаткой, зацепляющейся с конич. шестеренкой, нарезанной на конце болта *е*, вращаемого вручную за шестигранную головку. Станки этого типа особенно пригодны для обработки вертикальных поверхностей при помощи фрезерных головок, хотя они м. б. применены и для фрезерования горизонтальных поверхностей. Обработка плоскостей торцовыми фрезерными головками большого диаметра с вставными лезвиями удобна своей большой производительностью и значительной достигаемой при этом точностью, так как исключается неблагоприятное влияние прогиба фрезерной оправки, являющейся одним из наиболее слабых мест всего Ф. с.

Для возможности обработки горизонтальных плоскостей фрезерными головками необходимо иметь Ф. с. с вертикальным шпинделем; станки такого типа, смотря по устройству стола, носят название простых, или универсальных, вертикальных Ф. с. (англ. Vertical Mil-

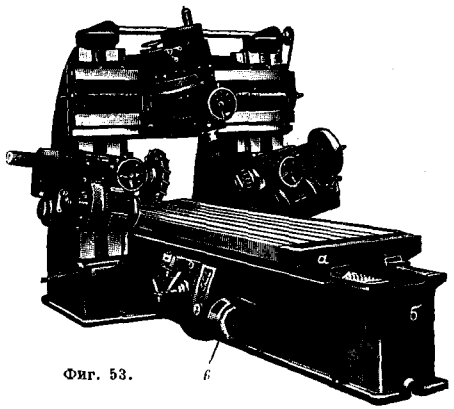
ler, нем. Senkrechtfräsmaschine, Vertikalfräsmaschine, франц. fraiseuse verticale). Обычно они делаются консольного типа и отличаются от соответственного горизонтального Ф. с. только расположением и конструкцией шпинделя. На фиг. 49 изображен вертикальный Ф. с. консольного типа, а на фиг. 50 разрез его шпиндельной головки. Вал *I* вращается посредством шестеренки *1* от шестиступенной коробки скоростей описанного выше типа, включаемой одним маховичком. Вал *I* через конич. передачу *2:3* вращает втулку *II*, в которой может перемещаться вверх и вниз на шпонке валик *III*, несущий спаренные шестерни двухступенного перебора *4-5*, зацепляющиеся по очереди с шестеренками *6* и *7*, сидящими на главном шпинделе *IV*. Перемещение валика *III* осуществляется втулкой *a*, в к-рой валик вращается свободно, но закреплен от осевых перемещений шарикоподшипником *б*; втулка *a* м. *б.* поднята или опущена поворачиваемой вручную шестеренкой *8*, зацепляющейся с рейкой, нарезанной на втулке *a*. Все подшипники, не исключая и таковых фрезерного шпинделя,—двойные на конусных роликах. При желании достигнуть большей универсальности станка фрезерная бабка делается поворот-



Фиг. 52.

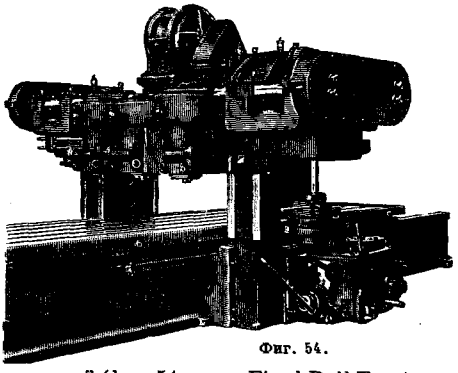
ной в одной (фиг. 51) или обеих параллельных оси вращения шпинделя плоскостях. Неизбежная слабость конструкции этих шпиндельных бабок делает эти станки пригодными лишь для обработки вырубных штампов, матриц и других мелких сложных деталей. Для обработки крупных ковочных штампов были сконструированы быстроходные вертикальные Ф. с. (англ. Die-Sinking Machine, нем. Vertikal-Schnellfräsmaschine, франц. aléseuse verticale). Характерной особенностью Ф. с. этого типа (фиг. 52) является возможность вертикального перемещения вручную и самоходом шпинделя, напоминающего по конструкции таковой мощных сверлильных станков. Привод осуществляется часто от индивидуального мотора, укрепленного на станине Ф. с.

Для обработки больших поверхностей, напр. блоков моторов, применяют портальные Ф. с. с одним горизонтальным или, чаще, несколькими горизонтальными и вертикальными шпинделями (англ. Plano-Milling Machines, Horizontal Miller, Slabing Machines, нем. Portalfräswerke, франц. *fraiseuse raboteuse*), напомина-



Фиг. 53.

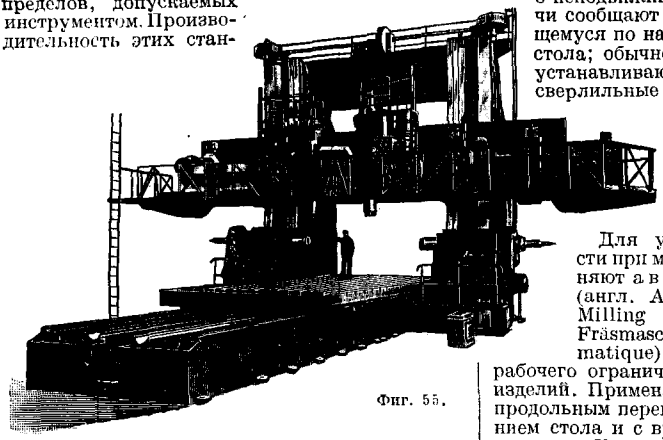
ющие по общему виду строгальные станки. Они снабжены длинным столом *a* (фиг. 53), перемещающимся по направляющим горизонтальной станины *б*. Фрезерные бабки расположены как на траверсе портала, так и на его боковых стойках. Применявшийся прежде централизованный привод всех шпинделей от одного главного мотора или трансмиссионного привода при помощи валов (фиг. 54) в последнее время уступает место индивидуальному электроприводу каждого шпинделя (как на фиг. 53), значительно упрощающему всю механич. конструкцию Ф. с. и позволяющему устанавливать скорость вращения каждого шпинделя независимо от других. Привод в движение стола в этом случае совершается при посредстве особого мотора *в*. Ф. с. этого типа делаются как с неподвижной



Фиг. 54.

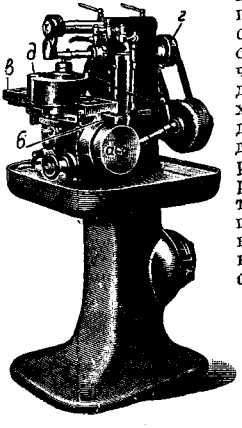
траверсой (фиг. 54, англ. Fixed Rail Type), так и с подвижной (фиг. 53, англ. Adjustable Rail Type); первые применяются гл. обр. для специализированной массовой обработки деталей приблизительно одного размера, напр. автомобильных цилиндровых блоков, причем необходимая вертикальная подвижность фрезеров достигается перемещением несущих шпинделя

втулок (см. фиг. 48); горизонтального перемещения отдельные фрезерные бабки зачастую не имеют; такая упрощенная конструкция позволяет делать станок очень жестким и увеличивать скорости резания и величину подачи до пределов, допускаемых инструментом. Производительность этих станков очень велика, напр. Ф. с. со столом длиной 6,10 *м* обрабатывает в 1 час 66 шестицилиндровых блоков с обеих сторон.



Фиг. 55.

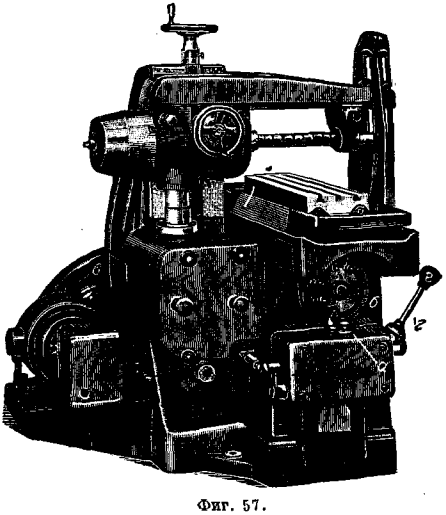
Портальные Ф. с., соединяемые иногда со строгальным и сверлильными приспособлениями, строятся иногда грандиозных размеров; так, станок, изображенный на фиг. 55, имеет стол размером 10,00×4.00 *м*, длину направляющих 21,60 *м*, проход портала 4,95×5,00 *м*. Стол имеет два независимых привода: первый для строгания—реверсивным электромотором в 125 HP, включенным по схеме Леонарда, сообщающим столу посредством рейки и зубчатых колес рабочее движение и холостой ход со скоростью 3,5 до 30 *м/мин*, и второй для фрезерных работ—регулируемым мотором (1:4) постоянного тока в 30 HP, сообщающим помощью винтового шпинделя движение подачи со скоростью до 400 *мм/мин*.



Фиг. 56.

Каждая из четырех фрезерных бабок снабжена собственным главным мотором в 30 HP, вращающим шпиндели со скоростью 3,2÷80 об/мин. Как фрезерные бабки, так и строгальные супорты (сдвинутые на фиг. 56 вправо) имеют собственные независимые от других самоходы и ускоренный холостой ход, обслуживаемые индивидуальными электромоторами по 5 HP. Подъем и опускание траверсы производятся отдельным мотором в 30 HP. Все управление производится по кнопочной системе и сосредоточено на трех центральных распределительных щитках, расположенных на пультах: один сзади, другой спереди Ф. с. и один на мостике траверсы; на последней стоят еще два вспомогательных распределительных щитка. Для обработки особо громоздких и тяжелых изделий иногда Ф. с. портального типа делают с неподвижным столом, а движение подачи сообщают самому порталу, перемещающемуся по направляющим, идущим вдоль стола; обычно на этих же направляющих устанавливают переносные горизонтально-сверлильные (см. *Сверлильные станки*) и долбежные станки (см. *Долбление, по металлу*), так что бо́льшая часть обработки может быть закончена в одну установку изделия, которая в данном случае особенно затруднительна.

Для увеличения производительности при массовом производстве применяют автоматические Ф. с. (англ. Automatic Miller, Continuous Milling Machine, нем. automatische Fräsmaschine, франц. fraiseuse automatique), у которых вся деятельность рабочего ограничивается сменой обработанных изделий. Применяются два основных типа: с продольным переменно-поступательным движением стола и с вращательным движением последнего. К первому типу могут быть причислены уже простые фрезеровальные станки, имеющие автоматизированное управление движениями подачи стола; однако имеются и специальные автоматич. Ф. с., характеризующиеся,

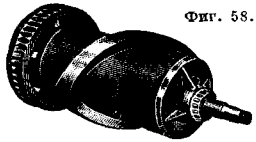


Фиг. 57.

как и все специальные станки, упрощенной конструкцией. Автоматич. Ф. с. малого размера изображен на фиг. 56; он представляет собой обыкновенный Ф. с. консольного типа, от к-рого отличается лишь механизмом подачи, состоящим из барабана *а* с фигурной канавкой, сообщающего посредством пальца *б* требуемые движения столу *в*. Вращение барабана с постоянной скоростью совершается от ременного шкива *г*, закрепленного на фрезерном шпинделе. Для фрезерования изделий с зубцами или прорезами станок м. б. снабжен автоматич. делительной

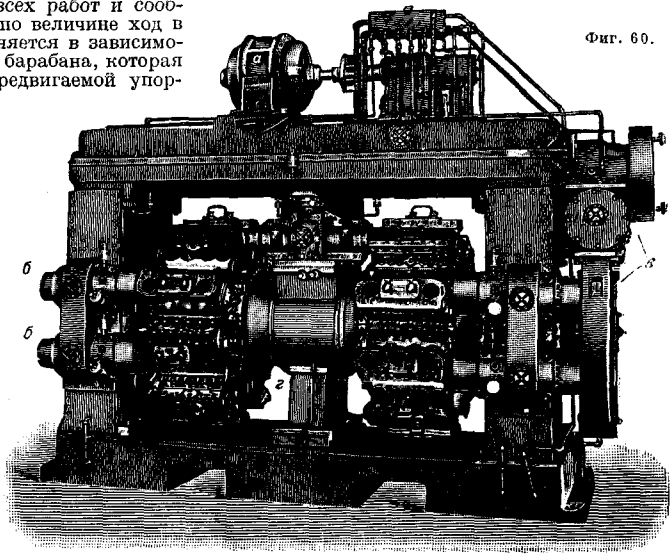
головкой *д*, к-рая в конце обратного хода стола поворачивает изделие на одно деление и по окончании всей обработки автоматически останавливает Ф. с. Станки этого типа очень удобны при массовом производстве мелких деталей, снабженных зубцами или же прорезами. Для обработки более крупных деталей с преимущественно продольным направлением фрезерования применяют Ф. с. типа, данного на фиг. 57. Перемещение стола совершается барабаном с фасонным выступом (фиг. 58), постоянным для всех работ и сообщающим столу постоянный по величине ход в 250 *мм*; скорость хода изменяется в зависимости от скорости вращения барабана, которая управляется кнопкой *а*, передвигаемой упорками, сидящими в кольцевом пазу распределительного диска *б*. Скорость подачи (10 ступеней 11—85 или 30—230 *мм/мин*) и рабочая скорость шпинделя (9 ступеней 36 — 228 или 115 — 720 об/м.) изменяются путем смены шестерен, установленных в коробке *в*. Кроме того стол имеет ускоренный ход в направлении подачи со скоростью 1700 *мм/мин* и в обратном направлении 2 400 *мм/мин*. Все управление Ф. с. сосредоточено в одном рычаге *г*, обслуживающем как смену подачи на ускоренный ход и обратно, так и останов станка. При нормальной работе все смены автоматизированы.

Фиг. 58.

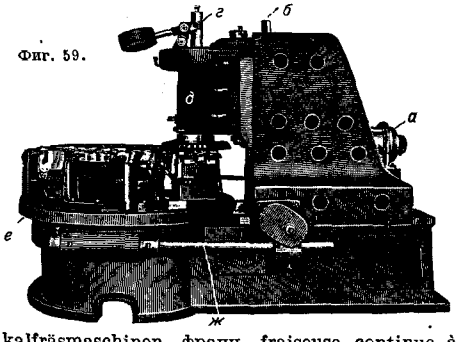


Для непрерывного фрезерования на непрерывно вращающемся столе применяют фрезеровальные станки как со столом, вращающимся вокруг вертикальной оси,—непрерывно-фрезеровальные станки карусельного типа (англ. Rotary Continuous Miller, нем. Rundlauf-Vertikalfräsmaschinen, франц. fraiseuse continue à table tournante), так и с барабаном, вращающимся вокруг горизонтальной оси,—непрерывно-фрезеровальные станки барабанного типа (Drum Type Continuous Miller, нем. Trommel-Fräsmaschine, франц. fraiseuse continue à tambour tournant). Станок первого типа изображен на фиг. 59. Конструкция его весьма несложна. Мотор *а* вращает через сменные шестерни вертикальный вал *б*, от к-рого движение через цилиндрич. шестерни передается шпинделю *г*, уравновешенному противовесом и вращающемуся в подшипниках переставляемой по высоте бабки *д*. Вращающийся непрерывно с постоянной скоростью стол *е* приводится в движение от того же мотора через сменные шестерни и горизонтальный вал *ж*. Станок изображен при обработке алюминиевых картеров для автомобильных двигателей (производительность 14 шт. в час). Двойной Ф. с. барабанного типа изображен на фиг. 60. Несмотря на кажущуюся сложность кинематич. схема его очень проста: мотор *а* вращает через постоянную передачу горизонтальный вал, идущий внутри траверсы, от к-рого через сменные шестерни получают движение как шестерни фрезерных шпинделей *б*, *б*, так и через червячную передачу *в* барабан *г*, несущий целый ряд подлежащих обработке деталей (в данном случае цилиндровых блоков автодвигателей) и медленно вращающийся с постоянной скоростью. Смена изделий производится находу; производительность Ф. с. этого типа велика (у данного станка 140 блоков в час), но область применения ограничена обработкой торцовых поверхностей.

Фиг. 60.

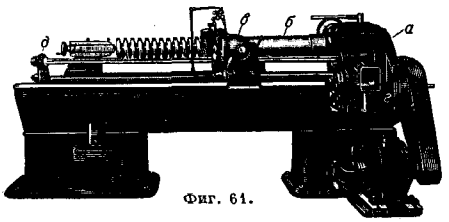


Фиг. 59.



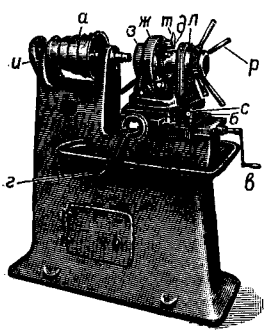
Кроме описанных выше Ф. с. с более или менее обширной областью применения имеются многочисленные конструкции узко специальных Ф. с. Для фрезерования винтовой нарезки строятся резьбо-фрезеровальные станки (англ. Thread Milling Machine, нем. Gewindefräsmaschine, франц. machine à fraiser les filets de vis), к-рые бывают двух типов: для нарезки длинных винтовых шпинделей и червяков и для нарезания короткой нарезки. Первые (фиг. 61, вид станка сзади) по общему устройству напоминают токарный станок; основное отличие состоит в том, что передняя бабка *а* сообщает обрабатываемому шпинделю *б* медленное враще-

ние подачи, а заменяющая супорт фрезерная бабка *в* несет дисковый (для крупной нарезки) или винтовой (для мелкой) фрезер, приводимый во вращение от коробки скоростей *г* через валик *д*; продольный самоход бабки *в* осуществляется ходовым винтом, приводимым в движение через отдельную коробку передач. Ф. с. для нарезания короткой резьбы имеют общее устройство, напоминающее нормальные болторезные станки (фиг. 62): фрезерный шпиндель вращается помощью ступенчатого шкива *а*; против него расположен супорт *б*, устанавливаемый в продольном направлении ручкой *в*, а в поперечном—руч-



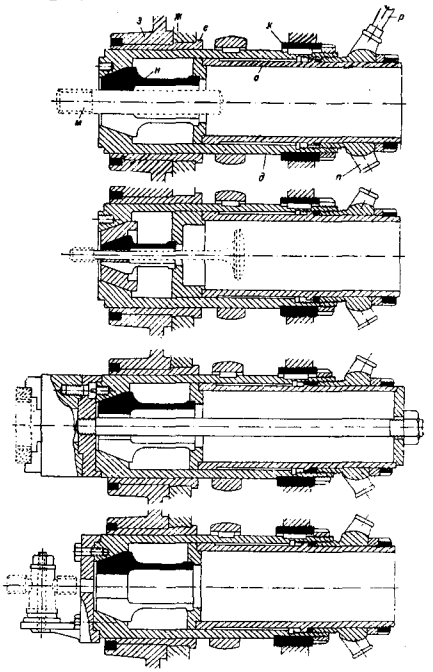
Фиг. 61.

кой *г*. Супорт несет на себе пустотелый шпиндель *д*, изображенный отдельно на фиг. 63. Передняя часть шпинделя *д* ходит на скользящей шпонке в кольце *е*, лежащем в переднем подшипнике *з* супорта и вращаемом червячным колесом *жс* от коробки подач, помещающейся сзади станины и приводимой в движение от главного шпинделя цепью *и*. На хвостовой части шпинделя *д* укреплена сменная винтовая втулка *к* того же шага, что и фрезеруемая нарезка, обеспечивающая при вращении шпинделя *д* с зажатым в нем изделием необходимую осевую подачу. Втулка *к* ходит в сменной гайке, закрепляемой в заднем подшипнике *л* супорта. Зажим изделия *м* осуществляется патроном *н*, вжимаемым в коническое отверстие шпинделя *д* посредством трубы *о*, перемещаемой навинтованной втулкой *п*, вращаемой рукоятками *р*. Упор *с*, снабжаемый для точных работ мерным индикатором служит для ограничения боковой установки супорта, определяющей диаметр фрезеруемой резьбы. После зажима изделия в патрон шпинделя *д* и подвода супорта вручную на нужную глубину фрезерования ручкой *г* рукояткой *т* включается механич. вращение шпинделя *д*, продолжающееся $1^1/_4$ оборота, после чего нарезка окончена и самоход автоматически выключается.



Фиг. 62.

Специальные копировальные Ф. с. (англ. Cam Milling Machine, нем. Kopier-Fräsmaschine, франц. machine à fraiser les cames) для обработки кулаков, фасонных шайб и барабанов с фасонными канавками строятся двух основных типов. В станках первого типа фрезерный шпиндель имеет лишь вращательное движение, все же движения подач, необходимые для осуществления фасонной поверхности, выполняются изделием, в Ф. с. второго типа, наоборот, перемещается фрезерный шпиндель, а изделие совершает лишь вращательное движение. Двухшпиндельный Ф. с. первого типа изображен на фиг. 64. Мотор *а* через коробку скоростей, управляемую двумя ручками *б*, сообщает вращение обоим фрезерным шпинделям $в_1$ и $в_2$ и коробке подач *г*; смена последних производится ручкой *д*, а изменение направления маховичком *е*. По горизонтальным направляющим станины ходит продольный супорт *жс*, перемещаемый маховичком *з* и несущий на своих верхних салазках поперечный супорт *и*, на котором укреплены две продольные бабки *к* и *л* и одна поперечная *м* со своим рейштоком *н*. Шпиндели всех трех бабок приводятся в медленное вращение продольным валиком *о*, выходящим из коробки подач, через ряд конич. шесте-

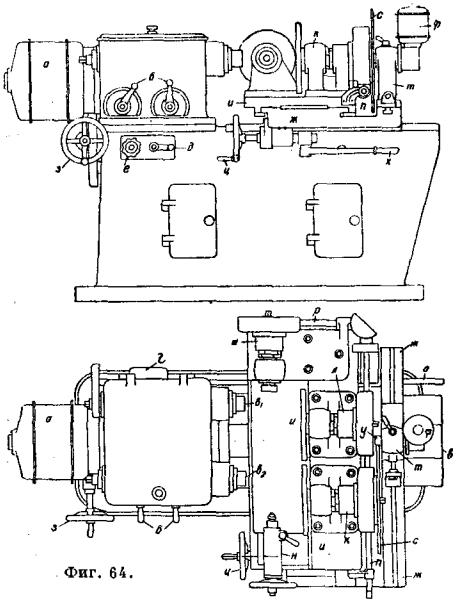


Фиг. 63.

ренок, валики *п* и *р* и червячные колеса, сидящие на шпинделях. Грузом, помещающимся внутри станины, поперечный супорт *и* оттягивается назад т. о., что шаблон *с*, надетый на шпиндель передней бабки *к*, все время прижимается к пальцу *у*, укрепленному в стойке *т*, закрепляемой при помощи двух болтов и микрометрич. упорного винта в прорезе продольного супорта *жс*. Очевидно, что при вращении шпинделя бабки *к* супорт *и*, управляемый шаблоном *с*, будет совершать поперечные перемещения, определяющие совместно с вращением изделий, зажатых либо в обеих продольных либо в поперечной бабке, форму обрабатываемой поверхности. Станок может обрабатывать одновременно 2 изделия, безразлично с торцовыми или цилиндрич. фасонными канавками или поверхностями. Для возможности изготовления шаблона

по имеющемуся образцу готового изделия или по другому шаблону в шпиндель e_2 вставляют палец, диаметром равный диам. будущего фрезера, в бабку $ж$ зажимают спереди изделие или старый копир, а сзади—заготовку для нового шаблона; на место пальца $у$ ставят фрезер такого же, как и он, диаметра, приводимый во вращение электромотором $ф$, и приводят бабку и мотор $ф$ во вращение. Рычаг $х$ служит для быстрого отвода поперечного супорта вперед, а маховичок $ц$—для поперечного перемещения супорта $ч$ вручную и закрепления его, после чего станок может служить в качестве круглофрезеровального станка.

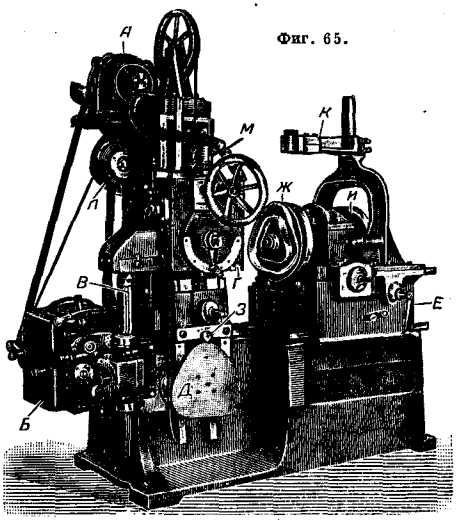
Копировальный Ф. с. второго типа изображен на фиг. 65; мотор $А$ приводит через ременную передачу во вращение коробку передач $Б$, отку-



Фиг. 64.

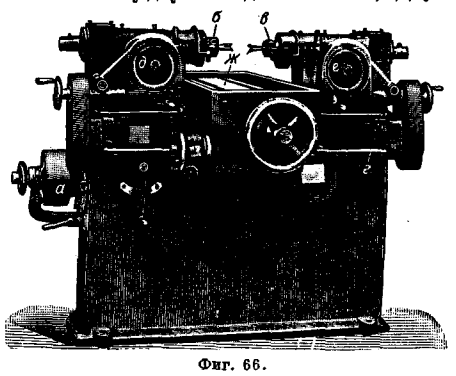
да получают вращение все три шпинделя станка: через валик $В$ фрезерный шпиндель, помещающийся в подвижной бабке $Г$, копирный шпиндель, несущий копир $Д$, и главный шпиндель, помещающийся в главной бабке $Е$ и несущий в планшайбе изделие $Ж$. Фрезерная бабка, оттягиваемая всегда вниз под влиянием своего веса, лишь отчасти уравновешенного противовесом, может перемещаться по вертикальным направляющим станины; перемещения ее определяются копиром $Д$, на к-рый опирается палец $З$, связанный с бабкой. Для фрезерования фигурных канавок на поверхности цилиндрич. барабанов главная бабка $Е$ м. б. повернута на 90° вокруг своей оси, после чего изделие закрепляется в планшайбе $И$, а верхний конец его поддерживается рейтштоком $К$. Для удаления стружек и охлаждения инструмента применяется воздух, вдуваемый вентилятором $Л$ через рукав $М$. Другие типы копировальных Ф. с. см. *Копировальные станки*.

Для фрезерования шпоночных канавок и продолговатых отверстий имеются специальные шпоночные Ф. с. (англ. Keyway Milling Machine, нем. Keilnuten-Fräsmaschine, Langloch-Fräsmaschine, франц. fraiseuse pour fraiser les rainures de clavettes). Для обработки легких, а главное коротких изделий строятся обычно небольшие горизонтальные Ф. с. с одним или



Фиг. 65.

двумя шпинделями (фиг. 66), у к-рых продольный самоход совершает стол с обрабатываемым изделием, а поперечный, определяющий глубину врезания фрезера в тело неподвижного изделия при начале фрезерования, совершает либо стол (обычный способ у одношпиндельных Ф. с.) либо фрезерные шпиндели (единственно применимый способ у двухшпиндельных Ф. с.). Двух-

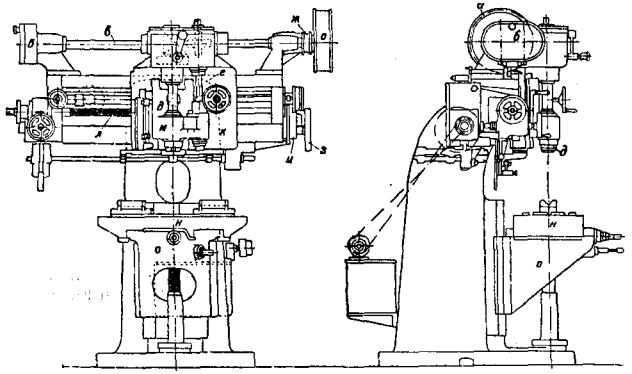


Фиг. 66.

шпиндельный шпоночный Ф. с., изображенный на фиг. 66, приводится в движение шкивом $а$, от к-рого получают вращение как оба фрезерных шпинделя $б$ и $в$, так и валик подач $г$, сообщающий либо осевую подачу обоим шпинделям $б$ и $в$ через червячные передачи $д$ и $е$ либо продольную подачу столу $ж$. Включенная в начале обработки при неподвижном столе осевая подача шпинделей автоматически выключается по достижении требуемой глубины при помощи падающих червяков и одновременно включается продольная подача стола, выключаемая автоматически в свою очередь после выработки

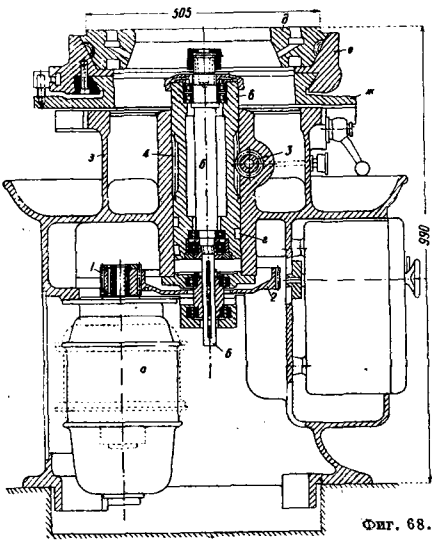
канавки требуемой длины. Для обработки громоздких и длинных изделий применяют шпоночно-фрезеровальные станки с неподвижным столом и горизонтальными или вертикальными шпинделями, совершающими оба движения подачи: по глубине и по длине.

Двухшпиндельный вертикальный Ф. с. этого типа изображен на фиг. 67. Станок приводится



Фиг. 67.

в движение шкивом *а* через коробку скоростей *б* со сменными шестеренками и вал *в*, вращающий через пару конич. шестеренок и перебор большой фрезерный шпиндель *д* (120—420 об/мин.) и через пару винтовых шестеренок малый шпиндель *е* (350—1230 об/мин.). На конце вала *в* сидит шкив *жс*, приводящий через шкив *з* в движение



Фиг. 68.

коробку подач *и*, сообщающую как продольную подачу всему фрезерному супорту *к* помощью ходового винта *л*, так и вертикальную подачу фрезерной бабке *м*, ходящей в направляющих супорта. Стол *н*, опирающийся на кронштейн *о*, совершает только установочные вертикальное и поперечное перемещения посредством вращаемых вручную ходовых винтов. Управление самоходами—вертикальным бабки *м* и горизонтальным супорта *к*—автоматизировано, так что по достижении бабкой достаточной глубины фрезерования вертикальная подача автоматически выключается и включается продольная, останавливающаяся по окончании фрезерования необходимой длины канавки. Для фрезерования широких и глубоких канавок Ф. с. снабжен приспособлением, автоматически отфрезеровывающим канавку в несколько проходов, включая в конце каждого горизонтального хода на короткое время вертикальную подачу бабки *м* и затем вновь переключая ее на продольную подачу супорта.

Специальный Ф. с. для обработки матриц вырубных штампов изображен на фиг. 68. Мотор *а* через зубчатую передачу *1:2* вращает хвостовик вертикального шпинделя *б*, лежащего в шарикоподшипниках втулки *в*, устанавливаемой по высоте при помощи червяка *3*, зацепляющегося с длинной зубчатой нарезкой *4* на окружности втулки; при повороте последней червяком *3* неподвижный палец, входящий в винтовую канавку *г*, заставит втулку, а с ней и шпиндель подняться или опуститься. Изделие укрепляется на сквозном поворотном столе *д*, вращаемом вручную червяком в верхних салазках *е* крестового супорта, нижние салазки *жс* к-рого ходят по направляющим станины *з*. Все перемещения супорта и стола совершаются вручную, и величина их отсчитывается по шкалам, снабженным ограничительными упорками. Т. о. весьма точно м. б. выфрезерована непосредственно по чертежу любая форма, состоящая из комбинаций прямых линий и дуг окружности.

Ф. с. широко применяются при нарезании зубчатых колес; описание соответствующих конструкций см. *Зуборезные станки*. Благодаря применению многорезцового инструмента, допускающего большие скорости резания, и отсутствию прямолинейно-возвратного рабочего движения Ф. с. успешно конкурируют со *строгальными станками* (см.) во всех тех случаях, где не требуется особая точность обрабатываемых поверхностей. Ф. с. для обработки дерева см. *Деревообделочные станки*.

Лит.: Саввин Н., Резание металлов и инструменты, М.—Л., 1926; Глебов С., Теория наивыгоднейшего резания металлов, т. 1, М., 1933; Мигай В., Теория резания металлов, М.—Л., 1932; Юрте Е. и Митчке О., Фрезерное дело, пер. с нем., Л., 1927; Бэргард Г., Станки по металлу и работа на них, пер. с англ., т. 2, М.—Л., 1931; Челюсткин А., Теория резания, 2 изд., М.—Л., 1932; Иваев П., Холодная обработка металлов, М., 1932; Оглоблин А., Фрезерные станки, М.—Л., 1933; Каждан Г., Усовершенствованный фрезерный станок «Браун-Шарп», М.—Л., 1932; Туссен Е., Схемы и расчеты металлообрабатывающих станков, пер. с нем., М., 1932; Форверк В., Расчет передач в станкостроении, пер. с нем., М.—Л., 1933; Прегер Э., Обработка металлов, пер. с нем., ч. 3, М., 1931; Кенен М., Элементы станков, их расчет и конструкция, пер. с нем., М.—Л., 1932; Александров А. и Исаев К., Американские фрезерные станки «Ингерсол», М., 1932; Reta, Cnp. по рабочему времени, пер. с нем., Л., 1927; Fischer H., Die Werkzeugmaschinen, 2 Aufl., B. 1, B., 1905; Hülle Fr., Die Werkzeugmaschinen, 4 Aufl., B., 1923; Salomon C., Ueber d. Einfluss d. Veränderlichkeit des spezifischen Schnittwiderstandes beim Fräsvorgang, Dissert., Mch., 1924; Preger E., Flüssigkeitsgetriebe an spangebenden Werkzeugmaschinen, B., 1932; Gouverneur

F., Theorie moderne du fraisage, P., 1930; Schuchardt u. Schütte, *Technisches Hilfsbuch*, 7 Aufl., B., 1928; Hülle Fr., Die Grundzüge d. Werkzeugmaschinen u. d. Metallbearbeitung, B. 1, 7 Aufl., B., 1931; B. 2, 4 Aufl., B., 1926; Cincinnati *Milling Mach. Co., A Treatise on* Milling a. Milling Machines, Cincinnati, Ohio, 1922; Richter J., Beispiele aus dem Werkzeugmaschinenbau, в серии: *Aus dem Konstruktionspraxis, hrsg.* v. A. Erkens, H. 2, B., 1931; Salomon C., Zur Theorie des Fräsvorganges, «Z. d. VDI», 1928, B. 72, p. 1619, *45*; Reindl J., Vergleichende Fräsversuche, «*Ztschr. f. praktischen* Maschinenbau», B., 1910, B. 2, p. 56; Boston A., Research in the Elements of Metal Cutting, «Transactions of the American Society of Mechanical Engineers», N. Y., 1926, v. 48, p. 749; Schlesinger G., Rechnungsgrundlagen zur Ermittlung des Leistungbedarfes bei Walzenfräsern, «Werkstattstechnik», Berlin, 1931, Jg. 25, H. 17; Schlesinger G., Die Kräfte in d. Werkzeugmaschine, «Z. d. VDI», 1929, Band 73, 44, p. 1565; Bahlecke F., Richtwerke für das Fräsen mit Walzenfräsern, «Maschinenbau», B., 1930, B. 9, H. 13, p. 437; Kurrein M., Betrieb d. Fräserei, «Werkzeugmaschine», B., 1932, Jg. 36, H. 4, p. 55; Kurrein M., Fräser u. Fräsmaschine, «Werkstattstechnik», B., 1929, Jg. 23, H. 9, p. 253; Hülle Fr., Bemerkungswerte Bauarten von Werkzeugmaschinen, «Z. d. VDI», 1925, B. 69, p. 207, *8*; Preger E., Neuere Getriebe an Werkzeugmaschinen, «Maschinenbau», B., 1933, B. 12, H. 5, p. 125; Preger E., Flüssigkeitsgetriebe f. geradlinige Bewegungen, «Z. d. VDI», B. 75, p. 277, B., 1931; Coenen M., Neuere Konsol-Fräsmaschinen, «Werkzeugmaschine», B., 1933, Jg. 37, H. 17, p. 311; Thergarten A. u. Pohle, Entwicklung d. Fräsmaschinen-Konstruktion im Laufe d. letzten 30 Jahre, ibid., 1930, Jg. 34, H. 16, p. 331; Hydraulischer Vorschub-Mechanismus für Fräsmaschinen, «Werkstattstechnik», B., 1930, Jg. 24, H. 16, p. 452; Baetz W., Automatisches Fräsmaschinengetriebe, «Maschinenbau», B., 1930, B. 9, H. 4, p. 126; François, Lebeurre et Aucel, Méthodes fondamentales du fraisage de production, «*Machine Moderne*», P., 1931, 25 année; Schmidt B., Neuerungen im Fräsmaschinenbau, «Werkzeugmaschine», B., 1929, Jg. 33, H. 24, p. 499; Jereczek V., Die *Entwicklung* d. Fräswerkzeuge, «Stock-Zeitschrift», B., 1930, Jg. 3, H. 5; Walle R., Fräsmaschinen, «Werkzeugmaschine», B., 1933, Jg. 37, H. 6, p. 113; Fräsmaschine *mit mechanischem Geschwindigkeits-Wechsel, ibid.*, 1930, *Jg.* 34, H. 10, p. 220; Sipmann F., Grosse kombinierte Hobel- u. Fräsmaschine, «Schiess-Defries Nachrichten», Düsseldorf, 1932, *Jg.* 12, H. 4, p. 87; Weil, *Doppelspindlige* selbsttätige Kurvenfräsmaschine, «Maschinenbau», B., 1932, B. 11, H. 5, p. 102; Hänecke H. u. Parey W., Spanabhebende Werkzeugmaschinen, «Z. d. VDI», 1928, B. 72, *8*, p. 229.

Л. Павлушков.

ФРИЗЕ, 1) особый вид отделки шерстяных тканей с приданием им негладкой, ворсовой поверхности. 2) Ф., также туаль-Ф.,—лучшие сорта голландского льняного полотна.

ФРИЗОН (франц.—локон), 1) в шелковой промышленности означает верхнюю часть оболочки кокона, к-рая снимается перед размоткой кокона в целях нахождения конца нити. Во Ф. отходит в среднем 25—30% шелковой массы кокона. Ф. служит сырьем для шелкопрядильного производства. В зависимости от чистоты, цвета и крепости волокна Ф. делится на три сорта. К первому сорту относится Ф. хорошо вытянутый и расправленный, без узлов и утолщений. Головки д. б. расщипаны. Волокно нормального цвета, абсолютно чистое, без всяких посторонних примесей, крепкое. Второй сорт отличается менее аккуратной расправкой струны и имеет примесь куколки и бассинета в количестве не свыше 0,5% по весу. К третьему сорту относится фризон темноватого цвета, недостаточно расправленный в струну; волокно средней крепости, примесь бассинета и куколки допускается до 2% по весу. Нормальный фризон имеет длину от 0,75 до 1 *см*. 2) Канитель—нить с негладкой пушистой поверхностью для вышивки.

ФРИЗОНЕТ, отход кокономотального производства, к-рый используется как сырье в шелкопрядильном производстве. Ф. получается при размотке коконов без запарки. Снимаемое при такой размотке коконов небольшое количество верхней оболочки кокона примешивается к одонкам коконов и такой сборный продукт носит название Ф. При обычной системе кокономотания Ф. называют продукт, получаемый после выварки коконных рубашек, остающихся по окончании размотки коконов. Он приготовляется в виде руна длиною около 770 *см*. Ф. должен быть нормально выварен, промыт и высушен. Волокно д. б. чистым от посторонних примесей (допускается лишь присутствие куколки), волокно не д. б. ослабленным. В зависимости от цвета и содержания куколки Ф. делится на три сорта: первый сорт—нормального цвета, с содержанием куколки не более 16%; второй сорт—темноватого цвета, с содержанием куколки до 30%; третий сорт—темноватого цвета, с содержанием куколки до 45%.

ФРИКЦИОННАЯ ПЕРЕДАЧА, см. *Передача*.

ФРИТТА, составная часть *глазурей* (см.), применяемых для глазурования ценных керамич. изделий. В состав Ф. в зависимости от назначения глазури входят: полевой шпат, кремний, борная к-та, бура, щелочные соли, окись свинца и т. д. Для перевода растворимых в воде компонентов Ф. в нерастворимые соединения массу Ф. подвергают фриттованию, т. е. предварительному прокаливанию до ее остекловывания в огнеупорных шамотных тиглях (горшках) емкостью 10—15 *кг*; сплавленную массу в виде вязкого стекла быстро выливают в холодную воду. В больших производствах смесь фриттуют в особых ванных печах. Для изготовления Ф. в США применяют вращающиеся печи фирмы U. S. Smelting Furnace Co., Belleville, Ill. На фигуре дана ванная печь

для фриттования производительностью 1,6 *т* в сутки. Смесь загружают в печь через отверстие *1* в своде. Газы из топки *2* поступают в ванное пространство, затем проходят над расплавляемой массой и уходят в дымовой боров *3*; расплавленная Ф. по жолобу *4* поступает в чугунный бассейн с водой. Ф. затем тонко измельчают и смешивают для получения глазури с определенным количеством глины. Из 100 *кг* загруженной в печь смеси остается около 80 *кг* фритты для фаянса. В печь загружается 600 *кг* шихты; в сутки печь выпускает около 2 000 *кг* Ф.

Состав Ф. для фаянсовой посуды следующий: 33,5% полевого шпата, 13,0% кремня (98,09% SiO_2), 14,5% мела (55,06% CaO, 1,3% MgO), 19,0% буры (52,7% $Na_2B_4O_7$, 47,3% воды), 18,5% сурика свинцового (97,35% PbO, 0,3% Fe_2O_3), 1,5% каолина.

Примерный состав Ф. по ф-ле Зегера:

$$\left.\begin{matrix}0{,}157\ Na_2O\\0{,}105\ K_2O\\0{,}468\ CaO\\0{,}015\ MgO\\0{,}255\ PbO\end{matrix}\right\}\ \left.\begin{matrix}0{,}178\ Al_2O_3\\0{,}001\ Fe_2O_3\end{matrix}\right\}\ \begin{matrix}1{,}197\ SiO_2\\0{,}31\ B_2O_3\end{matrix}$$

Для борно-свинц. щелочной глазури состава:

$$\left.\begin{matrix}0{,}25\ Na_2O\\0{,}35\ CaO\\0{,}40\ PbO\end{matrix}\right\}\ 0{,}2\ Al_2O_3\ \left\{\begin{matrix}2{,}50\ SiO_2\\0{,}50\ B_2O_3\end{matrix}\right.$$

берется Ф. следующего состава:

0,25 $Na_2B_4O_7$ в виде прокаленной буры	50,5 вес. ч.
0,35 $CaCO_3$ в виде мрамора	35,0 » »
0,40 PbO в виде сурика	89,2 » »
0,1 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 0{,}2H_2O$ в виде каолина	25,9 » »
2,1 SiO_2 в виде кварцевого песка . .	126,0 » »

Для помола берут на 305,7 вес. ч. Ф. 25,9 вес. ч. каолина. При бессвинцовой щелочной глазури состава

$$\left.\begin{matrix}0{,}3\ K_2O\\0{,}5\ Na_2O\\0{,}2\ CaO\end{matrix}\right\}0{,}38\ Al_2O_3\left\{\begin{matrix}2{,}2\ SiO_2\\0{,}4\ B_2O_3\end{matrix}\right.$$

состав фритты следующий:

0,3 K_2O; 0,3 Al_2O_3; 1,8 SiO_2 в виде полевого шпата	167,1 вес. ч.
0,2 $Na_2B_4O_7$ в виде прокален. буры	40,1 » »
0,3 Na_2CO_3 в виде соды кальцинир.	31,8 » »
0,2 $CaCO_3$ в виде известкового шпата	20,0 » »
0,24 SiO_2 в виде кварцевого песка	14,4 » »

При помоле Ф. добавляется на 251 вес. ч. Ф. 20,7 вес. ч. каолина.

Лит.: Будников П., Керамическая технология, ч. 2, Харків—Київ, 1933; Орлов Е., Глазури, эмали, керамические краски и массы, Л., 1931; Бердель Е., Приготовление керамических масс, глазурей и красок, пер. с нем., Л., 1931; Лисин Б., Производство фарфора и фаянса, Киев, 1923; Беркман А., Производство фарфора и фаянса в Германии и США, «Керамика и стекло», М., 1931, 9; Watts A., «Am. Cer. Soc.», 1923, p. 1150; Firth, Hodkin, Turner D. a. W., «Journ. of the Soc. of Glass Technology», L., 1923, p. 207; Turner D. a. W., ibid., 1923, p. 218; Vielhaber L., «Feuerfest», Lpz., 1925, p. 90, 9. **П. Будников.**

ФРУКТОЗА, см. *Левулёза*.

ФРУКТОВОДСТВО (производство фруктов) объединяет ряд отраслей сел.-хоз. производства, занимающихся разведением и использованием многолетних плодовых растений (принадлежащих гл. обр. к древесным и кустарниковым породам): а) плодоводство, б) ягодоводство, в) виноградарство, г) цитрусоводство (апельсины, мандарины, лимоны), д) питомниководство. Общее количество видов растений, используемых для этой цели, включая и дикорастущие, достигает до 100—120 при большом количестве и многообразии сортового состава. Основными плодовыми породами являются: яблоня, груша, айва, абрикос, персик, слива, черешня, вишня, виноград, земляника, малина, смородина, крыжовник, мандарин, грецкий орех, лещина и др. Подобно другим отделам практического растениеводства Ф. в своей деятельности опирается на данные ботаники, генетики, климатологии и с.-х. техники. Мнения некоторых специалистов расходятся в отношении того, какие плоды следует отнести к понятию фрукта с садоводственной точки зрения. Одни включают сюда не только ягоды и орехи, но и томаты и дыни. Другие же рассматривают два последних вида под отделом овощеводства, а ореховым культурам отводят специальный отдел. Для практич. цели эти разграничения не существенны. В древние времена Ф. преобладало гл. обр. в жарких странах, где фрукты являются одной из главных составных частей пищи населения, однако за редкими исключениями в то время оно имело только местное значение. В новейшую эпоху, с развитием капитализма, производство фруктов как объект внутренней и внешней торговли стало быстро расти. С улучшением путей сообщения и открытием новых стран площадь под садами возросла до огромных размеров. Особенно яркую картину этого роста представляют США, в частности Калифорния. Экспорт свежих фруктов из этой страны удвоился за пятилетие с 1923 по 1927 г., а винограда за то же время—утроился. В 1928 г. в США было выращено 180 000 000 бушелей яблок (бушель свежих фруктов ~ 22 *кг*), ~22 000 000 бушелей груш, 57 000 000 бушелей персиков, свыше 2 млн. *т* винограда и свыше 56 000 000 ящиков цитрусовых (в ящике ~ 32 *кг*). Этот колоссальный рост фруктоводства шел совершенно стихийно, без всякого плана и без научного географического распределения культур. Разведение той или иной плодовой породы определялось преобладающими ценами на продукты, близостью к путям сообщения, формами землевладения и другими экономич. условиями капиталистич. х-ва, а также политич. границами. В 1930 г. производство фруктов в Калифорнии достигло 5 000 000 *т*, но в следующем году оно упало на 25%. В это время стало резко ощущаться относительное перепроизводство, обилие фруктов наряду с недоеданием миллионов людей, не могущих купить эти фрукты. В результате не только уничтожались эти не находящие сбыта продукты данного сезона, но производители стали систематически выкорчевывать большие площади виноградников и садов, особенно персиковых. Однако сокращение урожая в 1931 г. не оказало значительного влияния на цену фруктов, полученную производителем. В 1929 г. ценность 1 *т* выражалась в 72 долл., в 1930 г. в 36 долл. и в 1931 г. в 39 долл.

При производстве плодов для прибыли в расчеты производителя обычно не входит соображение о высокой диэтич. ценности фруктов. Плоды и ягоды до настоящего времени занимают небольшой уд. в. в питании населения, являясь продуктами высоких вкусовых свойств. Однако наличие в них *витаминов* (см.), к-рые имеют исключительно большое значение для улучшения обмена веществ в организме и находятся в плодах и овощах, делает плоды и ягоды необходимой и обязательной частью питания. Специалистами Департамента земледелия США было вычислено, что до 20% общего количества нужных калорий следует получать из фруктов и овощей, чтобы удовлетворительно балансировать диэту. Между тем по статистике 1925 г. в целой стране не нашлось бы достаточно фруктов и овощей, чтобы заполнить эти нужные ее населению 20% калорий, даже если бы ничто не экспортировалось и все утилизировалось с тщательной бережливостью. В СССР, где организация Ф. составляет часть единого хозяйственного плана и где его развитие имеет своей задачей наиболее полное удовлетворение нужд населения, представляется возможность грандиозного научного расширения культур всевозможных сортов фруктов применительно к разнообразным условиям климата и почвы.

Климатич. условия, и на первом месте $t°_{крит.}$, являются главным фактором, определяющим возможность той или иной культуры в какой-либо местности. По совокупности таких условий принято различать три главные фитоклиматич. зоны: тропическую, субтропическую и умеренную. Границы этих зон нельзя выразить в определенных географических широтах: их предельные сев. границы зависят от минимальных изотерм, которые варьируют соответственно расположению гор и морей, направлению и характеру ветров и т. д. Так напр., теплый пояс Калифорнии, заключающий в себе более 6 000 *га* садов, простирается узкою полосою не с В. на З., а с С. на Ю. длиною ок. 850 *км*, шириною же местами всего ок. 4 *км*, а местами ок. 42,5 *км*. Яблони принадлежат к растениям умеренной зоны и могут удовлетворительно плодоносить под 20° с. ш. на высоте более 2 000 *м*, но не проявляют этой способности ниже 30-й параллели на высоте 300 *м* над уровнем моря. Культура персиков в районе Великих озер С. Америки была продвину-

та к С. почти на 8° широты дальше ее обычной границы благодаря тому, что проходящие над озерами зимние ветры приносят в лежащие на их пути сады обогретый воздух. Не только предельные $t°$, но и общая сумма тепла, получаемого в сезон, продолжительность лета, продолжительность зимы, количество осадков и все другие климатические условия играют роль в успехе Ф. Предельные $t°$ указывают границу, дальше к-рой та или другая культура будет в промышленном отношении не выгодна. Были испытаны разные меры предупреждения повреждений от морозов. Перед началом зимовки не д. б. молодых растущих побегов, так как в этой стадии древесина легко погибает. Где есть возможность, для сада выбирают наиболее благоприятное местоположение: теплый склон, доступность теплым ветрам и т. д. Где разница между предельными $t°$ невелика, полезно обвязывать на зиму молодые деревья соломой или ветками. Виноградные лозы пригибают к земле и покрывают каким-нибудь материалом. Иногда не только отдельные деревья, но и целые площади садов покрываются материей. Производится искусственный ветер, чтобы искусственно смешать более теплый верхний с более холодным нижним воздухом. В холодные ночи делается поливка теплой водой (в некоторых частях Ю. Калифорнии из глубоких колодцев получается вода с $t°$ до 35°). Однако не все подобные меры экономически выгодны или общеприменимы. Возможно впрочем изменение неблагоприятных условий, т. е. действительное повышение $t°$ в садах на несколько градусов. Этого достигают путем искусственного согревания. При сравнительно легких морозах, какие бывают зимою в субтропиках, полоса охлажденного воздуха обыкновенно невысока, т. ч. в тот момент, когда на поверхности земли $t°$ доходит до −3° или −4°, на высоте 12 *м* над поверхностью она может быть всего 0° или −1°, что уже не опасно даже для лимонов. Требуется таким образом повысить $t°$ холодной полосы, окружающей деревья, до желательного предела. Окуривание деревьев без выделения достаточного тепла бесполезно. Грелки, дающие наиболее полное сгорание, считаются самыми практичными. В качестве горючего материала употребляют дистиллат нефти (28—35° Bé) или брикеты, реже каменный уголь. Наиболее теперь обычными для нефтяного топлива считаются грелки емкостью в 7—9 *л* и с трубою ок. 60 *см* высоты. Медленное сгорание при большом количестве небольших грелок (125—250 на *га*) более экономно, чем быстрое сгорание в больших печках, если $t°$ не падает слишком быстро или слишком низко. При быстром образовании большого количества тепла оно уходит выше предела безопасности и растрачивается бесцельно. Для определения момента зажигания при наименьшей затрате времени и энергии термометры в садах соединяются с термостатом и будильником в квартире лица, заведующего этой работой. Т. о. темп-ра м. б. действительно повышена на 4° и больше. Применение искусственного согревания дает возможность бороться с легкими морозами: зимою—в субтропич. зоне, а весной—в умеренной. Найдено, что обогреть т. о. можно даже небольшой участок, не свыше половины *га*. Сообразно с их приспособленностью к условиям $t°$ растения распределяются по тем же трем главным фитоклиматическим группам, что и климат.

К тропич. растениям обыкновенно относятся те, к-рые не могут существовать долгое время при $t°$ ниже 15° и совершенно не растут там, где она падает значительно ниже 4,5°. Т. о. тропические растения совершенно не выносят морозов. Сюда относятся: бананы (Musa sp.), ананасы (Ananas sativus), папайя (Carica papaya L.) и многие другие, пока менее существенные в международной торговле. В современных пределах СССР тропич. зоны не существует и строго тропич. культуры на открытом воздухе невозможны. Границы субтропич. зоны отличаются еще большей кривизной, чем границы тропич. зоны. Кроме того нек-рые участки этой зоны совершенно оторваны и окружены следующей за нею в $t°$-ном отношении умеренной зоной. Субтропики характеризуются резкими переходами в $t°$, причем разница между самой низкой и самой высокой $t°$ года доходит иногда до 50°. Однако в тех районах, где ведется культура субтропических фруктовых деревьев, предельная минимальная изотерма должна оставаться б. или м. в области −8° или во всяком случае не спускаться на продолжительное время значительно ниже этого пункта. Некоторые авторы выделяют более холодную полосу субтропиков в особую зону—полутропическую; другие же выделяют известные типы субтропической зоны, напр. средиземный. Для практич. Ф. такие подразделения имеют значение только при детальном рассмотрении климатич. реакций отдельных культур. К плодовым растениям субтропич. зоны относятся многие хорошо известные и очень важные в диэтич. отношении фрукты: цитрусовые [разные виды рода Citrus (вкл. л., *1*), как апельсиновое дерево (США, Калифорния), лимоны, мандарины, помело и др.], винные ягоды, оливки, хурга, авокадо, гранаты и финики.

Цитрусовые стоят очень близко к тропическим культурам по своей чувствительности к низким $t°$. Чтобы избежать серьезных повреждений как древесины, так и плодов, окружающая деревья $t°$ не должна спускаться ниже −2° в лимоновых рощах и ниже −3,5° в апельсиновых, мандариновых и помело. Это сильно суживает природные границы цитрусовых районов, но благодаря усовершенствованным методам искусственного согревания их удается расширить до черты минимальной изотермы −6° или даже −7° для лимонов и почти −8° для других цитрусовых. В США в настоящее время согревается более четверти всех цитрусовых рощ. Все нужное оборудование в этих случаях держится наготове каждую зиму. Расходы по оборудованию в те годы, когда согревания не требуется, высчитываются приблизительно в 67 долл. на *га*, а с добавлением топлива и рабочей силы в среднем 80—108 долл. на *га* в год, в зависимости от числа ночей, требующих согревания. Такие затраты найдены вполне оправдываемыми и окупаются не только сбереженными фруктами в данный сезон, но также и способностью защищенных от повреждений деревьев давать лучшие урожаи в последующие годы. Сделанные в правильно выбранном географич. районе цитрусовые посадки не требуют ни особенно сложного ни особо трудного по сравнению с другими фруктовыми насаждениями ухода. Лимоны, хотя и более чувствительны к морозам, не требуют такого жаркого лета для созревания, как апельсины. Если зимняя темпе-

ратура не слишком низка, лимоны могут цвести круглый год. В США годовой урожай с *га* составляет 22—30 *m*, т. е. на 20—25% больше, чем с апельсиновых насаждений. Главными мировыми поставщиками лимонов являются Италия (30%) и США. В США эта пром-сть возросла почти втрое в течение первой четверти этого столетия. Но после этого молодых посадок сделано мало, т. ч. значительного увеличения производства в США пока не ожидается. Площадь под апельсиновыми рощами очень велика и таковые имеются во всех частях света. В отношении экспорта Европа занимает первое место, причем Испания поставляет приблизительно 64%, за нею следует Италия—10%, затем США—8%, Палестина—6% и Южная Африка—3%. В 1928 году на мировой рынок было экспортировано 31 700 000 ящиков апельсинов (~32 *кг* ящик). Новые посадки апельсиновых деревьев продолжаются. Культура мандариновых деревьев и сродных видов других цитрусовых деревьев менее популярна, и на мировом рынке эта группа составляет всего 5% общего количества цитрусовых. Помело (Citrus paradisi=C. racemosa Marc.) не столь широко известен в Европе, как апельсин, но продолжает постепенно завоевывать рынок. Он обладает теми же диэтич. качествами, что и апельсин, и к тому же менее прихотлив по отношению к климату и почве, однако в районах с более умеренной летней $t°$ требует более года для полного созревания. Разведение этого сорта успешно ведется в Америке, Юж. Африке и Вест-Индии. В 1928 г. стоимость мирового производства помело исчислялась в сумме 30 000 000 долл. В течение последних нескольких лет Департаментом земледелия США выведены новые гибриды, tangelo, полученные от скрещивания танжеринов (мандаринов) с помело. Нек-рые из этих гибридов обладают превосходными вкусовыми качествами и красивы на вид, напоминая и тем и другим скорее апельсин, чем мандарин и помело. Однако пока не выяснится спрос на эти сорта и их доходность, культура их при существующих условиях в США развиваться не может.

Другие цитрусовые, как lime (C. aurantifolia Swingle), citron (C. medica L.) и kumquat (C. Fortunella sp.), не играют большой роли во Ф. и употребляются гл. обр. для приготовления напитков и в кондитерском производстве. Lime более лимона чувствителен к морозам, и это еще более ограничивает географич. район его культуры. Молодые растущие побеги винной ягоды (Ficus carica L.) легко погибают при малейших морозах. Но закончившая свой рост древесина у нек-рых сортов способна выносить от $-6°$ до $-10°$. Плоды у всех сортов требуют для своего созревания сухого и жаркого лета. Наилучшими географич. районами для разведения фигового дерева считаются лежащие к В. от Средиземного моря и некоторые части Калифорнии. Морозоустойчивость оливкового дерева (Olea europea L.) можно сравнить с наиболее устойчивыми сортами фигового дерева, но оливки, так же как и фиги, требуют значительного количества летнего тепла для своего созревания. Японская хурга (хурма) (Diospyros Kaki L.) (вкл. л., *5*) выносит морозы между -17 и $-18°$, но требует длинного и теплого лета для наилучшего созревания плодов. Авокадо (Persea sp.) очень популярен в тропич. районах Мексики, Гватемалы и Вест-Индии, но в последнее время культура его стала очень быстро развиваться и в субтропиках, особенно в США. В этом отношении мексиканская раса авокадо представляет преимущественный интерес в виду ее способности выносить морозы до -5, $-6°$, проявляя таким образом даже несколько бо́льшую морозоустойчивость, чем цитрусовые. Фрукты авокадо дают богатый жировыми веществами питательный материал, обыкновенно употребляемый в пищу в свежем виде. Финиковая пальма (Phoenix dactylifera L.) в период покоя очень мало повреждается даже при $t°$ в пределах от $-10°$ до $-15°$, но плоды требуют для своего созревания продолжительного жаркого сухого лета. Культура финиковой пальмы была введена в США сравнительно недавно и еще не вышла из экспериментальной стадии. Она довольно успешно ведется в США в орошаемых районах пустыни с очень ограниченным количеством осадков и ярким знойным летом, но попытки к ее культуре на побережьи с гораздо более равномерной $t°$, но и более влажным воздухом, потерпели пока неудачу. Плод jujube, или «китайский финик» (Ziziphus jujuba), действительно похожий по виду и вкусу на сухие сорта фиников, представляет собою желательное добавление к субтропич. разнообразию фруктов; выносит гораздо более низкие зимние $t°$, чем финиковая пальма, но не плодоносит хорошо в районах с прохладным летом. Культура его привилась в полосе Средиземного моря, а в последнее время начала укрепляться и в субтропиках США. Гранаты (Punica granatum L.) стоят близко к финикам и по своей выносливости к морозам и требовательности к летнему теплу для созревания. Этот плод довольно широко распространен в странах, окружающих Средиземное море, но коммерческая культура его как эмигранта в других странах сравнительно невелика.

Субтропич. зона в СССР имеется (Крым, Кавказ и Центр. Азия) и по предварительным обследованиям составляет около 2—3% всей культивируемой площади СССР. Бо́льшая часть этой территории занята специально необходимыми техническими культурами (хлопок и т.д.), но до известной степени субтропическое садоводство тоже ведется, и возможность культуры цитрусовых и некоторых других субтропич. плодов уже достаточно ясно продемонстрирована. С дальнейшим проведением социализации с. х-ва, распределением с.-х. культур по районам и сведением в этой зоне до абсолютно неизбежного минимума тех из них, которые могут с успехом разводиться в умеренной зоне (включая виноград, томаты, дыни), а также с естественным уменьшением потребления биологически ненужных продуктов (как табак и чай) доступная субтропическому Ф. площадь будет увеличиваться. Дальнейшее расширение субтропич. Ф. в СССР будет зависеть от того, с каким успехом будут отвоевываться у природы полосы, лежащие в климатическом отношении непосредственно за пределами субтропиков, т. е. насколько экономно можно будет бороться с морозами путем искусственного повышения $t°$ в изредка холодные осенние, зимние и весенние ночи. Эта работа требует детального климатич. изучения зоны и опытов с разнообразного рода грелками с целью приспособления и усовершенствования существующих в данное время методов. Опыт США показал, что при искусственном согревании цитрусовых рощ можно с прибылью произво-

дить этого типа фрукты не только для внутреннего, но также и для внешнего рынка. Планомерное расширение субтропич. плодовых культур в СССР уже намечается, и в течение пятилетки с 1933 по 1937 г. предполагается увеличить площадь под садами этого типа с 1 500 до 35 000 *га*.

Умеренная зона охватывает самую большую территорию и заключает в себе наибольшее число хорошо известных сортов. Сюда принадлежат: яблони, груши, айва, виноград, различные косточковые и многообразные ягодные.

Яблони (Malus communis) наиболее широко распространены из всех фруктовых деревьев благодаря их устойчивости против морозов, жары и засухи. Возможность их успешного разведения в различных по климату районах зависит от правильного выбора сортов. В настоящее время насчитывается более 2 000 культурных сортов яблонь. Многие из них не представляют никакой ценности. Стандартизация сортов яблонь является одной из насущнейших потребностей, еще далеко не вполне осуществленной. Нек-рые из русских сортов в Канаде выдерживают очень суровые зимы. Южный предел удовлетворительного плодоношения яблони, при высоте не более 300 *м* над уровнем м., заканчивается на 34° с. ш., и плоды наилучшего качества получаются при средней летней *t°* между 11 и 21°. Груша (Pyrus communis) и айва (Cydonia oblonga) чувствительнее яблони к холодным *t°*, но выносят более сильную летнюю жару. Персик (Prunus persica), приближаясь во многих отношениях к субтропич. растениям, продвигается дальше всех других таких растений на С. и м. б. найден в яблочных районах не только США, но и Канады. Цветы персика даже более устойчивы против морозов, чем цветы яблони, но при *t°* ниже −20° древесина может быть повреждена и цветочные почки убиты. Фактором, ограничивающим географич. расширение коммерческих культур персика в умеренной зоне, является не столько низкая зимняя, сколько низкая летняя *t°*. В Англии, Дании и Швеции плоды персика созревают только на юж. сторонах стен. С другой стороны, при слишком высокой зимней *t°* у большинства сортов весенний рост бывает ослаблен. В Юж. Калифорнии после теплой сухой зимы обыкновенные коммерческие сорта не цветут и даже не открывают почек до мая или июня, вследствие чего образовавшиеся в период интенсивной жары завязи опадают, и урожай становится невозможным (вкл. л., *3*). Нектарины схожи с персиками по своим климатич. требованиям, но не имеют такого широкого распространения в виду того, что плохо выдерживают транспорт. Абрикосы (Prunus armeniaca L.) цветут раньше персиков, и поэтому их географич. район более ограничен. С другой стороны, они не требуют такой высокой *t°* для созревания, как персики. Миндаль (Prunus communis) цветет еще раньше абрикосов. Черешня, вишня и отчасти сливы и чернослив (Prunus sp.) несколько более устойчивы против морозов, чем персики. Культура винограда одно время доходила до Великобританских о-вов, но в настоящее время замерла в виду невозможности конкурировать с более теплыми странами, где он может возделываться более выгодно. В юж. полосе СССР разведение винограда является давно утвердившейся отраслью Ф., и теперь ей дается возможность особо широкого развития и продвижения на С. с целью освобождения более теплых районов для более нежных субтропич. культур. Известны два главных типа виноградной лозы: американский (Vitis labrusca) и европейский (V. vinifera). Америк. сорта винограда более выносливы и более устойчивы против болезней и филоксеры. Они гл. обр. разводятся в восточных штатах США. В Калифорнии выращиваются по преимуществу европ. сорта. В некоторых прохладных климатах Европы виноград с успехом разводится под стеклом. Эта пром-сть особенно процветает в Бельгии. В 1930 г. там насчитывалось более 20 000 теплиц, занятых выращиванием винограда и давших ок. 50 000 *m* продукта, из которых более половины было экспортировано.

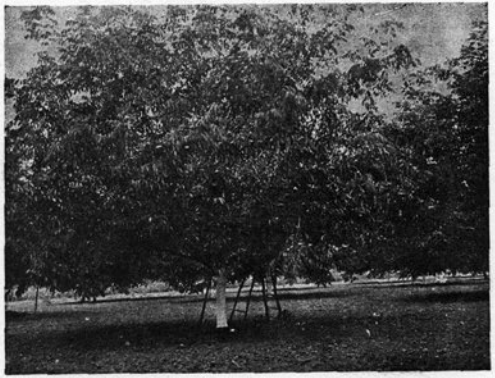
Многое в современной системе и методах Ф. основано не на научных методах, а лишь на долголетней практике, создавшейся при различных условиях и часто противоречивой. Это делает необходимой большую осторожность при заимствовании каких-либо приемов из других географических районов и требует научной проверки и обоснования всех положений применительно к конкретным типам условий. По отношению к почве различные сорта фруктовых деревьев предъявляют некоторые общие требования. Идеальная фруктовая почва приближается к лёссу, к-рый можно найти вдоль некоторых разливных рек. Она должна быть в состоянии удерживать воду и минеральные вещества и быть доступна корням на значительную глубину без опасности затопления высокой водной поверхностью. Где есть возможность выбора, там целесообразно приспособиться к специфическим потребностям не только пород, но и разновидностей деревьев. Яблони, груши и сливы более других видов терпимы к мокрым почвам, тогда как персики, миндаль и черешни менее других страдают при посадке на песчаных почвах. Из цитрусовых помело более терпим к щелочным почвам, чем апельсиновые деревья. Характер почвы влияет также и на качество плодов. Большинство сортов груш лучше удается на тяжелом суглинке, а большинство сортов персиков—на легкой почве. Все сорта яблок повидимому удаются лучше на суглинке не тяжелее речного лёса. Хороший дренаж является необходимым условием как на естественно мокрых, так и на склонных к затоплению искусственно орошаемых участках. Дренаж применяется также для предотвращения или исправления высокой щелочности орошаемых земель. Потребность орошения в какой-либо местности зависит не только от количества годовых осадков, но и от их распределения в продолжение четырех сезонов. Для выработки правильной системы орошения необходимо учесть как потребность отдельных видов растений в воде, так и способность почвы задерживать воду. Большинство фруктовых деревьев обладает значительной засухоустойчивостью. Характером почвы и сухостью воздуха определяются промежутки времени между поливками, близость и форма борозд и методы поливок. В США садоводы в последнее время стремятся к равномерному распределению по поверхности и скорее к умеренному, чем обильному, количеству воды. Влияние орошения на величину плода в последние 4—6 недель перед созреванием весьма велико. Мелкая перепашка летом под деревьями, уничтожая сорные травы, помогает

сохранению почвенной влаги (вкл. л., 2). Глубокая и частая перепашка считается теперь ненужной и даже вредной для всяких видов фруктовых деревьев, нарушая и портя рост корней и вызывая усиленное испарение почвенной влаги. К концу лета или зимою, в зависимости от климата, в США принято выращивать в садах т. н. покровные культуры из бобовых или других растений, которые запахиваются ранней весной (вкл. л., 4, клевер Hubana в качестве покровной культуры в молодой лимоновой роще). Этим достигается как удобрение, так и улучшение физических свойств почвы, а также приостановление слишком позднего роста деревьев, весьма чувствительного к морозам. В остальное время года поддерживается черный пар с возможным уничтожением сорных трав. Азотистое удобрение для садов считается весьма важным и особенно нужным для цитрусовых, меньше для персиков, вишни и малины и еще меньше для яблонь, ежевики и груши. Но чрезмерность вредна, вызывая излишний и несвоевременный рост с затенением плодов и понижением урожая, а с цитрусовыми во Флориде приводит даже к своеобразному заболеванию — отмиранию верхушек (суховершинность). Прибавление к почве других питательных элементов полезно там, где ощущается их недостаток. Добавление извести к кислым почвам помогает крыжовнику и смородине, но не так существенно для фруктовых деревьев в виду их большой терпимости к кислотности. Высокая щелочность почв связывает железо, делая его недоступным для деревьев и вызывая хлороз. Приготовление идеальной садовой почвы сводится к простым операциям перепашки и выкопки ямок, а также некоторой нивелировке, если намечается орошение. В других же случаях требуется насколько возможно искусственно приблизить почвенные условия к идеальному состоянию, требуемому предполагающейся культурой. Практикуется в некоторых случаях не только глубокое подпочвенное взрыхление, но и взрывание бо́льших или меньших участков динамитом, хотя нужность последнего не находит себе единогласного признания среди специалистов.

Посадка производится либо осенью либо весною, а в теплом климате зимою, по наступлении периода полного покоя. Цитрусовые можно сажать и летом, за исключением самых жарких месяцев. Расстояния между деревьями разнятся смотря по роду культур, а также в зависимости от климата и характера и плодородности почвы. Наименьшим расстоянием довольствуются персики—зачастую 6 *м* или еще меньше (айвы м. б. посажены и ближе); наибольшего же требуют яблони, и при благоприятных условиях роста, как в лучших районах США, им дается до 14 *м* в каждую сторону, хотя более обычным считается расстояние около 10 *м*. Несколько меньшего расстояния требуют груши, абрикосы и цитрусовые. Иногда между великорослыми сильными деревьями сажают заполнители, т. е. слаборослые и малорослые, или карликовые, культуры, например между яблонями или грецкими орехами помещают персики, наивысшая урожайность которых заканчивается приблизительно к тому времени, когда другим культурам требуется больше пространства и заполнители т. о. могут быть удалены без бо́льших потерь. Размножение фруктовых деревьев и кустарников и получение молодых деревьев желательных сортов достигаются путем прививки или проращенными черенками. В этих операциях большое внимание уделяется выбору подвоя, надвоя и черенков. Подвой влияет на дальнейший рост и плодоношение дерева, а также от него часто зависит приспособленность или неприспособленность данного индивидуума к условиям почвы и степень его устойчивости против атак почвенных паразитов. Персики, привитые на абрикосовый подвой, могут быть с достаточным успехом посажены в зараженную нематодами почву. Культура европ. сортов винограда возможна в зараженных филоксерой районах, если их привить на америк. сортах, и т. д. С другой стороны, почки и черенки, взятые с больных или неплодородных веток, как правило способны развиваться в больные и неплодородные деревья. При посадке делается довольно суровая, но систематическая обрезка соответственно с установленными правилами и принципами. Последующая обрезка разнится в значительной степени в зависимости от пород фруктовых деревьев. У цитрусовых и некоторых других субтропических деревьев она сводится к простому удалению мешающих или мертвых веток, но большинство фруктовых деревьев умеренной зоны подвергается регулярной годичной подрезке как для придания им нужной формы, так и для лучшего плодоношения [вкл. л., 6, обрезка грушевых деревьев (типичная для США)]. Наиболее суровая подрезка дается виноградной лозе, причем часто оставляют только 2—3 почки на двух-трех новых побегах, а все остальное удаляется. Срезанные ветки нередко сразу же сжигаются в специальных передвижных железных вместилищах (вкл. л., 9). Как правило обрезка производится зимою или ранней весной, в периоде покоя. Летняя обрезка может вызвать поздний рост и поэтому нежелательна. Осенняя подрезка может не вызвать роста до следующей весны. Некоторые сорта винограда, а также малина и сродные с нею ягодные кустарники подвязываются к проволокам (вкл. л., 7). Обильно плодоносящие ветви деревьев поддерживаются подпорами во избежание полома, но в современных садах это б. ч. предотвращается правильным разрежением, т. е. удалением излишних плодов вскоре после приостановки опадения молодых завязей. Опыление в садах (за исключением ореховых) производится исключительно при посредстве насекомых. Если посадки состоят из сортов самостерильных, то среди них могут быть посажены на расстоянии 30—40 *м* ряды таких деревьев, пыльцою к-рых они м. б. оплодотворены. Если же это невозможно, то во время цветения в саду ставят срезанные цветущие ветки таких сортов. Существуют и партенокарпные и другие бессемянные сорта плодов. Среди них есть апельсины (Washington navel, Satsuma), некоторые сорта винных ягод, несколько сортов груш, бессемянный виноград и хурга.

С самых первых дней своего существования фруктовые деревья требуют неустанного внимания садовода в деле защиты их от всякого рода вредителей и болезней и борьбы с таковыми. Этим делом ведают две специальные отрасли с.-х. наук: энтомология и фитопатология. При промышленном разведении фруктов время их сбора определяется не столько степенью их натурального

1



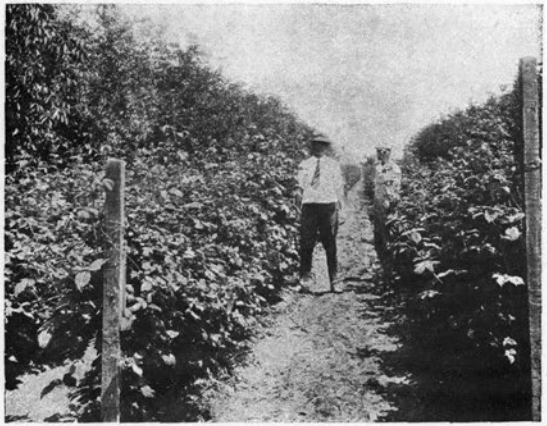
2

3

4

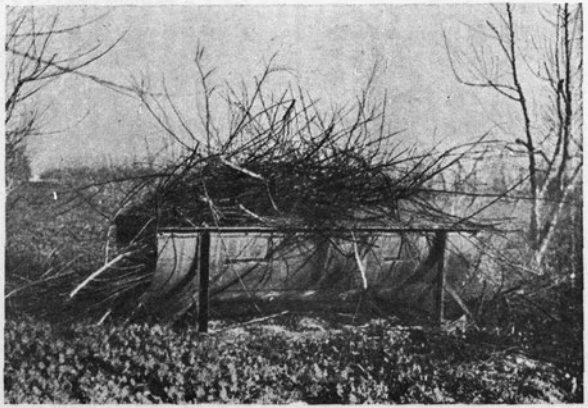
5

6

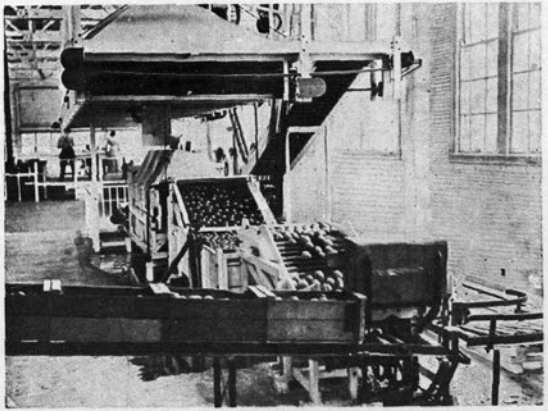


7

8



9



10

созревания или внешними климатическими условиями или же потребностью массы населения в этих продуктах, сколько возможностью получить за них наивысшую цену. Поэтому многие фрукты, особенно летние яблоки, снимаются гораздо раньше, чем они способны выявить свои лучшие качества. Поставить на рынок что-либо «вне сезона», когда цены стоят ненормально высокие, стало в США стремлением каждого фермера. В отношении цитрусовых существуют некоторые ограничения. Так напр., законами штата Калифорния требуется, чтобы соотношение к-ты к растворимым твердым веществам было не выше 1 : 8 в апельсинах и не выше 1 : 5,5 или 1 : 6 в помело. В виду того что преждевременно сорванные фрукты часто бывают непривлекательны на вид и обладают грубой физической структурой, довольно широко практикуется искусственное вызревание, достигаемое действием этиленового газа (см. *Этилен*). Приемы сбора фруктов различны: некоторые срывают руками или при помощи механических приборов (яблоки, груши), а нек-рые срезают ножницами (цитрусовые, виноград). Но во всех случаях сбор должен производиться с большой осторожностью, чтобы избежать повреждений фруктов, так как это ведет к быстрой порче и загниванию свежих фруктов при хранении и транспортировке. Поэтому в качестве приемников пользуются часто мягкими мешками или ведрами с подушечками. Собранные фрукты сортируют в соответствии с установленными нормами. Рассортированные плоды упаковывают в бочки, ящики и коробки разнообразных форм и величин. Упаковку в бочки часто делают в садах непосредственно после сбора, но обыкновенно сортировка и упаковка производятся в особых упаковочных помещениях, где фрукты подаются на конвейерах и вообще есть возможность довести механизацию до наивысшего предела. Фрукты, подвергшиеся во время сезона многократному *опрыскиванию* (см.) ядами с целью защиты от болезней и вредителей, могут содержать на своей поверхности опасное для здоровья количество таких составов и их необходимо смыть перед упаковкой. Фрукты промывают в чистой воде или прибавляют к ней еще слабый раствор к-ты; для промывки существуют специальные машины (вкл. л., *10*). Многое уже сделано для стандартизации упаковочной тары для фруктов, но еще существует в этой области большое и ненужное разнообразие. По стандартам США *яблоки* и *груши*, особенно несортированные или же второстепенные, упаковывают в бочки (бочка фруктов—брутто ~60 *кг*) и в ящики (отборные), а иногда и в картонные коробки. Для упаковки груш пользуются также неплотными коробками (или ящиками) и плетеными корзинами. Косточковые плоды и ягоды пересылают в плетеных корзинах или небольших коробках (вкл. л., *8*). Цитрусовые перевозят почти исключительно в ящиках. На местные рынки фрукты часто доставляют на грузовых автомобилях, мало отсортированные и без определенных вместилищ. За исключением нежных косточковых плодов свежие фрукты перевозят на очень большие расстояния и сохраняют в свежем виде довольно долгое время. Это является возможным благодаря вагонам-холодильникам (как железнодорожным, так и моторным) и складам-холодильникам. Оптимальную $t°$ в холодильниках устанавливают в зависимости от рода фруктов. Так, яблоки и груши хорошо держатся при $t°$, близкой к точке замерзания или чуть-чуть ниже, тогда как для цитрусовых $t°$ д. б. на несколько градусов выше нуля, т. к. при нуле образуется физиологическая пятнистость кожицы. Количество фруктов, поставляемых на мировой рынок в свежем виде, превышает половину всего годового производства и составляет огромную цифру. Мировой экспорт яблок в 1928 г. равнялся приблизительно 15 000 000 *ц*, а мировой экспорт апельсинов достиг 22 000 000 *ц* (из 39 000 000 *ц* всего производства). Другая половина частью потребляется на месте, а частью подвергается переработке, которая делает возможным использование этих продуктов в течение продолжительного времени. Наиболее новым процессом консервирования фруктов является замораживание. Хотя этот процесс и не достиг еще высшей точки своего развития, но он уже служит основой для предприятий с общим оборотом капитала в 10 000 000—12 000 000 долл. Насущной задачей этой индустрии, от удачного разрешения к-рой зависит ее дальнейший успех, является усовершенствование метода настолько, чтобы после оттаивания фрукты близко напоминали свежие. Нек-рые опыты в этом направлении с персиками и с земляникой в США были довольно успешны. Вишни и черешни замораживают в большом количестве для кондитерских и булочных. Новейшие опыты с ананасами и брусникой дали также удовлетворительные результаты. Увеличивается потребление замороженных фруктовых соков, особенно апельсинового. Большая часть неферментированных фруктовых соков приготовляется в стерилизованном виде. Путем двух типов ферментации свежий фруктовый сок превращается в алкогольные напитки или в уксус. Консервирование в уксусе практикуется довольно широко, но такие консервы не составляют значительной части пищи населения, а с диэтич. точки зрения считаются вредными, как способствующие разрушению щелочной базы организма. Консервирование в густом сахарном сиропе с помощью легкой варки находит себе выражение в хорошо известном русском вареньи и всякого рода других сродных приготовлениях, включая конфеты. В США под влиянием сильного движения против излишка сахара в диэте, как вредного для здоровья, появилось много превосходных изделий из фруктов, заменяющих конфеты, но без добавления сахара. Самым важным в пищевом отношении методом консервирования является баночное консервирование при помощи высокой температуры и с малым количеством сахара или совсем без сахара. Консервирование в жестяных банках развилось в США в течение первой четверти этого столетия до колоссальных размеров. Быстро развивается это дело в СССР и в Австралии. Более 3 млрд. жестяных банок потребляет ежегодно консервная пром-сть на консервирование пищевых продуктов. В США потребление консервированных продуктов возросло сильнее, чем свежих. В 1899 г. на душу приходилось 76,8 *кг* фруктов, из к-рых 3,2 *кг* были подвергнуты консервирующим процессам. В 1927 г. общее количество фруктов было 87,3 *кг*, из коих 11,4 *кг* было консервировано: таким образом за период в 28 лет потребление фруктов в свежем виде в США почти не изменилось, а увеличилось только потребление консер-

вов. Большое число американских баночных консервов вывозится в Европу.

В последнее время в СССР колоссально развивается своя консервная промышленность. Процесс баночного консервирования в настоящее время высоко механизирован, включая даже такие трудные детали, как извлечение персиковых косточек, но размеры и формы банок еще далеко не вполне стандартизованы. От сортов фруктов в значительной степени зависит успех дела. Многие превосходные десертные сорта совершенно не годятся для консервирования в банках и, наоборот, сорта, более пригодные для такой цели, являются часто плохими столовыми сортами. Таким образом с развитием баночного консервирования вырастают специальные отрасли садоводства, снабжающие эту пром-сть сырьем. Сушка на солнце, на открытом воздухе, издавна была и теперь еще остается самой популярной формой заготовки продуктов впрок. Она представляет существенные преимущества по сравнению с консервированием: меньшие издержки производства, сахар не нужен, а вес и объем получаемого продукта меньше. 1 *т* (2 240 англ. фн.) персиков после сушки уменьшается до 400 англ. фн., а с упаковкой до 450 англ. фн., а 1 *т* тех же персиков в жестянках и с упаковкой вырастает до 28 000 фн. Огневая сушка в сушилках стала вводиться только с 70-х гг. прошлого столетия. Она требует затрат на оборудование и топливо и повидимому развивается гл. обр. там, где при наличности дешевого сырого материала климатич. условия не позволяют использовать его для солнечной сушки (напр. яблоки в вост. и сев.-зап. штатах США). Главной задачей сушки является довести концентрацию растворимых веществ в продукте до такой степени, при к-рой развитие микроорганизмов будет невозможно. Это достигается при концентрации в 65% или выше, причем % влаги м. б. при той же концентрации различен. До недавнего времени страны, окружающие Средиземное море, поставляли большинство продуктов мировой солнечной сушки, но к началу второй четверти этого столетия Калифорния стала поставлять большинство сушеных фруктов: изюм, чернослив, персики и абрикосы. В 1921 г. Калифорния произвела 273 500 *т* сушеных фруктов всех сортов, а в 1927 г. она произвела одного изюму свыше 200 000 *т*, чернослива свыше 150 000 *т* и винных ягод ок. 50 000 *т*, что в общей сумме превышает количество тех же продуктов, произведенных в том же году всеми другими странами, взятыми вместе. Из других форм утилизации фруктов и фруктовых отбросов на консервных ф-ках можно упомянуть следующие: производство оливкового масла и масел из семячек винограда (виноградное масло) (см. *Выжимки виноградные*), косточек абрикосов, персиков и вишен и из кожуры цитрусовых, таннина из виноградных семячек, лимонной кислоты и пектина из бракованных лимонов и использование снятых кожиц, выжатого сока и т. д. для желе, мармелада и т. п. продуктов. Отбросы на консервных фабриках составляют ежегодно огромную массу органич. вещества, которое можно и следует использовать отчасти для дальнейшей переработки в пищу, отчасти для технич. надобностей. Так напр., в одной Калифорнии получается ежегодно после выжатия виноградного сока 7 800 *т* виноградных веток (5% первоначального веса), из к-рых можно получить 150 *т* винного камня (ок. 2% $KC_4H_5O_6$). Мускатный виноград, перерабатываемый на изюм, дает ~5 000 *т* (8—12% первоначального веса) семячек, на которых находится достаточно виноградной мякоти, чтобы дать 20% этого веса в виде сиропа. С полученных вишневых косточек получается сока ценностью до 70 долларов с каждой *т*. Утилизацию фруктовых отбросов применяют как в Европе, так и в США, но все-таки еще значительная доля этого материала остается использованной плохо или совсем неиспользованной.

Лит.: Кичунов Н., Прививка и размножение различных грунтовых деревьев и кустарников, М., 1930; Мичурин И., Итоги полувековых работ, М., 1929; Пашкевич В., Общая помология, Л., 1930; Рубцов Г., Груша, Л., 1931; Auchter E., Knapp H., Orchard a. Small Fruit Culture, N. Y., 1929; Bailey L., The Principles of Fruit Growing, N. Y., 1915; Bailey L., The Pruning Book, N. Y., 1898; Bailey L., The Nursery Manual, N. Y., 1920; Bedford, Duke of, Pickering S., Science a. Fruit-Growing, L., 1923; Brown B., Modern Propagation of Tree Fruits, N. Y., 1916; Card, Fred W., Bush Fruits, N. Y., 1898; Chandler W., Fruit Growing, N. Y., 1925; Chandler W., North American Orchards, Philadelphia, 1928; Cruess W., Commercial Fruit a. Vegetable Products, N. Y., 1924; Fairford F., Fruit a. the Fruit Trade, L., 1926; Fraser S., American Fruits, N. Y., 1931; Gardner V., Bradford F., Hooker H., Fundamentals of Fruit Growing, N. Y., 1922; Gardner V., Bradford F., Hooker H., Orcharding, N. Y., 1927; Gould H., Peach Growing, N. Y., 1918; Gourley J., Textbook in Pomology, N. Y., 1923; Hedrick U., Manual of American Grape Growing, N. Y., 1919; Janson A., Der Grossobstbau, B., 1924; Opoix O., La culture du poirier et du pommier, P., 1921; Passy P., Arboriculture fruitière, P., 1920; Sears F., Productive Orcharding, Philadelphia, 1924; Sears F., Productive Small Fruit Culture, Philadelphia, 1920; Tamara, Domenico, Trattato di frutticoltura, Milano, 1928; Waugh F., Fruit Harvesting, Storing a. Marketing, N. Y., 1908; Beckwith C., Coville S., Blueberry Culture, «N. Y. Exp. St. Bull.», 1927, *200*; Darrow M. a. other, Establishing Cranberry Fields, «U. S. D. A. Farmers Bull.», 1924, *1400*; Managing Cranberry Fields, ibid., 1924, *1401*; Stukey H. Mathews C., Swingle a. other, New Citrus Hydrids, «U. S. D. A. Circular», 1931, *181*; Trade Promotion Series, «U. S. Department of Commerce», *44* a. *90*. **М. Шапошников (США).**

Мировое Ф. и роль в нем СССР. Ф. относится к второстепенным отраслям с. х-ва и лишь (США) в нек-рых странах (Италия, Испания, Греция) составляет одну из главных отраслей. Ф. имело довольно значительный рост до войны почти во всех странах, после войны 1914—18 гг. лишь в нек-рых (США, Австралия, Юж. Африка); в настоящее время и за последние 5 лет остановилось в росте и даже падает всюду кроме СССР. Общая площадь всех плодовых насаждений составляет примерно 23 млн. *га*, из к-рых один виноград занимает 10 млн. *га*, или 44%. Продукция этих насаждений в среднем равна 72 млн. *т*. Из указанной площади на Европу падает 64%, Америку 16% и Азию 14%. Удельный вес площадей Ф. по главнейшим странам представлен в табл. 1.

Табл. 1.—Удельный вес площадей, занятых под фруктоводство (в %).

Государства	Плодоводство	Виноградарство	Всего
Италия	5,6	31,7	18,7
Франция	6,6	15,8	10,8
США	14,9	4,5	10,1
Испания	2,3	13,6	7,4
СССР	9,1	2,8	6,2
Германия	5,3	0,8	3,2
Португалия	3,0	3,1	3,0

По массе продукции в мировой плодоторговле на первом месте стоят бананы, цитрусы и ви-

ноград, затем сушеные фрукты и яблоки. Общий хозяйственный мировой кризис и вызванное им падение цен очень сильно ударили по Ф. Цены на плоды в Калифорнии (США) за последние 3 года упали в 2—4 раза; многочисленны случаи вырубки даже молодых плодовых насаждений, уничтожения собранного урожая и отказа от уборки урожая. Рост площадей плодовых насаждений в этих условиях исключен для ряда ближайших лет.

Фруктоводство СССР. Довоенная площадь плодовых насаждений составляла 655 тыс. *га* (без винограда), значительно уменьшившись за годы войны 1914—18 гг. и гражданской войны. Восстановление площадей *довоенного уровня было достигнуто* уже в 1926 г., когда эта площадь составляла 674 тыс. *га*. На 1 января 1933 г. общая площадь плодовых и ягодных насаждений СССР составляет 1 350 тыс. *га* со следующим разделением по секторам (табл. 2).

Табл. 2. — Распределение плодовых и ягодных насаждений СССР.

Род насаждений	Совхозы		Колхозы		Необобществл. х-ва		Всего
	тыс. *га*	%	тыс. *га*	%	тыс. *га*	%	тыс. *га*
Сады	151	14	463	44	426	42	1 040
Виноградники	20	8	107	43	123	49	250
Ягодники	16	27	29	48	15	25	60
Итого	187	11	599	44	564	42	1 350

Т. о. удельный вес соцсектора в Ф. является значительным, составляя в целом по всем отраслям 58%; значительное увеличение уд. в. соцсектора происходило в последние годы за счет закладки насаждений почти исключительно в совхозах и колхозах. Уд. в. союзных республик в Ф. дан в табл. 3.

Табл. 3. — Распределение площадей, занятых садами, по республикам (в %).

Союзные республики	Плодоводство	Ягодоводство	Виноградарство	В целом
РСФСР	45	56	20	42
УССР	35	36	27	33
БССР	4	7	—	3,5
ЗСФСР	8	—	29	11
Узб. ССР	6	—	17	7,5
Тадж. ССР	1,5	—	5	2
Туркм. ССР	0,5	—	2	1

Распределение площади плодовых насаждений в РСФСР в процентном отношении представлено в табл. 4.

Табл. 4. — Распределение площади плодовых насаждений РСФСР.

Области и края	Плодоводство	Ягодоводство	Виноградарство	В целом
Московская	8	13	—	8,0
Горьков. край	6	10	—	5,1
ЦЧО	25	15	—	21,6
Н. Волга	12	12	0,6	11.3
Ср. Волга	10	13	—	9,0
Сев. Кавказ	21	8	70	23,5
Крым	4	1	20	5,3
Ленинградская	3	12	—	3,3

Ф. составляет одну из второстепенных отраслей с. х-ва СССР и лишь в нек-рых районах поднимается до уровня одной из главных отраслей (Грузия, Крым и нек-рые районы УССР и Сев. Кавказа). При средней урожайности садов в 3,5 *т* и виноградников в 4 *т* с 1 *га* общая продукция с имеющихся плодоносящих садов СССР достигает до 3 млн. *т*. Незначительные размеры потребления плодов и ягод в СССР, до 14 *кг* в год на 1 душу населения, заставляют принимать необходимые меры к широкому развитию Ф. в совхозах и колхозах.

Породный и сортовый составы Ф. в настоящее время не м. б. определены точно в виду отсутствия еще соответствующей статистики. Это позволит сделать лишь перепись садов, ведущаяся в наст. время. По своему распространению плодовые породы СССР стоят в следующей последовательности: яблоня, виноград, вишня, груша, слива, ягодники, абрикос, персик и прочие породы, к к-рым относятся цитрусовые (мандарин, апельсин, лимон), орех и др. Из ягодников на первом месте стоит земляника, затем идут смородина, малина и крыжовник.

Яблоня — важнейшая плодовая порода СССР, распространена повсеместно за исключением наиболее сев. районов. Ее сев. граница проходит через Петрозаводск, Кадников, Никольск, Вятку, Новосибирск и Иркутск. Уд. в.: 75—100% всех насаждений она имеет в областях Западной, Московской, Горьковском крае, на Урале, в Башкирской АССР, на Ср. Волге и Вост. Сибири; 50—75%—в Северном крае, Ленинградской, Ивановской обл., ЦЧО, Татарской АССР, на Н. Волге, в Зап. Сибири и БССР; 25—50%—на Северном Кавказе, в Крымской АССР, Казакской и Киргизской АССР и УССР; менее 25%—в среднеазиатских республиках, ЗСФСР и ДВК. При громадном сортовом разнообразии насчитывается несколько тысяч сортов яблони; в СССР сейчас наибольшее распространение имеют сорта летние и ранние осенние, тогда как изменение сортового разнообразия должно итти в направлении резкого усиления сортов зимних и позднеосенних. Основные массивы яблони расположены в Московской обл., ЦЧО, на Сев. Кавказе, Ср. и Н. Волге, составляя 70% всех плодовых насаждений РСФСР. Главнейшими вывозными пунктами являются: Калуга, Хачмас, Гори, города Крымской АССР, Мценск, Самара, Тирасполь, Березина и Городня. Установлено всего промышленных сортов 80.

Сев. граница разведения винограда — линия Чернигов, Курск, Воронеж, Саратов. Уд. в. винограда в плодовых насаждениях свыше 50% в Туркменской ССР, от 25 до 50%— на Сев. Кавказе, в Крымской АССР, ЗСФСР, Узбекской и Таджикской ССР, от 10 до 25%— в Казакской АССР и УССР, а меньше 10% в Киргизской АССР и на Н. Волге. Основная масса виноградников сосредоточена в ЗСФСР, Одесской обл. и Молдавской АССР, на Украине, Северном Кавказе, в Узбекистане и Крыму. Все эти районы кроме Узбекистана являются районами весьма развитого виноделия, на которое в целом по СССР расходуется не менее 80% урожая винограда. Основная масса производства сушеного винограда падает на среднеазиатские республики, расходующие на это до 70% своего урожая, а основными районами столового винограда являются Ср. Азия, Дагестан, Н. Волга и в меньшей степени остальные виноградные районы. В новых закладках виноградников значительный рост уделяется развитию столового винограда, производству

безалкогольной продукции наряду с развитием и основных районов виноделия. Имеющиеся в настоящее время закладки питомников америк. лоз позволят в ближайшие годы резко двинуть вперед развитие виноградарства в двух важнейших районах—Грузии и УССР, где наличие филоксеры до сих пор задерживало это развитие.

В и ш н я (и черешня) является третьей по значению плодовой породой в СССР. Район распространения вишни совпадает с яблоней, а у черешни сев. границей является линия Мозырь, средняя часть Харьковщины и б. Донской обл. и Астрахань. Нетребовательность к месторождению и почве, раннее плодоношение и урожайность обусловили значительное распространение вишни в СССР. Уд. в. вишни: от 15 до 20% она занимает в УССР, ЦЧО, Казакской и Татарской АССР, от 10 до 15%—в Московской обл., Горьковском крае, на Ср. и Н. Волге, на Сев. Кавказе, от 5 до 10%—в Ленинградской и Западной обл., Башкирской, Киргизской АССР и БССР, а в остальных районах она занимает менее 5%. Основные массивы вишни находятся в УССР, ЦЧО и на Сев. Кавказе, составляя до 80% всех площадей под вишней. Промышленных сортов установлено 30.

Г р у ш а является четвертой по значению плодовой породой СССР. Сев. ее граница проходит через Ленинград, Ярославль, Горький и Оренбург. Уд. в.: в площадях насаждений от 10 до 15% занимает в Крымской АССР, Ленинградской обл. и БССР, от 5 до 10%—в Западной, ЦЧО, на Н. Волге, Сев. Кавказе, в ДВК, УССР и ЗСФСР, а в остальных районах менее 5%. Основные площади груши расположены в УССР, ЗСФСР, на Сев. Кавказе и в Крымской АССР. Имеет большое количество сортов, из к-рых установлено для промышленных насаждений 48. Большое значение для развития высокоценных зимних и позднеосенних сортов груши приобретают нагорные районы Сев. Кавказа, Дагестана и Закатаевский район Азербайджанской АССР.

С л и в а является пятой по значению плодовой породой в СССР, имеющей очень большой район распространения. Наиболее же ценные сорта сливы, дающие ценный сушеный продукт—чернослив,—находятся на крайнем юге СССР, в Сочинском районе, на Сев. Кавказе, в ю.-в. части УССР, Абхазии и Грузии. При небольшом уд. в. для СССР в целом она имеет очень высокий уд. в. (до 60%) в ДВК, а от 5 до 10%—в Западной области, ЦЧО, на Н. Волге, Сев. Кавказе, в Казакской АССР, УССР и БССР, составляя в прочих районах менее 5%. Основные массивы сливы находятся в УССР, на Сев. Кавказе, в ЦЧО и Грузии, составляя свыше 80% всех сливовых площадей СССР. Для промышленных насаждений установлено 46 сортов.

Я г о д н и к и распространены в подавляющей своей части в средней части СССР. Из отдельных пород особое значение имеет разведение черной смородины, обладающей исключительно высокими антицынготными качествами. Высокий уд. в. в насаждениях, 25—50%, ягодники имеют в Северном крае и З. Сибири, от 15 до 25%—в Ленинградской, Ивановской, Уральской обл., В. Сибири, Горьковском крае, ДВК и Башкирской АССР, а от 5 до 10%—в Татарской АССР, на Ср. Волге, Н. Волге, в УССР и БССР, составляя в остальных районах менее 5%. Основные массивы ягодников находятся в УССР, ЦЧО, Московской обл., БССР, Ленинградской обл., на Ср. и Н. Волге, составляя до 80% всех насаждений. Рекомендуется для посадок 40 сортов.

А б р и к о с и п е р с и к имеют ограниченный район своего распространения, находясь исключительно на юге СССР. Высокий уд. в., 30—35%, они имеют в среднеазиатских республиках. В остальных районах ЗСФСР, на Сев. Кавказе, в УССР занимают не свыше 1—2% площади плодовых. Основной массив насаждения абрикосов и персиков расположен в Ферганской долине и ее продолжениях в Ср. Азии, в УССР на Херсонщине и в ЗСФСР (в Армении). Рекомендуется для промышленных насаждений 60 сортов.

Из мелких плодовых пород, занимающих в культурных насаждениях пока ничтожное место, но имеющих все же большое значение, необходимо отметить орех и цитрусовые породы. О р е х (в садах его посадки незначительны) встречается в Ср. Азии и в ЗСФСР. Основная масса получаемых нами орехов добывается с дикорастущих деревьев. Основные массивы его находятся в Ср. Азии (Каракалла, Верхний Зеравшан, Горно-Бухарский район, с.-в. часть Ферганы, верховья реки Чирчик, Андижанский, Ашхабадский и Хивинский районы), в ЗСФСР (районы Нухинский, Закатальский, Абхазская АССР), в Дагестане (Табассаранский, Кюринский, Махач-Калинский районы) и в Киргизии (Аравайбуринский район). Ц и т р у с о в ы е—к ним относятся мандарин, апельсин и лимон; общая площадь насаждений цитрусовых достигает 3 000 *га*. Основной массив, до 99% всех площадей, находится в Грузии и 1% в Сочинском районе РСФСР. В Аджарской АССР находится $^2/_3$ всех цитрусовых, а по $^1/_6$ в Зап. Грузии и Абхазской ССР. В площадях, занятых цитрусовыми, мандарины занимают 96%, представляющие насаждения одного сорта—уншиумикан.

Остальные плодовые породы—гранат, винная ягода, японская хурма, маслина и др.—имеют ничтожный уд. вес и имеют распространение на крайнем юге СССР, встречаясь лишь небольшими насаждениями, разбросанно. Сортовый состав плодовых пород в настоящее время пересмотрен земельными органами и научно-исследовательскими учреждениями и из него выделены сорта, к-рые и идут в промышленные насаждения, составляя основной промышленный сортимент наших садов, отвечающий задачам реконструкции наших плодовых насаждений.

Задача развертывания Ф. в нашей стране наряду с расширением посадок распространенных пород заключает в себе и задачу введения новых пород и сортов. В частности средняя и центральная часть СССР имеет крайне ограниченный породный состав с сортиментом летних и осенних плодов и нуждается в расширении породного сорта и введении сортов зимних, могущих храниться бо́льшую часть зимы и до нового урожая. В числе новых пород для средней части СССР намечается введение в культуру ежевики, голубики, актинидии, а для юга—грэйпфрут (из цитрусовых), фейхоя и др. В работе по улучшению сортового состава плодовых насаждений большое значение имеют сорта, выведенные И. Мичуриным, к-рые в наст. время ежегодно высаживаются на тыс. *га* в средних и центральных районах.

Районы Ф. в СССР. Северный край. Плодоводство древесное находится в периоде исканий лучших районов и сортов. Ягодники м. б. разводимы на значительных площадях. В настоящее время известны лишь отдельные очаги разведения фруктовых деревьев; таковы: селения возле Кубенского оз., Солигалич, Вытегра, Никольск, Валаам и наиболее юж. районы, где фруктовые насаждения имеют мелкий разбросанный характер.

Ленинградская обл. имеет до 19 тыс. *га* садов и ягодников, из них яблоня занимает 70%, ягодники 20%, вишня 5% и прочие породы 5%. Продукция края дает до 7 *кг* плодов в год на 1 человека, ежегодно ввозится значительное количество плодов. Соцсектор в Ф. занимает 20%. Основными яблоневыми районами области являются: Лужский, Псковский, Великолуцкий, а по прочим фруктам—Череповецкий, Великолуцкий, Псковский, Боровичский и Новороссийский. Задачей обл. является дальнейшее развитие Ф., в первую очередь ягодников и особенно в пригородных зонах (Ленинград и др.). Лучшие сорта яблони: напировка, грушовка московская, штрейфлинг, боровинка, антоновка обыкновенная и каменичка. Вишня—владимирская.

Западная обл. имеет до 20 тыс. *га* садов и ягодников, из них под яблоней 80%, а остальные 20%—под ягодниками, вишней, сливой, грушей—примерно распределены одинаково. Товарное значение имеет яблоня, к-рая в большом количестве вывозится из районов Козельского, Новозыбковского, Клинцовского, Стародубского, Мещевского, Великолуцкого, Невельского, Карачевского и Почепского. Соцсектор владеет до 70% садов и ягодников. Плодоводство области ориентировано частично на *вывоз в сев. районы*, а частично на экспорт (антоновка, переработка ягод). Основные сорта яблони: напировка, грушовка московская, коричное полосатое, штрейфлинг, *антоновка обыкновенная* и *каменичка*. Сорта груш: бессемянка, сапежанка, виневка. Сорта сливы: озимая красная, очаковская белая.

Ивановская обл. *имеет до 5 тыс. га садов и ягодников*, из к-рых до 50% в соцсекторе. Породный состав: яблоня до 67%, ягодники 17%, вишня 10% и прочие породы 6%. *Плодоводство области имеет значение* потребительское. Основные районы плодоводства — в юж. части и имеют очень распыленный характер. Основные сорта яблони: грушовка московская, *китайка золотая Мичурина, коричное полосатое*, антоновка обыкновенная, анис серый. Слива: чернослив местный.

Московская обл. имеет развитое плодоводство, достигающее до 45 тыс. *га*, из к-рых до 80% в соцсекторе. Районы с развитым плодоводством: Ленинский, Юж.-Рязанский, Каширский. Основная масса садов сосредоточена в юж. части области, а *ягодников—вокруг* Москвы. Породный состав: яблоня 75% всех площадей, ягодники и вишня по 10%, прочие породы 5%. Плодоводство увеличивается весьма значительно, имея громадные потребительские центры в области. Основные сорта яблони: напировка, грушовка московская, китайка золотая Мичурина, коричное, штрейфлинг, бельфлер-китайка, антоновка обыкновенная, славянка Мичурина, анис серый, бабушкино. Сорта груш: бессемянка. Сорта вишни: владимирская, шубинка, плодородная Мичурина, склянка. Сливы: озимая красная и очаковская белая.

Горьковский край имеет до 30 тыс. *га* садов и ягодников, из к-рых в соцсекторе 30%. Породный состав: *яблоня* 80%, *ягодники* 12%, *вишня* 5% и *прочие породы* 3%. Основные плодовые районы: Воротынский, Спасский, Лысковский, Работкинский, Кетовский, Дзержинский и Чувашская АССР. *Плодоводство имеет* характер потребительский. Основные сорта яблони: налив розовый, китайка золотая Мичурина, грушовка *московская, налив белый, коричное, анис алый*, штрейфлинг, бессемянка Мичурина, антоновка обыкновенная, анис полосатый.

Ср. Волга—район развитого плодоводства, имеющий свыше 50 тыс. *га* садов и ягодников, расположенных по горному правому берегу Волги. Соцсектор занимает до 85% всех площадей. Породный состав: яблоня 75% всех площадей, вишня 12%, ягодники 8% и прочие породы 5%. Основные районы плодоводства: Сызранский, Самарский и Мордовская авт. обл. Край снабжает плодами ряд областей: ПЧО, Западную и Восточную Сибирь и Урал. Основные сорта яблони: китайка, санинская, боровинка, анис алый, штрейфлинг, грушовка московская, налив белый, малый крестовый, анис серый, антоновка обыкновенная и каменичка. Сорта груш: бессемянка, тонковетка.

Н. Волга *является* одним из крупнейших садовых районов Союза. Площадь садов и ягодников свыше 60 тыс. *га*, из к-рых в соцсекторе 80%. Породный состав: яблоня 75%, вишня 10%, ягодники 6%, слива 5% и прочие 4%. Плодоводство развито по берегам Волги. Основные районы плодоводства: Хвалынский, Саратовский, *Камышинский, Нехаевский*, Вольский, Даниловский, Ср.-Ахтубинский, Березовский, Урюпинский и Преображенский; край производит большое количество летних плодов, а Астраханский район—лучшие позднезимние плоды, что ставит перед краем возможность снабжения промышленных районов Востока плодами (Урал, Кузбасс). *Основные сорта яблони: малый богаевский, яндыковское*, анис, штрейфлинг, антоновка обыкновенная, пепинка литовская, кальвиль снежный. Сорта груш: бессемянка, бергамот волжский, дуля французская и астраханская.

Татарская АССР *имеет общую площадь садов и ягодников до 8 тыс. га, из них в соцсекторе 60%*. Породный состав: яблоня до 75%, вишня 20% и ягодники 5%. *Основные районы плодоводства*: В. Услонский, Камско-Устьинский, Елабужский, Тетюшский и Нурлатский. Плодоводство в небольшой своей части м. б. ориентировано на *снабжение плодами Урала. Основные сорта яблони: грушовка московская*, пудовщина, китайка золотая Мичурина, коричное полосатое, анис алый, антоновка.

Башкирская АССР имеет до *1 000 га садов и ягодников*, расположенных по р. Белой и вдоль Самаро-Златоустовской ж. д. Соцсектор занимает до 90%. Породный состав: яблоня 75%, *ягодники* 17% и *вишня* 8%. *Плодоводство очень распылено* и имеет потребительское значение. Основные сорта яблони: грушовка московская, терентьевка, малый крестовый, хорошавка алая, *антоновка* обыкновенная и анис серый.

Уральская обл. находится в пределах сев. границы плодоводства. Садов и ягодников *3 тыс. га*, из них в соцсекторе до 40%. *Породный состав*: яблоня 80% и ягодники 20%. Ничтожное количество садов в связи с громадным ростом пром-сти д. б. восполнено завозом плодов из окружающих областей. Одновременно д. б. использованы громадные площади дикорастущих ягодников (малина, смородина) и степной вишни.

Зап. и Вост. *Сибирь имеет слабо развитое* плодоводство—до 4 тыс. *га*, из них в соцсекторе до 40%. Основные породы: яблоня 80% и ягодники 20%. Плодоводство Сибири должно развиваться с громадным преобладанием ягодников, а древесное плодоводство — только из своего сибирского сортимента, уже в достаточной степени установленного. *Сибирь обладает исключительно* большими площадями дикорастущих ягодников: земляника, малина, смородина и крыжовник, имеющие ряд ценных форм. Сортовой состав еще недостаточно определился.

Дальневосточный край имеет слабо развитое плодоводство, площадью ~ 2 тыс. *га*, из которых 30% в соцсекторе. Край обладает богатым *породным составом*: *яблоня, груша, слива, вишня, абрикос*, виноград, орех и ягодники—земляника, смородина, малина, крыжовник, актинидия и др. Породный состав в садах: слива 60%, *ягодники и яблоня по* 16% и груша 8%. Основная масса садов, до 70%, сосредоточена возле Владивостока и 25% в районе Хабаровска. Сортовой состав еще не *определился*.

ПЧО—один из крупнейших районов Союза по плодоводству—имеет до 120 тыс. *га* садов и ягодников, из к-рых до 70% в соцсекторе. *Породный состав: яблоня* 67%, вишня 16%, слива 8%, груша 5% и ягодники 4%. Наибольшие площади садов в районах Корочанском, Буденовском, Россошанском, Латненском, Бобровском и Берцовском, а резко выраженными плодоягодными районами являются Курский, Орловский, Липецкий, Мичуринский, Тамбовский, Ендовищенский, Н.-Усманский и Гремяченский. Из крупных хозяйств—совхоз имени И. В. Мичурина—2 700 *га* садов и ягодников и совхоз Троекурово—800 *га* садов. Валовая продукция плодов—200 тыс. *т*, из к-рых перерабатывается 10% и вывозится в свежем виде в Москву и Ленинград 20%. Основные сорта яблонь—осенние. Промышленный сортимент: грушовка московская, *напировка*, китайка золотая Мичурина, бельфлер-китайка, штрейфлинг, коричное полосатое, антоновка, уэльсы, бабушкино, славянка, апорт пастуховский, варгуль воронежский, пепин шафранный. Сорта груш: бессемянка, слива, бере зимняя Мичурина.

Сев. Кавказ—крупнейший район плодоводства СССР; имеет до 135 тыс. *га садов, виноградников, ягодников*, из к-рых до 70% в соцсекторе. Породный состав: яблоня 33%, виноград 27%, вишня 13%, слива 11%, груша 7%, абрикос 4% и прочие 5%. Основные районы *по плодоводству*: Сочинский, Туапсинский, Шапсугский, Геленджикский, Славянский, Краснодарский, Кореновский, Майкопский, Белореченский, Сев. Осетия, Кабардино-Балкарская авт. обл., Минераловодский, а *по виноградарству*: Анапский, Темрюкский, Прикумский и Цимлянский. Из области вывозится ежегодно свыше 15 000 *т плодов. Основной сортимент зимний. Промышленные сорта* яблони: глогеровка, апорт, ранет, ландсбергский, пармен зимний золотой, призовое Вагнера, ренет Симиренко, пепин лондонский, розмарин, ренет шампанский, наполеон, ренет канарский. Сорта груш: ильинка, панна, бессемянка, лесная красавица, кюре, любимица Клаппа, вильямс летний, бере-боск, сеннец Кифера, сен-жермен, деканка зимняя, пасс-крассан.

Казакская АССР является новым районом плодоводства, быстро растущим. Имеет свыше 20 тыс. *га* садов и виноградников, из которых 60% в соцсекторе. Породный состав: яблони 36%, виноград 21%, вишня 18%, абрикос 8%, слива 6%, персик 5% и прочие 6%. Основные районы плодоводства: Алма-Атинский, Калининский, Келесский, Талды-Курганский и Аулиэ-Атинский. Открытие Турксиба позволяет широко развернуть вывоз плодов из Казакстана как в центральную часть СССР, так и в Сибирский край. Имеются большие площади дикорастущей яблони, слабо используемые. Промышленные сорта яблони: грушовка верненская, апорт, ренет Бурхарда, розмарин, ренет Симиренко, пармен

зимний золотой, золотое Граймса. Сорта груш: ильинка, панна, любимица Клаппа, лесная красавица, бере-арданпон, оливье-де-серр.

Киргизская АССР имеет до 5 тыс. *га* садов и виноградников, из к-рых 25% в соцсекторе. Породный состав: абрикос 37%, яблоня 30%, вишня, виноград по 9%, груша и персик по 4% и прочие 7%. Основные районы: Беловодский, Фрунзенский, Араван-Буринский, Сулюктинский. Плодоводство имеет потребительское направление. Большие площади заняты дикорастущими плодовыми насаждениями: орех до 45 тыс. *га* и фисташка 3 000 *га* в Ошском и Джелаль-Абадском районах. Сорта яблонь: анорт, ренет, ландсбергский. Сорта груш: ильинка, панна, лесная красавица.

Крымская АССР—район с наиболее развитым плодоводством высокоценных сортов. Имеет 30 тыс. *га* садов и виноградников, из к-рых 98% в соцсекторе. Породный состав: яблоня 39%, виноград 32%, груша 16%, вишня и слива по 3% и прочие 7%. Основная масса крымских садов расположена по долинам рек; но площади садов на первом месте стоят районы Бахчисарайский и Сейтлерский, а на втором—Симферопольский и Карасубазарский. Крым ежегодно вывозит 10—12 тыс. *т* плодов, а виноград дает высокоценные десертные вина. Промышленные сорта яблонь: пармен зимний золотой, ренет орлеанский, ренет шампанский, сары-синап, пепин лондонский, розмарин, кандиль-синап. Сорта груш: ильинка, сары-армуд, сахарная летняя, любимица Клаппа, панна, вильямс летний, бере-боск, кюре, сен-жермен, бере-арданпон, деканна зимняя, оливье-де-серр, рояль, пасс-крассан.

УССР имеет весьма развитое плодоводство, площадь садов и виноградников достигает 450 тыс. *га*, из к-рых 53% в соцсекторе. Площади садов и виноградников особенно значительно растут в последние годы. Породный состав: яблоня 45%, вишня и черешня 20%, виноград 15%, груша и слива по 7%, ягодники 5% и прочие 1%. УССР имеет наиболее значительные площади косточковых—вишни, черешни и сливы—в Союзе. Из областей УССР наиболее значительные площади Ф. в Одесской обл. вместе с Молдавской АССР—32%, наименьшие в Донбассе—6%, а прочие области приблизительно равны. УССР ежегодно вывозит 10—15 тыс. *т* яблок и 15—20 тыс. *т* прочих фруктов в Москву и Ленинград. Основные отправляющие районы: Винница, Могилев, Проскуров, Одесса, Мариуполь и АМССР.

БССР. Общая площадь садов и ягодников до 47 тыс. *га*, из них до 70% в соцсекторе. Породный состав: яблоня 67%, груша 10%, вишня, слива и ягодники в равных процентах. Вывозит ежегодно до 40 тыс. *т* плодов. Основные районы плодоводства: Бобруйский, Оршанский, Могилевский, *Гомельский, Витебский, Полоцкий* и *Минский*. Основной ортимент яблок и груш—осенний. Промышленные сорта яблок: пацировка, грушовка московская, суйслепер, коричное полосатое, штрейфлинг, путивка, антоновка обыкновенная и каменичка, бабушкино, бойнен, уэльсы, пепинка литовская. Сорта груш: тонковетка, *бессемянка, виневка*.

ЗСФСР имеет площадь садов и виноградников свыше 150 тыс. *га*, из них до 25% в соцсекторе. Наиболее развито плодоводство и виноградарство в Грузинской ССР. Породный состав: виноград 48%, яблоня 18%, груша 6%, вишня, слива и персик по 3% и прочие 19%. *Основные* районные плодоводства в Грузии: Горийский, Зугидинский и Кутаисский, в Азербайджане—Кубинский, Закатальский, Карабахский, в Армении—Эриванский. В Азербайджане преобладают яблоня и орех, в Армении—абрикос и персик, в Грузии—яблоня, груша и субтропические. ЗСФСР вывозит ежегодно до 15 000 *т* яблок и 10 000 *т* прочих фруктов. Сортимент очень разнообразен.

Узбекская ССР имеет до 100 тыс. *га* садов и виноградников, из них до 45% в соцсекторе. Породный состав: виноград 42%, абрикос 26%, яблоня 13%, персик и груша по 4% и прочие 11%. Основные районы Ф.—Ургутский, Самаркандский, Китабский, Шахрисябский, Икрамовский и Ташкентский, район Самарканда по винограду и Ферганская долина с абрикосом. Площади садов и виноградников чрезвычайно распылены. Республика вывозит ежегодно до 30 000 *т* сухофруктов и 10 000 *т* свежих плодов.

Туркменская ССР. Площадь садов и виноградников до 9 тыс. *га*, из них до 40% в соцсекторе. Породный состав: виноград 54%, абрикос 30%, яблоня 10% и прочие 6%. Основные районы: Геок-Тепинский, Мервский, Байрам-Алийский, Чарджуйский, Купя-Ургенч и Бахарденский. Республика имеет небольшие насаждения субтропич. растений: гранат, маслина, винная ягода. Сортимент не изучен.

Таджикская ССР имеет площадь садов и виноградников свыше 25 тыс. *га*, из них до 65% в соцсекторе. Породный состав: виноград 46%, абрикос 37%, яблоня 11% и прочие 6%. Основная площадь садов находится в районе Ходжента, а виноградников в районе Ура-Тюбе. Плодоводство распылено. Вывозятся яблоки и сухофрукты. Сортимент не изучен.

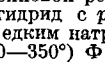
Задачи и направление развития Ф. в СССР. Высокое значительное вкусовое и гигиенич. значение фруктов в питании трудящихся ставит задачу широкого распространения Ф. в СССР, причем это развертывание Ф. по линии организации производства плодов и ягод в совхозах и колхозах (товарные площади) и потребительских площадей во всех хозяйствах должно итти не только в старых районах Ф., но особенно в новых (Урал, Сибирь, Северный край). Развитие новых больших площадей Ф. должно заключать в себе задачу районирования закладки товарных массивов, районирования породного состава и установления для каждого района производства фруктов наилучших сортов как из числа имеющихся в данном районе, так и введения новых. План развития Ф. должен предусматривать задачу организации наиболее длительного снабжения трудящихся свежими плодами в течение года через усиление закладок сортов зимних и одновременно задачу скорейшего снабжения плодами через организации закладок рано начинающих плодоношение пород и сортов. К ним относятся все ягодники, косточковые породы и некоторые сорта яблок и груш. Развитие площадей Ф. должно итти *одновременно с повышением урожайности* существующих насаждений, для чего особенно важное значение имеет повышение механизации процессов плодоводства, установление поранонно системы агротехнич. мероприятий с учетом пород и сортов, своевременное и полное выполнение этих агротехнич. требований. В целях борьбы за высокий урожай и снижение потерь плодов и ягод, довольно значительных в Ф., необходимы широкое развитие профилактических и прямых мер борьбы с вредителями и болезнями, организация простейшими способами переработки и использования брака и отхода плодов (падалица) и развитие сети плодохранилищ и холодильников для хранений плодов в наилучших условиях. Указанные мероприятия имеют отражение в существующем плане развертывания Ф. во 2-й пятилетке (1933—37 гг.). Наряду с небольшим увеличением числа специализированных совхозов, которых в настоящее время имеется до 250, и улучшением их работы широко *развивается* сеть МТС в *специализированных* садовых и виноградных районах с усилением охвата ими основных процессов плодово-ягодного производства. Широкое развитие Ф.—как товарного в совхозах и колхозах, так и потребительского у колхозников, в рабочих и дачных поселках, в хозяйствах рабочих и служащих, живущих вокруг городов и промышленных центров и ведущих с. х-во,—в настоящее время обеспечено достаточным количеством посадочного материала, выращиваемого в специализированных садово-виноградных совхозах и колхозах.

Лит.: «Растениеводство СССР», 1933; «Плодоовощное хозяйство». **А. Коваль.**

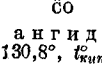
ФТАЛЕВАЯ КИСЛОТА, простейшая двухосновная к-та ароматич. ряда $C_6H_4(COOH)_2$. Известны 3 изомера (*о-*, *м-* и *п-*), к-рые получаются окислением соответственного *ксилола* (см.). *о*-Фталевая к-та, или просто Ф. к., технически получается окислением нафталина конц. серной к-той в присутствии катализаторов—солей ртути или окислов ванадия. Ф. к. кристаллизуется в блестящих листочках ромбич. системы, хорошо растворимых в горячей воде, спирте и эфире, с уд. в. 1,585 ÷ 1,593; дает средние и кислые соли; $t^{\circ}_{пл.}$ 180÷200°;

при плавлении Ф. к. теряет воду и переходит во фталевый ангидрид.

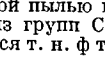
От своих изомеров Ф. к. отличается способностью к кристаллизации, более низкой $t°_{пл.}$, относительно легкой растворимостью (100 ч. воды растворяют при 14° 0,51 ч., при 93° 18 ч. Ф. к.) и флуоресцеиновой реакцией, которую дает фталевый ангидрид с *резорцином* (см.). При нагревании с едким натром (до 300°) или с известью (до 330—350°) Ф. к. дает бензойную к-ту; перегонка с известью дает бензол. Применяют Ф. к. в крашении для приготовления красителей (*фталеиновых* и *родаминовых*), для приготовления синтетич. *индиго* (см.) (антраниловый синтез); в продажу ее выпускают гл. обр. в виде ангидрида



Фталевый ангидрид—блестящие белые иглы с $t°_{пл.}$ 130,8°, $t°_{кип.}$ 284,5°, и уд. в. 1,527; растворим в воде и сероуглероде; очень склонен к реакциям конденсации; легко получается из Ф. к. при нагревании с водоотнимающими веществами; с двумя молекулами фенола дает *фенолфталеин* (см.); при восстановлении (цинковой пылью и уксусной к-той) кислород одной из групп CO замещается водородом, получается т. н. фталид

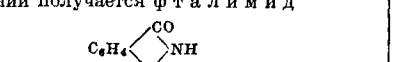


по строению принадлежащий к *γ-лактонам* (см.), с $t°_{пл.}$ 73° и $t°_{кип.}$ 290°, легко растворяющийся в спирте, эфире и мало—в воде. При действии на фталевый ангидрид аммиака при нагревании получается фталимид

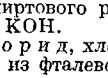


легко возгоняющиеся белые листочки с $t°_{пл.}$ 238°; его калиевая соль $C_6H_4 : C_2O_2NK$ легко получается из спиртового раствора фталимида при действии KOH.

Фталилхлорид, хлорангидрид Ф. к., легко получается из фталевого ангидрида кипячением с PCl_5; маслянистая жидкость, застывающая при 0°; $t°_{кип.}$ 276°; D^{20} 1,409; характеризуется двумя таутомерными формами, связанными с перемещением хлора:



$t°_{пл.}$ I формы 16°, II формы 89°; при восстановлении (Zn и HCl) дает *фталид*; при действии бензола в присутствии $AlCl_3$ дает фталофенон



Из гомологов Ф. к. можно отметить увитиновую кислоту $C_6H_3(CH_3)(COOH)_2$.

Изофталевая, *м*-фталевая, к-та получается 6—8-часовым кипячением *м*-ксилола со спиртовым раствором перманганата калия, кристаллизуется из горячей воды в виде длинных тонких игол; отличается от Ф. к. $t°_{пл.}$ (330°), не дает ангидрида, мало растворяется в воде. Терефталевая, *п*-фталевая, к-та легко получается окислением *п*-толуиловой к-ты $C_6H_4\begin{matrix}COOH\\CH_3\end{matrix}$, из солей к-рой выпадает в виде аморфного порошка; возгоняется при 300°, не образуя ангидрида, мало растворима в холодной воде, в спирте и эфире.

Лит.: Meyer V. u. Jacobson P., Lehrbuch d. organ. Chemie, B. 2, T. 1, B.—Lpz., 1923. *И. Ельцина.*

ФТОР, F, химич. элемент подгруппы галоидов седьмой группы периодич. системы (аналог хлора, брома и иода). Порядковый номер 9; ат. в. 19,00 (Ф. является «чистым элементом», изотопы его неизвестны). Элементарный Ф. представляет собой газ бледного желто-зеленого цвета с неприятным резким запахом, напоминающим запах хлора и озона. Вес 1 *л* Ф. при 0° и давлении 1 *atm* 1,71 *г*, плотность по отношению к воздуху 1,31. При сильном охлаждении Ф. превращается в сильно преломляющую свет желтую жидкость уд. в. ок. 1,1, *кипящую при* −187°. При еще более низкой *t°* он застывает в бледножелтую кристаллич. массу, плавящуюся при −223°, а при −252° становящуюся бесцветной. Газообразный Ф. состоит из двухатомных молекул. Как и остальные галоиды, Ф. является типичным металлоидом, обнаруживающим большую склонность к образованию отрицательно заряженных ионов, причем в отличие от остальных галоидов Ф. всегда *одновалентен* и никогда не образует электроположительной составной части соединений. Нормальный *потенциал* Ф. (по отношению к водородному электроду) равен +2,8. В связи с этим в отношении реакционной способности Ф. среди химич. элементов стоит на первом месте. С водородом он соединяется даже в темноте, причем реакция сопровождается воспламенением или взрывом. Кроме того Ф. соединяется уже на холоду с бромом, иодом, фосфором, серой, мышьяком, сурьмой, бором, кремнием, аморфным углеродом и большинством металлов, причем соответствующие реакции *сопровождаются* часто явлениями воспламенения или взрыва. При *t°* красного каления Ф. соединяется даже с графитом, золотом и платиной. Кремнезем и силикаты под действием Ф. разрушаются, причем освобождается фтористый кремний SiF_4 и выделяется свободный кислород. От сероводорода, галоидоводородов, аммиака и воды Ф. отнимает водород, с к-рым при этом соединяется.

Получение чистого Ф. весьма затруднительно. Впервые он был получен Муассаном в 1886 г. путем электролиза раствора кислого фтористого калия $HF \cdot KF$ в безводном фтористом водороде HF в аппарате *из платины*. Позднее выяснилось, что для этой цели можно пользоваться также аппаратурой из меди, т. к. последняя, как и некоторые другие металлы, покрывается плотной защитной пленкой фтористых соединений, препятствующей дальнейшему воздействию Ф. Получение элементарного Ф. иным путем практически невозможно. Распространение Ф. в земной коре определяется (по Вашингтону) *цифрой* 0,078% (хлор—0,055%). Важнейшими минералами фтора являются *плавиковый шпат* (см.), *криолит* (см.), *апатит* (см.) и *фосфориты* (см.). Из последних в процессе переработки их на суперфосфат Ф. выделяется в виде SiF_4 и утилизируется обычно в виде кремнефтористого натрия. Кроме упомянутых известно еще большое количество содержащих Ф. минералов, фторокар-

бонатов, фторосиликатов и т. д. (см. *Слюда*, *Топаз*, *Редкие земли*), не имеющих однако практич. значения для получения соединений Ф. Небольшие количества Ф. входят в состав живых организмов, растительных и животных, причем Ф. обычно связан бывает с фосфором. Свободный Ф. встречается в природе в нек-рых разновидностях плавикового шпата и изумруда в виде включений. Вследствие затруднительности его получения и хранения Ф. практич. применения не имеет.

Лит.: см. *Фтора соединения*, *Плавиковая кислота*, *Плавиковый шпат*, *Криолит*. Е. Кронман.

ФТОРА СОЕДИНЕНИЯ менее разнообразны, чем соединения остальных галоидов, так как фтор не образует кислородных к-т. Важнейшими технич. Ф. с. являются фтористоводородная, или плавиковая, кислота HF и ее производные; о получении, свойствах и применении ее см. *Плавиковая кислота*. Из солей последней следует отметить: фтористый натрий NaF, получаемый в виде мелкозернистого белого осадка, состоящего из кубич. или октаэдрич. кристалликов, уд. в. 2,78; $t°_{пл.}$ 990°; $t°_{кип.}$ 1 695° при нейтрализации не слишком разбавленных растворов плавиковой к-ты содой или едким натром. Кроме этого наиболее распространенного способа получения NaF предложен ряд других способов, в к-рых исходными продуктами служат природные Ф. с. (см. *Фтор*) или же кремнефтористые соли (см. ниже). Так напр., при сплавлении криолита с едким натром имеет место реакция:

$$Na_3AlF_6+6\,NaOH=Na_3AlO_3+6\,NaF+3\,H_2O.$$

При выщелачивании плава алюминат натрия растворяется, а NaF остается в осадке. Фтористый натрий NaF получается также при разложении кремнефтористоводородного натрия известью или при сплавлении плавикового шпата с известняком, сульфатом натрия и углем. В воде NaF растворяется слабо—при 20° в 25 ч. воды; в спирте не растворяется. Водный раствор (терпкий на вкус) обнаруживает щелочную реакцию вследствие гидролиза по ур-ию:

$$2F'+H_2O=[HF_2]'+OH'.$$

Из растворов, содержащих избыток HF, кристаллизуется поэтому при упаривании кислая двойная соль $NaHF_2$ в бесцветных ромбоэдрических кристаллах. При нагревании эта соль выделяет свободный HF. NaF обладает, как и почти все соли плавиковой к-ты, сильными антисептич. свойствами, вследствие чего применяется для пропитки дерева (для защиты от гниения), для дезинфекции в бродильной промышленности, кроме этого в производстве замазок и клеев. Фтористый калий $KF\cdot 2H_2O$ кристаллизуется при обычных условиях с 2 молекулами воды в длинных призмах, плавящихся при 46° в кристаллич. воде, расплывающихся на воздухе и легко растворяющихся в воде. Безводная соль образует кубич. кристаллы уд. в. 2,48; плавится при 860° и кипит ок. 1 500°. По химич. свойствам KF мало отличается от аналогичной соли натрия. С избытком HF он образует, кроме соли KHF_2, также и соединения $KF\cdot 2HF$ и $KF\cdot 3HF$. Фтористый аммоний NH_4F получается при осторожном нагревании смеси хлористого аммония с NaF в виде белого возгона на холодных частях аппаратуры. Легко растворяется в воде, расплывается на воздухе. В водном растворе очень сильно расщеплен на кислую соль и свободный аммиак: $2NH_4F=NH_4F\cdot HF+NH_3$, вследствие чего при упаривании растворов аммиак улетучивается, и кристаллизуется кислая соль $NH_4\cdot HF_2$. Эта соль применяется наравне с плавиковой к-той для травления стекла и как дезинфицирующее вещество. Фтористый кальций CaF_2 нерастворим в воде в отличие от аналогичных солей других галоидов. Встречается в природе как минерал *плавиковый шпат* (см.). Фтористый алюминий AlF_3, как и двойная фтористая соль алюминия и натрия $AlF_3\cdot 3NaF$, природная (см. *Криолит*) или же получаемая искусственно, применяется в производстве эмалей в качестве глушителя; кроме этого значительное количество этих соединений расходуется при электролитич. получении Al (см. *Алюминий*, производство). Для тех же целей применяется иногда и другая двойная соль $5AlF_3\cdot 3NaF$, встречающаяся в природе как минерал хиолит. При действии HF на кремнезем и силикаты образуется газообразный фтористый кремний SiF_4 ($t°_{кип.}$ −75° при давлении 941 *мм* рт. ст.), к-рый водой разлагается по реакции:

$$3\,SiF_4+2H_2O=SiO_2+2H_2SiF_6$$

с образованием студнеобразного водного кремнезема и кремнефтористоводородной кислоты H_2SiF_6. Последняя известна только в разбавленных растворах, так как при упаривании или нагревании разлагается с выделением газообразного SiF_4 и обогащением раствора фтористоводородной к-той. При перегонке в вакууме можно получить раствор, содержащий до 60% H_2SiF_6. Технически H_2SiF_6 или ее натриевую соль получают в качестве побочного продукта в производстве суперфосфата из фосфоритов и апатитов. Разбавленные растворы H_2SiF_6 применяются в бродильной пром-сти для дезинфекции. Соли H_2SiF_6 можно получить путем нейтрализации растворов ее щелочами. Нейтрализацию нельзя вести однако до конца, т. к. в этом случае происходит гидролиз с выделением коллоидного водного кремнезема. Из солей (известны только нейтральные) легко растворимы почти все за исключением щелочных. Все соли при прокаливании теряют SiF_4 и образуют нейтральные фтористые соли.

Кремнефтористоводородный натрий Na_2SiF_6 (растворяется в 150 ч. холодной воды), кремнефтористоводородный калий K_2SiF_6 (растворяется в 800 ч. холодной воды), кремнефтористоводородный магний $MgSiF_6\cdot H_2O$ (теряет на воздухе кристаллизационную воду, растворяется в 1,5 ч. холодной воды), кремнефтористоводородный цинк $ZnSiF_6\cdot 6H_2O$ и другие соли кремнефтористоводородной к-ты находят применение в технике. При пропитке цемента растворами их (флюатирование) образуются фтористый кальций и кремнезем, к-рые заполняют поры цемента, увеличивая его прочность и водонепроницаемость, что особенно важно напр. для цементных труб. Кремнефтористоводородные соли применяют также в качестве фунгии инсектисидов в с. х., для белення тканей, для глушения эмалей, глазурей и стекол и для коагуляции каучука. Наконец в последнее время предложено использование Na_2SiF_6 в производстве NaOH (или соды) из поваренной соли по процессу, выраженному ур-иями:

$$Na_2SiF_6\rightarrow 2\,NaF+SiF_4,$$

$$2\,NaF+Ca(OH)_2=CaF_2+2\,NaOH,$$

$$CaF_2+2NaCl+SiF_4(+кислота)=Na_2SiF_6+CaCl_2.$$

С кислородом фтор образует закись фтора F_2O (получена впервые в 1927 г.); F_2O— бесцветный газ с характерным запахом; соответствующая к-та неизвестна. Из органических Ф. с. некоторые фторозамещенные углеводороды применяются в медицине: фтороформ CHF_3, фторопсевдокумол $C_6H_2\cdot(CH_3)_3F$, дифтордифенил $(C_6H_4)_2F_2$, фторонафталин $C_{10}H_7F$ и др.

Лит.: Moissan H., Das Fluor u. seine Verbindungen, B., 1900; Ruff O., Die Chemie des Fluors, B., 1920; см. также *Плавиковая кислота*. **Е. Кренкам.**

ФУКО ТОКИ, см. *Вихревые токи*.

ФУКСИН, см. *Красящие вещества*.

ФУЛЯР, легкая шелковая ткань полотняного переплетения, плотность по основе и утку 20 ÷ 30 ниток на 1 *см*. Ф. работают из некрученой основы и такого же утка из отваренного шелка, что придает ткани особую мягкость. Ф. бывает крашеный, чаще набивной, из него делают носовые платки, мягкие галстуки и дамские платья и блузки.

ФУМАРОВАЯ КИСЛОТА, см. *Малеиновая кислота*.

ФУНГИСИДЫ, вещества, употребляемые для борьбы с грибными болезнями растений и грибными повреждениями растительных продуктов. Эти вещества действуют ядовитым образом на споры и грибницу грибов и вызывают или замедление роста гриба или его гибель. Ядовитыми свойствами в отношении к грибам обладает целый ряд химич. веществ как неорганических, так и органических, относящихся гл. обр. к группе к-т, оснований и солей.

Ф., применяемые для борьбы с грибными вредителями, должны обладать следующими свойствами: 1) большой токсичностью в отношении грибных вредителей, против которых их употребляют; 2) не оказывать вредного действия на растение-хозяина и его части (напр. семена), а также и на тот субстрат, на к-ром иногда приходится уничтожать грибных вредителей (например древесина); 3) постоянством токсич. свойств; 4) не быть ядовиты для человека и домашних животных; 5) должны быть дешевы. Из этих свойств большое значение имеет второе условие, в особенности при применении Ф. для лечения живых растений или при протравливании семян. Всякий Ф. при употреблении его в более крепкой концентрации будет оказывать вредное действие на растение, вызывая напр. ожоги листьев и хвои и уменьшая всхожесть семян. Поэтому необходимо брать такую концентрацию Ф., к-рая, не оказывая вредного влияния на растение, была бы в то же время губительна для гриба.

Различные Ф., употребляемые для борьбы с грибными заболеваниями и повреждениями растений и растительных продуктов, применяют различным образом. В большинстве случаев Ф. применяются: 1) для опрыскивания растений, 2) для опыливания растений, 3) для окуривания (фумигации), 4) для обмазки растений, 5) для обмазки и пропитки древесины, 6) для вымачивания древесины.

В зависимости от физич. состояния Ф. делятся на жидкие, сухие и газообразные. Жидкие Ф. К этой группе относится бо́льшая часть Ф., употребляемых для опрыскивания растений, для вымачивания, промазки и пропитки древесины, для дезинфекции семян и пр. Все главнейшие Ф. этой группы по своему химич. составу представляют или соединения, в состав к-рых входит медь, или соединения, в состав к-рых входит сера. Медный купорос $CuSO_4\cdot 5H_2O$. Употребление медного купороса как Ф. практикуется при борьбе с болезнями плодовых деревьев (курчавость листьев, фруктовая гниль), где он применяется в 1%-ном растворе и им производится опрыскивание больных деревьев в обезлиственном состоянии. Медный купорос применяется также для протравливания семян, где он употребляется в концентрации 0,1—0,5% в течение 12—16 час. Затем медный купорос употребляется для промазки дерева против домовых грибов. Как показывают опыты, в этом случае необходимо брать концентрацию медного купороса 5÷10%. Бордосская жидкость представляет собою смесь медного купороса с известковым молоком и применяется гл. обр. для опрыскивания растений в облиственном состоянии. Существует большое количество рецептов бордосской жидкости. В настоящее время применяется т. н. нормальная бордосская жидкость и однопроцентная бордосская жидкость. Для *приготовления нормальной бордосской жидкости берут*: 1,6 *кг* $CuSO_4\cdot 5H_2O$ и 50 *л* воды и 0,75 *кг* CaO и 50 *л* воды. При этом количество медного купороса во всей жидкости здесь равно 1,3%. Для приготовления однопроцентной *бордосской жидкости берут: 1 кг* $CuSO_4\cdot 5H_2O$ и 50 *л* воды, 0,75 *кг* CaO и 50 *л* воды. Бордосская жидкость обладает хорошими фунгисидными свойствами и кроме того она почти не вызывает ожогов на листьях растений, хорошо прилипает к листьям и долго на них держится, не смываясь *дождем*. Следы бордосской жидкости хорошо заметны на листьях благодаря ее голубоватому цвету. Для усиления прилипания к бордосской жидкости прибавляется иногда сахар или патока в количестве 0,015%. Бургундская жидкость представляет собою смесь растворов медного купороса и соды. В практике чаще употребляют 0,3%-ную бургундскую жидкость, для приготовления которой берут 300 *г* $CuSO_4\cdot 5H_2O$ в 50 *л* воды, 330 *г* $Na_2CO_3\cdot 10H_2O$ в 50 *л* воды. Сливать оба раствора можно в каком угодно порядке. Полученная жидкость имеет зеленоватый цвет и щелочную реакцию. Бургундская жидкость является хорошим Ф., но по сравнению с бордосской жидкостью обладает меньшей прилипаемостью и легче вызывает ожоги листьев. Серная печень получается путем кипячения раствора едкого кали (KOH) с серой или путем сплавления серы с поташом (K_2CO_3). Для опрыскивания растений употребляют серную печень в концентрации 0,3—0,4%. Употребляется она гл. образом для борьбы с мучнисто-росяными грибами. Полисульфиды представляют многосернистые соединения натра (Na_2S_5) и имеются в продаже в виде коричневатых плиток. Полисульфиды легко растворяются в воде и употребляются *гл. обр. против мучнисто-росяных грибов. Для опрыскивания* берется концентрация 0,3—0,5%. Смесь серы с известью как Ф. пользуется довольно широким распространением, и Ф. старались даже одно время заменить *бордосскую жидкость. Для приготовления этого Ф. бе*рут: 1,5 *кг* CaO и 100 *л* воды, 1,5 *кг* S и 4—6 столовых ложек патоки. Сначала гасится известь и затем, как только начнется кипение, в нее добавляют серный цвет. Состав перемешивают и в него затем добавляют остальную воду, в к-рой предварительно растворяют патоку. Перед употреблением жидкость процеживают. Фунгисидные свойства этого состава слабее, чем бордосской жидкости и полисульфидов, и единственным его преимуществом является то, что он не вызывает ожогов. Сода (Na_2CO_3) применяется в качестве Ф. для борьбы с мучнисто-росяными грибами. Ее применяют для опрыскивания в концентрации 0,2—0,5%, причем для большей прилипаемости раствора к нему добавляют патоку. Сода обладает небольшими фунгисидными свойствами, но ее достоинством является дешевизна и полная безвредность для растения. Двууглекислая сода ($NaHCO_3$) употребляется в качестве Ф. для опрыскивания и вымачивания древесины для предупреждения ее от засинения, вызываемого *грибами синевы; для этой цели она* употребляется в концентрации 7—10%. Сулема ($HgCl_2$) является одним из самых сильных ядовитых веществ в отношении не только грибов, но и других растительных, а также животных *организмов. Применение сулемы в качестве Ф. приходится* однако сильно ограничивать в виду ее ядовитых свойств для человека. Сулема иногда употребляется для обработки дерева (вымачивание и промазка) с целью предохранения его от заражения домовыми грибами и *для дезинфекции* семян. При этом она употребляется в растворах, не превышающих 1:1 000. Сулема входит в состав препаратов—гермизан и успулун, употребляющихся для сухого протравливания семян. Хлористый цинк ($ZnCl_2$) употребляется для промазки и пропитки дерева в концентрации 3% и для протравливания почвы в питомниках. Фтористый натрий (NaF) употребляется для промазки и пропитки дерева против заражения его домовыми и другими дереворазрушающими грибами. Фтористый натрий сравнительно мало растворим в воде (насыщенный раствор при 16° содержит 4,56%). Употребляется он для промазки и пропитки дерева в концентрации 3%. Серная кислота (H_2SO_4) употребляется для протравливания почвы в питомниках. Для этой цели на 1 $м^2$ грядки берется 30—60 *л* крепкой к-ты, разведенной в 10 *л* воды. Формалин представляет собою 40%-ный раствор формальдегида (CH_2O). Формалин употребляется гл. обр. для мокрого протравливания семян и его применяют в конц. 0,15%. Такая концентрация получается из проданного формалина при разведении его 300 ч. воды по объему. Для полусухого протравливания формалин применяют в конц. 0,5%. Фунгисидные свойства формалина в отношении нек-рых грибов (напр. головневых) очень

хороши, и он является одним из лучших для протравливания семян. Каменноугольное креозотовое масло является продуктом перегонки каменноугольной смолы. Каменноугольное креозотовое масло является одним из лучших антисептиков, применяемых для пропитки шпал. Карболинеум—под этим названием продаются различные препараты в большинстве случаев представляющие собою тяжелые погоны каменноугольной смолы. Первоначально предложенный в продажу Авенариусом карболинеум, известный под названием «карболинеума Авенариуса», состоял из тяжелых каменноугольных масел, обработанных газообразным хлором. В результате такой обработки масло становилось более вязким, уд. в. его повышался, исчевал неприятный запах и препарат получал красивую каштаново-коричневую окраску. Получался препарат, весьма подходящий по своей консистенции для поверхностной обмазки дерева. По своим антисептич. свойствам карболинеум Авенариуса, а также и другие карболинеумы, представляющие собой тяжелые погоны каменноугольной смолы, близки к креозотовому маслу. Однако этот препарат имеет перед креозотовым маслом ряд преимуществ (отсутствие запаха, вязкость, *хорошая кроющая способность*), и поэтому он получил большое распространение в качестве средства для промазки дерева для предохранения его от повреждения домовыми грибами.

Сухие Ф. Эта группа Ф. *употребляется* гл. обр. для опыливания растений и для протравливания семян. Серный цвет получается путем охлаждения паров серы и представляет собою очень мелкий порошок соломенно-желтого цвета. Серный цвет *употребляется для опыливания* растений главным образом против мучнисто-росяных грибов. Опыливание производится при помощи особых приборов—опыливателей. Медный купорос с известью употребляется для протравливания семян хлебных злаков. Для приготовления смеси берется безводный медный купорос и такое же количество негашеной или гашеной извести. На 100 *кг* зерна берется 200 *кг* смеси.

Газообразные Ф. употребляются гл. обр. для дезинфекции помещений и складов, зараженных домовыми грибами. Сернистый ангидрид (SO_2) является сильным Ф. против домовых грибов. Сернистый газ для дезинфекции помещений получается путем сжигания серы, причем для более быстрого сжигания серы употребляются или особые аппараты Борисовского и Клайтона или более простые приборы. Для дезинфекции помещения берется 30 *г* серы на 1 $м^3$ воздуха, причем продолжительность дезинфекции равняется 6—24 час., в зависимости от *характера помещения* и способа сжигания серы. Сернистый ангидрид является веществом, действующим весьма активно на металлы, и обесцвечивает ткани, поэтому применение его в домах не всегда возможно. Формальдегид *употребляют также для дезинфекции* помещений и складов, зараженных домовыми грибами. Дезинфекция производится путем испарения формалина в особых аппаратах, напр. в аппаратах Флюгге, Заревича и др. Для дезинфекции *помещения формалин* берется в количестве 10—12 *г* на 1 $м^3$ воздуха. Сложность аппаратуры при огневой формалинизации заставила искать других способов. Из таких способов наиболее удобным является холодный способ при помощи добавления к *формалину* марганцовокислого калия. В металлич. сосуд наливают 40% формалина из расчета 25 *г* на 1 $м^3$ помещения, разбавляют половинным количеством воды и затем в него добавляют равное по весу (25 *г*) количество марганцовокислого калия. При этом происходит реакция с большим выделением тепла, и формалин испаряется вместе с водяными парами. Формалинизация при этих условиях производится 6 часов.

Лит.: Бондарцев А., Болезни культурных растений и меры борьбы с ними, М.—Л., 1931; Справочник ядов для борьбы с вредителями и болезнями растений, под ред. А. Кириченко, Одесса, 1932; Hollrung M., Die Mittel zur Bekämpfung d. Pflanzenkrankheiten, 3 Aufl., B., 1931.

С. Ванин.

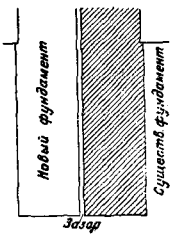
ФУНДАМЕНТЫ И ОСНОВАНИЯ. Фундаментом называется подземная или подводная часть сооружения, являющаяся продолжением расположенных над нею стен, колонн и прочих частей сооружения. Фундамент всякого сооружения должен удовлетворять условию прочности и устойчивости при наиболее невыгодной возможной комбинации приложенных к нему сил. Кроме того для устойчивости и прочности сооружения фундамент д. б. неизменяемо соединен с основанием, т. е. той поверхностью, на к-рой он возводится, и не должен претерпевать поступательных и угловых деформаций, за исключением весьма малых, обусловливаемых работой сил упругости, действующих в сооружении, и упругим сжатием материала основания. Теория равновесия сыпучих тел, применяемая для определения размеров *подпорных стенок* (см.) и фундаментов, справедлива для однородных сыпучих грунтов, *между* отдельными частицами к-рых возникают силы трения и отсутствуют силы сцепления. Однако в действительности грунты даже в пределах основания фундамента небольшого сооружения нередко отличаются разнородностью, а между их частицами возникают силы сцепления, величина которых зависит от состава грунтов и степени насыщенности водой, но не учитывается существующей устарелой теорией. Последняя с точки зрения современного взгляда на эту отрасль строительной техники является лишь достаточно простой и удобной рабочей гипотезой, заменяющей более сложную и недостаточно исследованную закономерность явлений. По теории Кулона величина противодействующего давления грунта определяется в функции угла естественного откоса, объемного веса грунта и угла, составляемого направлением давления на стенку фундамента с нормалью к последней. Однако для усвоения истинных явлений, происходящих от взаимодействия внешних сил и внутренних напряжений частиц грунтов, необходимо учитывать также другие физические свойства грунтов, а именно: связность, пластичность, вязкость и поверхностное натяжение капиллярной воды, порозность и др. Изучение этих свойств, являющееся достижением последних лет, обязано работам америк. *проф.* Терцаги, положившего основание механике грунтов. По Терцаги испарение воды из глины, представляющее собой движение изнутри *слоя к поверхности*, обусловлено разницей гидростатич. давления между внутренними частями и поверхностью глины, причем внутри слоя это давление д. б. отрицательным, а на поверхности слоя возникает т. н. поверхностное натяжение. Давление, производимое поверхностным натяжением, называется капиллярным, а наибольшее его значение характеризует переход из полутвердого состояния в твердое. Все явления, имеющие отношение к связности глины, объясняются исключительно поверхностным натяжением. Связность есть внутреннее сопротивление трения, вызываемое капиллярным давлением. Подобным же образом связность твердых тел есть результат внутреннего давления, производимого взаимным притяжением молекул. Сила поверхностного натяжения доходит до нескольких сот *atm*, уплотняя рыхлые коллоидальные массы. Разбухание глины представляет собою упругое расширение, происходящее вследствие устранения поверхностного натяжения капиллярной воды. Кроме того связность глины объясняется *свойством воды*, заключенной в капиллярах диам. менее 0,0001 *мм*, где вязкость и поверхностное натяжение увеличиваются и вода *теряет способность испаряться при соприкосновении* с воздухом. Таким образом капиллярная вода в глинах как бы отвердевает под действием сил, развиваемых молекулами твердого вещества. Данные, необходимые для характеристики глин, согласно этой теории: влажность, уд. в. твердого вещества, предел пластичности и предел текучести.

Практически вопросы, предъявляемые при проектировании фундаментов сооружений, сводятся большей частью к определению допускаемых давлений на грунты оснований и возможных осадок фундаментов под действием собственного веса сооружения и внешних сил.

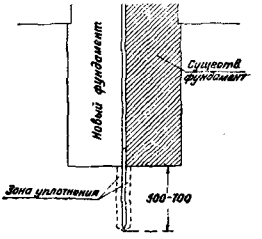
Величины допускаемых давлений на *грунт* (см.) практически определяются по Единым нормам строительного проектирования на основе принятой классификации, а в особо ответственных или затруднительных случаях—пробной нагрузкой. Определение ожидаемых осадок производится с помощью т. н. коэфициента постели, выражающего собой принимаемое постоянным отношение между давлением на единицу площади и осадкой. Коэф. постели по различным наблюдениям колеблется в весьма широких пределах: 1—12,5 для песка, 3—4 для гравия и 7—12 для суглинка. Такая пестрота показаний объясняется неудовлетворительностью классификации грунтов. Кроме того на величину коэф-та постели, как показали опыты, влияют размер площади и форма основания фундамента, подвергающегося действию нагрузки. По Шлейхеру осадка равна

$$y = p\frac{\omega\sqrt{F}}{\epsilon},$$

где $p = \frac{P}{F}$—давление на единицу площади основания, ω—коэф., зависящий от формы площади основания, C—постоянная, характеризующая упругие свойства грунта. Для круга $\omega = 0{,}96$, для квадрата $\omega = 0{,}95$, для прямоугольника $\omega = 0{,}92$ при отношении сторон 1 : 2 и $\omega = 0{,}71$ при отношении 1 : 10. Осадка фундамента может повлечь за собой более или менее значительные деформации самого сооружения, величина и серьезность к-рых зависят от материала и конструкции сооружения. Однако опасными для устойчивости и прочности сооружения являются только неравномерные осадки, вызывающие перекосы отдельных элементов сооружения. Для обыкновенного промышленного или общественного здания с железобетонными перекрытиями безопасной можно считать осадку фундаментов величиной не более 5—7 *мм*. В таких же зданиях с деревянными междуэтажными перекрытиями эта величина м. б. несколько более, а в распорных конструкциях, напр. каменноарочных мостах, осадка фундаментов вовсе недопустима. Из практики строительства железобетонных силосов в СССР известны случаи, когда под влиянием осадки фундамента величиной в 20 *см* и более эти сооружения благодаря своей громадной пространственной жесткости не подверглись никакой деформации. Если осадка фундамента происходит совершенно равномерно во всех своих частях, то причинить какие-либо повреждения сооружению она не может. Поэтому при проектировании сооружения необходимо стремиться к тому, чтобы равнодействующая давления на основание фундамента сооружения совпадала с ц. т. сооружения. В противном случае напряжения грунта основания будут различны в пределах его площади, и может произойти перекос фундамента. Также необходимо достигнуть равенства напряжений в основаниях фундаментов связанных между собою отдельных частей сооружения. В тех случаях, когда это оказывается неосуществимым, или же в случае неоднородности грунтов основания с явно выраженным переходом в плане от одного грунта к другому фундамент прерывается и между прерванными его частями устраивается осадочный шов. Напр. в каменных трубах под ж.-д. насыпями фундаменты свода, несущего нагрузку от веса земляной засыпки и поезда, отделяются от лотка, образующего ложе водотока, осадочными швами. Под действием нагрузки основание фундамента свода даст бо́льшую осадку, нежели основание лотка, не испытывающее никакого давления кроме веса самого лотка; поэтому обеим частям сооружения д. б. обеспечена возможность независимой осадки. Равным образом своды в туннелях испытывают различное давление горных пород и потому обыкновенно разделяются осадочными швами на кольца длиной 4—5 *м*. Особенное внимание д. б. обращено на устройство осадочных швов, если сооружаемое здание вплотную примыкает к старому. В этом случае между старым и новым

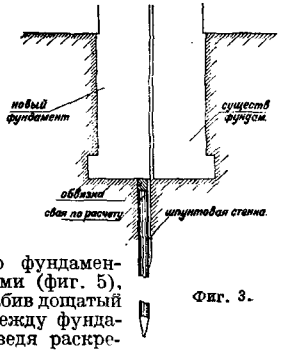


Фиг. 1.



Фиг. 2.

фундаментами прокладывают ряд досок (фиг. 1), обеспечивающий возможность независимой осадки нового здания без повреждения старого. Если существует опасение, что основание фундамента старой стены может дать осадку вследствие отрывки грунта при возведении нового фундамента, то между старым и новым фундаментами забивают шпунтовый ряд толщиной 50 *мм* (фиг. 2) на глубину 500—700 *мм*, что даст уплотнение в месте наибольшего напряжения. Доски при этом следует смолить. Иногда для предупреждения возможности отклонения новой стены в сторону существующей забивают ряд свай около межи (фиг. 3). Устройство осадочного шва представлено на фиг. 4. Если рядом с существующим фундаментом закладывается новый, более глубокий, то работу по откопке котлованов и заложению фундаментов ведут участками (фиг. 5), предварительно забив дощатый шпунтовый ряд между фундаментами и произведя раскрепление стенок котлованов распорами. Непринятие этих мер предосторожности нередко вызывало появление трещин в старых зданиях. В местах, где уровень грунтовых вод находится недалеко от поверхности, следует закладывать основания фундаментов или выше наивысшего горизонта грунтовых вод или же ниже наинизшего. Заложение основания фундаментов в зоне переменного горизонта грунтовых вод не рекомендуется, т. к. при спаде вод могут вымываться из-под подошвы фундаментов частицы грунта. Если же притом грунтовая вода имеет движение по направлению водоносного слоя, то вынос частиц грунта может привести к опасным последствиям. Подошва фундамента, расположенная ниже гори-

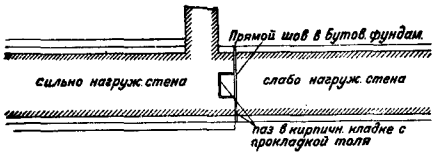


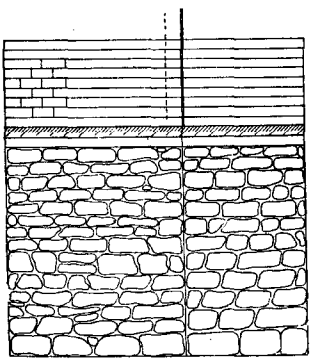
Фиг. 3.

зонта грунтовых вод, испытывает гидростатич. давление, направленное снизу вверх и равное по Бреннеке

$$H = E_x \cdot a \cdot \gamma \cdot h,$$

где γ—объемный вес воды, h—высота гидростатич. давления, E_x и a—коэф-ты, меньшие

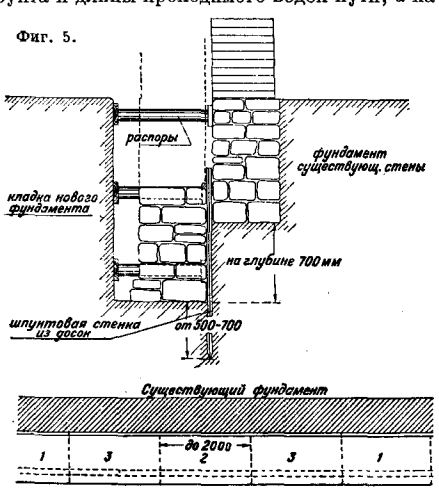




Фиг. 4.

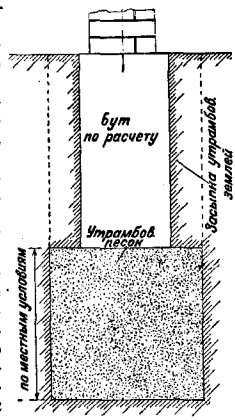
единицы. E_x оценивает величину сцепления и трения грунта и воды на пути прохождения ее от горизонта вод к подошве фундамента и зависит от размера отдельных зерен, породы грунта и длины проходимого водой пути; a характеризует роль подстилающего подошву фундамента слоя грунта, распределяющего гидростатич. давление на площадь, превышающую площадь основания фундамента. Для чистого песка с величиной зерен около 4 *мм* a и E_x близки к единице. Практически принято учитывать гидростатич. давление равным $H_0 = \gamma \cdot h$.

Фиг. 5.



При наличии материка на глубине 2—5 *м* от поверхности, т. е. такого пласта, к-рый обладает достаточной мощностью, малой сжимаемостью и сопротивляемостью размыванию, основания фундаментов закладываются на этом пласте. Если же материк лежит на глубине, которая делает экономически невыгодным производство работ по отрывке глубоких котлованов с целью достижения этого материка, то в таких случаях основания устраивают на более слабых грунтах путем искусственного их укрепления, т. е. образуют искусственные основания, или же увеличивают размеры подошвы фундаментов.

Искусственные основания устраивают с помощью свайных работ (см. *Сваи*) посредством опускных *колодцев* (см.), кессонов (см. *Кессонные работы*), *в виде ростверков* (*см.*), песчаных или песчано-гравелистых оснований и наконец методом химического укрепления. Замена слабого грунта слоем песчаного или песчано-гравелистого нередко является весьма выгодной, уменьшая глубину и объем каменных фундаментов. Идея этого метода заключается в том, что песчано-гравелистый грунт, обладая весьма малой влагоемкостью, не деформируется подобно глинистым грунтам под влиянием мороза, и потому основанные на нем фундаменты нет необходимости погружать ниже глубины промерзания. В этих случаях подошву фундамента достаточно опустить на глубину не более 1 *м*. Хотя песчаный и в особенности песчано-гравелистый грунт обладает незначительной сжимаемостью, однако в ответственных случаях, во избежание осадок после возведения фундаментов, следует вести работы по укладке песчано-гравелистого грунта слоями не толще 15 *см* с достаточно обильной поливкой водой и тщательной утрамбовкой каждого слоя. Применяя искусственное песчаное или песчано-гравелистое основание, следует иметь в виду, что последнее является дренирующим слоем, способным пропускать через себя попадающую в почву воду, к-рая при этом движении может вымыть частицы грунта и причинить неравномерную осадку сооружения. Поэтому применение песчаного или песчано-гравелистого искусственного основания допустимо только в том случае, *если обеспечено удаление почвенных и* поверхностных вод от сооружения устройством дренажей, водоотводных канав и водоотбойных призм из водонепроницаемого (глинистого) грунта, препятствующих прониканию поверхностной воды к основанию фундамента. На фиг. 6 представлено устройство фундамента на искусственном песчаном основании. Толщина слоя искусственного песчаного основания определяется расчетом т. о., чтобы напряжение сжатия естественного слабого грунта не превосходило допускаемого. Если напр. искусственное песчаное основание сжимается силой P, ширина



Фиг. 6.

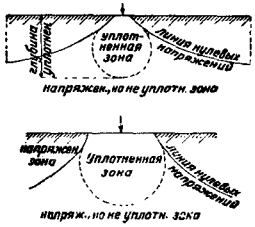
фундамента—d, то напряжение слабого грунта от давления фундамента

$$n_1 = P : (d + 2h \operatorname{tg} \varphi),$$

где h—толщина песчаного слоя, φ—угол, образуемый вертикалью с плоскостью распространения давления. Кроме того слабый грунт подвергается сжатию весом искусственного основания, равным $n_2 = \gamma \cdot h$, где γ—объемный вес песчаного грунта. Следовательно допускаемое напряжение на слабый грунт

$$n = n_1 + n_2 = [P : (d + 2h \operatorname{tg} \varphi)] + \gamma h,$$

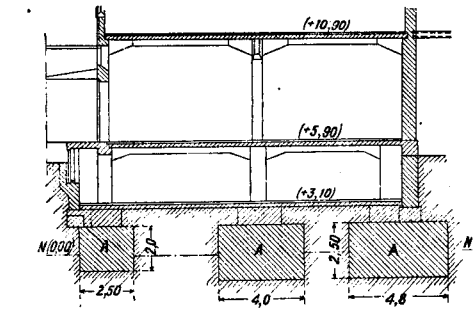
откуда, зная n, можно определить h. Закон распространения давления в грунте, характеризуемый углом φ, согласно новейшим данным заключается в том, что под влиянием небольших нагрузок в грунте происходят упругие деформации, следующие закону Гука. При более значительной нагрузке обнаруживаются неупругие деформации, выражающиеся в нарушении сцепления, перемещении частиц и уплотнении грунта в некоторой зоне, расположенной под подошвой фундамента. Фиг. 7 представляет картину напряженного состояния грунта вблизи подошвы фундамента. При расчетах принимают величину угла φ равной 30°, 45° и 60° соответственно грунтам рыхлым, средней плотности (песок) и плотным. Давление, принимаемое в основании фундаментов равномерным по всей его площади, в действительности таковым не является. У краев оно меньше, чем в центре, изменяясь по кривой, зависящей от величины и формы площади основания и массивности фундамента. На глубине 1,5 $м$ ниже основания фундамента напряженное состояние может считаться равномерным.



Фиг. 7.

В последние годы для образования надежных оснований в слабых грунтах начали применять способ уплотнения и укрепления последних введением в толщу грунта химич. реагентов. Уплотнение по способу Франсуа производится в шахтном строительстве Бельгии, Франции и Англии и состоит в предварительном впрессовывании химикалий в слабые пласты, к-рые затем пропитываются цементным молоком. Благодаря этому выделяется водянистый студень, обволакивающий поверхность тонких трещин и пор окружающего грунта, вследствие чего уменьшается сопротивление трения при нагнетании цементного молока. Способом Франсуа не удается укреплять песчаные пласты вроде плывунов и лишь в малой степени удается укрепить мелкопористые породы. Более эффективный способ Иостена, применяемый в Германии с 1926 г., основан на том, что при впрессовывании химич. веществ, содержащих кремнезем, внутрь укрепляемых масс образуется ангидрид кремневой к-ты. Образованный таким способом гель обладает благодаря присущим ему силам поверхностного натяжения способностью цементировать приходящие с ним в соприкосновение песчаные частицы. Для образования геля необходимы два достаточно концентрированных раствора, напр. раствор кремневой к-ты и раствор соли. Способ Иостена запатентован (герм. патент 516151). Вторым реагентом может быть раствор кальциевой соли. После впрессовывания первого раствора в пористые массы, содержащие кварц, вода, находящаяся между песчинками, вытесняется раствором, обладающим более высоким уд. в. Если затем впрессовывать второй раствор, то в местах соприкосновения с первым происходит реакция, при к-рой образуется гель. При этом процессе каждая песчинка обволакивается слоем плотного кремневого геля, а последний в свою очередь окружается образующимся благодаря диффузии слоем силикатов. Вместо раствора чистой кремневой к-ты может применяться раствор, образующий кремнекисло-глиноземный гель. Укрепление происходит в тех случаях, когда коллоидная кремневая к-та положительно адсорбирует подлежащие укреплению массы, напр. при всех породах с преимущественным содержанием кварца. Таким способом пористые песчаные массы м. б. превращены в песчаникоподобные образования с сопротивлением сжатию 20—80 $кг/см^2$. При постройке Моск. метрополитена применяют способ Ин-та сооружений (разработанный на основе способа Иостена). Наличие глины и других примесей неблагоприятно влияет на прочность. Напротив, примеси, содержащие металл, напр. железо, в слоях песка, а также незначительное содержание извести увеличивают прочность. Чистый известняк не поддается укреплению, но в таких породах можно при помощи впрессовывания раствора уплотнить водопроводящие трещины. Преимущества способа Иостена состоят в мгновенности укрепления песков, обусловливаемой образованием кремневого ангидрида in statu nascendi, что позволяет производить работы по устройству Ф. и о. сооружений без потери времени. Насколько можно судить по имеющимся пока немногочисленным опытам, укрепление, произведенное химич. способом, сохраняется неограниченно долгое время. По данным герм. практики объемный вес неукрепленной массы 1,77, после укрепления 2,06. Временное сопротивление сжатию неукрепленной массы $R = 34$ $кг/см^2$. Спустя 7 дней после укрепления $R_7 = 141$; спустя 21 и 150 дней соответственно: $R_{21} = 202$ и $R_{150} = 265$. Для осуществления способа химич. укрепления грунтов оснований пользуются трубками $\varnothing$ 25÷35 $мм$, вводимыми на требуемую глубину. Через трубки нагнетаются химикалии компрессорами с давлением от 15 до 150 atm. Для уплотнения 1 $м^2$ поверхности требуется, в зависимости от свойств горной породы, от 15 до 25 $кг$ химикалий. При укреплении пористой породы приходится считаться с наличием больших пустых пространств. В этих случаях расход раствора не может быть учтен заранее. Способ химического укрепления оснований успешно применялся при постройке новой женской клиники в Берлине, где основание фундаментов старой клиники было так укреплено, что подведение фундамента под старое здание оказалось излишним. При сооружении многоэтажного жилого дома в Шпандау на Шарлоттенштрассе в 1930 г. требовалось пройти бетонными сваями слабые грунты на глубину 15—17 $м$, вместо чего залегавший на глубине 8 $м$ от поверхности слой плывуна был в одной части здания укреплен химич. способом, что дало возможность соответственно уменьшить длину свай. В результате окаменения образовался массив размерами в плане 19×5 $м$ и высотой ок. 2 $м$, послуживший основанием для 50 свай. Этот же способ можно при-

менять и в случае надстройки существующего здания, имеющего свайное основание, недостаточно прочное для восприятия добавочной нагрузки, разумеется при условии, если прочное сопротивление материала сваи не использовано и безопасная нагрузка на сваю определялась сопротивлением слабых неукрепленных грунтов, окружающих свайное основание. При устройстве фундаментов на слабых основаниях в грунтах, допускающих химич. укрепление, нижние уширенные части фундаментов можно заменять искусственно образуемыми каменными массивами. Пример такого решения приведен на фиг. 8, представляющей собой поперечный раз-



Фиг. 8.

рез здания почты при центральном вокзале в Кенигсберге. Подошва искусственных каменных массивов *A* опущена на 1 *м* ниже уровня грунтовых вод *NN*. Протяжение этих массивов 100 *м*. Производство работ было закончено в течение 42 дней. При постройке железного моста через Шпрее в Берлине близ станции Юнгверкхейде кольцевой ж.-д. линии требовалось возвести фундаменты устоев непосредственно вблизи старого каменного моста, обнажение устоев к-рого представлялось опасным. Поэтому грунт под основанием фундаментов старых мостовых опор подвергся химич. окаменению, после чего были сооружены кессонные опоры нового моста.

Химич. укрепление грунтов с успехом применяется при рытье котлованов ниже горизонта грунтовых вод без водоотлива. Для этого производится ограждение котлованов водонепроницаемыми перемычками, а заключенный внутри грунт подвергается процессу укрепления, после чего производится разборка окаменевшего грунта уступами. Во избежание фильтрации через дно грунт укрепляется на глубину 1—1,5 *м* ниже проектной отметки, дабы образовать достаточно водонепроницаемую плиту, простирающуюся на нек-рую ширину также и вне огражденного контура. Способ окаменения грунта находит применение при сооружении водосборных галлерей, располагаемых на значительной глубине ниже уровня грунтовых вод, при постройке колодцев и камер для насосов водоприемных сооружений. Чем уже котлован, тем более выгодным становится окаменение водоносных грунтов по сравнению с обычным способом водоотлива при копке котлованов. Таким же способом можно заглушать ключи, препятствующие производству работ в котлованах и представляющие опасность для устойчивости фундаментов.

При устройстве фундаментов в грунтах с высоким горизонтом стояния воды иногда для производства земляных работ применяется, по аналогии с вышеописанным, способ замораживания, заключающийся в том, что в водоносные слои грунта, к-рые д. б. заморожены, опускаются трубы, по которым проходит сильно охлажденная смесь, напр. раствор хлористого кальция или хлористого магния. Грунт, на к-ром закладывается основание, д. б. настолько заморожен, чтобы подошва и боковые стенки котлована могли оказывать необходимое сопротивление давлению грунтовой воды. Расстояние между замораживающими трубами берут 1—2 *м*. Замороженный массив грунта должен превышать наивысший уровень грунтовых вод, чтобы внешняя теплая вода не могла проникнуть в котлован. К недостаткам этого способа относится его дороговизна, обусловливаемая необходимостью производства тяжелых работ по выломке замороженного грунта, а также его медленность, вследствие чего широкого распространения этот способ не получил.

Борьба с значительным притоком грунтовой воды при производстве земляных работ по устройству котлованов в последнее время успешно ведется путем понижения уровня грунтовых вод. Этот способ широко применяется в Германии, где он получил надлежащее развитие. Сущность этих работ состоит в том, что вокруг котлована, вырытого до горизонта грунтовых вод и огражденного шпунтовыми сваями, или внутри его закладываются круглые колодцы на глубину ниже шпунтовых свай. В колодцы вставляют всасывающие трубы, верхние концы к-рых соединяют между собой горизонтальными сборными трубами, ведущими к насосной установке. Осуществление этих работ нуждается в предварительном тщательном изучении геологич. строения почвы, на основе которого следует запроектировать места расположения, количество и мощность насосов. Понижение уровня грунтовых вод при этом происходит по пьезометрич. кривой с вершиной в месте расположения всасывающей трубы. Кривизна этой кривой зависит от свойств грунтов и в частности от их гранулометрич. состава; так, крупнозернистый грунт представляет для движения воды меньшее сопротивление, чем мелкозернистый, вследствие чего эта кривая в мелкозернистом грунте будет иметь бо́льшую стрелу, чем в крупнозернистом. В герм. практике известны случаи понижения грунтовых вод описанным способом на глубину до 15 *м*. Однако если требуемая глубина понижения уровня превосходит 3,5 *м*, то работы производятся постепенно уступами или ярусами.

В тех случаях, когда в виду значительных нагрузок на фундаменты является необходимость их углубления до более плотных слоев, в нек-рых местностях США устраиваются т. н. чикагские открытые колодцы, применение которых возможно при прохождении грунтов, способных удерживать равновесие в течение нек-рого времени при обнажении их на глубину 2—2,5 *м* вертикальной цилиндрич. поверхностью без всякого крепления. Сущность этого метода состоит в том, что с поверхности производится отрывание земли в виде круглого колодца диаметром, равным диаметру бетонного столба, являющегося опорой сооружения, увеличенному на удвоенную толщину опалубки, т. е. на 10—15 *см*, однако не менее 1,4 *м*, т. к. при меньшем диаметре производство работ было бы затруднительно. Выемку земли производят вначале на глубину 1,6 *м*, после чего

колодец раскрепляется вертикальными шпунтованными досками толщиной 5—7 *см*, образующими кольцевую перемычку. Распор земли воспринимается металлич. кольцами *из полосового* или швеллерного железа, укрепляемыми с внутренней поверхности досок и состоящими из двух полуколец, снабженных по концам проушинами, стягиваемыми болтами. После установки первого звена вынимают нижележащий грунт снова на глубину 1,6 *м* и устанавливают такое же крепление и т. д. до достижения скалы или другого достаточно плотного грунта. Земляные работы производятся б. ч. вручную или пневматическими лопатами, а подъем земли совершается в ведре. Затем производят бетонирование литым бетоном состава 1 : 2 : 4, а иногда 1 : 1 : 2. Железные кольца постепенно освобождают по мере бетонирования и поднимают на поверхность земли. Голову столба на высоту 2 *м* армируют продольной и спиральной арматурой. Если при таком способе производства работ встречается водоносный слой, то, начиная с нек-рой высоты над верхним его уровнем, деревянной опалубке придают форму усеченного конуса с уширенным нижним концом и уклоном образующей в $^1/_8$—$^1/_{10}$ к вертикали. Непосредственно вблизи верхнего уровня водоносного слоя забивают деревянный или металлич. шпунт (смотря по интенсивности фильтрации) в виде цилиндрич. поверхности с внешним диаметром, равным внутреннему диаметру нижнего основания усеченного конуса, но несколько бо́льшим диаметра цилиндрич. звеньев опалубки. Шпунт проходит насквозь всю толщу водоносного слоя, после чего внутри шпунта отрывают землю и устанавливают описанным способом кольцевую опалубку. Если скала залегает очень глубоко и колодцы не предположено опускать до нее, располагая их несколько выше, напр. на плотной глине, достижение к-рой открытым котлованом невыполнимо, то возможно также применение способа открытых чикагских колодцев, подошву которых при этом конически уширяют для распределения давления на бо́льшую площадь основания. Угол образующей конуса с горизонтом берется равным 60 или 45°. В последнем случае уширенная часть бетонного столба армируется. Отрывание грунта в чикагских колодцах производят в последнее время усовершенствованной америк. машиной, состоящей из вращающихся труб, телескопически входящих одна в другую, к нижнему концу к-рых прикреплен металлич. цилиндр ⌀ 1,2 *м*, объемом 0,6 $м^3$ с открывающимся дном, состоящим из двух полукругов, расположенных под углом друг к другу и образующих ножи, к-рые режут грунт при вращении труб. При этом грунт попадает в цилиндр и поднимается на поверхность. В самое последнее время начали делать кольцевую опалубку не из досок, а из заранее изготовленных вертикальных железобетонных стоек таврового сечения, имеющих в полке тавра с одной стороны полукруглый гребень, а с другой—шпунт, благодаря чему достигается плотное присоединение шпунтом. Ребра тавров, направленные по радиусу, увеличивают прочность конструкции при работе ее на изгиб от распора грунта, действуя как вертикальные неразрезные балки, опирающиеся на железные обручи, устраиваемые таким же способом, как в колодцах с деревянной опалубкой. После установки этой оболочки внутренность колодца бетонируется обычным способом. При этом бетонный столб образует один сплошной монолит вместе с железобетонной ограждающей оболочкой, а потому диаметр выемки земли в этом случае равен расчетному диаметру бетонного столба, между тем как при деревянной опалубке требуется уширение диаметра колодца на двойную толщину опалубки, т. е. на 10 *см*. Благодаря наличию ребер тавровых стоек длина железных колец также уменьшается. Эти особенности приводят к удешевлению стоимости производства работ. В целях более плотного соединения бетонной массы с ограждающими стойками ребрам тавра придают трапецоидальную форму, уширяющуюся к центру, т. е. в виде ласточкина хвоста.

При заложении фундамента на естественном основании его размеры в плане зависят от допускаемых давлений на грунт в плоскости основания. Если подстилающий грунт оказывается слабее того слоя, на к-ром закладывается основание фундамента, то определяют также давление, к-рое приходится на этот более слабый грунт, предполагая, что вес сооружения передается от подошвы фундамента в глубину по вышеописанному закону. Вычисленное давление д. б. меньше допускаемого давления на более слабый грунт. Подошва фундамента углубляется до того слоя, который обладает прочностью, соответствующей расчетной величине на грунт, а при искусственном основании—до верхней поверхности последнего. Заложение основания делается ниже глубины промерзания на 20—40 *см* в зависимости от рода грунтов. Глубина заложения фундаментов, определяемая условиями промерзания, зависит от климатических условий и принимается для Ленинграда—1,75 *м*, Москвы—1,80 *м*, Киева—1,05 *м*, Одессы—0,80 *м*, Челябинска—Омска—2,40 *м*, Иркутска—2,75 *м*. Глубина промерзания не только различна для разных местностей и грунтов, но зависит также от толщины снежного покрова, продолжительности зимних $t°$ и чередования оттепелей и морозов. В грунтах песчаных мощностью слоя больше 2 *м*, вполне защищенных от проникания в них и под фундамент воды, глубина заложения зданий до трех этажей высоты м. б. уменьшена до 1 *м*. В отапливаемых зданиях основания фундаментов под внутренние стены и отдельные опоры независимо от рода грунтов не требуется опускать ниже глубины промерзания. Глубина заложения основания фундаментов, испытывающих необычно большие нагрузки, д. б. кроме того проверена на устойчивость от выпирания земляных призм, противодействующих давлению фундамента. Для этой цели служит до настоящего времени устарелая ф-ла Паукера

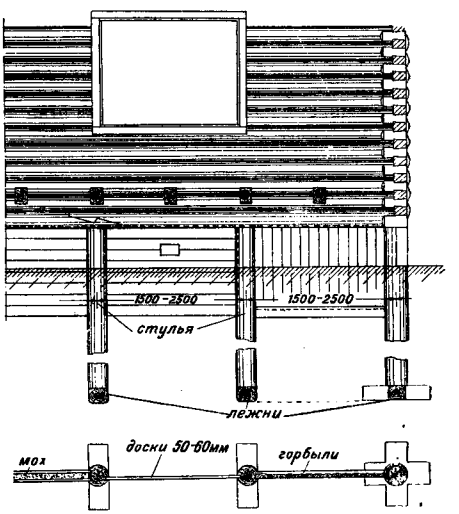
$$h = H \operatorname{tg}^4\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right),$$

в к-рой h—искомая глубина заложения в *м*, H—высота столба грунта в *м*, эквивалентная давлению от фундамента сооружения, равная $H = \frac{P}{F\gamma}$, где P—давление от фундамента в *кг*, F—площадь фундамента в $м^2$, γ—объемный вес грунта в кг на 1 $м^2$, φ—угол естественного откоса. В некоторых случаях, напр. при устройстве в зданиях подвальных помещений, к фундаментам предъявляют также требования водонепроницаемости. Независимо от назначения сооружения фундаменты устраивают в виде сплошных массивов, стен, столбов, плит и балок, а также в их сочетании. В качестве строительных материалов для возведения фундаментов применя-

ются дерево, каменная кладка, бетон и железобетон. Выбор материалов определяется технич. особенностями и назначением сооружений, условиями прочности, проектируемой долговечностью сооружения, экономичностью и химич. воздействием среды.

Деревянные фундаменты устраиваются при возведении сооружений, рассчитываемых на относительно непродолжительный срок службы, например при устройстве деревянных *опор мостов* (см.), деревянных зданий и т. п. Пригодность дерева в качестве строительного материала для устройства фундаментов определяется его сопротивляемостью различным разрушающим воздействиям, представляющим собою химич. и физич. явления, а также деятельность живых организмов. Дерево, постоянно находящееся под водой, обладает почти неограниченной долговечностью, но при постоянном соприкосновении с сырым воздухом и особенно при переменном воздействии воды и воздуха дерево быстро разрушается. Пропитка противогнилостными веществами (креозотом, хлористым цинком и др.), а тем более обугливание, осмолка и т. п. эффективны только в течение непродолжительного времени. В морской воде дерево подвергается нападению разрушающих его живых организмов, каковы: шашень (Teredo navalis), сверлящая мокрица (Limnoria lignorum), сверлящий рак (Chelura terebrans) и др. Существование этих организмов возможно лишь в воде, содержащей значительный % солей; в Балтийском море шашень отсутствует. Лучшим способом защиты от шашня считается пропитка дегтярным маслом.

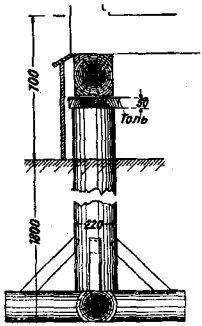
Каменная кладка и бетон являются преобладающим материалом при устройстве фундаментов всякого рода сооружений, обладая достаточно высоким сопротивлением сжатию. В тех случаях, когда фундаменты должны работать также и на изгиб, применяется армированный бетон. При устройстве Ф. и о. каменная кладка применяется на растворе и сухая. Последняя производится наброской при постройке молов, набережных и других подводных сооружений в тех случаях, когда применение другого способа постройки было бы затруднительно; однако при этом необходимо считаться с недостатками такой кладки, заключающимися в отсутствии взаимной связи между отдельными ее частями. Фундаменты из бутовой кладки, устраиваемые в сухих котлованах, кладутся обыкновенно в гражданских сооружениях на известковом или смешанном растворе состава 1 : 1 : 9, и лишь в инженерных сооружениях и прочих ответственных случаях, а также в сооружениях, подвергающихся действию динамич. усилий, напр. в фундаментах мостовых устоев, опор подкрановых путей для кранов большой подъемной силы, в компрессорных установках и т. п., применяется кладка на цементном растворе состава 1 : 6—1 : 4. В грунтах сырых и насыщенных водой употребляется по преимуществу цементный раствор состава 1 : 6—1 : 3. Производство работ по сооружению бутовых фундаментов является весьма трудоемким процессом, почти исключающим возможность механизирования, и потому этот вид фундаментов является выгодным только при обеспеченности рабочей силой, близости расположения каменных карьеров и удобствах транспортирования. В противном случае предпочтительнее является устройство бетонных фундаментов, допускающих механизацию в самых широких пределах. В странах дорого стоящей рабочей силы, напр. в США, бутовые фундаменты не находят применения. Железобетон применяется, гл. обр. в тех случаях, когда основание фундамента подвергается большим напряжениям вследствие неравномерности нагрузки и неоднородности грунта. В этих случаях, а также когда необходимо распределить давление от сооружения на большую площадь, устраивается искусственное основание в виде железобетонной подушки. Для того чтобы бетон и раствор сделать водонепроницаемыми, напр. в подвальных этажах при высоком уровне грунтовых вод, при устройстве насосных станций и т. п., покрывают соприкасающиеся с водой поверхности бетонного или бутового фундамента водонепроницаемыми материалами, напр. асфальтовым толем или слоем плотного цементного раствора, наносимого торкретированием, или же добавляют в бетон раствор особых примесей, делающих всю массу водонепроницаемой, как



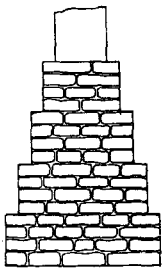
Фиг. 9.

асфальтовые и битумные эмульсии, перезит, мыльный щелок и др. Каменные и бетонные фундаменты д. б. тщательно изолированы от воды, т. к. последняя может проникнуть в трещины и пустоты материала и, расширяясь в объеме при замерзании, разрушить его. Фундаменты, находящиеся в текучей воде, должны оказывать сопротивление механич. воздействию волны. В этих случаях кладка из прочных естественных или искусственных камней имеет преимущество перед бетоном. Грунтовые воды, содержащие свободную серную к-ту и сернокислые соли или в к-рых имеются благоприятные условия для возникновения этих соединений, подвергают опасности возводимые на них сооружения. Для предохранения бетона от вредного химич. воздействия сульфатных вод следует покрывать поверхность фундамента жирным цементным раствором или несколькими слоями асфальтового толя, или клинкерной облицовкой на жирном цементном растворе. При устройстве железобетонных фундаментов в сырых и мокрых котлованах арматуру следует во избежание порчи от ржавления защи-

щать слоем бетона по крайней мере в 3 *см* толщиной. Применение для затворения бетона морской воды может вредно влиять на прочность арматуры. Железобетон подвержен также вредному влиянию электрич. токов. В Берлине



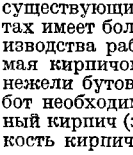
Фиг. 10.



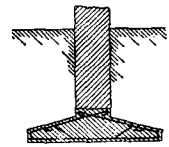
Фиг. 11.

обнаружены блуждающие подземные токи, которые могут использовать арматуру как провода, что может привести к разрушению бетона. Поэтому фундаменты сооружений Берлинской подземной ж. д. покрыты 4 слоями толя, к-рый служит защитой от этих блуждающих токов. Кирпич для устройства фундаментов употребляется только при совершенно сухих котлованах и для мало ответственных сооружений. Известны также примеры применения кирпича при подводке фундаментов под существующие здания, т. к. в этого рода работах имеет большое значение тщательность производства работ, в большей мере обеспечиваемая кирпичом, имеющим правильную форму, нежели бутовым камнем. Однако для этих работ необходимо употреблять сильно обожженный кирпич (железняк или клинкер). Влагоемкость кирпича исключает возможность применения его для фундаментов в сырых грунтах.

Простейшим видом деревянных фундаментов для деревянных зданий являются т. н. клетки, складываемые на выровненной поверхности земли из нескольких взаимно перпендикулярных рядов обрезков бревен или досок длиной 1—1,5 *м*. Клетки применяются для фундаментов временных зданий, или же сами они являются временными и их убирают после подведения под стены здания постоянных каменных фундаментов. Другим видом деревянных фундаментов для рубленых зданий являются стулья (фиг. 9). Во избежание быстрого загнивания подземные части стульев обугливают, а часть стула, соприкасающуюся с воздухом, смолят. На фиг. 10 представлен тип деревянных фундаментных стульев для зданий каркасного типа. Каменные фундаменты могут иметь различные формы, а именно форму стен или же отдельных опор, а также лент. Железобетонные фундаменты кроме того устраивают в виде сплошной плиты. Так как материал фундамента является обычно более прочным, нежели его основание, если последнее не укреплено одним из описанных способов, то площадь верхней грани фундамента, воспринимающей давление надземной части сооружения, м. б. меньше площади его подошвы, распределяющей давление по плоскости основания. Этим определяется уширяющаяся книзу форма поперечного сечения сплошного фундамента. Уширение достигается при бутовой кладке устройством уступов (фиг. 11), а при бетонных фундаментах уступами или же трапецоидальной формой (фиг. 12). Для того чтобы в кладке не возникало опасных напряжений от изгиба консольных частей фундамента, нагруженных силами

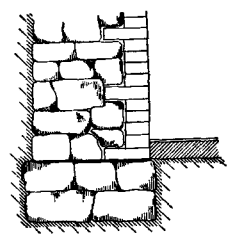


Фиг. 12.



Фиг. 13.

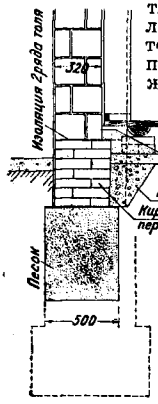
противодавления основания, отношение ширины уступа к высоте не д. б. более $^1/_2$. Если же по условиям прочности грунта основания необходимо передать испытываемое таким фундаментом давление на бо́льшую площадь, то либо производится углубление фундамента рядом добавочных уступов с соблюдением указанного отношения ширины уступа к его высоте либо, если такое решение приведет к дорого стоящим земляным работам и значительному увеличению объема каменной кладки, в основание каменного фундамента на глубине, определяемой условиями промерзания, укладывают железобетонную подушку, армируемую в направлении, перпендикулярном к протяжению фундамента (фиг. 13). Размеры поперечного сечения бетона и арматуры подушки определяются расчетом. Если бутовый фундамент должен в то же время служить ограждающей стеной подвального помещения, то внутреннюю его поверхность облицовывают кирпичом (фиг. 14) или штукатурят. В случае наличия грунтовых вод изоляцию производят цементовой штукатуркой и прокладкой изолирующего слоя асфальта (фиг. 15). Устройство последнего в уровне пола рекомендуется также в грунтах, обладающих естественной влажностью, с целью предохранения стен от сырости. Для уменьшения объема фундаментов, возводимых под стены зданий в тех случаях, когда на основе расчета определяется возможность передачи давления от стен на отдельные опоры, сплошные фундаменты заменяют отдельно стоящими каменными столбами, перекрываемыми железобетонными рандбалками, к-рые поддерживают вес стен. Ранее применявшееся для той же цели устройство арок между столбами в настоящее время оставлено в виду затруднительности и дороговизны производства работ. В последние годы фундаменты под стены в виде отдельно стоящих столбов получили в СССР очень широкое распространение в жилищном и промышленном строительстве в виду экономичности этого рода фундаментов. При расстоянии



Фиг. 14.

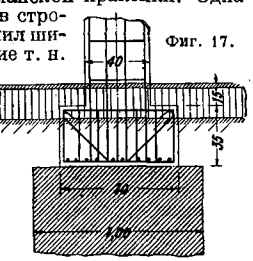
Фиг. 15.

между столбами в свету в 2—3 *м* столбы перекрываются непосредственно рядовой кирпичной кладкой, работа которой, как установлено экспериментальными наблюдениями, оказывается в этих условиях совершенно удовлетворительной. При бо́льших пролетах устраиваются железобетонные или железо-кирпичные перемычки, в к-рых наподобие железобетона арматура работает на растяжение, а кирпичная кладка на всю высоту, до низа оконных проемов, играет роль сжатого сечения. Низ такой перемычки заглубляется на 30—50 *см* от поверхности земли, а пространство под перемычкой, в случае наличия пучинистого грунта, заполняется песком на глубину 0,5—1,0 *м* с целью обеспечить перемычку от выпучивания. На фиг. 16 представлено устройство столбового фундамента, перекрытого кирпичной перемычкой при бетонитовых стенах.



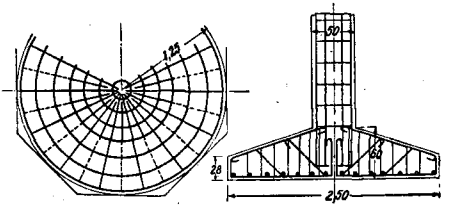
Фиг. 16.

Фундаменты под отдельные опоры устраиваются из бутовой кладки, бетона или железобетона, а также смешанными. В последнем случае *нижняя часть фундамента делается в виде* бутового столба, на который опирается железобетонный башмак колонны (фиг. 17). Наивыгоднейшей в смысле расхода материалов формой железобетонного фундамента под отдельно стоящие колонны является башмак, имеющий вид усеченной пирамиды (фиг. 18), заимствованный нами из германской практики. Однако в последние годы в строительстве СССР получил широкое распространение т. н. американский, или ступенчатый, тип башмака, состоящий из двух или более, лежащих одна на другой квадратных плит с постепенно убывающими сторонами квадратов. Преимущества этих башмаков состоят в простоте производства работ. Котлован выбирается точно по размерам нижнего уступа и бетонируется на высоту этого уступа без помощи деревянных форм, роль которых играют вертикальные стенки котлована, после чего формы устанавливаются лишь на высоту второго и следующего уступов. Другим отличительным признаком этого вида башмаков является отсутствие отогнутых прутьев. В тех случаях, когда допускаемое напряжение на грунт невелико, а нагрузка на опоры сооружения значительна, приходится прибегать к устройству фундамента в виде ленты, состоящей из обращенного кверху ребра, соединяющего оси колонн, и составляющей с ним одно целое ленточной железобетонной плиты, ширина которой определяется расчетом по допускаемому напряжению грунта основания. Иногда такие ленточные плиты, идущие по рядам колонн, имеют столь значительную ширину, что соседние ленты сливаются, и образуется сплошная железобетонная плита. Последняя иногда делается без ребер, т. е. в виде опрокинутого безбалочного перекрытия. Расчет ленточных и сплошных плит и балок, входящих в состав этого рода фундаментов, ведется на реактивную нагрузку противодавления грунта. При точных расчетах учитываются также упругие осадки грунта.



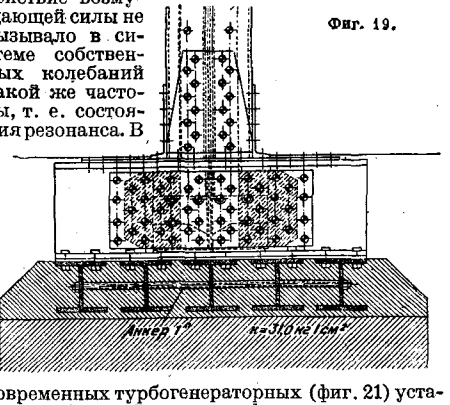
Фиг. 17.

Фундаменты под металлические клепаные колонны, передающие значительные нагрузки, устраиваются, по крайней мере в верхней своей части, из бетона. При этом в виду большой разницы допускаемых напряжений между металлом и бетоном непосредственное опирание колонны на такой фундамент было бы недопустимо, и потому для приведения расчетного давления по верхней поверхности фундамента в соответствие с допускаемым для бетона необходимо между подошвой колонны и фундаментом устроить ростверк из ряда двутавровых или швеллерных балок, окруженных слоем более прочного бетона (фиг. 19). Если под влиянием ветровых или иных горизонтальных воздействий возможно появление растягивающих усилий в башмаке, стремящихся оторвать колонну от фундамента, то производится анкерное закрепление колонн (фиг. 20) с помощью болтов, вводимых между двумя отрезками коробчатого железа. Длина анкерных болтов определяется расчетом.



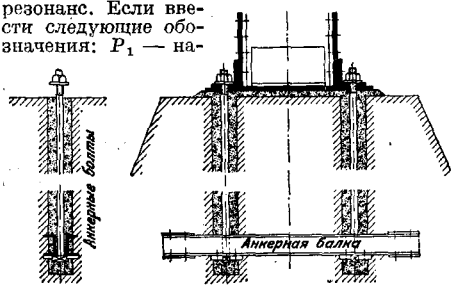
Фиг. 18.

Фундаменты сооружений, подвергающихся действию динамич. нагрузки с большой частотой колебаний, напр. фундаменты под турбогенераторы, конструируются т. о., чтобы действие возмущающей силы не вызывало в системе собственных колебаний такой же частоты, т. е. состояния резонанса. В современных турбогенераторных (фиг. 21) установках большой мощности фундаменты устраивают в виде системы железобетонных рам, соединенных в уровне ригелей продольными балками, а в уровне основания стоек имеющих сплошную



Фиг. 19.

железобетонную плиту, на к-рой обычно устанавливается конденсатор. Фундаменты паротурбогенераторов д. б. также рассчитаны на статич. нагрузку от агрегата с увеличением ее для учета динамич. влияний и проверены на резонанс. Если ввести следующие обозначения: P_1 — на-

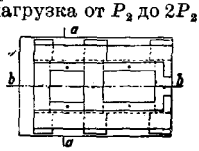


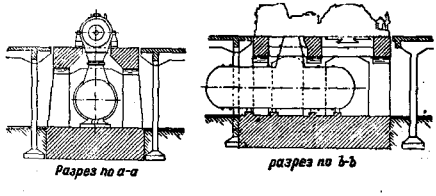
Фиг. 20.

грузка от агрегата на поперечные верхние балки, P_2—то же на продольные балки, G_1, G_2 и G_3—собственные веса поперечных балок, продольных балок и колонн, то принимаются для расчета фундамента следующие нагрузки.

А. Для статич. расчета главных рам и поперечных балок: вертикальная нагрузка вниз $(3P_1 \div 4P_1) + G_1$; вертикальная нагрузка вверх P_1 или $2P_1 - G_1$ в зависимости от того, какая их этих двух величин окажется больше; горизонтальная нагрузка от P_1 до $2P_1$. Для статич. расчета продольных балок: вертикальная нагрузка вниз $(3P_2 \div 4P_2) + G_2$; вертикальная нагрузка вверх P_2 или $2P_2 - G_2$ в зависимости от того, какая из этих двух величин окажется больше; горизонтальная нагрузка от P_2 до $2P_2$.

Б. Для динамич. расчета: а) вертикальные колебания — нагрузка поперечных балок $P_1 + G_1$; б) горизонтальные—нагрузка при учете колебаний отдельных рам





Фиг. 21.

$P_1 + G_1 + 0{,}38\ (G_3 + G_2 + P_2)$; в) то же—нагрузка при учете совместных колебаний всего фундамента $P_1 + G_1 + 0{,}38 G_3 + 0{,}50\ (G_2 + P_2)$.

Статич. расчет производится по общим правилам строительной механики. В случае заложения основания фундамента под турбогенератор на плохом грунте, а в особенности при наличии грунтовых вод обязательно устройство искусственного основания под фундамент. При определении давления на грунт нагрузка от машин принимается равной их статич. весу, потому что сотрясения доходят до фундаментной плиты в значительной мере ослабленными и кроме того поглощаются ее массой. Тем не менее давление на грунт под фундаментной плитой не д. б. более 0,4—0,6 нормально допускаемого для наличного грунта. Статич. давление на грунт д. б. совершенно равномерно распределено по всей площади основания. Центры тяжести агрегата и фундамента должны проходить через центр тяжести площади основания. Центр тяжести всей массы фундамента должен находиться ниже половины высоты фундамента. Сущность динамич. расчета, имеющего целью удостовериться в несовпадении числа колебаний машины с числом собственных колебаний системы, заключается в определении периода колебаний системы, находящейся под воздействием нагрузок, приведенных в разделе Б. Из теории колебаний известно, что период колебаний груза Q, подвешенного на пружине, равен периоду колебаний математич. маятника, длина к-рого равна статич. деформации пружины f. Применяя это положение к случаю нагрузки ригелей и балок системы железобетонного фундамента турбогенератора, найдем, что период колебаний системы

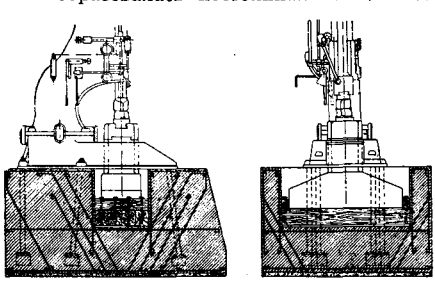
$$t = 2\pi \sqrt{\frac{f}{g}},\ \text{а частота}\ H = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{f}},$$

где g—ускорение силы тяжести, а f—стрела прогиба системы, определяемая любым из методов расчета статически неопределимых рамных конструкций. При этом собственный вес ригеля по Рейлею следует заменить сосредоточенным грузом, приложенным в середине ригеля, равным $\frac{17}{35}$ его веса. Найденное т. о. число H собственных колебаний системы в 1 сек. должно быть более числа колебаний машины по крайней мере на 30% или же быть менее последнего по крайней мере в два раза. Превышение числа собственных колебаний системы над числом колебаний машины предпочтительнее, т. к. абсолютно устраняет возможность резонанса, в то время как обратное соотношение не исключает временных совпадений числа колебаний при работе машины с неполной скоростью. Практически проверка достаточности запроектированных элементов фундамента под турбогенераторы расчетом на резонанс оказывается необходимой лишь при числе оборотов турбины, превышающем 1 000—1 500 об/мин. Для того чтобы колебания турбины не могли передаваться на перекрытие и стены здания, фундамент турбины д. б. отделен от этих частей сооружения швом по всему периметру. При неблагоприятных свойствах грунта основания иногда укладывают под фундаментной нижней плитой пробковые плиты на бетонной подготовке, чтобы предохранить окружающие строения от возможных сотрясений. Независимо от рода материала и конструкции фундамента под турбогенератор объем его, выраженный в $м^3$, согласно результатам произведенных наблюдений не д. б. менее $\frac{1}{20}$—$\frac{1}{45}$ числа Н. Первый предел относится к мощности 1 000 kW, а второй—25 000 kW. При меньших объемах наблюдались перебои работы машины.

Фундаменты под паровые молоты устраиваются бетонными или железобетонными (фиг. 22). При расчете эффект удара молота приравнивается к действию спокойно лежащей тяжести, иногда в несколько сот раз (в зависимости от высоты падения) превышающей вес молота. Для смягчения удара молота в яме шабота укладывают подкладку из дубовых брусьев со слоем железных стружек внизу. Несмотря на эти меры сотрясения и шум от работы мощных паровых молотов настолько сильны, что иногда

причиняют беспокойство окрестным жителям. Для устранения этого явления рядом с зданием кузницы автомобильной компании Шевроле, вблизи Детройта в США, был сооружен деревянный экран, представляющий собой матрац из железных опилок, обшитый звукоизолирующим материалом и имеющий ломаную форму в вертикальном поперечном сечении, отклоняющую направление звуковых волн. Для устранения резонанса число собственных колебаний согласно герм. исследованиям должно превышать по крайней мере в пять раз частоту ударов молота. Для воспринятия скалывающих усилий, возникающих под шаботом, следует производить армирование отогнутыми стержнями, а непосредственно под шаботом, где развиваются высокие сжимающие напряжения, необходимо также укладывать двойную перекрестную арматуру.

В северных широтах, где преобладают зимние $t°$, промерзание почвы распространяется на глубину, превосходящую толщину слоя, оттаивающего в течение лета. Вследствие этого, начиная с некоторой глубины, под поверхностью земли образовалась постоянная толща льда,



Фиг. 22.

или вечная мерзлота, постепенно увеличивавшаяся в глубину. Интенсивность отступления нижней грани мерзлоты вглубь земли обусловливалась ежегодным приростом преобладания холода над теплом. Линия, соединяющая географич. точки, характеризуемые равенством холодных и теплых $t°$, т. е. те точки, где глубина зимнего промерзания равна глубине летнего оттаивания, служит границей зоны вечной мерзлоты. Площадь этой зоны составляет ок. 7 000 000 $км^2$, т. е. равна одной трети территории СССР. Граница сплошной мерзлоты, начинаясь у устья реки Оби, тянется на Ю.-В.-В. к гор. Олекминску, а далее на восток проходит по 62-й параллели. Кроме того в Забайкалии и Приамурском крае, между реками Леной и Амуром, находятся районы островов вечной мерзлоты. В зоне вечной мерзлоты глинистые и в особенности влажные грунты по мере зимнего промерзания почвы, идущего от поверхности, увеличиваются в объеме. Промежуточный слой талого грунта, расположенный между верхней поверхностью вечной мерзлоты и нижней гранью постепенно промерзающего поверхностного слоя, уменьшаясь в объеме, подвергается столь сильному сжатию, что, стремясь найти выход, устремляется в стороны и на поверхность, пробивая толщу замерзшего слоя в местах наименьшего сопротивления, а именно в местах, покрытых более слабым растительным или торфяным слоем. При этом образуются свойственные тундрам кочкообразные пространства. В СССР в условиях вечно мерзлой почвы находятся некоторые части Забайкальской области и Амурского края, имеющие большое промышленное значение, а в Сев. Америке— Аляска и часть Канады. Устройство оснований фундаментов сооружений, возводимых в районах вечной мерзлоты, д. б. подчинено особым условиям. Устройство оснований фундаментов ответственных сооружений в пределах слоя зимнего промерзания, т. е. выше верхнего уровня вечной мерзлоты, недопустимо, т. к. при переходе от замороженного состояния к таянию и обратно изменяются физич. и механич. свойства грунтов и происходит опускание и поднятие почвы (выпучивание), вследствие чего сооружения подвергаются опасности аварий и даже полного разрушения. Поэтому основания фундаментов опускаются ниже уровня постоянной мерзлоты, или нулевой изогеотермич. линии, где давление на основание м. б. принято 3—5 $кг/см^2$. Однако необходимо принять меры к тому, чтобы возведение сооружения не вызвало такого изменения теплового режима в уровне основания, к-рое привело бы к опусканию изогеотермич. линии ниже этого уровня. Действительно, всякое сооружение, обладающее б. или м. значительной теплоемкостью, способно отдавать получаемую им из воздуха теплоту через стены и фундаменты в грунт, повышая $t°$ последнего. Сплошные фундаменты обладают этой способностью в большей мере, нежели столбовые, ибо последние имеют значительно больший периметр соприкосновения с грунтом, что уменьшает влияние теплопередачи через фундаменты. Допускаемые же напряжения для талого грунта не превосходят 1—1,5 $кг/см^2$. Явление оттаивания при сплошных фундаментах наблюдается на глубине 2—3 $м$ ниже поверхности мерзлоты, а при столбовых фундаментах не превосходит 0,5—1 $м$. Чем тоньше фундаментные столбы, тем меньше сказывается влияние теплопроводности. Наиболее выгодным является применение свайных оснований. При замерзании оттаявшего летом поверхностного слоя почвы, расположенного выше линии вечной мерзлоты, происходит увеличение объема этого слоя и возникают по боковой поверхности фундамента силы сцепления, стремящиеся поднять фундамент кверху. Им противодействуют реактивные силы сцепления в части фундамента, находящейся ниже границы мерзлоты. Верхний замерзающий слой стремится как бы вырвать фундамент, зажатый нижней частью в вечной мерзлоте. Чем более влаги содержит верхний слой и чем меньше заглублен в мерзлоту фундамент, тем энергичнее происходит это отрывание. Величина силы сцепления при выпучивании оценивается в среднем в 0,5 $кг/см^2$. Практически заглубление в мерзлоту следует производить при столбовых фундаментах на 1,5—2 $м$. Для увеличения устойчивости фундамента целесообразно принимать меры к уменьшению величины сил сцепления, направленных кверху, и к увеличению сцепления нижней части фундамента с вечной мерзлотой. Это достигается увеличением шероховатости поверхности фундамента, находящейся в вечной мерзлоте, и уменьшением ее в слое летнего протаивания. Кроме того часть фундамента до уровня вечной мерзлоты полезно окружить грунтом или материалом с возможно меньшей влажностью, а засыпку фундамента в вечной мерзлоте увлажнить. В целях ухудшения теплопроводности через

полы отапливаемых зданий под последними следует оставлять воздушные продухи и кроме того заполнить подпольное пространство теплоизолирующим материалом, например шлаком. При наличии талой почвы между зоной зимнего промерзания и вечной мерзлотой, что случается при теплой зиме и обилии снега, силы сцепления, возникающие при выпучивании грунта, способны вызвать значительные растягивающие усилия в частях фундамента, расположенных в талой почве. Поэтому при расчете фундаментов необходимо проверять прочность их на разрыв. В этом отношении железобетонные и деревянные фундаменты или свайные основания из этих материалов предпочтительнее каменных. Также необходимо производить проверку прочности фундаментов на боковое выпучивание грунта, действующее с внешней стороны здания, где промерзание происходит энергичнее, чем на внутренней его поверхности, находящейся под воздействием более теплых $t°$ подпольного пространства. Наблюдения на Амурской ж. д. обнаружили значительные выпучивания деревянных свай мостовых устоев, достигающие 50 *см* и более и сопровождающиеся б. ч. разрывом в местах сростов свай. При оттаивании происходит полная или частичная осадка; в следующем году это явление повторяется, в результате чего сооружение требует постоянного ремонта и значительных затрат. Причиной этого явления служат вышеуказанные силы сцепления, величина к-рых оказывается тем больше, чем более влагоемким является окружающий сваю грунт. Т. к. пористость глины достигает 98%, а песка—максимально 50%, то в целях предохранения мостовых устоев от выпучивания следует стремиться к изолированию стоек от непосредственного соприкосновения с глинистыми грунтами в зоне летнего оттаивания. Для этого предварительно забивают сначала сваю более толстую, нежели проектная. Затем эту толстую сваю выдергивают и образовавшееся отверстие заполняют песком. Наконец после этой засыпки песком забивают в то же место проектную сваю. В зоне летнего оттаивания не следует располагать сростов свай. Если же это оказывается неизбежным, то срост необходимо конструировать т. о., чтобы он мог работать на растяжение.

Погружение свай в вечную мерзлоту представляет значительные трудности. На Аляске применяется способ паровых игл, заключающийся в том, что в мерзлый грунт забивают особые железные или стальные трубы, в к-рые затем впускают сухой пар, производящий оттаивание грунта. После того как грунт достаточно оттает, иглы вынимают и производят забивку свай. В нижнем конце паровая игла обычно имеет пирамидальный наконечник, а в верхнем конце стальной обух, несколько ниже к-рого к боковому патрубку присоединяется гибкий рукав, служащий для подачи пара из котла в иглу. Употребительные длины паровых игл составляют 1,2—8 *м*; при бо́льших длинах иглы устраивают составными из свинченных труб. Оттаивание грунта производится с помощью пара, пропускаемого под давлением через иглу. Для погружения иглы ударяют молотом по обуху. Продолжительность оттаивания, предшествующего забивке свай, составляет 10—14 часов. Радиус оттаивания обыкновенно не превышает 0,6—1 *м*. По данным американской практики на оттаивание 1 $м^3$ грунта расходуется 72 500 Cal.

В сейсмич. районах не следует устраивать оснований фундаментов на влажных и болотистых грунтах, на насыпных, наносных и вообще рыхлых, если они покрывают коренные породы менее чем на 4 *м*. В случае неизбежности постройки здания на грунтах наносных, покрывающих коренные породы слоем менее 4 *м* толщиной, основания фундаментов надлежит закладывать на коренной породе с изолированием фундаментов от вышележащих слоев. Следует также избегать закладывать основания на крутых косогорах, за исключением твердых скалистых скатов, к-рые м. б. обработаны ступенчатыми террасами. Подошва фундаментов под зданием д. б. однородной и должна представлять собой горизонтальную плоскость, а в случае скалистых косогоров д. б. заложена на различных уровнях террасами с расчленением здания в виде отдельных павильонов. Фундаменты д. б. ограждены от вредного действия грунтовых вод. Лучшим фундаментом при сыпучих и рыхлых грунтах является сплошная железобетонная плита. Глубина заложения не должна быть менее 1,0 *м* для деревянных зданий, 1,5 *м*—для массивных зданий и 2 *м*—для зданий особого назначения. Фундамент д. б. непрерывным по всему периметру здания или для каждого из его павильонов и одинаковой глубины. Вертикальная осевая плоскость стены должна строго совпадать с вертикальной осевой плоскостью фундамента. Для одноэтажных построек деревянного или фахверкового типа допускается устройство фундаментов в виде деревянных или бетонных столбов, связанных поверху поперечной рамой. Фундаменты сейсмостойких сооружений и их основания рассчитываются не только на вертикальное давление, но также и на момент, возникающий в фундаменте под влиянием горизонтальных сил, которые предполагаются приложенными в верхней части стены или в голове колонны в уровне перекрытия, в зависимости от статич. схемы сооружения, и предполагаются действующими в направлении, противоположном действию сейсмич. волны. Величина этих расчетных сил принимается равной весу рассматриваемой части сооружения, умноженному на отношение ускорения сейсмич. волны к ускорению силы земного тяготения. Это отношение назначается в зависимости от наблюденной в районе интенсивности землетрясений, характеризуемой числом баллов. Для сейсмич. районов Киргизии и Казахстана оно принимается равным $\frac{1}{10}$ при основаниях в грунтах средней плотности и $\frac{1}{12}$ при скальных грунтах.

Лит.: Дженкоби и Девис, Основания и фундаменты мостов и зданий, пер. с англ., М., 1921; Дмоховский В., Основания и фундаменты, М., 1925; Дмоховский В., Курс оснований и фундаментов, М.—Л., 1927; Серк Л., Основания и фундаменты гражданских сооружений, М.—Л., 1930; Тимошенко С., Теория колебаний в инженерном деле, М.—Л., 1931; Мерш Э., Железобетонные сооружения, пер. с нем., М.—Л., 1929; Терцаги К., Основания механики грунтов, пер. с англ., М.—Л., 1932; Хаясси Кеничи, Теория расчета балки на упругом основании в применении к фундаментостроению, пер. с нем., М., 1930; Романов А., К вопросу о проектировании и сооружении фундаментов под турбогенераторы, «Электрические станции», Л., 1930, 5; Нормы проектирования и возведения фундаментов под паротурбогенераторы, там же, 1930, 5; Цытович Н., К вопросу расчета фундаментов сооружений, возводимых на вечной мерзлоте, 1928; Комитет по стандартизации при СТО, Единые нормы строительного проектирования, М., 1930; Кириллов И., Фундаменты по чикагскому методу открытых колодцев, «Американская техника и промышленность», 1932, 2; Schultze J., Der Grundbau, B., 1928; Brenne-

cke L., Lohmeyer, Der Grundbau, 4 Aufl., B. 1—2, B., 1927—30; Franzius O., Der Grundbau, B., 1927; Hetzel G. u. Wundram O., Die Grundbautechnik u. ihre maschinellen Hilfsmittel, B., 1929; Terzaghi K., Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage, W., 1925; Sichardt W., Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen u. seine Bedeutung f. die Grundwasserabsenkung, B., 1928; Pohl K., Emploi de la silicatisation pour la construction dans les terrains meubles, «GC», 1932, 2577; Neuman W., Chicago Open Well Method, «Civil Engineering», L., 1931. **Е. Штамм.**

ФУНДАМЕНТЫ МАШИН, см. Дополнительный том.

ФУНКЦИЯ в математике, переменная величина, значение которой определяется значением другой (или нескольких) переменной величины. Если возможно произвольно выбирать величину числа x, принадлежащего совокупности чисел в интервале между a и b

$$a \leqslant x \leqslant b,$$

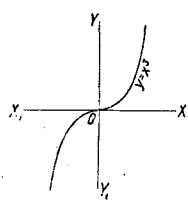
то x называют непрерывной переменной величиной в данном интервале. Если при этом каждому значению x соответствует по некоторому закону определенное значение y, то y является Ф. x, что символически может быть выражено:

$$y = f(x),\ y = \varphi(x),\ y = F(x) \text{ и т. п.}$$

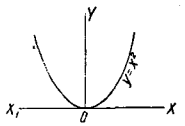
В указанном обозначении буквы f, φ, F, ... называются характеристикой Ф.; характеристика обозначает комплекс действий, которые надо произвести над величиной x, чтобы получить величину y. Здесь x носит название независимой переменной или аргумента Ф. В рассмотренном случае к интервалу были причислены его концы; если этого нет, то величина x ограничивается условием

$$a < x < b.$$

В первом случае интервал называют замкнутым, во втором—двусторонне открытым. В случаях $a < x \leqslant b$ или $a \leqslant x < b$ интервалы называют полуили односторонне открытыми. Если непрерывная перемен-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

ная пробегает бесконечный интервал, то или $a < x < \infty$, или $-\infty < x < b$, или $-\infty < x < \infty$.

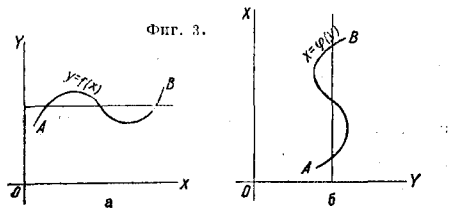
Пользуясь прямоугольной системой координат, функциональную зависимость величины y от величины x можно изобразить графически; геометрич. образом Ф. будет служить вообще кривая. Обыкновенно соответствие Ф. y аргументу x устанавливается однозначным образом, напр. $y = x^3$ или $y = \cos x$; здесь каждому значению x соответствует только одно значение y; y называют однозначной Ф. от x. Если же каждому значению аргумента соответствует не одно, а несколько значений y, то y называют многозначной Ф. от x, напр. ур-ие $y^2 = x$ определяет y как двузначную Ф. от x, т. к. $y = \pm\sqrt{x}$. Аналогично из равенства

$$y = \operatorname{arc\,tg}\, x$$

y определяется как многозначная Ф. от x, т. к. при всяком данном значении x число значений y бесконечно велико, напр. если $x=0$, то $y=n\pi$, где n—любое целое число. Для устранения многозначности Ф. вносят добавочное условие, напр. $y \geqslant 0$ или $y \leqslant 0$, что выделяет однозначную ветвь многозначной Ф. Если Ф. однозначно определена на всем своем протяжении, то изображающая ее кривая пересекается всякой прямой, параллельной оси OY, только в одной точке. В случае многозначной Ф. указанные параллели имеют несколько точек пересечения с кривой. На фиг. 1 изображением Ф. $y = x^3$ является кубическая парабола.

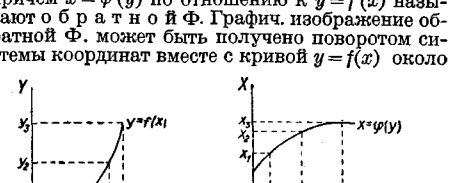
При исследовании Ф. наиболее важную роль играет ее непрерывность. Это свойство Ф. выражается в том, что при весьма малом изменении x значение y также изменяется весьма мало (не делает внезапных скачков), т. е. кривая на всем своем протяжении не разрывается. Ф., имеющая для всех значений x в нек-ром интер-

Фиг. 3.



вале одно и то же значение, называется константою, или постоянной; ее изображением служит прямая, параллельная оси OX. Если в избранном интервале большему значению x всегда соответствует большее значение y, то Ф. называют монотонно возрастающей, если же большему значению x всегда соответствует меньшее значение y, то Ф. называют монотонно убывающей в этом интервале. Если кривая $y = f(x)$ симметрична относительно оси OY, т. е. если одно и то же значение Ф. соответствует как значению $x = -a$, так и значению $x = a$, иначе—если $f(-x) = f(x)$, то Ф. называют четной, напр. $y = x^2$ (фиг. 2). Если же кривая симметрична относительно начала координат, т. е. если $f(-x) = -f(x)$, то Ф. называют нечетной (фиг. 1).

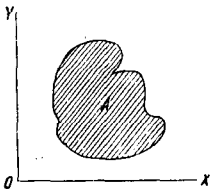
Обратные Ф. Формальную зависимость между двумя величинами можно рассматривать двояко: или первую величину принимать за Ф. второй или наоборот; напр. функциональная зависимость $y = x^2$ м. б. выражена ур-ием $x = \sqrt{y}$, причем $x = \varphi(y)$ по отношению к $y = f(x)$ называют обратной Ф. Графич. изображение обратной Ф. может быть получено поворотом системы координат вместе с кривой $y = f(x)$ около



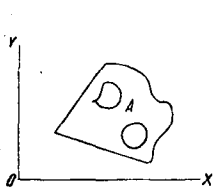
Фиг. 4.

биссектрисы угла XOY на полоборота (фиг. 3, а и б). Из чертежа ясно, что Ф. $y = f(x)$ не будет однозначно обратимой, т. к. кривая, соответствующая ей, пересекается прямою $y = c$ в нескольких точках. Если же Ф. $y = f(x)$ в рассматриваемом интервале непрерывна и монотонна, то она обратима при помощи однозначно определенной непрерывной Ф. (фиг. 4, а и б).

Из предыдущего видно, что Ф. можно рассматривать как первично заданную, но можно исходить и от геометрически заданной кривой. Кроме того существует табличный способ задания Ф., напр. для $y=\sin x$, где не указаны арифметич. действия, посредством к-рых можно было бы по данному значению x вычислить соответствующее значение y. При табличном задании значения Ф. приведены только че-



Фиг. 5.

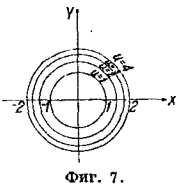


Фиг. 6.

рез определенные интервалы; для вычисления значений Ф., соответствующих промежуточным значениям x или выходящих за пределы таблицы, применяются приемы, носящие название интерполирования (см. *Вычисления приближенные*) или *экстраполирования* (см.).

Классификация Ф. — см. *Исчисление бесконечно малых*.

Ф. от многих переменных. Если каждой паре значений x и y соответствует по какому-нибудь закону значение u, то u называют Ф. от независимых переменных x и y. То же относится и к большему числу независимых переменных. При непрерывно изменяющейся паре аргументов точка (x, y) может быть выбрана где угодно внутри определенной области A плоскости XOY (аналогично интервалу для одной независимой переменной). Область A может состоять из части плоскости, ограниченной единственной замкнутой кривой (односвязная область, фиг. 5); область A м. б. ограничена несколькими замкнутыми кривыми (многосвязная область). Число ограничивающих кривых определяет «число связности». На фиг. 6 дана трехсвязная область. Геометрически Ф. от двух переменных можно представить с помощью поверхностей, рассматривая пространственную систему координат x, y и u. Другое геометрич. изображение хода Ф. достигается с помощью линий уровня (*линий равных высот, линий равных глубин* и т. д.). На фиг. 7 приведены линии уровня функции $u=x^2+y^2$. См. также *Эллиптические функции, Шаровые функции*.



Фиг. 7.

Лит.: Курант Р., Курс дифференциального и интегрального исчисления, ч. 1 и 2, пер. с нем., 2 изд., М.—Л., 1931; см. также *Дифференциальное исчисление* и *Интегральное исчисление*.

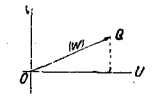
В. Никаноров.

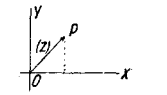
ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ПЕРЕМЕННОГО, ф-ии вида $w=u+iv$, действительная и мнимая части к-рых зависят от действительной и мнимой частей x и y комплексного переменного $z=x+iy$, где $i=\sqrt{-1}$. Для графич. изображения этой зависимости обычно считают x, y координатами точки в плоскости XOY (точка z), а ф-ии u, v—координатами точки в плоскости UOV (точка w). Функциональная зависимость между w и z иллюстрируется графически соответствием между точками w и z. Комплексные значения w и z определяются также векторами OQ и OP (фигура) в плоскостях UOV, XOY (см. *Комплексные числа*).

Наибольший интерес в анализе представляют аналитические Ф. к. п., $w=f(z)=u+iv$, обладающие производными $\frac{dw}{dz}$, $\frac{d^2w}{dz^2}$, ..., зависящими только от z и не зависящими от dz. Необходимым и достаточным условием для того, чтобы данная Ф. к. п. была аналитической, являются ур-ия Коши-Римана:

$$\frac{\partial u}{\partial x}=\frac{\partial v}{\partial y},\quad \frac{\partial u}{\partial y}=-\frac{\partial v}{\partial x}. \qquad (1)$$

Аналитические Ф. к. п. осуществляют *конформное отображение* (см.) точек плоскости XOY на точки плоскости UOV.





Ф. к. п. позволяют обобщить наши представления об обычных ф-иях действительного переменного. Так, показательная Ф. к. п. z определяется как сумма ряда

$$f(z)=1+\frac{z}{1}+\ldots+\frac{z^n}{n!}+\ldots, \qquad (2)$$

равномерно сходящегося для всех значений z. Диференцируя почленно этот ряд, получают тот же самый ряд. Т. о. $f'(z)=f(z)$. Разлагая ф-ию $f(z)$ в ряд Тейлора, получают поэтому:

$$f(z+h)=f(z)+\frac{h}{1}f(z)+\ldots+\frac{h^n}{n!}f(z)+\ldots=$$
$$=f(z)\left(1+\frac{h}{1}+\ldots+\frac{h^n}{n!}+\ldots\right)=f(z)f(h).$$

Ф-ия $f(z)$ удовлетворяет функциональному ур-ию

$$f(z+h)=f(z)f(h),$$

как и обычная ф-ия e^x. Поэтому можно эту Ф. к. п. назвать комплексной степенью от e и обозначить в виде

$$f(z)=e^z.$$

Принимая во внимание ф-лу Эйлера (см. *Комплексные числа*)

$$e^{iy}=\cos y+i\sin y,$$

можно написать

$$e^{x+iy}=e^xe^{iy}=e^x(\cos y+i\sin y).$$

Отсюда следует, что e^z—периодич. ф-ия с мнимым периодом $2\pi i$. Поэтому хотя

$$e^{2\pi i}=\cos 2\pi+i\sin 2\pi=1=e^0,$$

но отсюда совсем нельзя заключить, что $2\pi i=0$. Понятие о показательной Ф. к. п. позволяет определить логарифм отрицательного числа. В самом деле,

$$-a=ae^{i\pi+2k\pi i},$$

поэтому

$$\ln(-a)=\ln a+i\pi+2k\pi i,$$

напр.

$$\ln(-1)=i\pi.$$

Логарифм—многозначная ф-ия, но различные значения логарифма отличаются друг от друга на мнимые числа, кратные $2\pi i$. Ф. к. п. позволяют также расширить представления о тригонометрич. ф-иях. Синус и косинус комплексного аргумента z определяют при помощи рядов:

$$\sin z=z-\frac{z^3}{3!}+\frac{z^5}{5!}-\ldots,$$
$$\cos z=1-\frac{z^2}{2!}+\frac{z^4}{4!}-\ldots$$

Применяя разложение в ряд Тейлора для ф-ий $\sin(z+h)$ и $\cos(z+h)$, получают ф-лы сложения для этих Ф. к. п.

$$\sin(x+iy)=\sin x\cos iy+\cos x\sin iy.$$

Но т. к. (см. *Комплексные числа*)

$$\sin iy=i\,\mathrm{sh}\,y,\quad \cos iy=\mathrm{ch}\,y,$$

то

$$\sin(x+iy)=\sin x\,\mathrm{ch}\,y+i\cos x\,\mathrm{sh}\,y$$

и аналогично

$$\cos(x+iy)=\cos x\,\mathrm{ch}\,y-i\sin x\,\mathrm{sh}\,y.$$

Эти ф-лы показывают, что $\sin z$ и $\cos z$ могут иметь любое значение, в частности $\sin x>1$, напр. $\sin x=5$. В этом случае понятно x является комплексной величиной.

Если значения u, v Ф. к. п. считать проекциями нек-рого вектора, то сопряженный вектор $\boldsymbol{A}=u\boldsymbol{i}-v\boldsymbol{j}$ не имеет ни источников ни завихрений:

$$\mathrm{div}\,\boldsymbol{A}=0,\quad \mathrm{rot}\,\boldsymbol{A}=0.$$

Это обстоятельство сказывается на свойствах линейного интеграла аналитической Ф. к. п. $f(z)$, взятого вдоль линии L в плоскости XOY:

$$\int\limits_{(L)} f(z)\,dz=\int\limits_{(L)}(u\,dx-v\,dy)+i\,(u\,dy+v\,dx).$$

Если линия L расположена в односвязной области значений z, для к-рых $f(z)$ является аналитич. ф-ией, то интеграл этот не зависит от формы линии L, а зависит только от положения начальной и конечной точек, в частности этот интеграл равен нулю для замкнутой линии L. Значения $f(z)$ на такой замкнутой линии L определяют значение $f(\xi)$ в любой точке $z=\xi$, расположенной внутри линии L:

$$f(\xi)=\frac{1}{2\pi i}\int\limits_{(L)}\frac{f(z)}{z-\xi}\,dz\ \text{(интеграл Коши)}.$$

Значения производных определяются по ф-ле

$$f^{(n)}(\xi)=\frac{n!}{2\pi i}\int\limits_{(L)}\frac{f(z)}{(z-\xi)^{n+1}}\,dz.$$

Если линия L—окружность радиуса R, то z в полярных координатах имеет вид $z=Re^{i\varphi}$. Тогда значение $f(z)$ в точке $\xi=re^{i\psi}$

$$f(\xi)=u+iv=$$

$$=\frac{1}{2\pi}\int\limits_0^{2\pi} f(Re^{i\varphi})\,\frac{R^2-r^2}{R^2-2Rr\cos(\varphi-\psi)+r^2}\,d\varphi,$$

откуда

$$u(r,\psi)=\frac{1}{2\pi}\int\limits_0^{2\pi} u(R,\varphi)\,\frac{R^2-r^2}{R^2-2Rr\cos(\varphi-\psi)+r^2}\,d\varphi$$

(интеграл Пуассона).

Интеграл Коши дает основание для теории вычетов. Пусть в окрестности точки a данная ф-ия $f(z)$ может быть разложена в ряд по восходящим и нисходящим степеням $z-a$ (ряд Лорана):

$$f(z)=C_0+C_1(z-a)+C_2(z-a)^2+$$
$$+\ldots+\frac{C_{-1}}{z-a}+\frac{C_{-2}}{(z-a)^2}+\ldots$$

Если этот ряд сходится вдоль замкнутой линии L, то, интегрируя почленно вдоль этой линии, получают

$$\int\limits_{(L)} f(z)\,dz=2\pi iC_{-1}.$$

Величина

$$C_{-1}=\frac{1}{2\pi i}\int\limits_{(L)} f(z)\,dz$$

называется вычетом функции $f(z)$ относительно особой точки a. Если внутри контура L имеется несколько особых точек a, b, c, ..., то интеграл вдоль этой линии $\frac{1}{2\pi i}\int\limits_{(L)} f(z)\,dz$ равен сумме вычетов функции $f(z)$ относительно этих особых точек a, b, c, ... Теория вычетов имеет много применений в алгебре и в анализе. В частности применение вычетов дает возможность во многих случаях вычислять определенные интегралы функции действительного переменного. Теория Ф. к. п. позволяет строить функции, зная их нулевые и особые точки.

Лит.: Привалов И., Введение в теорию функций комплексного переменного, М.—Л., 1927; Гурса Э., Курс математического анализа, пер. с франц., 2 изд., т. 2, ч. 1, М.—Л., 1933.

Я. Шнайдерайн.

ФУРФУРОЛ, $C_5H_4O_2$, гетероциклический альдегид группы фурана; открыт в 1830 году Дёберейнером. Фурфурол является продуктом дегидратации пентоз (арабинозы, ксилозы), образующихся при гидролизе соответствующих полисахаридов—пентозанов, напр. при кипячении последних с разбавленными кислотами; он содержится в продуктах пиролиза древесины и других растительных материалов, в сивушных маслах, пиве и печеном хлебе.

Свойства. Ф.—бесцветная, при хранении быстро темнеющая жидкость с довольно приятным «ржаным» запахом; уд. вес $D_4^{20}=1{,}160$; $t°_{замерз.}$ −36,5°; $t°_{кип.}$ 161,7°; показатель преломления $n_D^{20}=1{,}5261$; диэлектрическая постоянная $\varepsilon=41{,}7$ (20°; $\lambda=\infty$). Упругость пара: при 40°—8 *мм*, при 92°—69 *мм*, при 120°—214 *мм*, при 160°—726 *мм* Hg. Взаимная растворимость Ф. и воды при различных $t°$ (в % по весу) представлена ниже:

$t°$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	98
Ф. в воде	7,9	8,3	8,8	9,5	10,4	11,7	13,2	14,8	16,6	18,4
Вода в Ф.	3,9	4,8	5,8	6,7	7,6	8,6	9,7	11,3	13,5	15,9

Критич. точка растворимости Ф. в воде отвечает $t°$ 121° и концентрации Ф. в растворе 50,3%. Ф. хорошо растворим в спирте и в эфире; сам он является хорошим растворителем для многих органич. веществ, в том числе и высокомолекулярных. Ф. горюч; $t°$ вспышки его 56°. Технический Ф. имеет красновато-коричневый или бурый цвет, уд. в. 1,155—1,160 и содержит 1—4,6% влаги. По химич. свойствам Ф. сходен с ароматич. альдегидами. При восстановлении он переходит в α-фурил о в ы й с п и р т $C_4H_3O\cdot CH_2OH$; при окислении дает п и р о с л и з е в у ю к и с л о т у (фуран-α-карбоновую) $C_4H_3O\cdot COOH$. Под действием щелочей Ф. сначала конденсируется в кетоноспирт—ф у р о и н $C_4H_3O\cdot CH(OH)\cdot CO\cdot C_4H_3O$, затем превращается в спирторастворимую смолу; со спиртовыми щелочами он перегруппировывается в пиролизевую кислоту + α-фуриловый спирт. С аммиаком Ф. образует ф у р ф у р г и д р а м и д $(C_4H_3O\cdot CH)_3N_2$ (порошок с $t°_{пл.}$ 117°). Ф. весьма склонен к разнообразным реакциям конденсации с другими органич. соединениями; напр. с флороглюцином он конденсируется в нерастворимый красный продукт состава $C_{11}H_8O_4$. Под каталитич. действием многих веществ (к-т, щелочей, Fe, Ni, Pb, $FeCl_3$, $AlCl_3$) Ф. уплотняется в твердую смолоподобную массу. Смесь Ф. и

фенола при действии конц. HCl сперва окрашивается в фиолетовый цвет, затем постепенно затвердевает в черную смолу.

Получение. Сырьем для получения Ф. могут служить всякого рода растительные материалы, богатые пентозанами. Превращение пентозанов в Ф. может быть осуществлено двумя путями: а) прямой дистилляцией сырья с разбавленными кислотами (H_2SO_4 или HCl) и б) предварительным выделением пентоз путем обработки сырья едкой щелочью и последующей перегонкой их с кислотой. В технике применяется пока исключительно первый метод как более дешевый и простой; лучшие выходы Ф. дает перегонка с HCl. Промышленным сырьем для Ф. в настоящее время являются: за границей—отруби, овсяная мякина и кукурузные початки, в СССР—лузга подсолнечника и отдубина (экстрагированное дубильное корье); пригодны для той же цели: солома, кострика, ореховая скорлупа, жмыхи, свекловичный жом, древесные опилки, отходы от осахаривания древесины, водоросли и т. п. При производстве Ф. сырье обрабатывают в автоклаве чаще всего 5%-ной серной к-той (или разбавленной солянной) при нагревании перегретым паром до 140—185° и давлении ок. 4 (иногда до 10) *atm*; затем образовавшийся Ф. отгоняют и конденсируют в холодильнике. Количество варочной кислоты варьирует от 600% до 30% по весу сырья; в США применяются вращающиеся горизонтальные автоклавы. Весь технологический процесс слагается обычно из следующих операций: 1) варка сырья с кислотой в автоклаве, 2) нейтрализация кислого (главным образом благодаря наличию уксусной к-ты) отгона кальцинированной содой или $CaCO_3$, 3) высаливание Ф. из водного раствора хлористым натрием, 4) дистилляция эмульсии (Ф.—вода) в тарельчатой колонне и отделение фурфурольного слоя перегона от водной жидкости, 5) повторное высаливание Ф. из водной фазы. Отработанная кислота из автоклава используется для разложения новой партии сырья. По указанной схеме работает первая советская установка в Одессе, производящая Ф. из подсолнечной лузги; выход Ф. равен ~ 4,5% от сырья; расход Na_2CO_3 равен 1,5—2,0 *кг*, расход NaCl: 10—12 *кг* на 1 *кг* Ф. Из отходов этого производства, при соответствующей его организации, могут получаться метиловый спирт, ацетальдегид, уксусная к-та и гидроцеллюлоза либо растительный клей. В случае необходимости сушки влажного Ф. сушку производят в отдельном вакуум-аппарате. По оригинальному способу (Д. Мирлис) Ф. получается из отдубины (отходов экстрактно-дубильного производства), очень богатой пентозанами. Отдубина варится $^1/_2$ часа в автоклаве под давлением 6—7 *atm* (*t°* ок. 160°) с 1%-ной H_2SO_4 и с добавкой NaCl; под этим же давлением производится и отгонка Ф. с паром (ок. 3 час.). Перегон нейтрализуется мелом и ректифицируется в колонне типа Барбе; твердый остаток из автоклава используется на топливо. Выход Ф. равен 6—7%.

Крупное заводское производство Ф., возникшее лишь около 1922 г., в последующем периоде обнаруживало чрезвычайно бурный рост. В 1930 году мировая продукция Ф. достигала 25 000 *т*; на первом месте по выработке Ф. стоят США. Благодаря укрупнению и усовершенствованию методов производства цена на Ф. в США снизилась с десятков долл. до 15 центов за англ. фунт. В СССР производство Ф. поставлено на опытной установке 2-го Государственного маслозавода (Одесса) из подсолнечной лузги. Другая опытная установка (завод Кожсиндиката в Одессе) вырабатывает Ф. из отдубины. В настоящее время трестом Союзрасмасло поставлен в Армавире опытный з-д для получения Ф. из лузги с годовой производительностью 100 *т*.

Применение. 1) Главное применение Ф. находит в производстве искусственных смол и пластических масс, поделочных и электроизоляционных. Эти смолы получаются конденсацией Ф. с фенолами; из числа последних пригодны гл. образом фенол, крезолы, β-нафтол, а также резорцин, пирокатехин, гидрохинон и гваякол. В процессе смолообразования имеют место не только конденсационные, но и полимеризационные процессы (за счет двойных связей Ф.). Конденсация Ф. с фенолами на кислых катализаторах (HCl; NH_4Cl; $C_6H_5NH_2 \cdot HCl$; эпихлоргидрин; $C_2H_2Cl_4$; $NH_2OH \cdot HCl$; $ZnCl_2$; $AlCl_3$; $CuCl_2$) дает нерастворимые и неплавкие смолы; на щелочных катализаторах (Na_2CO_3, K_2CO_3) получаются растворимые смолы. Технологич. выгодность применения Ф. состоит в том, что конденсация компонентов проводится в отсутствии воды (что не имеет места при формальдегиде). Смолоподобные продукты получаются также при конденсации Ф. с ароматич. аминами (анилин, м-нитроанилин, толуидин, нафтиламины, ксилидин, толуилендиамин) в присутствии HCl или с кетонами (ацетон, метилэтилкетон) в присутствии едкой щелочи. При нагревании Ф. с аммиаком в автоклаве при 120—140° получается лаковая смола, растворимая в бензоле; синтетич. смолы для лаков м. б. приготовлены и конденсацией Ф. с лигнином. Все фурфурольные смолы темных цветов. Техника получения высококачественных пластмасс из Ф. еще недостаточно освоена. В СССР предложено Ф. вводить в карболитовые смолы с целью придания красивой окраски и повышения диэлектрич. свойств. 2) Другая важная область применения Ф. основывается на его растворяющей способности. Ф. применяется как растворитель для нитроцеллюлозы, ацетилцеллюлозы, смол и камедей (в лаковом производстве, для темных лаков); как растворитель и разбавитель для органич. красителей и восков, гл. образом при изготовлении красок для кожи и сапожных мазей; как пластификатор для нитроклетчатки при производстве взрывчатых веществ; для размягчения и смывания лаков и красок; для регенерации каучука из утиль-резины. С помощью Ф. производится также очистка сырого антрацена (15—25%-ного): из горячего (*t°* 90°) раствора Ф. после фильтрования и охлаждения до комнатной *t°* выкристаллизовывается 64—65%-ный антрацен (фенантрен и карбазол остаются в маточнике); повторной кристаллизацией из Ф. получают антрацен 88—90%-ной чистоты. 3) Умеренная токсичность и заметное бактерицидное действие Ф. позволяют применять его в качестве инсекто-фунгисида, антисептического (2%-ный раствор), дезинфекционного и консервирующего средств. Ф. применяется как средство для истребления мух, для протравливания зерновых продуктов и свеклы, для лечения пораженных грибками деревьев на корню и для противогнилостной пропитки древесины (с одновременным ее окрашиванием в темные цвета), для консервирования пищевых продуктов

(жиров, масел, сухого молока) и биологических препаратов; предложен как средство борьбы с сорняками. 4) Ф. употребляется для придания аромата курительному табаку, служит реактивом на кунжутное масло (при технич. анализе маргарина), а в смеси со скипидаром используется как искусственная олифа. 5) Ф. может применяться для дубления кожи как самостоятельно, так и в виде нек-рых его препаратов (синтаны); вопрос этот находится еще в стадии изучения. 6) Некоторые производные Ф. (фурфургидрамид, тиофурфурол и др.) употребляются как ускорители вулканизации каучука. 7) Ф. неоднократно предлагался как исходный материал для синтеза ряда душистых веществ; таковыми являются первые продукты конденсации типа $C_4H_3O{\cdot}CH{:}X$, где X—двухвалентный радикал, содержащий альдегидную, кетонную, спиртовую или этерифицированную карбоксильную группу. Фурфургидрамид $(C_4H_3O{\cdot}CH)_3N_2$ применяется в парфюмерии. 8) Конденсацией Ф. с ароматическими аминами м. б. получены вещества со свойствами красителей, которые однако еще не имеют промышленного значения. Многие продукты замещения, конденсации и гидрирования Ф. могут приобрести значение как растворители, фармацевтич. препараты или средства борьбы с вредителями.

Аналитич. определение. А) Качественные реакции. 1) При действии на Ф. анилина или ксилидина в присутствии HCl или уксусной к-ты—яркокрасное окрашивание, с бензидином—фиолетовое. 2) Наиболее чувствительна (1:600 000) реакция Ф. с орцином—синее окрашивание, извлекаемое амиловым спиртом. Б) Количественное определение. 1) Объемный метод: Ф. в HCl-растворе окисляют избытком $KBrO_3$, затем прибавляют KJ и титруют выделившийся иод гипосульфитом. 2) Весовой метод: осаждение Ф. флороглюцином в виде продукта конденсации—Ф.-флороглюцида $C_{11}H_8O_4$. 3) Аналогичное осаждение Ф. в виде продуктов конденсации с пирогаллолом или с барбитуровой к-той или с тиобарбитуровой к-той. 4) Выделение Ф. фракционной перегонкой исследуемой смеси. Для идентификации Ф. служит его фенилгидразон ($t°_{пл.}$ 97°).

Лит.: Ушаков С., Искусственные смолы, Л., 1929 (смолы из Ф., перечень патентов); Деснер Г., «Масло-бойно-жировое дело», М., 1929, *9 (50)*, стр. 32; его же, там же, 1931, *2—3*, стр. 36; Райгородский М., там же, 1931, *8—9*, стр. 62; Четвериков Н., там же, 1932, *3*, стр. 50; Челинцев В. и Воробьева А., «ЖХП», М., 1933, *2*, стр. 27; Деснер Г., «ЖХП», 1930, т. 7, стр. 695 (физич. свойства Ф.); Мирлис Д., там же, 1931, т. 8, стр. 697; Гофман М. и Корневич К., «Химия твердого топлива», М., 1930, *5*, стр. 51 (применение Ф. для очистки антрацена); Оборин В., «Журнал прикладной химии», М., 1930, т. 3, стр. 231; Порай-Кошиц А. и Иттенберг Ш., там же, 1932, т. 5, стр. 761 (применение Ф. в текст. деле); Порай-Кошиц А., Кудрявцев Н. и Машкилейзон Б., там же, 1933, т. 6, стр. 685 (механизм конденсации Ф. с феноломи); Орлов Н. и Рыклис С., там же, 1933, т. 6, стр. 910; Дерибас Д. и Шиллер Г., «Вестник кожевенной промышленности», М., 1931, *7*, стр. 347; Дерибас Д. и Шиллер Г., Кожевенно-обувная пром-сть СССР, М., 1932, *10*, стр. 601 (дубильные вещества из Ф.); «Бюллетень пластмассгроя», М., 1931 (материалы конференции по Ф. при НИС ПТЭУ ВСНХ); Порай-Кошиц А., Сов. П. 1868/1924 (получение Ф. из лузги); Поварнин, Сов. П. 16199/1927 (получение Ф. из надсмольной воды); Ан. П. 340102/1930; «I. Eng. Chem.»: 1918, v. 10, p. 925; 1921, v. 13, p. 133, 499, 823, 1024; 1923, v. 15, p. 65, 499, 823, 970, 1057, 1167, 1255; 1924, v. 16, p. 130, 356; 1926, v. 18, p. 812, 1217; 1927, v. 19, p. 422; Miner C., Trickley J. a. Brownlee H., «Chemical a. Metallurgical Engineering», N. Y., 1922, v. 27, p. 299 a. 362 (приведена лит. по 1921 г.); «Chemical Trade Journal», L., 1926, v. 78, p. 407, v. 79, p. 761; Fairbrother H., «Industrial Chemist a. Chemical Manufacturer», 1927, v. 3, p. 243; Urbanus W., «Kunststoffe», Mch., 1927, B. 17, p. 29 u. 86 (синтетич. смолы); Barry T., «The Industrial Chemist», L., 1930, *12* (производство); Mahood S. a. Aldrich H., «Journ. of American Chemical Society», 1930, v. 52, p. 4477 (производные Ф.); Genin G., «Matières plastiques», P., 1931, t. 7, *2*, p. 89; Phillips M. a. Weihe D., «Chemical Age», L., 1931, v. 24, p. 557 (смолы); Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 5, p. 442.

В. Янковский.

ФУРЬЕ ТЕОРЕМА. Франц. математик Жан Батист Жозеф Фурье (1768—1830 гг.) впервые сформулировал свою знаменитую теорему в начале прошлого столетия следующим образом: всякая периодич. функция м. б. представлена в виде конечного или бесконечного ряда

$$f(t)=\frac{a_0}{2}+a_1\cos t+a_2\cos 2t+a_3\cos 3t+\ldots+$$
$$+b_1\sin t+b_2\sin 2t+b_3\sin 3t+\ldots \quad (1)$$

Коэфициенты этого ряда имеют вид

$$\left.\begin{aligned} a_n&=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi}f(t)\cos nt\cdot dt,\\ b_n&=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi}f(t)\sin nt\cdot dt.\end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Первый член ряда представлен в виде $\frac{a_0}{2}$, потому что при подстановке в выражение для a_n $n=0$ мы получим этот коэф. в виде $\frac{a_0}{2}$.

Покажем, что если данная ф-ия м. б. представлена в виде указанного ряда, коэф-ты a_n и b_n должны иметь вышеуказанный вид. Т. к. обе стороны ур-ия (1) идентичны для всех значений t, то они должны оставаться идентичными и после совершения над ними одинаковых операций. Умножим обе части этого ур-ия на dt и проинтегрируем их в пределах от $t=0$ до $t=2\pi$.

Т. к. $\int_0^{2\pi}\cos nt\cdot dt=0$ и $\int_0^{2\pi}\sin nt\cdot dt=0$,

то мы имеем:

$$\int_0^{2\pi}f(t)\,dt=\frac{a_0}{2}\int_0^{2\pi}dt=\pi a_0.$$

Это и есть значение интеграла, получаемое при подстановке $n=0$ в ур-ия (2). Умножим теперь обе стороны ур-ия (1) на $\cos nt\cdot dt$ и проинтегрируем его в пределах от 0 до 2π.

Т. к. $\int_0^{2\pi}\cos mt\cdot\cos nt\cdot dt=0$, если m не равно n

или равно π, кроме этого

$$\int_0^{2\pi}\sin mt\cdot\cos nt\cdot dt=0,$$

то, если $m=n$, мы имеем:

$$\int_0^{2\pi}f(t)\cos nt\cdot dt=a_m\int_0^{2\pi}\cos^2 nt\cdot dt=\pi a_n.$$

Таким же образом, умножив обе стороны ур-ия (1) на $\sin nt\cdot dt$, проинтегрировав их в пределах от 0 до 2π и принимая во внимание, что

$$\int_0^{2\pi}\sin mt\cdot\sin nt\cdot dt=0,$$

если m не равно n или равно π, то, если $m=n$, мы имеем:

$$\int_0^{2\pi} f(t)\sin nt\cdot dt = b_n\int_0^{2\pi}\sin^2 nt\cdot dt = \pi b_n.$$

Коэф-ты a_0, a_n и b_n определятся отсюда в согласии с выражениями (2).

Слагаемые ряда (1) называются гармониками, а также косинусоидами первого порядка, $b_n\sin nt$—синусоидой n-го порядка и т. д. Как косинусоида, так и синусоида n-го порядка проходит через n циклов изменений в течение одного периода ф-ии $f(t)$. Каждую пару таких гармоник n-го порядка можно сложить вместе. Полученная сумма имеет вид

$$a_n\cos nt + b_n\sin nt = \sqrt{a_n^2+b_n^2}\cdot\sin(nt+\varphi_n),$$

где

$$\operatorname{tg}\varphi_n = \frac{a_n}{b_n}.$$

Коэф-ты a и b называются амплитудами соответствующих гармоник. Сложив каждую из пар гармоник (*косинусоиды* и *синусоиды*), мы получим ряд Фурье в другом виде:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n\sin(nt+\varphi_n),$$

где

$$A_n = \sqrt{a_n^2+b_n^2}.$$

Ф. т. находит себе обширное применение при всевозможных исследованиях колебательных движений упругих тел, вызываемых в последних действием периодически изменяющихся сил. При исследованиях вибраций поршневых двигателей, колебаний мостов, колебаний фундаментов машин, при исследовании тепловых процессов и т. д. Ф. т. является чрезвычайно важным средством, позволяющим глубоко вникнуть в природу перечисленных явлений. При употреблении Ф. т. однако допускается весьма серьезная ошибка, сущность к-рой заключается в утверждении, что упругие колебательные движения какого-либо порядка могут быть вызваны только гармоническими силами того же порядка. В действительности колебательные движения p-го порядка м. б. вызваны гармонич. силами порядка p, $3p$, $5p$, ..., kp, где k—любое целое нечетное число (см. *Гармонический анализ*, *Колебательные движения*, *Скорость критическая*). Для доказательства этого рассмотрим ряд Фурье вида

$$y = \sum_{n=0}^{\infty}(a_n\sin na + b_n\cos na).$$

Представим себе кривую, представляющую эту ф-ию вычерченною в прямоугольных координатах, по оси t к-рых откладываются значения a и по оси y величина y. Разделив отрезок T, представляющий период данной ф-ии, на $2p$ равных интервала $\frac{T}{2p}$, проинтегрируем ф-ию y по этим интервалам, меняя каждый раз знак. Получим сумму

$$S = \int_0^{\frac{T}{2p}} y\,dt - \int_{\frac{T}{2p}}^{\frac{2T}{2p}} y\,dt + \int_{\frac{2T}{2p}}^{\frac{3T}{2p}} y\,dt - \ldots - \int_{\frac{(2p-1)T}{2p}}^{T} y\,dt.$$

Представим себе вместо величины t равнозначную ей величину $\frac{T}{2\pi}a$, получим эту сумму в виде

$$S = \frac{T}{2\pi}\left[\int_0^{\frac{\pi}{p}} y\,da - \int_{\frac{\pi}{p}}^{\frac{2\pi}{p}} y\,da + \ldots - \int_{\frac{(2p-1)\pi}{p}}^{2\pi} y\,da\right].$$

Сумма S д. б. независима от b_n и должна зависеть только от тех a_n, у к-рых значение n есть нечетное кратное целого числа p. Иными словами, сумма S должна обратиться в нуль при подстановке частного значения $y=b_n\cos nx$ для значений n—четных и нечетных кратных p, а также при подстановке $y=a_n\sin na$ для значений n—четных кратных p. При значениях $n=kp$—нечетных кратных p подстановка $y=a_n\sin na$ должна дать сумму S, отличную от нуля. При подстановке $y=b_n\cos na$ мы получаем

$$S_1 = \frac{T}{2\pi}b_n\left[\int_0^{\frac{\pi}{p}}\cos na\cdot da - \int_{\frac{\pi}{p}}^{\frac{2\pi}{p}}\cos na\cdot da + \ldots - \int_{\frac{(2p-1)\pi}{p}}^{2\pi}\cos na\cdot da\right] = \frac{T}{2\pi}b_n\frac{1}{n}\left\{\sin\frac{\pi n}{p} - \left(\sin\frac{2\pi n}{p}-\sin\frac{\pi n}{p}\right) + \left(\sin\frac{3\pi n}{p}-\sin\frac{2\pi n}{p}\right) - \ldots - \left[\sin 2\pi n - \sin\frac{(2p-1)\pi n}{p}\right]\right\} = \frac{T}{2\pi}b_n\left[\frac{2}{n}\left(\sin\frac{\pi n}{p} - \sin\frac{2\pi n}{p} + \ldots + \sin\frac{2p-1}{p}\pi n\right) - \frac{1}{n}\sin 2\pi n\right].$$

Каждое из слагаемых этой суммы равно нулю при значениях n как четных, так и нечетных кратных p. Т. о. при этом $S_1=0$, что и требуется нашими условиями. Подставим теперь $y=a_n\sin na$:

$$S_2 = \frac{T}{2\pi}a_n\left[\int_0^{\frac{\pi}{p}}\sin na\cdot da - \int_{\frac{\pi}{p}}^{\frac{2\pi}{p}}\sin na\cdot da + \ldots - \int_{\frac{(2p-1)\pi}{p}}^{2\pi}\sin na\cdot da\right] = \frac{T}{2\pi}a_n\frac{1}{n}\left\{\left(\cos 0-\cos\frac{\pi n}{p}\right) - \left(\cos\frac{\pi n}{p}-\cos\frac{2\pi n}{p}\right) + \left(\cos\frac{3\pi n}{p}-\cos\frac{2\pi n}{p}\right) - \ldots - \left[\cos\frac{(2p-1)\pi n}{p}-\cos 2\pi n\right]\right\} = \frac{T}{2\pi}a_n\frac{1}{n}\left[1-2\cos\frac{\pi n}{p}+2\cos\frac{2\pi n}{p}-2\cos\frac{3\pi n}{p}+\ldots - 2\cos\frac{(2p-1)\pi n}{p}+1\right] = \frac{T}{2\pi}a_n\frac{2}{n}\left[1-\cos\frac{\pi n}{p}+\cos\frac{2\pi n}{p}-\ldots-\cos\frac{(2p-1)\pi n}{p}\right].$$

Нетрудно видеть, что при четных значениях $k=\frac{n}{p}$ сумма

$$S_2 = \frac{T}{2\pi}a_n\cdot\frac{2}{n}(1-1+1-\ldots-1)=0,$$

при нечетных значениях $k=\frac{n}{p}$ эта сумма отлична от нуля и равна

$$S_2=\frac{T}{2\pi}\cdot a_n\cdot\frac{2}{n}(1+1+1+\ldots+1)=$$
$$=\frac{T}{2\pi}\frac{4p}{n}a_n=\frac{2T}{\pi}\frac{a_n}{k}.$$

Это выражение представляет собой площадь, ограниченную синусоидой порядка p с периодом T и с амплитудой $\frac{p}{n}a_n=\frac{a_n}{k}$. Эта площадь представляет собой импульс одного периода колебательного движения порядка p, вызванного гармоническими силами порядка $n=kp$, где k — любое нечетное число.

Лит.: Привалов И., Ряды Фурье, 2 изд., М.—Л., 1931; Мартенс Л., Динамика поршневых двигателей, М., 1932; см. также *Гармонический анализ, Скорость критическая, Колебательные движения.* **Л. Мартенс.**

ФУТШТОК, прибор для определения высоты уровня воды, а равно колебаний уровня различных водных бассейнов. Простейший вид Ф.— рейка (деревянная или металлическая) с дюймовыми или сантиметровыми делениями. Нуль, от к-рого идет счет делений, ставится или внизу рейки (счет вверх) или на делении, соответствующем среднему из многолетних наблюдений уровню (ординар); в этом случае счет делений идет в обе стороны (с плюсом, если уровень выше ординара, и с минусом—в обратном случае). Место для установки Ф. выбирается не осыхающее при самой малой воде, имеющее свободное сообщение с бассейном и защищенное от волны. Усовершенствованные Ф. преследуют цель удлинения долговечности Ф. и защиты их от волнения. Установка Ф. по возможности должна позволять производство отсчетов с берега. Длина рейки футштока должна превышать максимальную амплитуду колебания уровня. Связь футштока с берегом достигается устройством на берегу реперов и связью их путем нивелировки с нулем футштока; в свою очередь репер привязывается нивелировкой к ближайшему пункту общей нивелировочной сети. Самопишущие футштоки носят название *мареографов* (см.).

Лит.: Мессер П., Гидрографические работы и морские навигационные карты, Л., 1933. **К. Мигаловский.**

X

X-ЕДИНИЦА. Икс-единица, *единица* длины для измерения длины волны лучистой энергии в наиболее удаленных направо частях спектра. Обозначается латинской буквой X; в 1 000 раз меньше ангстрема: 1 Å = 1 000 икс; 1 *мм* = 10^{10} икс. Между крайними единицами, к-рыми в настоящее время пользуются для измерения волн лучистой энергии (*километр* и икс), существует следующее соотношение:

$$1\ км = 10^{16}\ X.$$

Уже лучи Рентгена измеряются в X; подробно изученная часть спектра этих лучей тянется от 20 Å (20 000 X) до $^1/_{14}$ Å (71 X). Еще более короткие *γ*-лучи тянутся до длины в 5 X и наконец лучи Гесса, или космические (если они имеют действительно волновой характер),— предположительно до 0,1 X.

Лит.: Хвольсон О., *Курс физики*, 6 изд., т. 1, М.—Л., 1933.

ХАЛЦЕДОН, кварцевая стеклянная голова, минерал, скрыто кристаллическая разновидность *кварца* (см.), *тв.* 6,5 — 7, *уд. в.* 2,57 ÷ 2,64. Встречается в натечных формах, в виде шаровидных тонкокристаллических образований с радиально лучистой структурой, растущих от центра к периферии (сферолиты в изверженных горных породах). Цвет X. весьма разнообразен, как и у кварца. Часто он окрашен полосами или пятнами, в зависимости от чего получает название агата, гелиотропа и др. Прозрачен в различной степени, чаще лишь просвечивает. Оптич. константы,—как у кварца, но непостоянны вследствие агрегационного строения X. Химич. состав анализированных X. никогда не отвечает точно SiO_2, количество к-рого для наиболее чистых образцов доходит до 99,5%. Вследствие тонкой дисперсности X. легко загрязняется посторонними примесями, что обусловливает большое количество разновидностей (см. таблицу).

Однородно и красиво окрашенные разновидности X. (сердолик, хризопраз, кахчолонг) считаются полудрагоценными камнями и применяются для недорогих ювелирных изделий (запонки, брелоки, бусы и т. п.). Из одноцветных X. изготовляются камеи, интальи, статуэтки. Все сорта X. (в том числе и агат) служат поделочными камнями (чернильницы, вазы, пепельницы и пр.) и идут для мозаичных работ. Из нек-рых сортов пористых X. изготовляют естественные фильтры. Размолотый X. применяется как полировочный материал. Из агата и X. вытачивают валки для ленточных ф-к, гладильные камни для бумажных и кортонных ф-к. Из америк. новакулита (горная порода, *являющаяся почти* чистым X., содержащим 99,5% SiO_2) изготовляют точильные камни под торговыми названиями ашита и арканзас (или канзас). X.—весьма

Классификация халцедонов.

Наименование разновидностей X.	Цвет	Прочие сведения
	Ровно окрашенные	
Собственно халцедон	Бесцветный, белый, молочно-серый, серый	В обиходе X. называют бесцветные, белые или серые и вообще однородно и слабо окрашенные разновидности
Сапфирин	Синевато-серый, синий	По окраске иногда приближается к сапфиру; редкий минерал
Церахи	Блестящий желтый, похожий на воск	—
Карнеол, или сердолик	Красный, оранжевый	От красной *яшмы* (см.) отличается прозрачностью; окраска карнеола обусловливается присутствием Fe; характерный красный цвет карнеолы получают часто лишь после предварительной прокалки, на чем основано производство ценных карнеолов
Сардер	Бурого, иногда блестящего каштанового цвета, часто несколько оранжевого оттенка	Лучшими образцами сардера считаются коричневые в отраженном свете и просвечивающие красным цветом в проходящем свете. Бесцветный X., искусственно окрашенный в красивый, насыщенный и равномерный коричневый цвет, идет под названием сардониксов
Плазма	Зеленый, темнолуково-зеленый, реже яблочно-зеленый и и белесоватый	Просвечивает слабее других X. и по виду приближается к зеленой яшме, от к-рой по наружному виду плазму часто трудно отличить; различие обнаруживается только под микроскопом; окрашивающим веществом плазмы являются чешуйки селадонита, равномерно распределенные повсей массе минерала
Хризопраз	Яблочно-зеленый	Окрашен солями Ni, содержание к-рого доходит до 2%
Кахчолонг, или кахолонг	Белый	Переходный минерал от безводного X. к водному аморфному *опалу* (см.)

(Продолжение)

Классификация халцедонов.

Наименование разновидностей Х.	Цвет	Прочие сведения
Пятнистые		
Гелиотроп, «окровавленный камень» (англ. bloodstone), «кровяная яшма» (jaspe sanguin), или «восточная яшма»	Зеленый с красными пятнышками	Ценность камня обусловливается цветом пятнышек, одинаковостью их по величине и равномерностью распределения по фону
Слоистые		
Агат (см.)	—	—
Узорчатые		
Точечный Х., или точечный агат, иначе стефанов камень	Белый или серый в мелких красных пятнышках	—
Дендритовый Х., или дендритовый агат (моккский камень)	Белый или серый с вкраплениями красных, бурых или черных дендритов	Включения дендритов образуются из растворов Fe или Mn, проникших в мельчайшие скважинки в толще камня, и имеют вид деревцов или кустиков (Fe дает красные и бурые дендриты, Mn—черные); существуют способы искусственного воспроизведения древовидных рисунков на шлифованных камнях (по красоте искусственные фигуры превосходят естественные)
Моховой Х., или моховой агат, моховик	—	Характеризуется обильными ветвистыми минеральными включениями зеленого цвета, производящими впечатление мха, заключенного в массе минерала
Крепостной агат, или Х.	—	Полосы образуют входящие и выходящие углы, и рисунок напоминает топографический план крепости
Ландшафтный агат, или Х.	—	Рисунок напоминает пейзажную живопись
Звездчатый агат, или Х.	—	Отличается звездчатыми фигурами, образованными из ломаных линий
Облачный Х.	—	Камень с облачными сгущениями окраски
Обломочный агат	—	Основная агатовая масса разбита поперечными трещинами, а обломки массы сцементованы аметистовым кварцем
Развалинный агат	—	Разновидность обломочного, в котором обломки образуют рисунки, напоминающие развалины зданий
Трубчатый агат	—	В массе его заключены трубчатые образования особой окраски
Кружковый агат	—	Полосы обрывают отдельные разноцветные кольца большего или меньшего диам.; сюда же относится глазчатый агат, центральная часть рисунка, заключенная в кольцах, имеет отличную от общего рисунка темную окраску
Нечистые		
Кварц-Х. и кварц-агат Яшмовый Х. и яшмовый агат	—	Переходные разновидности Х. или агата к кварцу и яшме

распространенный минерал: он входит как существенная часть в некоторые горные породы.

Месторождения халцедона и его разновидностей: Ю. Бразилия, Уругвай, Индия, США (арканзас), Аравия (карнеол), Силезия (хризопраз), Франция, Бельгия, Англия, Дания (в последних четырех странах—кремень). В СССР: 1) Вост. Сибирь на В. от Енисея за Лену—во многих реках в виде галек встречается огромное количество Х., сапфирина, сердолика, сардера, в меньших количествах—гальки плазмы, гелиотропа, мохового агата, кахчолонга; 2) Забайкалье: найдены почти все упомянутые в классификации разновидности Х.; 3) Средний Урал: однородные Х.

Лит.: Болдырев А., Курс описательной минералогии, вып. 2, стр. 56, Л., 1928; Лебедев Г., Учебник минералогии, СПБ, 1907; Коллектив авторов, Рабочая книга по минералогии, Л.—М., 1932 (библиогр.); Федоровский Н., Курс минералогии, 4 изд., Москва—Ленинград—Новосибирск, 1932; Фелькерзам А., Халцедон и его применение в искусстве, «Старые годы», Петроград, 1916, март; Dammer B. u. Tietze O., Die Nutzbaren Mineralien, 2 Aufl., B. 1, Stuttgart, 1927.

И. Мельников.

ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ, см. *Люминесценция.*

ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ, см. *Равновесие химическое.*

ХИМИЧЕСКОЕ СРОДСТВО, термин, введенный в химии для объяснения того, что одни вещества реагируют друг с другом бурно, другие медленно, третьи вовсе не реагируют; в свое время из этого вывели заключение, что между некоторыми веществами имеется определенное «сродство», в силу к-рого они при встрече реагируют друг с другом; если же данные вещества не реагируют, то это значит, что между ними нет «сродства». Такое сродство исследователи стали рассматривать как силу, заставляющую вещества реагировать, и тогда встал вопрос об ее измерении. Т. о. вопрос о Х. с. был переведен на язык механики, но т. к. нельзя было найти такого противодействия (сопротивления), по к-рому можно было бы измерять химич. силу—сродство, то перевод химич. проблемы на язык механики остался совершенно бесплодным. Тогда стали искать меры Х. с. в его проявлениях.

Первая попытка принять в качестве меры Х.с. веществ скорость реакции между ними почти тотчас же была отброшена: влияние среды и катализаторов на скорость химич. реакции показывает, что скорость реакции решительно ничего не говорит о причинах, заставляющих вещества вступать во взаимодействие. Вторая попытка принадлежит Томсену и Бертело, согласно к-рым мерой Х. с. является тепловой эффект реакции: реакция течет самопроизвольно в том направлении, в к-ром выделяется наибольшее количество теплоты. Однако и эта идея неверна; т. к. всякая обратимая реакция течет самопроизвольно в том или другом направлении в зависимости от концентраций веществ, и если при течении в одном направлении теплота выделяется, то при течении ее в другом направлении теплота поглощается; также противоречат этому реакции в охлаждающих смесях; напр. в смеси глауберовой соли и соляной к-ты самопроизвольно идет реакция

$$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O + 2HCl \rightarrow 2NaCl + 10H_2O + H_2SO_4,$$

поглощающая много тепла и дающая в силу этого сильное понижение $t°$. Тем не менее в идее Томсена и Бертело есть доля истины; действительно при химически необратимых реакциях в конденсированных системах реакции очень часто текут в направлении выделения тепла.

Нернст показал (тепловой закон Нернста см. ниже), что мысль Томсена и Бертело вполне справедлива при абсолютном нуле, при высших же $t°$ она может оправдываться только в частных случаях.

В физич. химии восторжествовала идея Вант-Гоффа, согласно к-рой мерой Х. с. является максимальная работа, к-рую может дать реакция между заданными веществами, если она протекает термодинамически обратимо при постоянных объеме и $t°$, или же полезная максимальная работа, к-рую дает такая реакция при постоянных давлении и $t°$; другими словами, мерой Х. с. между данными веществами является убыль свободной энергии ($-\Delta F$) или термодинамич. потенциала ($-\Delta Z$) в зависимости от условий, в к-рых обратимо протекает реакция между этими веществами. Всякая работа выражается произведением фактора интенсивности (силы в обобщенном смысле) на изменение фактора емкости; так, в выражении для работы расширения $p\Delta V$ давление p есть фактор интенсивности, а объем V—фактор емкости; в случае химич. работы $\mu\Delta m$ фактор интенсивности есть химич. потенциал μ вещества, а m—количество молей его—есть фактор емкости; делая во всех случаях расчеты на изменение емкости в количестве одного моля, мы можем, казалось бы, по величине работы судить о величине химич. потенциала, а таковой и был бы выражением Х. с.—химич. силы в обобщенном смысле. Однако положение вещей значительно сложнее; дело в том, что химич. потенциал данного вещества есть ф-ия не только от объема (или давления) и $t°$, но и от концентраций всех веществ, участвующих в данной реакции. Химич. термодинамика в выражении для максимальной работы заменяет химич. потенциалы ф-иями от концентраций и приходит к следующим ф-лам: при постоянных объеме и $t°$ максимальная работа реакции

$$A = RT \ln K_v - RT \Sigma(\nu \ln c)_i, \qquad (1)$$

а при постоянных давлении и $t°$ полезная максимальная работа

$$A_p = RT \ln K_p - RT \Sigma(\nu \ln \gamma)_i, \qquad (1a)$$

где R — газовая постоянная, T — абсолютная темп-ра, K_v и K_p—константы равновесия (см. *Термодинамика, Равновесие химическое*), первая при постоянных V и T, вторая—при постоянных p и T, c—объемно-молекулярная, а γ—молекулярно-весовая концентрации; индекс i указывает на исходные в общем случае неравновесные концентрации; ν—стехиометрич. множители в химич. ур-ии реакции. Символ $\Sigma(\nu \ln c)$ обозначает

$$\nu'_1 \ln c'_1 + \nu'_2 \ln c'_2 + \ldots - \nu_1 \ln c_1 - \nu_2 \ln c_2 - \ldots,$$

где ν' и c' относятся к веществам образующимся, а ν и c—к веществам, исчезающим в реакции.

Обычно для расчетов в качестве исходных концентраций берут концентрации, равные единице; тогда в ур-иях (1) и (1a) вторые члены отпадают, и максимальные работы становятся равными

$$A = RT \ln K_v \text{ и } A_p = RT \ln K_p. \qquad (2)$$

Результаты вычислений по ф-лам (2) сводят в таблицы, и по ним судят о Х. с. веществ, участвующих в реакциях. Этот сокращенный прием расчета невольно приводит к распространенному, но ошибочному взгляду, согласно к-рому можно говорить о Х. с. вещества А к веществу В вообще. Однако стоит только произвести расчеты по полным ф-лам (1) или (1a), чтобы убедиться в том, что Х. с., определяемое по величине максимальной работы между А и В, может быть самым разнообразным и в зависимости от условий даже отсутствовать.

Напр. в случае реакции между водородом и иодом:

$$\tfrac{1}{2} H_2 + \tfrac{1}{2} J_2 \rightleftarrows HJ$$

при 300° при исходных концентрациях 0,4995 молей H_2 + 0,4995 молей J_2 + 0,001 моля HJ работа реакции A = + 9 568 cal; при исходных концентрациях 0,45 молей H_2 + 0,45 молей J_2 + 0,1 моля HJ работа A = +4 207 cal; при исходных концентрациях 0,0913 молей H_2 + 0,0913 молей J_2 + 0,8114 молей HJ работа A = 0; наконец если исходные концентрации равны 0,05 молей H_2 + 0,05 молей J_2 + 0,9 моля HJ, то работа A = −794 cal, т. е. идет не реакция $^1/_2\ H_2 + {}^1/_2\ J_2 \rightarrow HJ$, а обратная реакция—диссоциация HJ. Если считать работу реакции мерой Х. с., то из данного примера видно, что нельзя говорить о Х. с. между водородом и иодом вообще; нужны точные указания условий, в частности концентраций не только водорода и иода, но и концентрации иодистого водорода, для того чтобы говорить о Х. с. водорода к иоду; в определенных условиях концентраций это сродство может переходить в свою противоположность.

Вполне целесообразно поэтому поставить вопрос: есть ли смысл вообще говорить о сродстве в химии? Ясно, что понятие о сродстве в силу своей сложности не поддается простой физич. интерпретации, так как Х. с. между веществами А и В зависит от наличия продукта реакции АВ и является сложной функцией ряда факторов.

Не менее сложным является подход к выяснению понятия Х. с. и с точки зрения строения молекулы и атома. Образование HJ из H_2 и J_2 предполагает предварительный распад молекул H_2 и J_2 и последующее соединение атомов H и J при помощи «общих» двум атомам электронов; такой распад молекул и соединение атомов в новые молекулы имеют место тогда, когда первых молекул много; по мере накопления молекул продукта реакции распад исходных молекул становится все меньшим и меньшим, что нелегко объяснить. Между тем с практич. точки зрения важнейшими задачами химии являются вопросы о том, в каком направлении пойдет реакция в заданной среде и как велика та работа, к-рую мы можем получить от реакции в определенных условиях, а на эти вопросы ответ дает подсчет свободной энергии или термодинамич. потенциала; убыль их показывает максимальную работу и направление реакции; строго говоря, исторически возникшее понятие о Х. с. является в современной химии излишним.

Выше мы уже указали главнейший метод определения максимальной работы реакции, состоящий в экспериментальном определении констант равновесия и в использовании уравнений (1) или (2). Этот путь очень труден, чем объясняется противоречивость опытных данных, особенно при высоких $t°$ в случаях более сложных реакций. Лучшие результаты получены для тех частных случаев общей проблемы, когда вся работа состоит в изменении давления или объема системы, что имеет место, если в системе образуется только одно газо(паро)образное вещество; таковы реакции диссоциации окислов, карбонатов и нек-рых других солей, кристаллогидратов и т. п. В этих случаях применяется непосредственно ф-ла

$$A = RT \ln \frac{p_1}{p_2},$$

к-рая м. б. приспособлена к аналогичным случаям в растворах, когда вместо давлений берутся концентрации

$$A = RT \ln \frac{c_1}{c_2}.$$

Прекрасным методом определения максимальной работы реакции является проведение ее в

гальванич. элементе (см. *Электрохимия*); электродвижущая сила элемента (цепи) непосредственно дает максимальную работу данной реакции. Особый интерес представляет использование для данной цели уравнения Гиббса-Гельмгольца:

$$A = \bar{Q}_v + T\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_v \text{ или } A_p = \bar{Q}_p + T\left(\frac{\partial A_p}{\partial T}\right)_p,$$

где $\bar{Q}_v$ и $\bar{Q}_p$ — термический эффект реакции (термохимич. эффект $\bar{Q}$ равен термодинамическому $-Q$). Интегрирование этого ур-ия требует знания функциональной зависимости $\bar{Q}$ от $t°$ (формула Кирхгофа), но последнее обстоятельство приводит к трудной проблеме теплоемкости при высокой темп-ре, не решенной или плохо решенной для большинства технически ценных случаев. Кроме того интегрирование вносит произвольную константу интегрирования, однозначное установление которой требует знания максимальной работы реакции по крайней мере при одной $t°$; в нек-рых частных случаях, напр. когда известна $t°$ превращения модификаций вещества, при к-рой работа равна нулю, этот путь быстро приводит к решению задачи, но в подавляющем большинстве случаев требуется опытное определение максимальных работ описанными выше путями, и тогда роль ур-ия Гиббса-Гельмгольца сводится к нахождению ф-лы, показывающей зависимость максимальной работы реакции от $t°$. Задача использования ур-ия Гиббса-Гельмгольца во всех случаях на основании одних только термич. данных (термич. эффекта реакции и теплоемкости веществ, участвующих в реакции), без дополнительного нахождения максимальной работы другими путями, была поставлена Нернстом и в принципе решена им при помощи особого постулата, известного под именем теплового закона Нернста. Значение тепловых эффектов реакций и максимальных работ, даваемых ими при разных $t°$, приводит к интересным и важным в практич. отношении результатам. Теплота реакций обычно изменяется с $t°$ в небольших пределах, максимальная же работа может изменяться весьма значительно. Так, для реакции $2H_2+O_2 \rightleftarrows 2H_2O$ (вопрос о сродстве водорода к кислороду при исходных концентрациях их в равных единицах) получаем:

$t°$	$\bar{Q}_p$ в cal	A_p в cal	$A_p/\bar{Q}_p$
25	115 670	113 157	0,978
1 727	119 973	63 318	0,528
1 727	110 236	36 465	0,331

При 25° подавляющая часть теплового эффекта образования воды м. б. превращена в работу, что действительно наблюдается в газовом элементе, в котором протекает данная реакция. Реакция восстановления углекислоты (или разложения окиси углерода) $C+CO_2 \rightleftarrows 2CO$ дает следующие результаты:

$t°$	Q_p в cal	A_p в cal
25	− 41 965	− 29 247
727	− 41 888	+ 1 666
1 727	− 39 078	+ 43 096

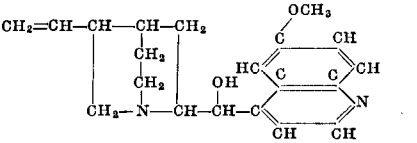
Отсюда видно, что при обычных температурах CO неустойчива, а выше 700° неустойчива система $C+CO_2$. Особый интерес представляет реакция $C+O_2 \rightleftarrows CO_2$:

$t°$	$\bar{Q}_p$ в cal	A_p в cal	$A_p/\bar{Q}_p$
25	+ 94 250	+ 94 011	0,998
1 227	+ 94 305	+ 92 912	0,985
2 727	+ 96 015	+ 91 191	0,950

Эти результаты показывают, что при всех $t°$ вплоть до 3 000° почти весь тепловой эффект реакции сгорания углерода в углекислоту м. б. превращен в работу.

Лит.: Партингтон Д., Раковский А., Курс химич. термодинамики, 2 изд., М.—Л., 1932; Гиншельвуд Ч., Термодинамика, пер. с англ., М.—Л., 1933; Улих Г., Химич. термодинамика, пер. с нем., М.—Л., 1933; Lewis G. a. Randall M., Thermodynamics, N. Y., 1923; Hudleston L., Chemical Affinity, L., 1928; Sackur O., Die chemische Affinität u. ihre Messung, Brschw., 1908. **А. Раковский.**

ХИНИН, $C_{20}H_{24}N_2O_2$, алкалоид хинной корки, получаемой из разных видов древесной породы Cinchona (Боливия, Перу, Чили, Индия и Ява).



В хинной корке содержится до 3% хинина, цинхонин, хинидин, цинхонидин, хиницин, гидрохинин, гидроцинхонин и купреин (см. *Алкалоиды*) и множество других алкалоидов в незначительном количестве. Хинин извлекается в виде легко растворимой кислой сернокислой соли из хинной корки (Ява, Цейлон), из т. н. фабричной корки, содержащей 2—10% Х. Измельченную корку несколько раз вываривают 1%-ным раствором серной кислоты; после каждого кипячения жидкость отфильтровывают и корки отжимают, все фильтраты соединяют вместе, прибавляют известковое молоко (в избытке), оставляют стоять, сливают жидкость от выделившегося осадка и последний промывают водой и высушивают. Сухой осадок извлекают несколько раз горячим 96%-ным спиртом, вытяжки отфильтровывают и сгущают. При охлаждении большей частью выкристаллизовывается цинхонин. Его отфильтровывают, промывают спиртом и фильтрат точно нейтрализуют разбавленной серной к-той; после прибавления воды, удаления (выпариванием) спирта охлаждают и отфильтровывают выделившиеся иглы сульфата Х., к-рый очищают перекристаллизацией из кипящей воды. Свободное основание выделяют растворением сульфата в воде, подкисленной небольшим количеством серной к-ты; раствор вливают в избыток аммиака и оставляют на нек-рое время стоять, после чего выделившийся осадок отфильтровывают, промывают и высушивают. Полученный таким образом Х. представляет гидрат ($C_{20}H_{24}N_2O_2 \cdot 3H_2O$), белый порошок, кристаллизующийся с 3 молекулами воды. При перекристаллизации его из крепкого спирта получается безводный Х. Хинингидрат плавится при 57°, при дальнейшем нагревании он опять затвердевает и после этого уже плавится при 177°; 1 ч. хинингидрата растворяется (при 15°) в 1 170 ч. воды. Безводное основание растворимо в 1 170 ч. воды при 15°, очень легко растворимо в спирте, эфире, хлороформе и сероуглероде.

Х. нашел большое применение в медицине как средство против малярии и жаропонижающее гл. обр. в виде солей, как средняя сернокислая соль, хлористоводородная, бромистоводородная, салициловая и некоторые другие; из них наибольшее значение имеет средняя сернокислая соль, белые шелковистые иглы, $(C_{20}H_{24}N_2O_2)_2 \cdot H_2SO_4 \cdot 8H_2O$.

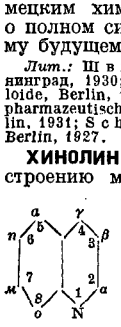
Большое применение в медицине имеют и некоторые производные Х., как эйхинин, этилкарбонат Х., $C_2H_5 \cdot O \cdot CO \cdot OC_{20}H_{23}ON_2$, $t°_{пл.}$

95°, не имеющий горького вкуса, получающийся действием на Х. хлоругольного эфира.

В области исследования строения и синтеза Х. в результате большой исследовательской работы многих химиков произведен полный синтез соединений, отличающихся от Х. лишь отсутствием виниловой группы. В последние годы особенно крупные работы проделаны немецким химиком Рабе. Разрешение вопроса о полном синтезе Х. принадлежит ближайшему будущему.

Лит.: Швицер И., Алкалоиды, пер. с нем., Ленинград, 1930; Winterstein-Trier, Die Alkaloide, Berlin, 1930; Schwyzer J., Die Fabrikation pharmazeutischer u. chemisch-technischer Produkte, Berlin, 1931; Schwyzer J., Die Fabrikation d. Alkaloide, Berlin, 1927. **М. Кацнельсон.**

ХИНОЛИН, C_9H_7N, α-, β-бензопиридин, по строению молекулы—нафталин, в молекуле которого одна из групп CH в α-положении замещена атомом азота N. Положения заместителей в молекуле обозначаются цифрами; часто их обозначают в пиридиновом ядре греческими буквами α, β, γ, для бензольн. ядра применяют обозначения: орто, мета, пара, ана (*о*, *м*, *п* и *а*).



Х. находится в каменноугольном дегте, также в техасской нефти. Некоторые алкалоиды, напр. алкалоиды хинной коры: хинин и цинхонин, являются его производными; при перегонке этих алкалоидов с едким кали выделяется Х. Синтетически Х. был впервые получен Кенигсом (1879 г.) пропусканием аллиланилина $C_6H_5 \cdot NH \cdot C_3H_5$ над накаленной докрасна окисью свинца. Синтез Кенигса, как и другие синтезы, представляет лишь историч. или теоретический интерес, так как синтез Х. по Скраупу из анилина, нитробензола, глицерина и крепкой серной к-ты исходит из дешевых материалов и получается с прекрасными выходами.

В продаже имеется как Х. из каменноугольного дегтя, так и синтетический. Для получения Х. нитробензол нагревают до кипения, затем к нему приливают по каплям теплую смесь глицерина, анилина и серной кислоты. После прибавления приблизительно половинного количества смеси наступает энергичная реакция, обусловленная смешением образовавшихся ранее двух слоев; тогда немедленно *удаляют пламя. По окончании бурной реакции* смесь продолжают нагревать, затем разбавляют водой и избыток нитробензола отгоняют с водяным паром. По охлаждении к содержимому перегонного сосуда прибавляют крепкий раствор едкого натра (до щелочной реакции) и выделившийся свободный Х. отгоняют с водяным паром. Дистиллат подкисляют и упаривают; по охлаждении приливают 10%-ный раствор азотистокислого натрия; диазосоединение разрушают кипячением, к смеси прибавляют едкого натра (до сильно щелочной реакции) и выделившийся Х. перегоняют еще раз с водяным паром. Из отгона Х. извлекают и собирают фракцию, кипящую при 236—238°. Из каменноугольного дегтя Х. получают фракционной перегонкой оснований, выделенных из так наз. тяжелого масла (см. *Коксобензольное производство*); полученный т.о. сырой Х. растворяют в 96%-ном спирте. К хорошо охлажденному раствору приливают крепкой серной кислоты; по охлаждении выделяется бисульфат Х. в виде белых кристаллов; их отсасывают, промывают небольшим количеством спирта и разлагают раствором едкого кали; свободный Х. выделяется в виде маслянистого слоя; его отделяют, высушивают и подвергают перегонке.

Х.—бесцветная, легкоподвижная жидкость своеобразного запаха; $t°_{кип.}$ 237,7°; уд. в. при 0°—1,1081, при 20°—1,093; легко растворим в спирте, эфире, хлороформе, бензине, очень мало растворим в воде. Х. обладает свойствами *пиридиновых оснований* (см.); подобно бензолу он легко нитруется и сульфируется. Многие производные Х. представляют практич. интерес в качестве медикаментов и красок.

Гомологи Х.: хинальдин, α (2)-метилхинолин, и лепидин, γ (4)-метилхинолин, сопутствуют Х. в каменноугольном дегте; применяются для получения красок, т. н. *цианинов* (см.), применяемых в фотографии как сенсибилизаторы.

Лит.: Чичибабин А., Основные начала органич. химии, 4 изд., М.—Л., 1932; Кацнельсон М., Приготовление синтетич. химико-фармацевтич. препаратов, 3 изд., Л., 1933; Meyer V. u. Jacobson P., Lehrbuch d. organischen Chemie, B. 2, T. 3, p. 912, B. und Lpz., 1923; Wolfenstein R., Die Pflanzenalkaloide, B., 1922. **М. Кацнельсон.**

ХИНОНЫ, химич. соединения, происходящие из ароматич. углеводородов путем замены двух атомов водорода в одном и том же ядре на два атома кислорода. Таким образом из бензола C_6H_6 получается бензохинон $C_6H_4O_2$, из нафталина $C_{10}H_8$ — нафтохинон $C_{10}H_6O_2$, из антрацена $C_{14}H_{10}$—антрахинон $C_{14}H_8O_2$. Х. относят не к ароматическому, а к гидроароматическому ряду органических соединений. Из хинонов, производных бензольного ряда, легче получаются и лучше изучены *п*-хиноны, в которых атомы кислорода находятся в *п*-положении по отношению друг к другу:

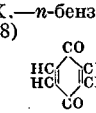
п-хиноны характеризуются желтой окраской и свойством легко восстанавливаться в бесцветные гидрохиноны:

$$C_6H_4O_2 \rightarrow C_6H_4(OH)_2$$
$$C_{10}H_6O_2 \rightarrow C_{10}H_6(OH)_2.$$

Среди производных многоядерных ароматич. углеводородов известны в значительном числе и *о*-хиноны; *о*-хиноидной структуре соответствуют два строения молекулы:

о-хиноны I типа характеризуются красным цветом, Х. II типа—бесцветны; *м*-хиноны до сих пор не получены. Хиноидная структура характерна вообще для веществ, окрашенных или обладающих красящими свойствами: большинство синтетических красителей по строению принадлежит к Х. и их производным (см. *Красящие вещества* синтетические).

Простейший Х.—*п*-бензохинон (открыт Воскресенским, 1838)



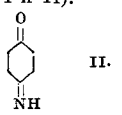
кристаллизуется из воды и лигроина в желтых призмах с острым запахом, напоминающим хлор; летуч с парами воды и легко возгоняется; мало растворим в холодной воде и хорошо—в горячей воде, спирте и эфире; его пары раздражают слизистые оболочки (особенно глаз), вод-

ный раствор окрашивает кожу в желтый цвет. К окислителям устойчив, восстановители переводят его в *гидрохинон* (см.). При этом в качестве промежуточного продукта получается хингидрон, комплексное соединение, состоящее из эквимолекулярных количеств Х. и гидрохинона: $C_6H_4O_2 \cdot C_6H_4(OH)_2$; зеленые иглы с $t^\circ_{пл.}$ 171°. Бензохинон очень реакциеспособен: легко присоединяет галоиды и галоидоводородные кислоты; с уксусным ангидридом в присутствии небольшого количества конц. серной кислоты дает оксигидрохинонтриацетат. Получают бензохинон окислением гидрохинона (хлором, азотной, хромовой и серной кислотами), также из аминов и анилина—электролитическим путем. Новые патенты (Ф. П. 593117, 588874) предлагают его для получения кубовых и сернистых красителей; практич. применение он находит в крашении животного волокна для предварительной его обработки с целью получения более глубокой прокраски.

Более важное значение имеет тетрахлорхинон, хлоранил $C_6Cl_4O_2$, получаемый из анилина (а также из фенола или салициловой к-ты) обработкой хлоратом калия и соляной к-той; толстые лимонно-желтые листочки, возгоняющиеся без плавления; $t^\circ_{пл.}$ (в запаянной трубке) 290°, в воде нерастворим, действием восстановителей при длительном нагревании переходит в тетрахлоргидрохинон $C_6Cl_4(OH)_2$. Применяется для приготовления многих красителей (метилвиолет) лабораторным путем; для техники этот способ дорог.

Из нитропроизводных Х. нитробензохинон $C_6H_3(NO_2)O_2$ получают осторожным окислением нитроаминофенола; золотисто-желтые кристаллы, растворяющиеся в щелочах с темнокоричневой окраской, окрашивающие кожу в черный цвет.

Оксипроизводные Х. дают с основаниями интенсивно окрашенные соли; к ним принадлежат многие естественные и искусственные красители: юглон, ализарин, нафтазарин (см. *Красящие вещества*); оксипроизводные одноядерных Х. не имеют практич. значения. Хинонимиды и хинондиимиды получаются из Х. замещением атома кислорода имидогруппой (ф-ла I и II):



Дальнейшим замещением имидогруппы на Cl, OH или ароматич. радикал получают хинонхлоримиды, хинонокси мы и хинонанилы. Бензохинонхлоримид $C_6H_4O(NCl)$, желтые кристаллы, плавящиеся без разложения при 84,5—85°, при дальнейшем повышении t° до 100° переходят в Х. Хинооксимы получаются из Х. действием гидроксиламина:

$$O : C_6H_4 : O + H_2NOH = O : C_6H_4 : N \cdot OH + H_2O.$$

Они таутомерны с нитрозофенолами, получаемыми из фенолов действием азотистой кислоты:

$$C_6H_5OH + OH \cdot NO = NO \cdot C_6H_4 \cdot OH + H_2O.$$

Бензохинооксим (*п*-нитрозофенол) $O : C_6H_4 : N \cdot OH$ кристаллизуется из бензола в виде слабо окрашенных игл, плавящихся без разложения при 126°; в холодной воде мало растворим, легко растворим в спирте и эфире *с зеленым окрашиванием*.

Из хинонанилов известны: хинонмоноанилид $O : C_6H_4 : N \cdot C_6H_5$, получаемый окислением *п*-оксидифениламина; огненно-красные кристаллы с $t^\circ_{пл.}$ 9,7°; легко растворим в обыкновенных растворителях. Хинондианилид $C_6H_4(:N \cdot C_6H_5)_2$ получается окислением дифенил-*п*-фенилендиамина $C_6H_4(NH \cdot C_6H_5)_2$; желто-коричневые иглы с $t^\circ_{пл.}$ 175—180°, легко растворимые в эфире, бензоле, хлороформе; азотной к-той окисляется в соответствующий Х. При введении в нехиноидное ароматич. кольцо хинонанила (в *п*-положение по отношению к азоту) гидроксила или аминогруппы получаются т. н. индамины и *индофенолы* (см.), интенсивно окрашенные тела, служащие промежуточными продуктами в синтезе красящих веществ.

О Х. многоядерных ароматич. соединений, производных нафталина, см. *Нафтохиноны*, о Х. антрацена см. *Антрахинон*.

Х. фенантрена (изомера антрахинона), фенантренхинон, $C_{14}H_8O_2$ кристаллизуется в желто-коричневых иглах с $t^\circ_{пл.}$ 206.5—207,5°, перегоняется без разложения при 360° и после возгонки превращается в красно-коричневые пластинки; мало растворим в горячей воде, лучше в спирте и еще лучше в ледяной уксусной к-те. Восстановлением переводится в *фенантрен* (см.). Применение его в крашении *основано на реакции с о-диаминами* (см. *Красящие вещества* синтетические, Хинонные красители). **Н. Ельцина.**

ХЛЕБОПЕЧЕНИЕ, производство из муки хлебных изделий. Технологич. процесс производства печеного хлеба можно в основном разделить на следующие стадии: образование—замес теста, разрыхление — брожение теста, деление теста на куски и обработка их для получения соответствующей формы хлеба, разрыхление кусков теста и превращение теста в хлеб, т. е. выпечка хлеба. Для образования теста к муке прибавляют воду примерно в количестве 60—70% от веса муки и начинают месить. При замесе сначала происходит простое механич. смешивание частиц муки с водою, затем белковые вещества муки набухают и при дальнейшем замесе образуют связное тесто. Для того чтобы при выпечке получить пористый, рыхлый хлеб, тесто необходимо разрыхлить. Обычно тесто разрыхляют путем брожения, для чего при замесе в него прибавляют определенное количество пекарных прессованных дрожжей или закваски. Закваска представляет собой уже бродившее тесто, в к-ром имеются дрожжи и молочно-кислые бактерии. Дрожжи и закваска при замешивании распределяются равномерно по всей массе теста, почему углекислый газ, образующийся при брожении, выделяется также во всей массе теста. Тесто препятствует газу выходить из него, вследствие чего газ образует в тесте пузырьки, которые разрыхляют тесто. Очень часто процесс брожения ведут не в одну, а в несколько фаз, т. е. берут сначала только часть муки и воды, потребных для теста, замешивают их с дрожжами или закваской, приготовляя опару, и дают опаре бродить. Когда опара готова, к ней добавляют остальное количество муки и воды, замешивают тесто и ставят его для дальнейшего брожения. Тесто приобретает свою максимальную вязкость и эластичность не сразу по окончании замеса, а только через нек-рое время, вследствие чего выделяющийся в начале брожения

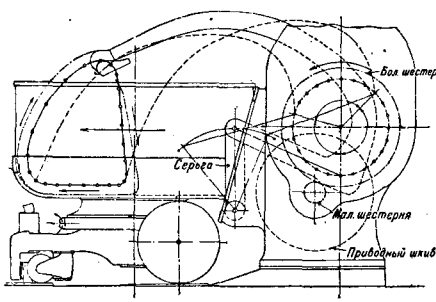
углекислый газ разрыхляет тесто, образуя в нем большое количество пузырьков, содержащих углекислый газ. Поэтому для получения хорошо разрыхленного теста равномерной пористости его во время процесса брожения еще промешивают, перебивают, т. е. вытесняют из него отдельные скопления углекислого газа. Для того чтобы брожение опары и теста протекало нормально, необходимо, чтобы их $t°$ после замеса соответствовала оптимальной $t°$ жизнедеятельности дрожжей и бактерий для данной стадии процесса брожения, к-рая обычно лежит в пределах 22—36°. Для приготовления опары и теста указанной $t°$ необходимо, чтобы мука имела $t°$ не менее 10—12°, т. к. воду для замеса во избежание повреждения дрожжей нельзя брать выше 45—50°.

Когда тесто созрело, его делят на куски и формуют хлеб, т. е. придают кускам теста форму, соответствующую выпекаемому хлебу. При формовании хлеба куски теста предварительно обрабатывают для того, чтобы удалить отдельные скопления газа и получить хлеб возможно равномерной и мелкой пористости. Вследствие вытеснения из теста части углекислоты оно при формовании уплотняется, почему сформованному хлебу перед посадкой в печь дают вновь подняться, т. е. дают ему дополнительное брожение (расстойка). После расстойки тесто сажают в печь для выпечки. Тесто, посаженное в печь, имеет $t°$ ок. 30°, $t°$ печи в начале выпечки обычно бывает 250—200°. Нагревание всей массы хлеба происходит не сразу, а постепенно, причем повышение температуры поверхности (корки) хлеба идет быстрее, а внутренней части (мякиша) медленнее. До тех пор, пока $t°$ внутренней части хлеба не превышает примерно 50°, жизнедеятельность дрожжей не прекращается, они продолжают выделять углекислый газ, и хлеб продолжает увеличиваться в объеме. Увеличение в объеме хлеба происходит также от испарения образовавшегося в тесте при брожении алкоголя и расширения при нагревании пузырьков углекислого газа. Для того чтобы хлеб в печи мог увеличиваться в объеме, необходимо на нек-рое время замедлить испарение воды с его поверхности и образование на ней твердой корки, т. к. если бы сразу образовалась твердая корка, то она при увеличении хлеба в объеме рвалась бы. Для замедления образования твердой корки в печи создают влажную атмосферу путем удержания в ней испаряющейся из теста влаги, а также путем впуска в нее пара или воды, к-рая, испаряясь, увлажняет воздух в печи, что замедляет испарение. При дальнейшем повышении $t°$ внутри хлеба свыше 50° деятельность дрожжей прекращается, а затем начинаются клейстеризация крахмала и свертывание и отвердевание белковых веществ муки. Одновременно вода с поверхности хлеба испаряется и на ней образуется твердая корка. К концу выпечки $t°$ мякиша хлеба достигает примерно 97—99°, а $t°$ поверхности корки примерно 150° и выше. Крахмал поверхности корки при нагревании до указанной $t°$ превращается в декстрин, а образовавшийся в тесте из крахмала сахар карамелизируется, вследствие чего корка окрашивается в коричневый цвет, и хлеб подрумянивается.

По окончании выпечки хлеб вынимают из печи и дают ему до отправки в места продажи охладиться, т. к. горячий хлеб при перевозке легко мнется и ломается. Вследствие того что при выпечке хлеба из него испаряется вода, тесто, превращаясь в хлеб, теряет в весе. Потеря в весе теста при выпечке (упек) в зависимости от размера и сорта хлеба колеблется в пределах от 8 до 25% от веса посаженного в печь теста. При остывании хлеба он вследствие испарения находящейся в нем влаги теряет в весе в зависимости от размера и сорта еще 1÷3%. При замесе теста на каждые 100 *кг* муки прибавляют примерно 60—70 *кг* воды, так что 100 *кг* муки дают примерно 160—170 *кг* теста. Тесто при выпечке теряет в весе, как указано выше, 8—25% и т. о. из 100 *кг* муки получается 125—150 *кг* хлеба. Разница в весе хлеба и затраченной на его выпечку муки является припеком. Припек обычно считается на 100 *кг* и в зависимости от веса, сорта и способа приготовления теста составляет 25—50%.

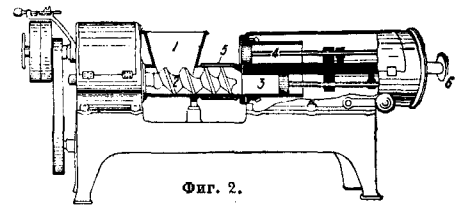
При массовом производстве хлеба на современных хлебозаводах отдельные рабочие процессы и передача муки, теста и хлеба от одних машин к другим полностью или частично механизированы и автоматизированы. Для отделения от муки случайных посторонних предметов, как бечевки, пломбы и т. д., а также для разрыхления муки для лучшего смачивания ее при замесе применяются просевательные машины различных систем, наиболее часто призматич. или конич. бураты и щеточные просеватели (см. *Мукомольные мельницы*). Мука обычно засыпается в приемный ковш и из него при помощи ковшевого элеватора подается в просевательную машину. Мука проходит через сито, а все случайно попавшие в нее предметы остаются на сите и удаляются с него. Для подогревания муки в зимнее время ее хранят в отапливаемых складах. Смешивание муки, когда выпечка хлеба производится из смеси нескольких сортов муки, производится либо перед просеиванием при засыпке ее в приемный ковш элеватора либо после просеивания в особых закромах-мукомешателях. В первом случае приемный ковш разделяется перегородками на 2—3 отделения. В нижней части каждого отделения имеется по транспортному винту, которые подают муку в общий транспортный винт. При составлении мучной смеси разные сорта муки засыпаются в соответствующие отделения приемного ковша, из них они транспортными винтами в соответствующей пропорции непрерывно подаются на общий винт, которым они смешиваются и передаются в элеватор, в просевательную машину. Изменяя число оборотов подающих винтов, можно изменять соотношение смешиваемых сортов муки. Циркуляционные закрома-мукомешатели обычно имеют цилиндрическую форму с конич. нижней частью. Внутри закрома по его оси расположен вертикальный транспортный винт. В закром засыпают в необходимой пропорции соответствующие сорта муки. При вращении винта мука из конуса закрома поднимается вверх, а находящаяся у стенок опускается вниз в конус и таким обр. смешивается. Закрома с запасом подготовленной (просеянной и смешанной) муки располагаются над тестомесилками. Для отвешивания необходимого для замеса количества муки применяют автоматич. весы, которые состоят из резервуара вместимостью 200—300 *кг* муки, подвешенного к рычагу весов. Мука из закромов в резервуар весов подается транспортным винтом, приводимым во вращение электромотором. Весы имеют приспособление, при помощи к-рого в момент, когда резер-

вуар весов наполнится до определенного установленного веса и весовой рычаг придет в равновесие, мотор, приводящий в действие шнек, выключается, винт останавливается и подача муки в весы прекращается. Для отмеривания воды применяются автоматич. весы или водомерные баки. Вода необходимой температуры получается путем смешивания холодной и горячей воды. Тестомесилки для замеса опары и теста применяют различных конструкций, которые можно разделить на два основных типа: месилки со стационарными дежами и месилки со сменными дежами. Месилки первого типа состоят из месильного корыта, в котором вращается горизонтальный месильный вал с лопастями. Вода, мука, дрожжи и т. д. загружаются в месилку через отверстие в верхней крышке. По окончании замеса корыто месилки поворачиванием его около горизонтальной оси наклоняется, и замешанная опара или тесто вываливается в передвижное на колесах корыто—дежу, в к-ром происходит брожение. Месилки этого типа строят различных конструкций с месильными лопастями и корытами различной формы как для обыкновенного пшеничного и ржаного теста, так и для крутого теста (бараночное, бисквитное, макаронное). Месил-



Фиг. 1.

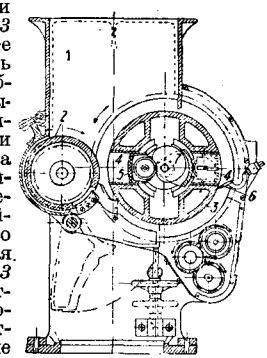
ки второго типа состоят из станка с месильным рычагом и круглой передвижной на колесах дежи. При замешивании дежа подкатывается к станку и сцепляется с ним. Лапа месильного рычага (фиг. 1), двигаясь по пути траектории, показанной пунктирной линией, входит в тесто в середине дежи, движется вдоль дна и выходит из теста около стенки дежи. Дежа во время замеса медленно вращается, т. ч. лапа постепенно перемешивает все тесто. По окончании замеса дежа с опарой или тестом откатывается для брожения, и на ее место ставится следующая дежа. Месилки этого типа строят различных конструкций, с месильными рычагами различной формы и с различными траекториями движения месильной лапы. Эти месилки пригодны для обыкновенного пшеничного и ржаного теста, но не годятся для бараночного и другого крутого теста. Т. о. в месилках первого типа опара и тесто для брожения перекладываются в другую посуду, а в месилках второго типа брожение происходит в той же деже, в к-рой тесто или опара замешивается. Целесообразность применения того или иного типа тестомесилок зависит от способов приготовления теста, планировки хлебозавода, его мощности и т. д. Для того чтобы брожение опары и теста протекало так, как этого требует технологич. процесс, необходима, как указывалось выше, определенная $t°$. Это достигается, во-первых, приготовлением опары и теста необходимой $t°$ путем применения для замеса муки и воды соответствующих $t°$ и, во-вторых, поддержанием соответствующей $t°$ в помещении, где происходит брожение. В виду того что оптимальная для процессов брожения $t°$ помещения 25—30° создает весьма тяжелые условия для работы персонала, на современных



Фиг. 2.

хлебозаводах обычно делают особые помещения—камеры для брожения, в к-рые помещают дежи для брожения. Для того чтобы тесто во время брожения на поверхности не высыхало и на нем не образовывалась твердая корка, которая, попадая в дальнейшем в хлеб, портит его, в камерах для брожения кроме соответствующей $t°$ поддерживается также повышенная влажность воздуха.

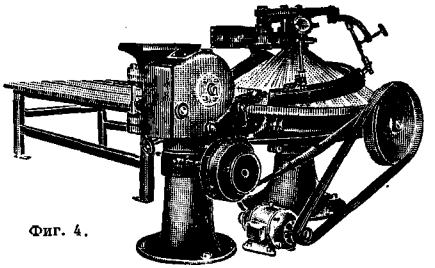
Деление готового теста на куски определенного размера производится при помощи автоматически работающих тестоделителей (разнообразных конструкций). Тесто из дежи подается в воронку машины *1* (фиг. 2), где захватывается шнеками *2* и вталкивается ими в нижний мерительный цилиндр *3*, в котором ходит поршень. При вталкивании теста поршень отходит назад, и тесто заполняет весь цилиндр. Делитель имеет два цилиндра *3* и *4*, к-рые периодически поворачиваются вокруг горизонтальной оси. Когда цилиндр *3* заполнен тестом, цилиндры поворачиваются вокруг оси на 180°, цилиндр *3* переходит в верхнее положение, поршень передвигается в обратную сторону и выталкивает из цилиндра отрезанный при повороте кусок теста на бесконечную ленту *5*, которая передает его для дальнейшей обработки. Во время выталкивания теста из цилиндра *3* цилиндр *4* находится в нижнем положении и заполняется тестом. Изменение размера кусков теста производится путем



Фиг. 3.

увеличения или уменьшения хода поршня при помощи маховика *6*. В тестоделителе другой конструкции (фиг. 3) тесто из приемной воронки *1* постоянно вращающимся питательным валиком *2* подается в мерительные цилиндры *4*, помещенные в барабане *3*, постоянно вращающемся вокруг горизонтальной оси. В цилиндрах находятся поршни *5*, оканчивающиеся роликами, скользящими по контуру шайбы *7*. При вращении барабана *3* цилиндр *4*, проходя через воронку *1*, наполняется тестом. Поршень

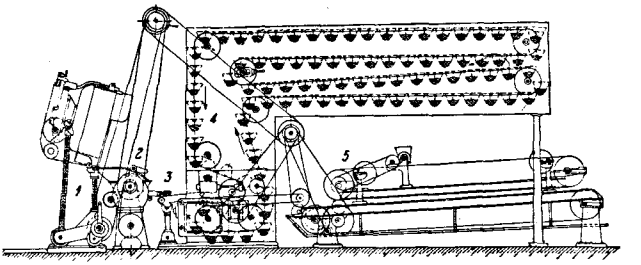
5 под давлением теста отходит до упора его ролика в контур шайбы 7. При дальнейшем вращении барабана 3 цилиндр 4 выходит из воронки, и находящееся в нем тесто кромкой дна воронки отрезается от теста, находящегося в воронке, ролик поршня, катясь по контуру шайбы 7 и второй направляющей (показанной на чертеже в разрезе), передвигает поршень к окружности барабана и выталкивает кусок теста из цилиндра на транспортерную ленту, после чего поверхность барабана и торец поршня очищаются от теста ножом 6. Шайба 7 насажена на горизонтальную ось. Вращая эту ось и вместе с ней шайбу, можно изменять ход поршня 5 при наполнении цилиндра 4 и размер кусков теста. Кроме вышеприведенных имеются также конструкции делителей, в к-рых подача теста в мерительные цилиндры производится поршнями, и целый ряд других. После деления теста кускам его нужно придать определенную форму хлеба и гладкую поверхность.



Фиг. 4.

Для ржаного хлеба продолговатой формы применяют обычно закаточные машины, состоящие из стола, по к-рому движется бесконечная лента, над последней расположена доска или лента. Кусок теста транспортной лентой делительной машины подается на ленту закаточной машины и, проходя под доской, закатывается в хлеб продолговатой формы. Пшеничное тесто по своим свойствам требует более сложной обработки, чем ржаное. Обычно кускам пшеничного теста, выходящим из делителя, сначала придают круглую форму, потом кусок теста расплющивают—раскатывают, раскатанное тесто свертывают в рулон и полученный рулон закатывают, придавая ему гладкую поверхность. Округлитель (фиг. 4) состоит из вращающегося конуса с рифленой поверхностью, который окружен неподвижным спиральным жолобом. Куски теста из делительной машины подаются лентой в нижнюю часть жолоба, увлекаются вращающимся конусом вверх по спирали, проходя по жолобу, приобретают шарообразную форму и гладкую поверхность и скатываются затем по конусу на вторую транспортную ленту для передачи на дальнейшую обработку. Закаточные машины для пшеничного теста обычно состоят из одной или нескольких пар валков, между которыми кусок теста раскатывается, приспособления для свертывания теста в рулон и двух бесконечных лент или вращающегося барабана, окруженного кожухом, проходя между к-рыми кусок теста окончательно закатывается. Помимо вышеописанных существует много конструкций округлителей и закаточных машин как для обычного хлеба, так и для специальных сортов хлеба (розанчики, рогульки и т. п.).

Подача теста из деж в делительные машины производится при помощи особых механизмов для опрокидывания деж. Дежа с тестом подкатывается к опрокидывателю, закрепляется на нем, затем поднимается, опрокидывается и тесто из нее вываливается в воронку тестоделилки. Сформованные хлебы в формах или на досках ставятся на передвижные этажерки, на которых отвозятся в камеры для подхода—расстойки хлеба (в последних поддерживаются оптимальные для подъема температура и влажность воздуха), а затем на тех же этажерках подвозятся к печам для посадки. При делении теста делительными машинами тесто сильно спрессовывается, почему для получения хлеба хорошей и равномерной пористости расстойку пшеничного хлеба часто разделяют на две стадии. Непосредственно после деления куски теста округляют и дают им немного подойти, затем скатывают их и дают окончательную расстойку. Для предварительной расстойки пользуются автоматическими камерами, в которых движутся люльки, подвешенные на бесконечной цепи. Куски теста кладут в люльки, к-рые проходят через шкаф. Скорость цепи регулируется таким образом, чтобы тесто оставалось в шкафу нужное для подхода время. На фиг. 5 дана установка делительной и закаточной машин с промежуточным бродильным шкафом. Дежа с тестом поднимается опрокидывателем 1, опрокидывается и тесто вываливается в тестоделительную машину 2. Разделенные куски теста лентой передаются на посадочный аппарат 3, к-рый перекладывает их в люльки бродильного шкафа 4.

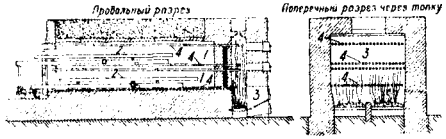


Фиг. 5.

Пройдя бродильный шкаф, куски теста после подхода другой ленты передаются на закаточную машину 5. После закатки хлеб кладется на этажерки, на к-рых отвозится в камеру для окончательной расстойки или при конвейерных печах перекладывается на люльки второй автоматич. камеры для окончательной расстойки.

Существующие конструкции хлебопекарных печей можно по механич. принципу—устройству подов—разделить на три основные группы: печи со стационарными подами, печи с выдвижными подами и печи конвейерных систем. Печи со стационарными подами применяются в настоящее время почти исключительно на мелких предприятиях или для выпечки мелких и особых сортов хлеба. Простейшей печью со стационарным подом является общеизвестная русская жаровая печь. Большое распространение имеют также стационарные печи с обогре-

ванием пекарной камеры каналами, по к-рым движутся горячие продукты горения топлива, сжигаемого в топке, отделенной от пекарной камеры. Печи со стационарными подами делаются также с паровым и другим отоплением. Печи с выдвижными подами строятся в настоящее время преимущественно двухъярусными с обогреванием насыщенным паром высокого давления трубками Перкинса. Печь состоит из двух пекарных камер *1* (фиг. 6), разделен-

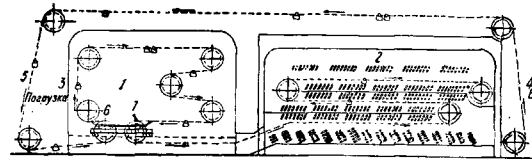


Фиг. 6.

ных горизонтальной перегородкой. Поды *2* на шариках или роликах передвигаются по подвижным кареткам, которые опираются одним концом на ролики или колеса, движущиеся по рельсам в пекарных камерах, а другим—на колеса, движущиеся по рельсам в полу пекарного зала. В каждой камере над и под подами расположены ряды трубок *4*, имеющих наклон в сторону топочной камеры *3* и выходящих в нее концами. Трубки Перкинса (по имени английского инженера, применившего впервые пар для обогревания хлебопекарных печей) заварены с обоих концов и наполнены примерно на одну треть объема водой. При горении топлива в топке горячие топочные газы омывают наполненные водой концы трубок, выходящие в топочную камеру. Вода в трубках нагревается и испаряется при $t°$ 250—300° и давлении 40—90 *atm*. Пар, образующийся при испарении воды, поступает в незаполненные водою части трубок, находящиеся в пекарных камерах; отдавая теплоту парообразования через стенки трубок, он обогревает пекарные камеры и конденсируется в воду, которая вследствие наклона труб стекает в их концы, выходящие в топку, где она снова испаряется. По выходе из топочной камеры горячие газы омывают вмурованный в печь водогрейный котел, дающий горячую воду для производства и душей. Печи с трубками Перкинса строят трехъярусные с выдвижными подами и двухъярусные со стационарными подами. Хотя печи с выдвижными и стационарными подами канальной системы работают без перерывов для их нагревания, самый процесс выпечки в них происходит периодически, т. е. сначала загружают в печь тесто, затем вся загруженная партия выпекается, и когда хлеб выпечен, его выгружают из печи.

Производительность каждого хлебопекарного предприятия при правильном подборе всего прочего оборудования определяется производительностью печей. Вследствие периодичности процесса выпечки в печах вышеуказанных типов производительность, а также качество хлеба в значительной степени зависят от дисциплинированности и добросовестной работы персонала, а также от правильной организации работы. Если по тем или иным причинам хлеб вынут из печи раньше времени, то он может оказаться непропеченным; если же хлеб «просидит» в печи дольше необходимого для выпечки времени, то уменьшится производительность печи и кроме того хлеб может пригореть и быть частично испорчен; при замедленной посадке и выемке хлеба время оборота печи удлиняется и производительность ее падает.

В последние годы метод непрерывного потока был применен и в Х. путем создания печей конвейерных систем. В печах конвейерных систем под движется непрерывно в пекарной камере с определенной скоростью, в определенном месте на него непрерывно сажают сформованные хлебы, к-рые вместе с подом проходят через пекарную камеру, выпекаются и в определенном месте снимаются с пода. Скорость движения пода и длина его пути в пекарной камере рассчитываются в соответствии с весом и сортом выпекаемого хлеба таким образом, чтобы время прохождения хлеба через пекарную камеру соответствовало продолжительности выпечки для данного сорта хлеба. При таких условиях необходимая для определенного сорта хлеба продолжительность выпечки всегда соблюдается, и печь работает с заданной производительностью. Конвейерные печи строят весьма различных конструкций—с ленточными, люлечными и жесткими подами. В ленточных (гусеничных) печах под состоит из отдельных пластин, укрепленных на цепях и образующих бесконечную ленту. Цепи, а вместе с ними под приводятся в движение при помощи цепных блоков. Лента помещена в пекарной камере. Сформованный хлеб «сажают» у одного конца печи на верхнее рабочее полотно ленты, а у другого конца выпеченный хлеб при огибании цепями блоков автоматически выгружается из печи или снимается с пода вручную. Нижнее полотно ленты является холостым. В ленточных печах хлеб может выпекаться как в формах, так и на поду. Продолжительность выпечки может путем изменения скорости движения пода изменяться в довольно широких пределах, что дает возможность выпекать в ленточных печах ржаной и пшеничный хлеб разного веса. В люлечных печах под состоит из отдельных люлек, подвешенных к цепям

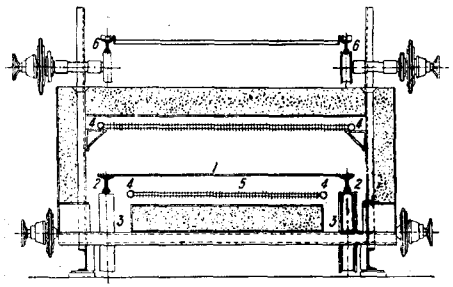


Фиг. 7.

т. о., что площадки люлек всегда находятся в горизонтальном положении. Формы для хлеба либо прикреплены к площадкам люлек либо ставятся на них.

На фиг. 7 схематически изображена одна из распространенных конструкций печи люлечной системы, соединенной с камерой для окончательной расстойки хлеба. Люльки, подвешенные к цепям, непрерывно движутся в направлении, указанном стрелками, проходя сначала через камеру для расстойки *1*, а затем через пекарную камеру *2*. Сформованные хлебы через отверстие *3* в стенке камеры для расстойки загружаются в формы, находящиеся на площадках люлек. В камере *1* для расстойки поддерживаются необходимые для подхода хлеба $t°$ и влажность воздуха. Пройдя через камеру для расстойки, люльки поступают

в пекарную камеру, где происходит выпечка хлеба, и выходят из камеры в помещение *4*, где хлеб автоматически или вручную выгружается из форм. Люльки с пустыми формами возвращаются к загрузочному концу над печью, где (в отд. *5*) формы смазываются и далее подвигаются в расстойную камеру. Продолжительность выпечки регулируется в известных пределах изменением скорости движения цепей. Для того чтобы при неизменной продолжительности выпечки можно было изменять время расстойки, цепные блоки *6* и *7* укреплены на передвигающейся в горизонтальном направлении тележке. Если эту тележку передвинуть вправо, то длина холостого пути люлек в расстойной камере, т. е. когда формы еще не загружены хлебом, увеличится, а длина пути люлек,

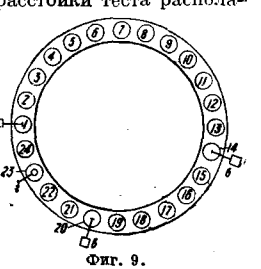


Фиг. 8.

загруженных хлебом, и время пребывания хлеба в расстойной камере уменьшатся. При передвижении тележек влево продолжительность расстойки хлеба увеличится. Из вышеуказанного видно, что при люлечных печах рабочий процесс более автоматизирован, чем при ленточных печах, т. к. отпадает пересадка хлеба в печь после его расстойки, неизбежная в ленточных печах даже при наличии расстойки хлеба на конвейере. Однако люлечные печи значительно менее универсальны в отношении ассортимента вышекаемых в них сортов хлеба. В люлечных печах можно выпекать хлеб в формах, а выпечка в них хлеба на поду связана с неудобствами. Далее в люлечных печах продолжительность расстойки хлеба хотя и может изменяться в известных пределах, но все же связана с продолжительностью выпечки и при значительном увеличении или уменьшении таковой при изменении сорта и веса хлеба может оказаться излишней или недостаточной. В ленточных печах, где для расстойки хлеба применяются стационарные или конвейерные камеры, скорость движения конвейера к-рых не связана со скоростью движения пода, можно в одной и той же печи при наличии соответствующих агрегатов для обработки теста выпекать пшеничный и ржаной хлебы (как формовые, так и подовые) довольно разнообразного веса. Ленточные и люлечные печи строят с паровым отоплением трубками Перкинса, с газовым отоплением путем непосредственного сжигания газа в пекарной камере и с электрич. обогреванием. Ленточные печи строят также и канальной системы, т. е. с обогреванием пекарной камеры топочными газами, проходящими по каналам над и под камерой.

Упрощением конвейерных печей является печь Г. Марсакова с жестким кольцевым подом. Под этой печи представляет собой железное кольцо *1* из листового железа (фиг. 8), с нижней стороны которого к нему прикреплены по внешней и внутренней окружностям два кольца *2* из рельсов. Рельсовые кольца опираются на несколько пар роликов *3*, укрепленных в неподвижных подшипниках, расположенных по окружности кольца. Одна или две пары этих роликов приводятся во вращение от мотора и под влиянием трения приводят в круговое движение кольцевой под. По обе стороны пода и над и под ним сделаны стенки, образующие кольцевую пекарную камеру, в к-рой движется под. Пекарная камера имеет в определенном месте отверстие для посадки теста на под и выгрузки готового хлеба. Конструкция механических частей этой конвейерной печи проще ленточных и люлечных печей, т. к. в ней отсутствуют цепи и цепные блоки, приспособления для натяжения цепей и трущиеся части в пекарной камере, требующие смазки. Обогревание пекарной камеры производится насыщением паром высокого давления от котла, расположенного отдельно от печи. В пекарной камере над и под подом расположены радиаторы, состоящие из кольцевых труб *4* (фиг. 8), между которыми расположен радиально ряд нагревательных трубок *5*. Котел высокого давления состоит из ряда кипятильных труб, соединенных сборными трубами в секции. Пар из сборных труб поступает по трубопроводам в наружные кольцевые трубы радиаторов, проходя по нагревательным трубкам во внутренние кольцевые трубы, отдает пекарной камере теплоту парообразования, конденсируется и по обратным трубопроводам поступает в нижнюю часть котла.

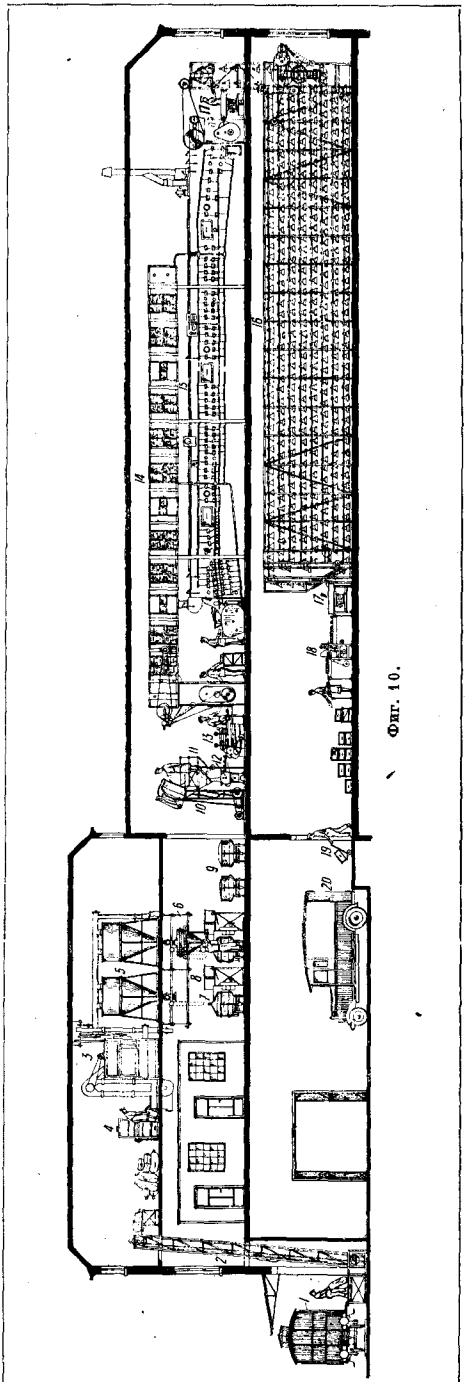
На хлебозаводах, проектированных Марсаковым, жесткие кольцевые конвейеры применяются также для расстойки теста и для передвижения деж при приготовлении опары и теста. Конвейер для расстойки теста располагается над печью и состоит из двух рельсовых колец *6*, опирающихся на ролики и приводимых в движение, как кольцевой под. Между кольцами укрепляются люльки, в которые кладутся для расстойки куски теста. Конвейер для брожения опары и теста состоит также из кольца (фиг. 9), на котором установлено необходимое для приготовления теста количество дежей (обозначены на фиг. кружками). У кольца установлены тестомесилки: *а*—для замеса опары, *б*—для замеса теста и *в*—для перебивки теста и опрокидыватель *г* для вывалки из дежи готового теста в тестомесительную машину, установленную в нижележащем этаже. Дежи представляют собою круглые железные чаны, установленные на конвейере в гнездах. Тестомесильные машины имеют подъемные вращающиеся платформы, находящиеся под конвейером. Передвигая конвейер, подводят соответствующую дежу под месилку, пускают ее и приводят в действие подъемный механизм вращающейся платформы. При подъеме платформы дежа ставится на нее и вращается во время замеса. При расположении, указанном на схеме (фиг. 9), в деже *1* происходит за-



Фиг. 9.

мес и в дежах *2—13*—брожение опары, в деже *14*—замес и в дежах *15—19*—брожение теста, в деже *20*—перебивка и в дежах *21—22*—брожение теста после перебивки, из дежи *23* тесто вываливается в тестоделительную машину, дежа *24* очищается и в нее отмериваются мука, вода, дрожжи и проч. для замеса опары. По окончании замеса конвейер передвигается, дежа *24* становится на замес опары, дежа *13*—на замес теста, *19*—на перебивку и *22*—на вывалку теста и т. д. Расположение тестомесилок и количество дежей на отдельных участках конвейера определяются технологич. процессом приготовления теста и продолжительностью отдельных фаз брожения. При ведении брожения опары и теста на конвейере достигается полная механизация передвижения дежей. Недостатком этого способа механизации является невозможность изменения продолжительности отдельных фаз брожения в зависимости от свойств муки и изменения технологич. процесса. При печах с выдвижными и стационарными подами хлеб по выемке из печи кладется на полки передвижных этажерок, на к-рых он перевозится в хлебохранилище, и в них же остывает. В хлебозаводах с конвейерными печами охлаждение хлеба ведется обычно на конвейере. Хлеб по выемке из печи перекладывается на конвейер. Длина конвейера и скорость его движения рассчитаны т. обр., что хлеб за время пребывания на нем успевает охладиться и прямо с охладителя перекладывается в ящики, в которых он перевозится в места продажи.

Для иллюстрации хода производства на автоматизированном хлебозаводе приводим одну из довольно распространенных схем хлебозавода с ленточными печами и оборудованием для выпечки ржаного хлеба. Мука, прибывающая на хлебозавод, непосредственно из вагона *1* (фиг. 10) передается подъемником *2* в мучной склад, расположенный в верхнем этаже. Мука, поступающая в производство, ссыпается из мешков в ковши смесителя; из смесителя мука ковшевым элеватором передается в просевательную машину *3—4*. Просеянная мука элеватором и шнеком передается в соответствующие мучные закрома *5*. Из закромов мука через передвижные автоматич. весы *6* поступает в тестомесилки *8*. Вода отмеривается водомерным баком *7*. После брожения готовое тесто в дежах *9* подвозится к опрокидывателю *10* и через спускную воронку *11* направляется в тестоделительную машину *12*, к-рая делит его на куски равного веса. Из тестоделителя куски теста поступают в закаточную машину *13* и далее на конвейер автоматич. камеры для расстойки *14*. Пройдя на конвейере через камеру, куски теста подаются к загрузочному отверстию ленточной печи *15* и сажаются на под. Выпеченный хлеб выгружается из печи у противоположного конца на циркуляционный стол *17* и перекладывается с него на конвейер охладителя *16*. Охлажденный хлеб по выходе из охладителя поступает на сортировочный циркуляционный стол *17*, далее завертывается в бумагу на машине *18* и упаковывается в ящики для отправки (*19—20*). Означенная схема является только примерной. Мучной склад очень часто располагается в нижнем этаже, и мука подается в верхний этаж в просевательную машину ковшевым элеватором; печи располагаются в первом этаже, охладитель—под потолком хлебохранилища и т. п. При выпечке пшеничного хлеба, к-рый требует предварительной расстойки, куски теста по выходе из делителя поступают на округлитель, после него на конвейер для предварит. расстойки и далее на заключительную машину, в камеру для окончательной расстойки и т. д.



Фиг. 10.

Механизация хлебопечения в СССР. В довоенной России хлебопечение было почти исключительно мелким кустарным производством, в к-ром вся работа велась при помощи ручного труда. В 1924 г. на территории СССР имелось всего около 20 механизированных предприятий с суточной производительностью около 600 *т* печеного хлеба, включая в это число и предприятия, построенные во время войны. Все специальное оборудование этих предприятий, как печи с паровым обогреванием, тестомесилки, просевательные машины для муки,

тестоформовки и другие машины, были почти исключительно заграничного производства, т. к. хлебопекарного машиностроения у нас до 1924 г., можно сказать, не существовало. Производство хлебопекарного оборудования на советских заводах было начато в 1924 г. Одновременно с началом производства в СССР хлебопекарного оборудования началась у нас и механизация Х. как путем постройки новых хлебозаводов, так и путем механизации существующих кустарных предприятий. За истекшие годы у нас построены и пущены в эксплоатацию новые хлебозаводы, производительность которых следующая (в *т* хлеба за 24 р. ч.):

1924/25 г.	1	завод	производительностью	40 *т*
1925/26 »	8	»	»	290 »
1926/27 »	9	»	»	470 »
1927/28 »	19	»	»	900 »
1928/29 »	23	»	»	1 100 »
1929/30 » и особый квартал				
1930 г.	31	»	»	1 040 »
1931 »	24	»	»	1 170 »
1932 »	68	»	»	2 300 »
Всего	186	з-дов	производительностью	7 310 *т*

Присоединяя к новым хлебозаводам построенные за это время новые механизированные пекарни и механизацию существующих предприятий, к концу 1932 г. в СССР всего было 330 работающих механизированных и частично автоматизированных предприятий общей суточной производительностью около 15 700 *т* печеного хлеба против 20 предприятий суточной производительностью около 600 *т* в 1924 г. В первые годы строительства хлебозаводов часть оборудования, как тестоделительные и тестообрабатывающие машины, автоматич. весы для отвешивания муки, а также печи конвейерных систем ввозились из-за границы, т. к. это оборудование нашими з-дами не изготовлялось. В качестве образцов было также ввезено почти полное оборудование для трех автоматизированных хлебозаводов, пущенных в 1928 и 1929 гг. С 1933 г. наши з-ды изготовляют все сложнейшее оборудование для автоматизированных хлебозаводов, а с 1931 г. мы уже обходимся без импорта машин. Помимо оборудования применяемых за границей конструкций мы ввели ряд новых советских конструкций, как напр. хлебозаводы жесткой кольцевой системы (Г. Марсаков).

Лит.: Стоцик Л., Хлебопекарные машины, М.—Л., 1932; Ауэрман Л., Технология хлебопечения, М., 1933; его же, Пшеничный хлеб, М., 1929; Павперов А., Ручная и механич. обработка теста, М., 1931; Молодых Н., Машины и аппараты хлебозаводов, под ред. Г. Канемана, ч. 1, М., 1933 (с атласом); Форнет А., Теория практич. хлебопечения и мукомолья, пер. с нем., М., 1930; Верхоглядов Ф., Типы хлебозаводов, (в книге) Кооперативное хлебопечение, По материалам первого съезда потребкооперации по хлебопечению, под ред. З. Болотина, М., 1930; Сарычев Б., Методы производства различных сортов хлеба, там же, 1930; Канеман Г., Строительство и оборудование хлебозаводов и производство хлебопекарного оборудования, (в кн.) Кооперативное хлебопечение, М., 1930; Топоркин Н., Работа тестомесительной машины сист. Веппера при разных условиях приготовления теста, под ред. Г. Канемана, Труды Всесоюзного научно-исследовательского ин-та хлебопекарной пром-сти, М., 1932, вып. 2; Ильинский Н. и Капырин Д., Опыт исследования хлебопекарного производства, М., 1931; Сарычев Б., Хлебопечение в СССР и за границей, М., 1929; Neumann M., Brotgetreide u. Brot, 3 Aufl., B., 1929; Mohs H., Die Entwicklung des Backofens von Backstein zum selbsttätigen Backofen, Stg., 1926; Jost L., Das Bäckergewerbe, Lpz., 1928; Benion E., Breadmaking, Its Principles a. Practice, L., 1929; Jago W., The Technology of Breadmaking, Chicago, 1921.

Г. Канеман.

ХЛОПКОВОЕ МАСЛО, или хлопчатниковое жирное масло, получаемое из семян хлопчатника (Gossypium), принадлежит к группе полувысыхающих масел. Содержание жира в семенах 22—23%. Константы Х. м. колеблются (в зависимости от происхождения семян, переработанных на масло): $d_{15}^{15} = 0{,}922 \div 0{,}930$, $n^{15} = 1{,}474 \div 1{,}475$, $t°_{застыв.}$ от -13 до $+12°$, кислотное число от 3 до 10, число омыления 191—198, иодное число 101—117, неомыляемый остаток (в %) 1,1. Химич. состав Х. м. (в %): С 76,4, Н 11,4 и О 12,2. Содержит гл. обр. глицериды олеиновой и линолевой кислот. Как в гидролизованном, так и естественном масле присутствуют свободные жирные кислоты; $t°_{пл.\ жирных\ к\text{-}т}$ 35—43°; $t°_{застыв.}$ их (титр) 32—40°.

Перед переработкой на масло семена хлопчатника, полученные с джинов, обычно очищают от остатков пуха еще на линтерных машинах. В маслобойном производстве семя подвергают обдирке от шелухи, хотя иногда применяют и неочищенное семя. Масло из семян в шелухе выделяется легче, чем из очищенных семян. Сырое Х. м. темнобурого цвета и горьковатого вкуса и может употребляться только в качестве технич. масла. В пищу применяют только рафинированное Х. м.—светложелтого цвета, отличающееся приятным вкусом. Получаемый при очистке сырого масла осадок (соапсток) используется в мыловарении. Свойством Х. м. при охлаждении выделять твердые глицериды пользуются для приготовления зимнего Х. м., труднее застывающего и имеющего большое применение в качестве салатного и консервного масла. Получаемые твердые глицериды (коттонстеарин) при этом процессе демаргаринизации используются при производстве маргарина. Получаемый в маслобойном производстве хлопковый жмых используется на корм скоту и на удобрение. Для обнаружения фальсификации коровьего масла маргарином к последнему при его изготовлении прибавляют рафинированное Х. м. (не менее 5%), легко открываемое цветными реакциями.

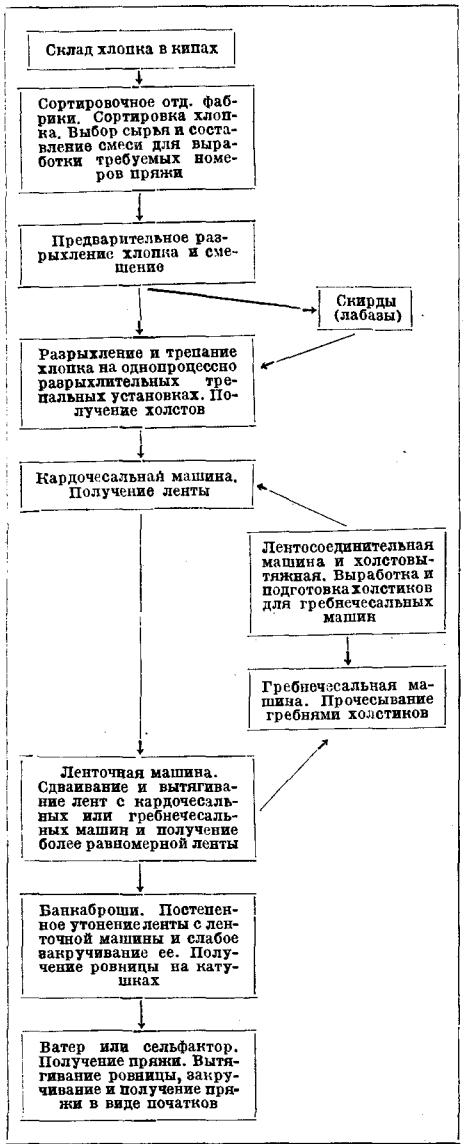
Н. Раицкий.

Лит.: см. *Жиры и масла.*

ХЛОПКОПРЯДЕНИЕ, изготовление из хлопка пряжи требуемого номера, или тонины, и качества. Изготовление пряжи из хлопка слагается из двух основных операций: 1) из подготовки хлопка к прядению и 2) из самого прядения; первая из них в свою очередь делится на ряд отдельных операций, причем число этих операций м. б. больше или меньше в зависимости от того, какого номера, качества и назначения пряжу предполагается вырабатывать. Пряжа бывает высоких, или тонких, номеров от № 60 (метрич. № 95) и выше, средних № 18÷50 (метрич. № 29÷80), низких от № 16 (метрич. № 25) и ниже и специального назначения—для ниточного производства, для трикотажа, для корда и др. К пряже специального назначения предъявляются повышенные требования в отношении качества ее (крепости, ровноты и пр.). В зависимости от этого и подготовка хлопка к прядению не является одинаковой. Для выработки пряжи специального назначения подготовка состоит из следующих операций: 1) сортировки хлопка, 2) приготовления смеси из него, 3) разрыхления, 4) трепания, 5) кардочесания 6) гребнечесания, 7) сдвигания и выравнивания лент и 8) предпрядения. При выработке же пряжи средних и низких номеров, идущих для ткачества, обычно гребнечесание не применяется; все же остальные из перечисленных операций оста-

ются, изменяясь лишь в постановке работы самой операции в зависимости от качества хлопка и вырабатываемой пряжи. После окончания подготовки хлопка к прядению происходит само прядение, которое может быть совершаемо на машинах разных систем (см. прилагаемую схему).

Схема выработки пряжи.



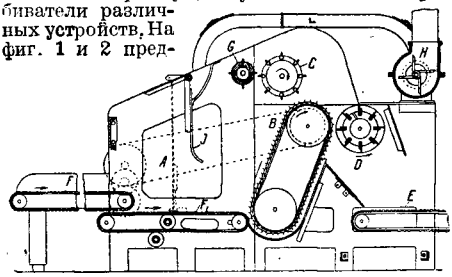
Подготовка хлопка. Пряжа имеет различные назначения, а соответственно этому к ней предъявляются различные требования. Основа должна обладать большей крепостью, чтобы она могла преодолевать те напряжения, к-рым она подвергается на ткацком станке; уточная пряжа по преимуществу должна отличаться мягкостью, гибкостью и пушистостью; швейная нитка требует пряжи повышенной ровноты и крепости; таких же качеств д. б. пряжа для автокорда, трикотажа и др. Пряжа одного и того же назначения м. б. разного номера. Для получения крепкой пряжи требуется хлопок с более длинным, ровным и крепким волокном; для утка можно брать хлопок по качеству несколько ниже, чем для основы; для более тонкой пряжи и специального назначения необходимо брать хлопок также более высоких качеств.

Выбор хлопка, или сортировка, производится сл. обр. Кипы хлопка из фабричного склада транспортируются в сортировочное отделение ф-ки, к-рое в новейших ф-ках располагают по преимуществу в первом этаже особой пристройки ф-ки, где помещается и весь трепальный отдел. Эта пристройка соединяется с главным корпусом ф-ки коридором. На современных америк. ф-ках нередко сортировочное отделение устраивается при хлопковом складе; здесь хлопок сортируют, разрыхляют и несколько очищенный пневматич. путем перебрасывают в фабрику для дальнейшей обработки. Кипы в сортировочном отделении расставляют рядами; с каждой из них снимают по одному или более обручу, тару вскрывают, а затем кипы подвергают осмотру, насколько они соответствуют намеченному к выработке сорту пряжи. Здесь возможны отклонения отдельных кип в ту или другую сторону. Бывают партии хлопка разного состава, и тогда они могут итти в разные сортировки для выработки разных сортов пряжи. Обычно исследуют хлопок каждой кипы, обращая главное внимание на длину и крепость волокна, чистоту хлопка и цвет. К отобранным кипам прикрепляют ярлыки с отметкой того сорта, в который назначается данная кипа.

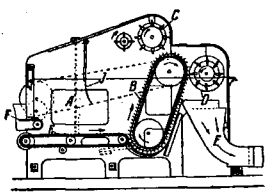
Приготовление смеси. Отобрав сорт хлопка, к-рый следует взять для получения из него данной пряжи, приступают к приготовлению смеси. Смешивание хлопка необходимо в виду того, что, хотя доставленные партии хлопка в общем и соответствуют тому сорту, который требуется для выработки данной пряжи, все же в партиях хлопка возможны отклонения. Чтобы получить более однородную по качеству пряжу, необходимо, чтобы и сырье было более однородным, что достигается путем тщательного смешивания его. Хлопок смешивают с хлопком более высокого качества, когда из данного хлопка нельзя спрясть пряжу требуемых качеств; пряжа более низких номеров не всегда работается из чистого хлопка, а обычно последний смешивают с угарами, получаемыми при обработке более высоких сортов хлопка или того же сорта. К смешиванию с более низкими и дешевыми сортами прибегают иногда и по экономич. соображениям, стремясь получить пряжу более дешевую при сохранении в ней надлежащих качеств, т. к. стоимость в пряже сырья равна в среднем ок. 60—65%. Пряжу одного и того же номера можно приготовить из смеси, или сортировки, составленной из разных хлопков, а иногда и с добавлением различных угаров. Не следует смешивать между собой сортов хлопка, слишком разнородных или значительно отличающихся по длине волокна. При смешивании следует

соблюдать следующие основные правила. При сортировке для средних и высоких номеров пряжи одновременно можно смешивать не более двух смежных сортов, а для более низких—не более трех смежных сортов. Сорт показывает зрелость волокна, а от зрелости зависит извитость волокна, его номер и крепость. Смешение волокон, сильно разнящихся по зрелости, дает обычно неровную пряжу. Не следует также смешивать хлопка, сильно разнящегося по классу, т. к. при этом происходит засорение более чистого хлопка, и сор труднее удаляется из общей массы. При составлении безугарных смесок нельзя допускать разницы в длине волокон более чем на 1—1,5 *мм*, а для смесок с угарами 2—2,5 *мм*. Не следует также при составлении смесок допускать смешивания волокна различной степени тонины (с разницей номера более 10%), т. к. это сильно увеличивает неровноту пряжи. Не следует смешивать хлопки различных оттенков для изготовления товаров, к-рые употребляются в суровом виде.

Смешивание хлопка раньше производилось вручную, в настоящее же время исключительно при помощи машин. Такими машинами являются по преимуществу автоматич. кипоразбиватели различных устройств. На фиг. 1 и 2 представлен кипоразбиватель. У него имеется длинная настилальная решетка *F*; длина решетки может быть большей или меньшей в зависимости от имеющейся площади, но чем длиннее решетка, тем большее количество кип можно около нее установить, а это даст возможность произвести лучшее смешивание хлопка, взятого из большего количества кип. Более длинная решетка облегчает обслуживание, и один рабочий может обслужить большое количество кипоразбивателей. Хлопок из кип небольшими порциями вручную раскладывается по возможности равномерно на решетку *F*, которая подает его на следующую питательную решетку F_1; эта решетка подводит его к игольчатой наклонной решетке *B*, которая состоит из отдельных деревянных или металлич. планок со стальными зубьями. Сами планки привертываются к ремням, которые двигаются вверх. Вверху около решетки находится барабанчик-разравниватель *C*, имеющий 8 рядов зубьев и вращающийся по часовой стрелке. Он своими зубьями в месте сближения с зубьями игольчатой решетки действует на поднимаемый решеткой хлопок; здесь последний подвергается разрывающему усилию в двух противоположных направлениях. Если попадаются большие куски хлопка, величина которых больше расстояния между иглами решетки и зубьями разравнивателя *C*, то такие куски разделяются, причем одна часть их остается на решетке, а другая отбрасывается обратно в ящик кипоразбивателя. Хлопок, оставшийся на иглах решетки, продвигается дальше и счищается специальным съемным барабанчиком *D*, снабженным обычно ременными крыльями, окружная скорость которого больше линейной скорости решетки. Хлопок, снятый с игол решетки, или падает на решетку *E* (фиг. 1), к-рая передает его дальше для обработки, или же падает в трубу *E* (фиг. 2), откуда он отсасывается и направляется или в лабазы или же в следующие машины для дальнейшей обработки. Барабанчик *G* предназначается для очистки барабана *C* от оставшегося на нем хлопка и этим предохраняет его от наматывания на него хлопка. Кипоразбиватель, изображенный на фиг. 1, имеет вверху вентилятор *H* для удаления пыли. Эта пыль выделяется при постоянном движении хлопка в кипоразбивателе во время его работы, а также при сбивании его с наклонной решетки. В кипоразбивателе, изображенном на фиг. 2, вентилятора нет, но зато благодаря засасыванию хлопка в трубу *E* пыль отсасывается с хлопком и в дальнейшем удаляется из него. В кипоразбивателе имеется щиток *J* для регулирования подачи хлопка в кипоразбиватель, чтобы ящик его *A* не слишком переполнялся хлопком. Общий вид кипоразбивателя с вентилятором представлен на фиг. 3. Совершенно новый тип кипоразбивателя англ. з-да Говарда и Булло, отличающийся от обычных, представлен на фиг. 4. Здесь вместо игольчатой наклонной решетки имеется два игольчатых барабана. Этот кипоразбиватель предназначен между прочим и для обработки сильно спрессованного хлопка. Здесь хлопок подводится питательной решеткой *A* к барабану *B* (диам. 12″ при 35 об/м.); этот барабан, принимая хлопок с решетки *A*, передает его иглам барабана *C* (диам. 27″ при 12 об/м.). Т. к. окруж-

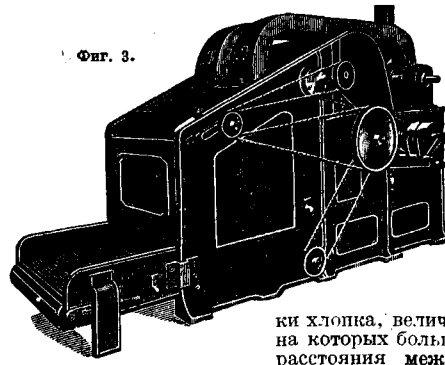


Фиг. 1.

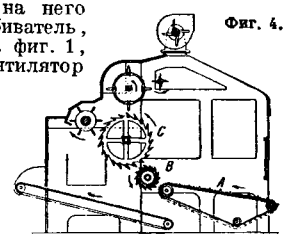


Фиг. 2.

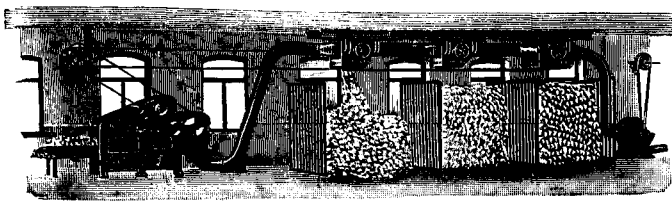
Фиг. 3.



Фиг. 4.

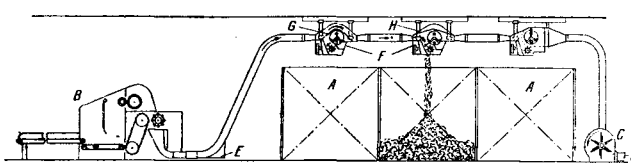


ная скорость у барабана *B* больше окружной скорости барабана *C*, то между ними происходит непрерывное разрыхление хлопка. В остальном этот кипоразбиватель мало чем отличается от кипоразбивателя, изображенного на фиг. 1.



Фиг. 5.

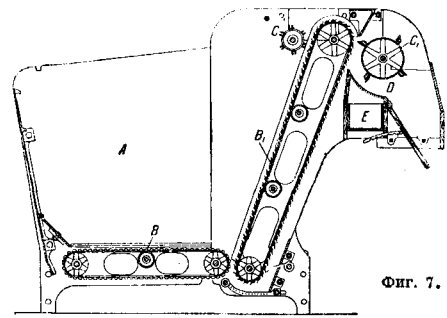
После разрыхления и некоторого смешения хлопка на кипоразбивателе он направляется или в скирды, где, отлеживаясь, выравнивает свою влажность и принимает свое более или менее естественное состояние после прессовки в кипах, или же пневматич. путем направляется в следующие машины для дальнейшей обработки. Как в первом, так и во втором случае передача хлопка в современных новых ф-ках производится пневматич. путем. Передача хлопка в скирды представлена на фиг. 5. Здесь хлопок из кипоразбивателя отсасывается через трубу вентилятором, находящимся за скирдами, и распределяется по скирдам при помощи особых распределительных коробок-конденсеров, одно из устройств к-рых представлено на фиг. 6, где *A*—лабазы, *B*—кипоразбиватель, *C*—вентилятор, *D*—труба к пыльной камере, *E*—патентованное приспособление для улавливания заклепок, кусков железа и прочих металлич. предметов, *F*—пневматические распределительные коробки, *G*—закрытые клапаны, а *H*—открытые клапаны. В распределителе над средним лабазом клапан открыт, и хлопок



Фиг. 6.

падает в этот лабаз, в то время как над первым этот клапан закрыт и хлопок пролетает в силу тяги к следующему распределителю. Распределитель, расположенный над последним лабазом, устроен так, что может направлять хлопок только в этот лабаз, в то же время давая пыли пролетать в силу тяги к трубе *D*, которая ведет к пыльной камере. В скирдах рабочие (топталы) укладывают хлопок равномерно по горизонтали, а для дальнейшей обработки хлопок берут слоями по вертикали, чем достигается лучшее его смешение.

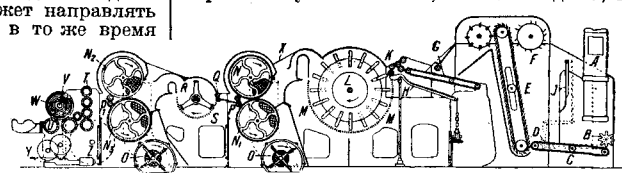
Разрыхление и трепание. Хлопок, находящийся в скирдах, недостаточно разрыхлен для того, чтобы из него путем трепания, т. е. нанесения хлопку сильных ударов, можно было удалить посторонние примеси, а потому его подвергают дальнейшему разрыхлению на особых разрыхлительных машинах—о п е н е р а х. К этим машинам прежде всего нужно отнести опенер сист. Буклея и экстауст-опенер, опенер сист. Крейтона и др. Для обработки на первых двух машинах хлопок берут из скирд и забрасывают в ящик автопитателя, питающего один из этих опенеров, или же укладывают равномерным слоем на решетку автопитателя, к-рая имеется для подачи хлопка из разных скирд. На фиг. 7 представлено устройство одного из видов автопитателей. Хлопок в ящике *A* подводится горизонтальной решеткой *B* к наклонной решетке B_1, которая своими иглами, меньшими по размерам и более частыми, чем у кипоразбивателя, поднимает его вверх;



Фиг. 7.

с нее барабанчиком *C* сбрасывается излишек, и т. о. между зубьями барабанчика и иглами проходит определенная толщина хлопка в зависимости от разводки, т. е. расстояния между зубьями барабанчика *C* и иглами решетки. Далее с зубьев решетки хлопок сбрасывается следующим барабанчиком C_1 и направляется в опенер, причем выделяющиеся более крупные примеси через решетку *D* проваливаются в ящик *E*.

Опенер Буклея вместе с автопитателем представлен на фиг. 8. Хлопок по трубе *A* подается из скирд, когда они расположены в верхнем этаже. Для регулирования подачи имеется щиток *J*, который в случае большей, чем необходимо, загрузки автопитателя *CDEF* отклоняется и при помощи системы рычагов останавливает валик *B*, и тогда хлопок из трубы *A* больше не поступает в автопитатель. Из автопитателя хлопок поступает на решетку опенера *G*, к-рая подает его через валики к педальному



Фиг. 8.

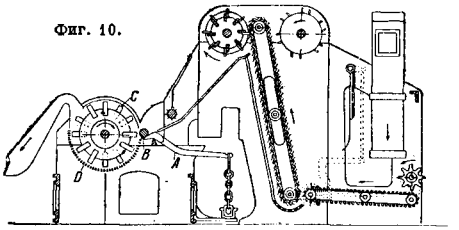
регулятору, состоящему из валиков *K* и ряда педалей *H*. Этот регулятор, равномерно подавая в опенер хлопок, подводит его под удары ножевого барабана *L*; от ударов ножей хлопок разрыхляется и продвигается под действием их и тяги от вентилятора *O* по колосниковой решетке *M*. Часть посторонних примесей в силу получаемых ударов и от центробежной силы пролетает через колосники решетки, хлопок же, пройдя изогнутую трубу *X*, называемую «лебединой шеей», присасывается к сетчатым барабанам *N* и N_1, через отверстия к-рых пыль удаляется вентилятором *O*. Сетчатые барабаны, медленно вращаясь, продвигают при-

Фиг. 9.

сасываемый к ним хлопок к паре валиков *P* и далее к валикам *Q*, которые подводят его под действие трехбильного трепала *R*. Здесь хлопок подвергается трепанию, [т. е. сильным ударам трепала, благодаря чему помимо дальнейшего разрыхления он освобождается от части посторонних примесей, которые пролетают через колосники решетки *S*. Затем хлопок присасывается к следующим сетчатым барабанам N_2 и N_3, к-рые, медленно вращаясь, продвигают его к паре валиков P_1, продвигающих его к плющильным валам *T*, уплотняющим массу хлопка и подающим его на пару скатывающих валов *U*. Эти валы навивают хлопок на скалку *V*, причем получается холст *W* определенной длины и веса.

Чтобы масса хлопка, навиваемая на скалку, не занимала большего объема в силу рыхлости хлопка, она навивается под определенным давлением, для чего имеется особое устройство, частью которого является рычаг *Y*, на конце

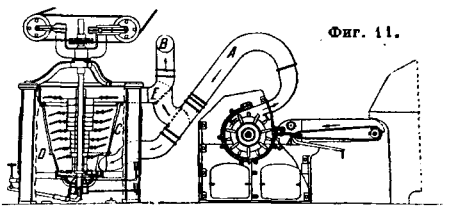
Фиг. 10.



к-рого помещен груз *Z*; передвигая этот груз в ту или другую сторону, можно изменять давление. Полученный здесь хлопок имеет уже определенный номер, и этот номер является исходным для построения дальнейшего плана прядения при выработке требуемого номера пряжи. Этот опенер в виду наличия у него трепала предназначен для обработки средних и более низких сортов хлопка. Для обработки же более высоких сортов хлопка—с более длинным волокном и менее засоренного—применяется опенер Буклея с одним ножевым барабаном без трепала, т. к. трепало обычно повреждает волокно, в особенности более длинное и тонкое. Экгауст-опенер новейшей системы представлен на фиг. 9. Хлопок в силу тяги от вентилятора *E* из поркюпайн-опенера по трубе *A* направляется в экгауст-опенер и присасывается к сетчатому барабану *D*; отсюда хлопок парой валиков *F*, а затем парой валиков *G* подводится под действие ножевого барабана *H*, где разрыхляется и попутно очищается от части примесей, а в дальнейшем его обработка происходит так же, как и на опенере Буклея (фиг. 8). Изображенная на фиг. 9 труба *C* регулирует поток воздуха, а воронка *B* служит для впуска воздуха. Между поркюпайн-опенером (фиг. 10) и экгауст-опенером при обработке более сорных хлопков для лучшего разрыхления и очистки их устанавливают еще опенер Крейтона; таким образом получается агрегат, состоящий из поркюпайн-опенера, опенера Крейтона и экгауст-опенера, соединенных между собой в одно целое при помощи специальных труб, по к-рым хлопок пневматич. путем передается из машины в машину.

Работа поркюпайн-опенера (фиг. 10) заключается в том, что хлопок из автопитателя подводится при помощи педального регулятора *AB* к ножевому барабану *C*, который разрыхляет хлопок и очищает его от части примесей, удаляемых в силу ударов и развиваемой центробежной силы через колосники решетки *D*,

Фиг. 11.

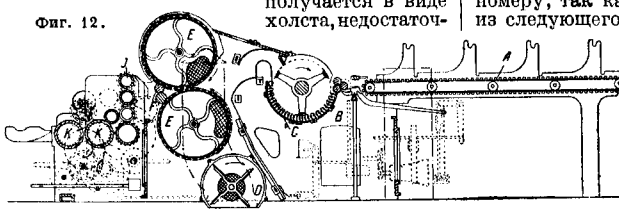


окружающей барабан. В современных машинах для лучшей очистки хлопка решетка делается возможно большей. Устройство опенера сист. Крейтона представлено на фиг. 11. Крейтон представлен в соединении с поркюпайн-опенером новейшей системы. Такое сочетание этих машин составляет часть современных однопроцессных разрыхлительно-трепальных установок, к-рые представлены дальше. Устройство и работа крейтона заключаются в следующем. Хлопок поступает в крейтон из поркюпайн-опенера по трубе *A* снизу, затем воздушной тягой через трубу *B* хлопок движется в крейтоне снизу вверх и по пути своего продвижения подвергается действию ножей, укрепленных горизонтально и наклонно на дисках, насаженных на вертикальном валу на расстоянии около 190 *мм* друг от друга. Под действием ударов этих ножей хлопок разрыхляется, чему способствует еще и конусообразная форма машины, дающая возможность разрыхляемому хлопку по мере разрыхления занимать больший объем. При разрыхлении хлопок частично освобождается от сора, к-рый через колосники *C* уносится в боковое помещение машины *D*. После разрыхления хлопок тягой воздуха направляется в следующую машину. Если хлопок из поркюпайн-опенера не предполагается пропускать через крейтон (при обработке длинноволосых хлопков), то заслонку *E* поднимают, и хлопок в силу тяги направляется мимо крейтона в трубу *B*. Машина Крейтона со всех сторон закрыта, как видно на фиг. 11,

но имеются специальные отверстия, через которые машина может очищаться от угаров. Производительность крейтона до 900 *кг*/ч.

Трепание. С опенера Буклея, как и с экгауст-опенера, хлопок, не вполне разрыхленный и очищенный от посторонних примесей, получается в виде

Фиг. 12.

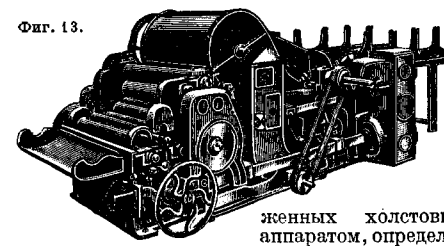


холста, недостаточно равномерного. Для получения холста более равномерного и для продолжения его очистки от примесей применяют холстовую трепальную машину (фиг. 12 и 13). Работа этой машины заключается в следующем. Четыре холста с опенера кладут на бесконечное полотно *A*; здесь они соединяются и при помощи педального регулятора *B* подводятся под действие трепала, вращающегося со скоростью от 700 до 1 000 об/м. Сильные удары трепала заставляют посторонние примеси пролетать через колосники решетки *C*, к-рая здесь значительной длины и заканчивается «лебединой шеей». От ударов трепала хлопок не только освобождается от посторонних примесей, но еще более разрыхляется; соединение на решетке четырех холстов способствует выравниванию слоя хлопка. В дальнейшем технологический процесс протекает обычным путем, т. е. хлопок после трепала, еще более очищенный от посторонних примесей и более разрыхленный в силу тяги от вентилятора *D* (фиг. 12), присасывается к сетчатым барабанам *E*. Через их отверстия пыль, пух и мелкий сор отсасываются и направляются обычно в пыльный подвал, хлопок же при медленном вращении сетчатых барабанов (5 ÷ 10 об/м.) направляется к выпускным валикам *F*, затем через плющильные валы *J* направляется на скатывающие валы *K*, где, как и на опенерах, наматывается на скалку под определенным давлением в виде холста. Здесь холст получается уже более равномерный и более чистый. Кроме того благодаря наличию здесь специального отсечного механизма длина, а также и вес холста бывают определенными. Когда определенная длина холста будет навита на скалку, автоматически останавливаются решетка, сетчатые барабаны и плющильные валы, холст больше не нарабатывается. Полученный холст проверяют, соответствует ли он определенному весу, а следовательно и номеру, так как номер продукта определяется из следующего соотношения:

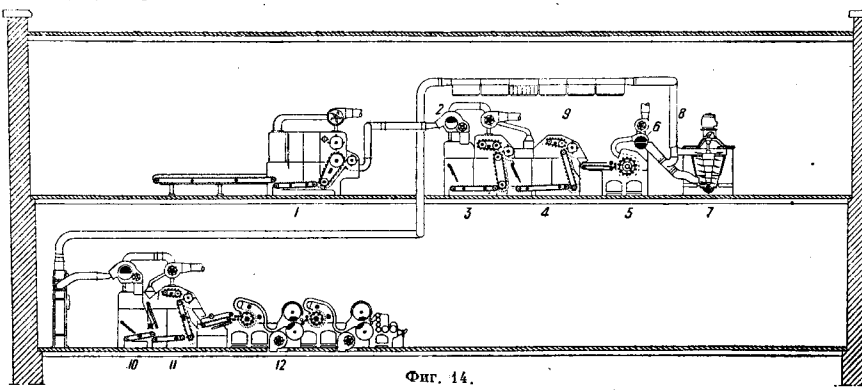
$$N = \frac{L}{G},$$

где L при англ. системе нумерации—длина в мотках по 840 ярдов, а при метрич. системе L выражена в *км*, G—вес по англ. системе в англ. фн., по метрической в *кг*. Если полученный вес холста не соответствует заданному более чем на 200 *г*, считая в ту или другую сторону, то холст бракуется и возвращается в переработку. Теоретич. производительность холстовой трепальной машины, равно как и опенера Буклея, а также экгауст-опенера, снаб-

Фиг. 13.



женных холстовым аппаратом, определяется сл. образом. Если мы обозначим через d диам. в дм. каждого скатывающего вала, через n—число об/м. вала, то окружная скорость каждого из них в мин. будет πdn, в час $\pi dn \cdot 60$, а в W часов $\pi dn \cdot 60 \cdot W$. Из ф-лы для определения номера $N = \frac{L}{G}$ получаем $G = \frac{L}{N}$, следовательно в эту ф-лу вместо L можно подставить $\pi dn \cdot 60 \cdot W$, выразив их в мотках, так как в



Фиг. 14.

данном случае L выражена в мотках, для чего нужно разделить $\pi dn \cdot 60 \cdot W$ на 36, чтобы обратить их в ярды, и затем на 840, чтобы получить мотки. После этого мы получим:

$$G = \frac{\pi dn \cdot 60 \cdot W}{36 \cdot 840 \cdot N} = \frac{\pi dn \cdot W}{504 \cdot N} \text{ англ. фн.} =$$

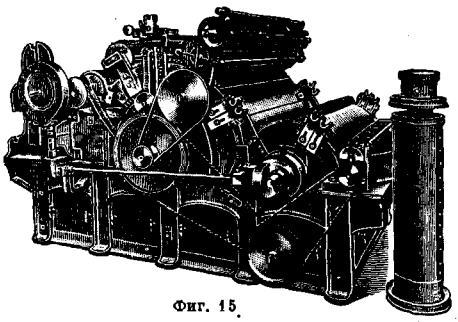
$$= \frac{\pi dn \cdot W \cdot 0{,}453}{504 \cdot N} \text{ кг}.$$

Действительная производительность машин $P = G$ меньше теоретической вследствие остановов машин за тот же период времени; для получения первой следует помножить вторую на кпд машины η (меньший единицы), тогда P в W часов можно определить по ф-ле:

$$P = \frac{\eta \cdot \pi dn \cdot W}{504 \cdot N} \text{ англ. фн.} =$$

$$= \frac{\eta \cdot \pi dn \cdot W \cdot 0{,}453}{504 \cdot N} \text{ кг.}$$

Величины η, d, N, n для опенеров и холстовой трепальной машины неодинаковы. Так, для



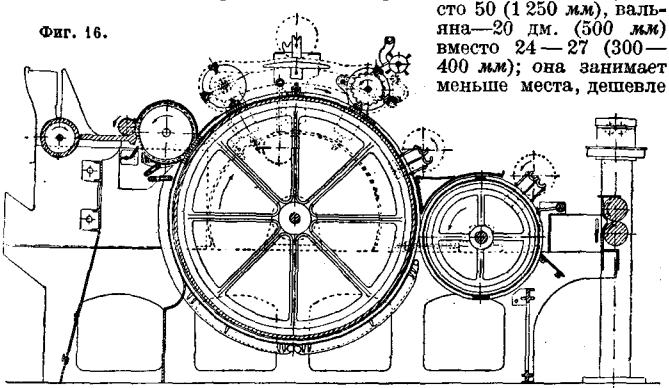
Фиг. 15.

опенеров $\eta = 0{,}82 \div 0{,}90$; $d = 9''$; $n = 11 \div 14$; $N = 0{,}00119 \div 0{,}0019$; для холстовой трепальной $\eta = 0{,}81 \div 0{,}88$; $d = 9''$; $n = 8 \div 10$; $N = 0{,}00135 \div 0{,}002$. При обработке лучших хлопков и выработке из них более высоких номеров η берется больше, n—меньше и N—выше. Часовая производительность опенера Буклея колеблется в пределах $180 \div 230$ *кг*, экгаустопенера—270 *кг*, трепальной холстовой машины—$85 \div 145$ *кг*.

Однопроцессные разрыхлительно-трепальные установки. В настоящее время процессу разрыхления и трепания придают большое значение в виду того, что хлопок подвергается в кипах более сильной прессовке, а при сборе хлопка машинным путем засоренность его не устраняется. В виду этого в производстве применяются мощные разрыхлительно-трепальные установки, где хлопок при работе без скирд (лабазов) (обычно при выработке низких и средних номеров пряжи) непрерывно проходит весь агрегат машин, выходя в виде холста определенного номера благодаря установке 12-холстового аппарата и хорошего смешения хлопка. На фиг. 14 показана установка англ. з-да Платта при работе без лабазов. Эта установка состоит из кипоразбивателя *1*, откуда хлопок по трубе конденсером *2* подается в разрыхлитель *3*, из него в автопитатель *4*, отсюда в поркюпайн-опенер *5*, из поркюпайн-опенера через барабан Шерли *6*, предназначенный для отсасывания пыли и мелкого сора, направляется в опенер Крейтона *7*, к-рый м. б. и выключен из работы; отсюда по трубе *8* с расширенной частью — сорной коробкой *9*, состоящей из 6 секций,—направляется в специальный распределитель хлопка на две последующие машины, содержащие резервный автопитатель *10*, автопитатель *11* и однопроцессную трепальную машину *12*. Однопроцессная трепальная машина з-да Сако-Лоуелл состоит из двухбарабанного опенера и трепальной холстовой машины. Однопроцессные разрыхлительно-трепальные установки с экономич. стороны являются выгодными, ибо занимают меньше места и требуют меньше рабочей силы.

Кардочесание. После трепания хлопок представляет собой массу мелких жгутиков, комочков из волокон и т. п. и заключает еще и нек-рое количество примесей, к-рые во время процесса разрыхления и трепания полностью не были удалены в угар. Из такого хлопка получить пряжу надлежащих качеств невозможно. Нужно окончательно его разрыхлить и удалить посторонние примеси. Пряжу хорошего качества можно получить лишь тогда, когда волокна будут отделены друг от друга, когда не только посторонние примеси, но также наиболее короткие и мертвые волокна будут удалены, а это возможно только при полном разъединении волокон. С этой целью в производство введена специальная операция кардочесания хлопка. Эта операция проводится на кардочесальных машинах. Устройство обычных шляпочных кардочесальных машин и сущность операции кардочесания см. *Кардочесальная машина* и *Прядение*. В настоящее время имеется новый тип кардочесальной машины Шерли (фиг. 15 и 16). Эта машина отличается от обыкновенной шляпочной тем, что имеет всего 48 шляпок, из к-рых в работе находится только 13—14 вместо 39—40. Технологич. процесс протекает на ней так же, как и на обычной, причем качество работы не ниже. Эта машина имеет меньшие размеры главных органов: диам. барабана 40 дм. (1 000 *мм*) вместо 50 (1 250 *мм*), вальяна—20 дм. (500 *мм*) вместо 24—27 (300—400 *мм*); она занимает меньше места, дешевле

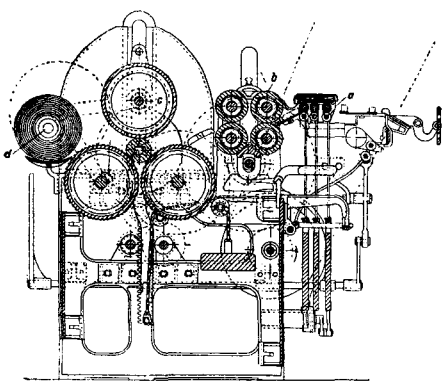
Фиг. 16.



в эксплоатации и ниже на 14 дм., что облегчает ее обслуживание. Число оборотов главного барабана благодаря меньшему диам. его м. б. увеличено до 200—210. Недостатком машины является трудность заправки холста вследствие того, что столик поднят очень высоко и ось питательного цилиндра выше, чем на обычной машине, прорез в стойке для холста находится очень высоко, и для заправки приходится высоко поднимать холст. Производительность машины Шерли почти та же,

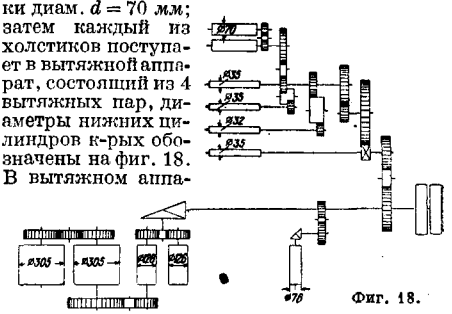
что и обычной. Производительность кардочесальной машины в 1 час колеблется в пределах от 2,5 до 7,5 *кг*.

Гребнечесание. Если нужно получить пряжу тонких номеров или пряжу специального назначения, хлопок после кардочесания подвергают гребнечесанию. Гребнечесание должно расположить б. или м. параллельно волокна хлопка, удалить короткие волокна и окончательно очистить его от посторонних примесей, к-рые еще могли остаться после кардочесания. Для гребнечесания кроме гребнечесальной машины необходимо еще иметь машины, подготовляющие для нее продукт. Таковыми м. б. или: 1) ленточная машина в 1 головку и лентосоединительная или же 2) лентосоединительная и холстовытяжная; как первые две машины, так и вторые две занимают место в производстве сейчас же после кардочесальной машины; т. о. лента с кардочесальной поступает в первом случае на головку *ленточной машины* (см.), где происходит сложение и вытягивание лент, дающее в результате этого более равномерную ленту, а отсюда на лентосоединительную (фиг. 17). На этой машине ленты из тазов



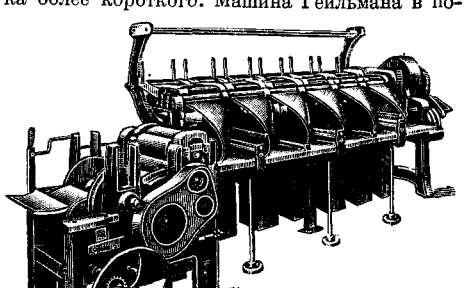
Фиг. 17.

в количестве от 14 до 20 направляются в вытяжной аппарат *a*, состоящий из 3 вытяжных пар валов; здесь ленты не сдваиваются (не складываются), а проходят в вытяжной аппарат параллельно друг другу и подвергаются в нем небольшой вытяжке (ок. 2 раз), затем проходят уже в виде холстика через 2 пары плющильных валов *b* диам. 5 дм. (127 *мм*), где происходит его уплотнение, и далее на скатывающий вал *c* диам. 12 дм. (305 *мм*). Скатывающие валы навивают этот холстик шириной $7^1/_2 \div 10^1/_2$ дм. на деревянную скалку *d*. Бо́льшая или меньшая ширина холстика зависит от того, какой ширины холстики нужны для гребнечесальной машины. Холстики, полученные первым способом, т. е. через одну головку ленточной машины и лентосоединительную, не являются равномерными по своему строению, ибо в местах соединения параллельно расположенных лент имеются более тонкие места, что не дает возможности при прочесывании гребнями на гребнечесальных машинах зажать эти тонкие места так же, как и толстые, и благодаря этому много волокон из этих мест удаляется гребнями в очес. В виду этого холстики предпочитают сейчас приготовлять вторым способом: ленты с кардочесальных машин поступают на лентосоединительную, где получаются, как описано выше, холстики, б. или м. неравномерные по своему строению, затем эти холстики, обычно в количестве 6, по одному на каждую головку, поступают на холстовытяжную машину (фиг. 18 и 19). Здесь холстики укладываются на раскатывающие валики диам. $d = 70$ *мм*; затем каждый из холстиков поступает в вытяжной аппарат, состоящий из 4 вытяжных пар, диаметры нижних цилиндров к-рых обозначены на фиг. 18. В вытяжном аппарате каждый холстик подвергается вытяжке, равной 5—6. Благодаря этой вытяжке холстик делается тоньше, волокна в нем распрямляются и располагаются б. или м. параллельно. После этого каждый холстик в отдельности по выходе из вытяжного аппарата по изогнутой поверхности (фиг. 19) и под плющильным валиком диам. 76 *мм* направляется по горизонтальной гладкой поверхности столика, соединяясь по пути с остальными такими же холстиками, к двум парам плющильных валов диам. 126 *мм*, затем к скатывающим валам диам. 305 *мм*. После этого получается холстик, более равномерный по своему строению, т. к. он получился из 6 сложенных вместе холстиков. Затем холстики поступают на гребнечесальную машину для прочеса.



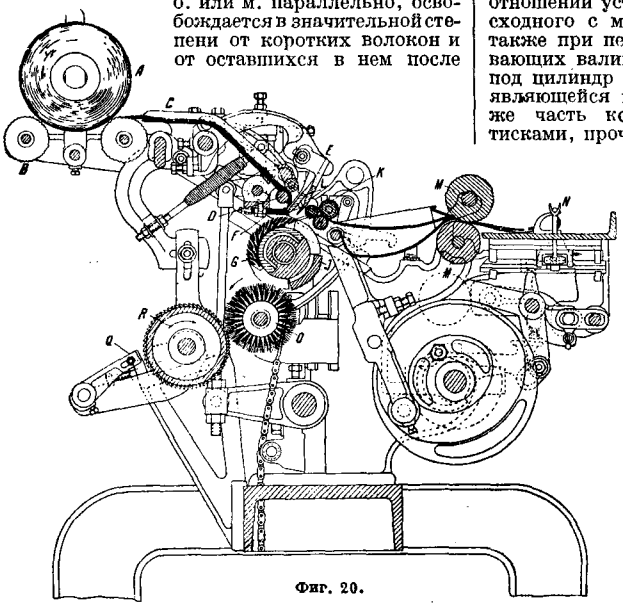
Фиг. 18.

Гребенные машины в Х. применяются или системы Гейльмана (фиг. 20 и 21) для обработки более длинноволосого хлопка, идущего для выработки пряжи № 100 и выше, или же системы Несмита, пригодные также и для хлопка более короткого. Машина Гейльмана в поперечном разрезе представлена на фиг. 20. Самый процесс гребнечесания происходит следующим образом. Холстик *A* кладется на раскатывающие валики *B*, которые, вращаясь периодически, разворачивают его; по лотку *C* он направляется в пару питательных валиков *D*, которые также периодически подают его в тиски или щипцы, нижняя часть



Фиг. 19.

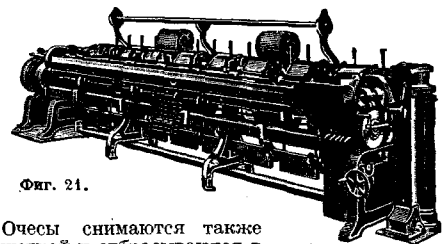
которых—*F*, а верхняя—*E*. Хлопок, зажатый этими тисками, провисает в виде бородки и подвергается прочесыванию гребней, расположенных на барабанчике в 17 рядов; из них первые гребни наиболее редкие, а затем они постепенно делаются все тоньше и чаще. Под действием этих гребней хлопок располагается б. или м. параллельно, освобождается в значительной степени от коротких волокон и от оставшихся в нем после



Фиг. 20.

кардочесания примесей. Но так как та часть хлопка, которая была зажата во время прочеса тисками, а также близкая к ним, прочесыванию гребней не подвергалась, то для прочесывания ее имеется падающий гребень *L*, который опускается в бородку хлопка после того, как тиски раскроются и когда отделительный валик *K* опустится на рифленую часть *J* гребенного барабанчика *G*; до этого же отделительные валики *H* обратным вращением подают прочесанную за предыдущий период мычку хлопка обратно для соединения ее при помощи валика *K* с только что прочесанной. Отделительные валики *H* получают затем движение вперед и продвигают непрочесанную мычку через опущенный гребень. После этого тиски закрываются, гребень поднимается, и валик *K* занимает прежнее свое положение; т. к. до этого произошла подача холстика к тискам, как описано выше, то начинается второй цикл работы, т. е. бородка хлопка, зажатая тисками, прочесывается 17 рядами гребней барабанчика и т. д. Прочесанный хлопок в виде мычки продвигается к плющильным валикам *MM*, откуда в виде ленты выпускается и у *N* поворачивается почти под прямым углом и по гладкому полированному столику продвигается вместе с другими такими же лентами к вытяжному аппарату, состоящему из трех вытяжных пар, где обыкновенно происходит сложение лент (6—8, смотря по тому, сколько головок на гребнечесальной машине). Гребенная машина системы Гейльмана в общем является очень сложной.

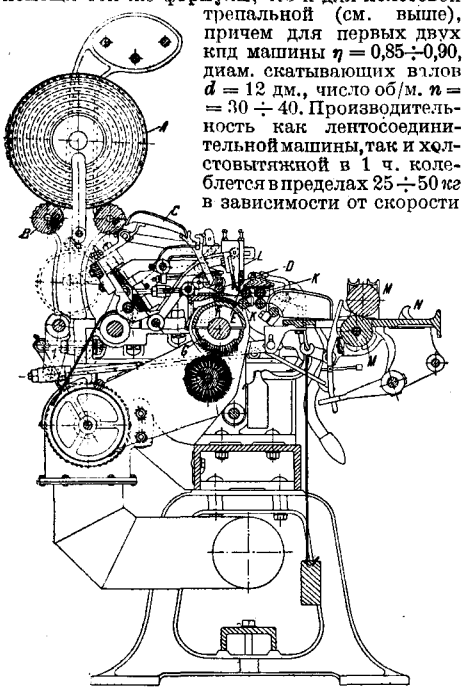
В настоящее время в производстве гораздо чаще применяется гребнечесальная машина Несмита. Она гораздо проще с конструктивной стороны, и на ней можно, как указано выше, обрабатывать хлопок с более коротким волокном. На фиг. 22 представлен поперечный разрез одной из головок этой машины. Здесь в отношении устройства и работы имеется много сходного с машиной Гейльмана. Холстик *A* также при периодическом вращении раскатывающих валиков *B* по лотку *C* направляется под цилиндр *D*, укрепленный на пластине *F*, являющейся нижней частью тисков, верхняя же часть которой — *E*. Холстик, зажатый тисками, прочесывается 17 рядами гребенного барабанчика *G*. (В новейших машинах для лучшего прочесывания имеется уже 20 рядов гребней.) Прочесанный холстик в виде бородки захватывается отделительной парой *K* после того, как последняя произведет соединение его с ранее прочесанной бородкой и когда падающий гребень *L*, как и на машине Гейльмана, будет опущен. Передняя пара *K* продолжает перемещать его вперед, и, пройдя через обычную воронку, прочес проходит через плющильные валики *MM* и, поворачиваясь около стойки *N* по полированному столику, вместе с другими такими же лентами направляется к вытяжному аппарату, состоящему из 4 вытяжных пар. Здесь происходит сложение 6 или 8 лент (смотря по тому, сколько головок на гребнечесальной машине) и одновременно вытягивание их. После этого полученная лента направляется обычным путем в койлер. Очес с гребенного барабанчика (фиг. 20) щеткой *O* снимается и передается на валик, покрытый кардой *R*, с него гребнем *G* снимается и падает в специальный ящик. На фиг. 22а представлен другой способ удаления угаров; здесь применяется пневматический способ.



Фиг. 21.

Очесы снимаются также щеткой и отбрасываются в канал, откуда они, подхватываемые тягой воздуха, создаваемой вентилятором *O*, присасываются к медленно вращающемуся барабану *R*, на цилиндрич. поверхности к-рого они собираются и падают в ящик *P*. Воздух и мелкие сорные примеси проходят через отверстия дырчатого барабана и через трубу *S* отводятся вентилятором. Для очищения воздуха от пыли и пуха, чтобы они не попадали в рабочее помещение, в трубу вставляется фильтр в виде пористого мешка. Пыль и мелкая примесь по мере накопления в мешке время от времени удаляются

оттуда через особую дверку. Производительность машин лентосоединительной, холстовытяжной, одной головки гребнечесальных Гейльмана и Несмита может быть определена при помощи той же формулы, что и для холстовой трепальной (см. выше), причем для первых двух кпд машины $\eta = 0{,}85 \div 0{,}90$, диам. скатывающих валов $d = 12$ дм., число об/м. $n = 30 \div 40$. Производительность как лентосоединительной машины, так и холстовытяжной в 1 ч. колеблется в пределах $25 \div 50$ *кг* в зависимости от скорости



Фиг. 22.

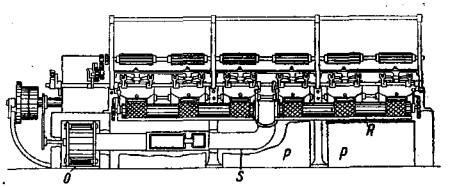
машины, номера получаемого с нее холстика и прочих условий ее работы. Лентосоединительная и холстовытяжная машины могут обслужить 45—48 головок гребнечесальной машины Гейльмана или 30 головок Несмита. Для гребнечесальных машин кпд $\eta = 0{,}88 \div 0{,}92$, диаметр койлерных валиков $d = 2$ дм. Производительность в 1 ч. одной головки машины Гейльмана колеблется в пределах $2{,}9 \div 3{,}4$ *кг*, а машины Несмита $4{,}4 \div 9{,}4$ *кг*. Площадь, занимаемая машинами, и их мощность (в HP)* приведены в табл. 1.

Табл. 1.—Площади, занимаемые машинами, и мощность.

Наименование машины	Площадь, *м*	Мощность, HP
Лентосоединительная машина завода Добсона и Барло	2,44×1,37	0,5
Лентосоединительная машина з-да Гетерингтона	2,28×1,37	0,5
Холстовытяжная машина з-да Добсона	4,32×1,22	1
Холстовытяжная машина з-да Гетерингтона	4,37×1,3	1
Гребнечесальная машина сист. Гейльмана завода Добсона в 6 головок	4,18×1,02	1,2
То же в 8 головок	5,14×1,02	1,6
Гребнечесальная машина Несмита в 6 головок	4,35×1,01	$^3/_4$*1 и $1\,^1/_4$*2

*1 Без пневматич. отсоса очеса. *2 С отсосом.

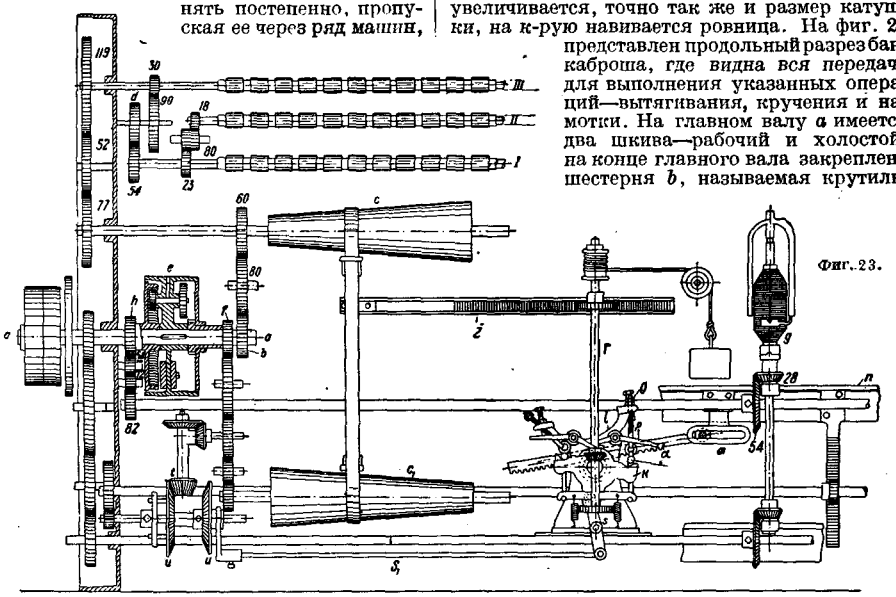
Сдваивание и вытягивание лент. Лента, полученная с чесальной машины, представляет собой б. или м. равномерную массу волокон хлопка, расположенных в ней не параллельно, изогнутых и направленных в разные стороны. Для получения пряжи, равномерной по номеру и крепости, необходимо волокна в ленте распрямить, расположить их параллельно друг другу и равномерной массой по всей длине ленты. Для достижения этого необходимо подвергнуть ленты процессу сдваивания или сложения и вытягивания (см. *Вытяжка* и *Ленточная машина*). Сдваивание же, или сложение, дает возможность выровнить недостаточно равномерные ленты, полученные с кардочесальных или с гребнечесальных машин. Чем больше лент подвергается сложению, тем более вероятия получить и более равномерную ленту; это видно из следующего. Положим для сложения взяты ленты, имеющие неровности, поэтому площади их сечений, сложенные в нек-рой точке новой ленты, равны каждая не a, что имело бы место, если бы номер их или толщина были бы правильными, но $a(1+\alpha)$, $a(1+\beta)$, $a(1+\gamma)$, ..., $a(1+\omega)$, где величины α, β, γ, ..., ω являются отклонениями каждой ленты от нормального сечения в ту или другую сторону во взятом месте; т. о. м. б. или утолщение или же утонение лент: если мы сложим d таких лент, то среднее отклонение $\alpha + \beta + \gamma + \ldots + \omega$, равное μ, будет меньше наибольшего из отклонений, а при возможности отклонения в ту и другую сторону размер отклонения может еще более уменьшиться. Если мы подвергнем ленту вытяжке, равной величине числа сложений, величина μ, сама по себе уже весьма незначительная, еще уменьшится соответственно числу сложений. Обычно соединяют 6 лент, реже—8. Но при сложении 8 лент необходимо и вытяжку давать, равную 8 или очень близкую к этой величине. Это необходимо делать для того, чтобы номер полученной ленты не снизился, в противном случае для получения из нее пряжи требуемого номера пришлось бы увеличивать вытяжку на последующих



Фиг. 22а.

переходах, что нежелательно, так как вообще увеличение вытяжки—причина получения менее равномерного продукта. Давать же вытяжку, равную 8, на обычном вытяжном приборе можно лишь при обработке длинноволосого хлопка, к-рый идет на выработку тонких номеров пряжи. При выработке пряжи из хлопка коротковолосого или средней длины сложение лент должно быть не более 6. Если применяется гребнечесание, то ленты с гребнечесальной машины в распрямлении и параллелизации волокон не нуждаются, но должны подвергаться выравниванию, поэтому их пропускают через 3, а иногда даже и через 4 головки. На ленточных машинах начинают применять приборы высоких вытяжек, но это находится еще в стадии изучения.

Предприядение. Разрыхление, трепание, кардочесание, гребнечесание (если оно будет применено), сложение и вытягивание имеют своей задачей получить однообразный продукт—ленту, очищенную от посторонних примесей и коротких волокон и заключающую в себе волокна распутанные, разъединенные и в известной степени параллелизованные, а при гребнечесании и почти полностью параллелизованные. Из такого продукта—ленты—можно было бы непосредственно приготовить пряжу требуемого номера, если бы ее можно было соответственно вытянуть или утонить, но для этого пришлось бы прибегнуть к слишком большой вытяжке, чего на обычных тонкопрядильных машинах, за исключением случая применения экстравысоких вытяжек, сделать нельзя. В виду этого полученную ленту нужно утонять постепенно, пропуская ее через ряд машин, называемых банкаброшами (см. *Прядение*), которых в производстве бывает обычно от 1 до 3, а при выработке тонких номеров пряжи—4, иногда даже и 5. В настоящее время на банкаброшах начинают применять приборы высокой вытяжки сист. Казабланка, что дает возможность увеличить вытяжку на банкаброшах, сокращая их число. При применении же приборов экстравысокой вытяжки на ватерах можно обойтись без банкаброшей, хотя исследования в этом направлении показали, что и при наличии экстравысоких вытяжек оставление одного банкаброша с экономич. стороны все же является более выгодным; при этом приходится применять специальную ленточно-перемоточную машину сейчас же после ленточной машины. Кроме вытягивания на банкаброше необходимо вытянутую ленту, называемую мычкой, несколько укрепить путем слабого закручивания ее в виду значительного ослабления ее от вытяжки, а затем закрученную ленту, называемую ровницей, намотать на катушку. Таким образом на банкаброше выполняются три операции—вытягивание, кручивание и наматывание. Лента с последней головки ленточной машины в тазах поступает на первый банкаброш, к-рый называется толстым, затем с толстого ровница, намотанная на катушку, поступает для дальнейшего утонения на перегонный, с перегонного на тонкий, с тонкого на второй тонкий, или джак, и наконец с джака на 5-й, экстратонкий. В настоящее время при применении на ватерах приборов высокой вытяжки можно при выработке низких номеров пряжи ограничиться иногда одним банкаброшем, при выработке средних—двумя и тонких номеров—тремя. Все банкароши в отношении устройства и работы почти ничем не отличаются друг от друга, за исключением размеров нек-рых частей их и скоростей. Так, на каждом последующем банкароше размер веретен уменьшается, а скорость их увеличивается, точно так же и размер катушки, на к-рую навивается ровница. На фиг. 23 представлен продольный разрез банкароша, где видна вся передача для выполнения указанных операций—вытягивания, кручения и намотки. На главном валу *a* имеется два шкива—рабочий и холостой, на конце главного вала закреплена шестерня *b*, называемая крутильной, число зубьев к-рой может меняться в зависимости от крутки; от нее через шестерни в 80 и 60 зубьев вращается верхний валик, на правом конце к-рого закреплен конич. ведущий барабанчик-коноид *c*, а на левом—шестерня в 77 зубьев, к-рая при помощи шестерен в 52 и 119 зубьев приводит во вращение передний цилиндр *III* вытяжного аппарата (*d*=34 *мм*). От переднего цилиндра получает движение задний цилиндр *I* этого аппарата через шестерни в 30 и 90 зубьев, шестерню *d* в 54 зуба, а от заднего через шестерни в 23, 80 и 18 зубьев—средний цилиндр *II*. Таким образом передний цилиндр является ведущим весь вытяжной аппарат.



Фиг. 23.

В ы т я ж к а. В вытяжном аппарате шестерня *d*, называемая накладной, имеет то или другое число зубьев в зависимости от принятой вытяжки, причем из передачи видно, что число зубьев ее обратно пропорционально вытяжке, так как вытяжка есть отношение окружных скоростей вытяжной пары, выпускающей продукт, к окружной скорости, принимающей или вводящей его в вытяжной аппарат. Так как

окружная скорость передней пары при определенной крутке не меняется, то для изменения вытяжки меняют окружную скорость задней пары, для чего можно изменить число оборотов заднего цилиндра, а для этого и служит накладная шестерня.

Крутка на банкаброше определяется по ф-ле Кехлина $t = a\sqrt{N}$, где t—число кручений на 1 дм. ровницы, N—номер вырабатываемой ровницы, a—коэф. крутки, величина которого меняется в пределах от 0,7 до 1,5 в зависимости от сорта обрабатываемого хлопка, скорости веретен банкаброша, обслуживания и пр. Меньшая величина для коэф-та a берется при обработке лучшего сорта хлопка, при меньшей скорости веретен, при лучшем обслуживании банкаброша и проч., бо́льшая же—при противоположных условиях. Крутка ровницы м. б. определена еще при помощи полуэмпирич. ф-лы Хольцхаузена:

$$t = (\sqrt{N} - 0{,}2)(2{,}19 - F),$$

где N—номер вырабатываемой ровницы и F—длина волокна обрабатываемого хлопка в дм. Эта ф-ла дает довольно хорошие результаты, но при условии, если N будет не менее 0,9—1,0, иначе крутка получается малой. Когда машина заправлена, то крутка на ней определяется из соотношения: $t = \frac{m}{L}$, где m—число оборотов веретена в минуту, а L—длина ленточки, или мычки, выпускаемой передней парой вытяжного аппарата в минуту. Эта длина $L = \pi dn$, где d—диам. переднего цилиндра в дм., а n—число оборотов его в минуту. Из ф-лы $t = \frac{m}{L}$ следует, что $L = \frac{m}{t}$, т. е. L обратно пропорционально t, а это означает, что с увеличением крутки производительность каждого веретена банкаброша, а также и всего банкаброша уменьшается. В виду этого необходимо, насколько это возможно, давать меньшую крутку. Меньшая крутка помимо увеличения производительности создает еще лучшие условия для проведения процесса вытягивания на следующем банкаброше или на тонкопрядильной машине, если ровница будет поступать для получения пряжи на эту машину. Но, с другой стороны, уменьшая крутку, мы этим ослабляем ровницу, отчего будет больше обрывов ее и больше остановов машины, что снизит ее кпд. В виду этого при определении крутки необходимо учитывать все эти условия и найти оптимальную крутку.

Число оборотов веретена m меняется лишь от числа оборотов главного вала. Намотка ровницы на катушку осуществляется тем, что катушка вращается скорее веретена, т. е. при опережающей катушке; в льнопрядении, наоборот, намотка идет при опережающем веретене и рогульке. Если обозначим через n число оборотов катушки, через L длину ровницы, выпускаемой передней парой вытяжного аппарата в мин., через d диам. намотки, т. е. диам. голой катушки вместе с ровницей, намотанной на нее в данный момент, то тогда можно написать следующее ур-ие намотки: $(n - m)\pi d = L$, где $n - m$ есть относительная скорость вращения катушки и веретена. Получаемая в каждую минуту длина ровницы д. б. навита на катушку. Из ур-ия намотки определяем n: $n = m + \frac{L}{\pi d}$; из этого ур-ия следует, что скорость катушки n по мере увеличения d, т. е. диаметра катушки при постепенном навивании на нее ровницы, уменьшается. Т. о. скорость катушки не является постоянной величиной, а переменной. Чтобы иметь возможность давать катушке такую переменную скорость, а также при намотке на нее ровницы дать еще и определенную форму, в банкаброшах имеются специальные механизмы—диференциал и замок.

Передача к катушкам. От верхнего коноида c при помощи ремня приводится в движение нижний коноид c_1, от к-рого при помощи ряда шестерен приводится в движение диференциальная шестерня f, сидящая свободно на втулке, на к-рой помещена также и катушечная шестерня h. Шкив e, внутри к-рого укреплена зубчатая передача, соединен с диференциальной шестерней. Катушечная шестерня h при помощи шестерен в 54, 72 и 82 зуба приводит в движение валик, вращающий при помощи конич. шестерен в 54 и 28 зубьев катушку g. Роль диференциала сводится к сложению скоростей, получаемых от главного вала и от диференциальной шестерни. Из ур-ия намотки $n = m + \frac{L}{\pi d}$ видно, что с увеличением d величина $\frac{L}{\pi d}$ уменьшается, и скорость катушки также уменьшается. Это уменьшение достигается тем, что ремень по коноидам периодически передвигается пропорционально увеличению диаметра катушки, причем передвижение ремня идет по направлению от большего диаметра верхнего ведущего коноида к меньшему. При всяком передвижении ремня скорость нижнего коноида будет меньше, следовательно будет меньше и скорость диференциальной шестерни f, а это отразится и на скорости катушки. Это передвижение ремня при помощи рейки i производится особым механизмом, называемым замком. Замок выполняет следующие операции: передвигает ремень по конусам, изменяет высоту подъема каретки, несущей на себе катушки, для образования конусности на них и получения требуемой формы их и изменяет направление движения каретки (вверх и вниз). Устройство и работа замка в общих чертах состоят в следующем. Замок состоит из двух качалок—верхней l и нижней k. В прорез верхней качалки входит одним концом гребенка, могущая передвигаться в кулисе m, прикрепленной к каретке n, несущей катушки. При подъеме каретки вместе с ней поднимается и правая часть гребенки, повсрачивающая влево верхнюю качалку, с болтиком o, к-рый нажимает на собачку p и выжимает ее в известный момент из упора нижней качалки; последняя благодаря натяжению пружин опрокидывается, вследствие чего под влиянием груза стояк r поворачивается на небольшой угол; ремень при этом передвигается влево, скорость катушки уменьшается и гребенка также продвинется влево; ее плечо от качалки к кулисе укоротится, благодаря чему верхняя качалка будет скорее выжимать собачку из упора нижней качалки, и последняя будет скорее опрокидываться, что будет уменьшать высоту подъема каретки и образовывать конусность. Опрокидывание нижней качалки при помощи связанного с ней рычага, вращающегося на оси s, и тяги s_1 вводит в сцепление с шестерней t попеременно то одну то другую тарелочную шестерню u, вследствие чего каретка будет двигаться то вверх то вниз. При передвижении ремня по коноидам изменяется не только ско-

рость катушки, но и скорость подъема каретки. При заправке банкаброша для выработки требуемого номера ровницы обычно меняют накладную шестерню d для получения требуемой вытяжки, крутильную шестерню b для получения определенной крутки ровницы, храповик в замке для соответствующей передвижки ремня по коноидам, причем чем выше номер вырабатываемой ровницы, тем больше зубьев д. б. на храповике при одном и том же его диам.; также меняют подъемную шестерню для правильной намотки ровницы на катушку, т. е. для того чтобы ровница вплотную ложилась одна около другой, причем чем тоньше ровница, тем меньшее количество зубьев д. б. на подъемной шестерне.

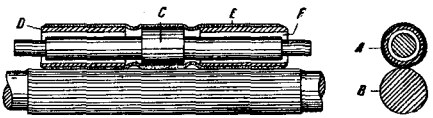
Производительность банкаброша м. б. определена следующим образом. Если вес ровницы номера N, заключающейся на полной катушке, обозначим через g англ. фн., тогда длина ее на катушке (или съем) L, выраженная в ярдах, будет $L = Ng\ 840 \cdot 36 = 30\ 240\ Ng$. Считая, что вытяжной аппарат выпускает в одну минуту l ярдов ровницы, съем, или полная катушка, будет сработан в $\frac{30\ 240\ Ng}{l}$ мин., за W час. работы машины каждое веретено даст $\frac{60\ Wl}{30\ 240\ Ng}$ съемов. В данную ф-лу вместо l введем число оборотов веретен в мин. m и крутку ровницы t, т. к. $t = \frac{m}{l}$ или $l = \frac{m}{t}$; тогда ф-ла примет такой вид: $\frac{60\ Wm}{30\ 240\ Ngt}$ или $\frac{mN}{504\ Ngt}$ съемов. Т. к. вес съема принят нами равным g англ. фн., то весовая производительность одного банкаброшного веретена будет равна $\frac{mW}{504\ Nt}$, благодаря неизбежным простоям во время работы банкаброша производительность будет меньше; чтобы получить действительную производительность, необходимо полученное выражение умножить на кпд банкаброша η, тогда получим следующую ф-лу для определения действительной производительности P банкаброша, имеющего s веретен, выраженную в *кг*:

$$P = \frac{mWs\eta \cdot 0{,}453}{504\ Nt}.$$

Эта ф-ла является пригодной для определения производительности всякого банкаброша, начиная с толстого и кончая экстратонким, но значения для величин, входящих в эту ф-лу, для каждого из этих банкаброшей будут различны: для толстого банкаброша $\eta = 0{,}65 \div 0{,}75$, для перегонного $\eta = 0{,}72 \div 0{,}82$, для тонкого $\eta = 0{,}81 \div 0{,}87$ и для второго тонкого $\eta = 0{,}88 \div 0{,}90$. Число оборотов веретена для толстого банкаброша $m = 400 \div 650$, для перегонного $m = 700 \div 900$, для тонкого $m = 900 \div 1\ 200$ и для второго тонкого $m = 1\ 000 \div 1\ 300$. Номер ровницы N, вырабатываемый на толстом банкаброше, колеблется обычно в пределах $0{,}5 \div 1{,}25$, на перегонном—$0{,}8 \div 3{,}8$, на тонком—$1{,}75 \div 10$ и на втором тонком—$7{,}0 \div 30{,}0$. Крутка на толстом банкаброше бывает $0{,}58 \div 1{,}16$, на перегонном—$0{,}95 \div 2{,}0$, на тонком—$1{,}8 \div 3{,}5$ и на втором тонком—$2{,}4 \div 5{,}2$.

Прядение. Процессом получения ровницы на банкаброшах заканчиваются подготовительные операции к прядению. После этого ровница требуемого номера с последнего банкаброша *направляется в прядильный* отдел, где на тонкопрядильных машинах получают из нее пряжу требуемого номера, назначения и качества. Тонкопрядильными машинами являются кольцевые ватеры и сельфакторы или мюли (см. *Прядение*). На них проводятся те же процессы, что и на банкаброшах, т. е. вытягивание, кручение и наматывание пряжи. Здесь ровница д. б. вытянута до требуемой тонины пряжи и окончательно закручена, чтобы пряжа имела соответствующую ей крепость и была соответствующим образом намотана. В настоящее время прядение проводится по преимуществу на кольцевых ватерах, поэтому следует отметить наиболее существенные особенности их, которыми отличаются современные ватеры. К числу этих особенностей, самых главных по существу своему, нужно отнести применение прибора высоких и экстравысоких вытяжек, к-рых в настоящее время очень много. Кроме приборов Казабланка, Янинка и Теннисена (см. *Прядение*) имеется еще ряд приборов высоких вытяжек разных систем, среди к-рых необходимо отметить четырехцилиндровый прибор с валиком C. S. L. (R. Cotton, T. Setton & E. Lees) и ремешковый Рот-Леблана, к-рые на практике по сравнению с другими дали лучшие показатели, в особенности при выработке тонких номеров пряжи. *Прибор с валиком* C. S. L. представляет собой обычный четырехцилиндровый аппарат, но имеет на втором и среднем цилиндрах особый валик, названный начальными буквами трех изобретателей его.

Этот валик A представлен на фиг. 24. Он состоит из шпинделя с небольшим круглым утолщением C посредине. С обеих сторон этого утол-

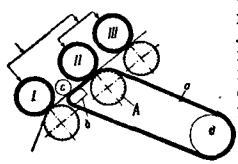


Фиг. 24.

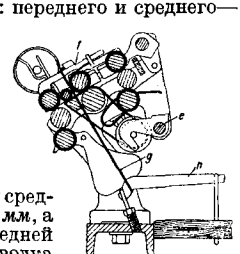
щения на шпиндель надето по втулочке D, диам. к-рых равен диам. утолщения C шпинделя. Внутренний диам. втулочки больше диам. шпинделя, благодаря чему между ними имеется кольцевой зазор F и втулочки могут перемещаться вверх и вниз; на обе втулочки и утолщение C надета опойковая трубочка E, к-рая, являясь гибкой связью, в то же время прочно соединяет их в одно целое. При этом средний цилиндр B имеет такую высоту рифлей, что расширенная часть шпинделя имеет соприкосновение с рифлями цилиндра, благодаря чему валик вращается с той же скоростью, что и цилиндр B. Этому способствует также и сравнительно большой вес валика—около 120 *г*, что создает достаточное трение между ними. Особенность же работы этого валика заключается в том, что благодаря гибкой связи и зазору между шпинделем и втулочками последние при прохождении под ними мычки ровницы могут подниматься и опускаться в зависимости от толстых и тонких мест ее и этим дают возможность правильно провести процесс вытягивания этих мест. Кроме того этот валик устраняет ускорение его движения, понижающее равномерность пряжи; в то же время достигается легкий зажим волокон достаточно легкими втулочками. Прибор C. S. L. применяется по преимуществу при выработке тонких номеров пряжи из сдвоенной ровницы и при вытяжке обычно в пределах 16÷18. На этом приборе вырабатывают также и средние номера пряжи.

Для америк. и союзного хлопка при приборе С. S. L. диам. цилиндров: $^{18}/_{16}$ дм. (20,6 *мм*), $^{10}/_{16}$ дм. (15,9 *мм*), $^{12}/_{16}$ дм. (19 *мм*) и $^{13}/_{16}$ дм. (20,6 *мм*); диам. валиков: $^{12}/_{16}$ дм. (19 *мм*), $^{10}/_{16}$ дм. (15,9 *мм*), $^{12}/_{16}$ дм. (19 *мм*) и $1^{12}/_{16}$ дм. (44,4 *мм*). Расстояние между осями вытяжных пар: $^{12}/_{16}$ дм. (19 *мм*), $^{12}/_{16}$ дм. (19 *мм*) и $1^{10}/_{16}$ дм. (41,3 *мм*). Благодаря сравнительно малой разводке количество п л а в а ю щ и х—неконтролируемых—волокон значительно уменьшается, что способствует увеличению равномерности пряжи.

Прибор Рот-Леблана, изготовленный америк. з-дом Сако-Лоуелл, представлен на фиг. 25 и 25а. Он является ремешковым прибором и состоит из 3 вытяжных пар с защемлением волокон, как на обычном вытяжном аппарате, но при этом у него имеется ординарный бесконечный ремешок *a*, к-рый огибает средний цилиндр и планочку *b*, посредством которой ремешок подводится близко к передней вытяжной паре. На этой планочке в том месте, где сходят волокна с ремешка, расположен легкий самогрузный валик *c*. Этот валик создает промежуточное поле зрения в главном вытяжном поле, благодаря чему значительно уменьшается число плавающих волокон, что способствует получению более равномерной пряжи. Ремешок *a* находится в постоянном натяжении благодаря валику *d*, имеющему центром качания ось валика *e*. Ремешки приводятся в движение средним цилиндром, к к-рому они прижимаются нагруженным средним валиком *A*, а для увеличения трения между ремешком и цилиндром поверхность последнего имеет грани. Верхние валики на всех трех вытяжных парах *I*, *II* и *III* покрыты опойком и нагружены грузом посредством седла *f*, пластины *g* и рычага *h* (фиг. 25а). Размеры цилиндров следующие: переднего и среднего—1 дм. (25,4 *мм*), а заднего $^7/_8$ дм. (22,2 *мм*), диам. верхних валиков 1 дм. (25,4 *мм*) по коже, диам. самогрузного легкого валика $^1/_2$ дм. по коже, вес его 70—72 *г*. Разводка между цилиндрами постоянна и равна между средней и задней парой 46 *мм*, а между передней и средней 42 *мм*. Последняя разводка дает возможность обрабатывать на этом приборе хлопок с длиной волокна лишь до 42 *мм*, так как волокна с большей длиной в виду зажима могут обрываться. Расстояние между точками зажима передней пары и легкого валика—17 *мм*. На этом приборе в виду меньшего расстояния между указанными точками зажима, чем на приборе С. S. L. (там—19 *мм*), будет меньше плавающих волокон, и пряжа должна получаться более равномерной. Вытяжка на приборе Рот-Леблана дается также обычно около 16—18, причем бо́льшая вытяжка дается при обработке лучшего сорта хлопка при меньшей скорости машины. Прибор Рот-Леблана в изготовлении англ. з-да Добсона и Барло представлен на фиг. 26 и 26а. Он отличается

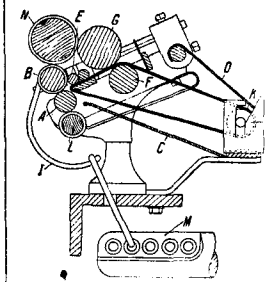


Фиг. 25.

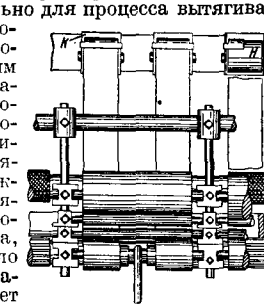


Фиг. 25а.

от только что описанного тем, что у него имеются только две вытяжные пары *AB* и *FG* и вместо одного легкого самогрузного валика имеется два *E*. Передний валик *B* покрыт опойком и нагружен посредством крючка *I* грузом *M*, задний же валик *G* самогрузный. Ремешки натягиваются роликом *H* и очищаются чистителем *K* (фиг. 26а). Для того чтобы предохранить ремешки от пуха, их изолируют покрышками *C* и *D*. Очистка верхних валиков *B* и *G* производится чистительным валиком *N*, а передний цилиндр очищается валиком *L*. Этот прибор по сравнению с прибором з-да Сако-Лоуелл имеет тот недостаток, что здесь в виду наличия всего двух вытяжных пар с защемлением волокон нет предварительной вытяжки, что нежелательно для процесса вытягивания, а также для получения более равномерной пряжи. Этим недостатком страдают и трехцилиндровые приборы высоких вытяжек. Приборы высоких вытяжек дают возможность работать прямо из ровницы более низкого номера, что, сокращая число переходов на банкаброшах, удешевляет производство, причем качество пряжи, получаемой на них, если не выше, то и не ниже, чем на обыкновенном вытяжном приборе (см. *Прядение*).



Фиг. 26.



Фиг. 26а.

Э к с т р а в ы с о к и е в ы т я ж к и не только дают возможность сократить число переходов на банкаброшах и этим удешевить стоимость выработки пряжи, но применение их может совершенно исключить из производства банкаброши или сделать необходимым лишь один. З-д Гартмана, к-рый создал комбинированный аппарат экстравысоких вытяжек, имеет в виду получение пряжи любого номера без банкаброшей, непосредственно из ленты с ленточной машины при вытяжке до 400. Аппарат экстравысоких вытяжек представлен на фиг. 27. Он скомбинирован из двух последовательно расположенных приборов на одной машине—кольцевом ватере, причем прибор *I* является обычным трехцилиндровым, а *II*—высокой вытяжки Казабланка или трехцилиндровым. Если пряжа вырабатывается непосредственно из ленты с последней головки ленточной машины, то эта лента предварительно пропускается через специальную ленточно-перемоточную машину, к-рая кроме уплотнения ленты при помощи сучильных рукавов должна еще намотать ее крестовой моткой на деревянные бобинки диам. 50 *мм* и высотой 300—320 *мм*. Ленту уплотняют для того, чтобы она занимала меньший объем на бобинках, что важно при установке их на

ватере, а также для того, чтобы она не расползалась при сматывании. Это достигается сучильными рукавами, сообщающими ей ложную крутку. Бобинки с лентой устанавливаются на двухъярусной рамке, к-рая в виду большого диам. бобинок расположена частично над вытяжным аппаратом. Лента при очень медленном вращении бобинок сматывается с них, прогибая направляющие прутки через направляющую воронку, вступает в *I* вытяжной аппарат, где происходит первая вытяжка. По выходе из этого аппарата лента выходит значительно утоненной и со слабой связью между волокнами: поэтому, а также в виду того, что расстояние между вытяжными аппаратами *I* и *II* равно 135 *мм*, отчего лента может расползтись, на пути от аппарата *I* к *II* устроен специальный механизм — вьюрок, предназначенный для укрепления этой ленты. Этот механизм состоит из воронкообразной трубочки с проволочным винтовым крючком. Вьюрок приводится во вращение через червячную передачу, приводимую в движение от переднего цилиндра вытяжного аппарата *II*. Второй вытяжной аппарат — прибор Казабланка, состоящий из двух пар цилиндров. Здесь третья пара изъята, т. к. нет необходимости в предварительной вытяжке. Но кроме «Казабланка», аппарат *II* м. б. трехцилиндровым для высоких вытяжек. В такой комбинации весь аппарат экстравысоких вытяжек применяется при выработке высоких номеров, в комбинации же с прибором Казабланка — для выработки средних и низких номеров пряжи. Если вместо ленточно-перемоточной машины оставить один банкаброш, то тогда процесс идет обычным путем: лента с ленточной машины переходит на банкаброш, где подвергается вытяжке, затем крутке и намотке и в виде ровницы поступает на ватер с экстравысокой вытяжкой. Произведенные исследования показали, что стоимость *обработки при банкаброше* меньше, чем при ленточно-перемоточной машине. Применение экстравысоких вытяжек вообще снижает стоимость *обработки приблизительно* на 12,8—14,8%. Хотя з-д Гартмана считает возможным давать на аппарате вытяжку до 400 и даже выше, однако произведенные *исследования по* казали, что при выработке средних номеров пряжи, как основа № 24 и № 32, вытяжку не следует давать выше 150, иначе качество пряжи ухудшается. Рекомендуют вытяжки в следующих пределах в зависимости от сорта хлопка и длины волокна (табл. 2).

Фиг. 27.

Поскольку некоторые из союзных хлопков по качествам своим очень сходны с приведенными в табл. 2, то эти вытяжки, если бы при них качества пряжи получались надлежащими, могли быть взяты и для наших хлопков. Что же касается распределения вытяжек между *I* (обыкновенным) аппаратом и *II* аппаратом (*Казабланка*), *то они м. б. следующими:*

Табл. 2.—Вытяжка в зависимости от сорта хлопка и длины волокна.

Сорт хлопка	Средняя длина волокна, *мм*	Общая вытяжка
Коротковолосый ост-индский (Бенгал)	16—18	40— 80
Хороший ост-индский Омра	18—22	80—120
Коротковолосый америк.	23—25	100—140
Средневолосый »	25—28	130—180
Хороший »	28—32	150—210
Мако при нардном прочесе	30—35	200—250
Мако при гребенном прочесе	32—35	240—300
Сакелляридис	34—38	300—400

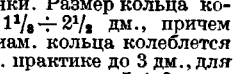
Общая вытяжка	Аппарат *I*	Аппарат *II*
80	8	10
100	8,33	12
160	10	16
240	12	20
300	15	20
450	20,5	22

Крутка пряжи на ватере м. б. определена при помощи приведенной выше ф-лы для крутки: $t = \alpha \sqrt{N}$. Здесь α—коэф. крутки—зависит гл. обр. от сорта обрабатываемого хлопка и назначения пряжи. Если вырабатывается основная пряжа, то значение для коэф. α м. б. взято приблизительно в пределах $4{,}2 \div 4{,}5$; для уточной пряжи $\alpha = 3{,}6 \div 3{,}8$; для трикотажа $\alpha = 2{,}5 \div 3{,}1$, а для очень мягкой пряжи α м. б. равно 2,0. Кручение пряжи производится веретеном, к-рое вращается со скоростью $5\,000 \div 11\,000$ об/м. При обработке более низких номеров пряжи число оборотов берется меньшее; при обработке средних номеров число оборотов веретена достигает почти максимальной величины, а затем при высоких номерах число оборотов снова понижается. Причиной этому является натяжение нити, к-рое она испытывает в процессе прядения на ватере. Это натяжение м. б. выражено следующей ф-лой:

$$T = 4\,fp\left(\frac{R}{r}\right) R \cdot n^2.$$

Здесь T—натяжение в $г$, f—коэф. трения бегунка, p—вес бегунков в $г$, R—радиус кольца, r—радиус навивания и n—число оборотов веретена в $сек$. Из этой ф-лы следует, что с увеличением n, т. е. числа оборотов веретена, увеличивается натяжение нити. Поскольку пряжа более тонких номеров является и более слабой, необходимо количество оборотов веретена уменьшать. При выработке же низких номеров пряжи нельзя давать большую скорость веретену, потому что тогда и вытяжной аппарат будет работать с большей скоростью, а это отразится неблагоприятно на равномерности пряжи.

Намотка пряжи на кольцевых ватерах производится при помощи особых мотальных механизмов. Общепотребительной формой намотки на кольцевых ватерах является початочная. Початок имеет вид, представленный на фиг. 28. Размеры его меняются в зависимости от диаметра кольца и подъема планки. Размер кольца колеблется в пределах $1^1/_8 \div 2^1/_2$ дм., причем для основной пряжи диам. кольца колеблется $1^1/_2 \div 2^1/_2$ дм., в америк. практике до 3 дм., для утка $1^1/_{16} \div 1^5/_{16}$ дм. Подъем планки $5 \div 8$ дм., а в америк. практике до 9 дм., для утка подъем


Фиг. 28.

бывает 5—6 дм. Как видно из приведенной выше ф-лы, натяжение нити от увеличения диам. кольца увеличивается. Вырабатывать пряжу при большем диам. кольца и большем подъеме планки с экономич. стороны выгоднее, т. к. машины реже будут останавливаться для съемок готовой пряжи, а это увеличивает кпд машины, требует меньше шпуль или патрончиков, перемотка пряжи в ткацкой удешевляется и облегчается. Производительность кольцевого ватера м. б. определена из той же ф-лы, что и для банкаброша. Кпд при выработке пряжи разных номеров см. табл. 3.

Табл. 3.—Величина кпд в зависимости от номера и назначения пряжи.

Номер пряжи	Основная пряжа	Уточная пряжа	Трикотажная пряжа
10— 20	0,85 —0,87	0,83—0,85	0,78—0,83
20— 30	0,87 —0,90	0,85 —0,88	0,83—0,86
30— 40	0,90—0,91	0,88—0,90	0,85—0,88
40— 50	0,91—0,92	0,90—0,91	0,88—0,90
60— 70	0,92—0,93	0,91—0,92	—
80—100	0,93—0,95	0,92—0,94	—

Число оборотов веретена в мин. зависит от номера пряжи, ее назначения, сорта хлопка и пр. Оно равно для основной пряжи: № 24—8 800 ÷ 9 000, № 32 — 9 300 ÷ 9 500; № 60 — 8 500 ÷ 8 700. для уточной пряжи: № 24—8 400 ÷ 8 700, № 38 — 8 700 ÷ 9 000, № 70 — 7 500 ÷ 7 800. Число веретен на ватере бывает различное, но всегда кратное четырем. Выбор количества веретен зависит от места, где будут установлены ватеры. Длина ватера зависит не только от количества веретен, но и от расстояния между ними, к-рое зависит от диам. кольца. Для выработки основной пряжи берут меньшее количество веретен, чем при той же длине ватера для выработки уточной пряжи, т. к. диам. кольца для выработки основной пряжи больше, чем для уточной.

Длина ватера определяется по ф-ле

$$L = \frac{sl}{2} + a,$$

где L —длина машины, s —число веретен, l — расстояние между веретенами, $a = 848$ *мм* приременной передаче и 1 530 *мм* при моторе. Ватеров союзного изготовления имеется 6 типов, из них 3 основных и 3 уточных, на к-рых можно работать пряжу от № 10 до № 100 как основную, так и уточную с расстоянием между веретенами $2^1/_4 \div 3^3/_4$ дм. (57 ÷ 83 *мм*), с подъемом 5 ÷ 8 дм. (127 ÷ 203,2 *мм*), диам. кольца $1^1/_{16} \div 2$ дм. (27 ÷ 50,8 *мм*) и шириной 916 *мм*. В формулу для определения натяжения нити включен вес бегунка p; надлежащий выбор его в зависимости от сорта хлопка, диам. кольца и скорости веретен имеет большое значение при прядении на ватерах. Для америк. хлопка при диам. кольца $1^5/_8$ дм. или $1^3/_{16}$ дм. применяют следующие бегунки:

№ пряжи	№ бегунков	Вес бегунков в *г*
10	3—8	0,147 —0,133
15	6—5	0,109 —0,099
20	4—3	0,088 —0,079
24	2—1	0,071 —0,064
28	$^1/_0$—$^2/_0$	0,052 —0,048
32	$^2/_0$—$^4/_0$	0,0435—0,040
36	$^5/_0$—$^6/_0$	0,037 —0,034
38	$^6/_0$—$^7/_0$	0,034 —0,032
40	$^7/_0$—$^8/_0$	0,032 —0,029
44	$^9/_0$—$^{10}/_0$	0,027 —0,025
50	$^{12}/_0$—$^{13}/_0$	0,021 —0,019

Скорость веретен 7 500 об/м. При большей скорости веретен ставятся более легкие бегунки.

Для египетского хлопка, гребенного прочеса при диам. кольца $1^1/_2$ дм. применяют бегунки:

№ пряжи	№ бегунков	Вес бегунков в *г*
50	$^8/_0$—$^7/_0$	0,029 —0,032
60	$^{13}/_0$—$^{12}/_0$	0,019 —0,021
70	$^{15}/_0$—$^{14}/_0$	0,0155—0,017
80	$^{17}/_0$—$^{16}/_0$	0,013 —0,014
90	$^{19}/_0$—$^{18}/_0$	0,011 —0,012
100	$^{20}/_0$—$^{19}/_0$	0,0101—0,011

Скорость веретен 10 000 об/м. При меньших скоростях употребляются более тяжелые бегунки.

Применение сепараторов дает возможность работать при более легких бегунках. Сельфактор. В настоящее время на сельфакторах преимущественно работают пряжу самых высоких номеров, с № 100 и выше, а также и отлогую пряжу низких номеров, идущую для начеса. Выработку пряжи выше № 100 на ватерах затрудняет гл. обр. натяжение нити, на сельфакторах же такого натяжения нити, притом изменяющегося во время процесса прядения, нет, кроме того вытяжка кареткой и дополнительная вытяжка кареткой же дают возможность получить пряжу на сельфакторах значительно более равномерную, чем на ватерах, а это при выработке особенно высоких номеров пряжи весьма важно. При выработке на сельфакторах пряжи не только особенно высоких, но и высоких номеров не применяют аппаратов ни высоких ни экстравысоких вытяжек. Пока единственный прибор, к-рый устанавливается на сельфакторах,—это прибор Казабланка при выработке средних и низких номеров пряжи. Условия работы сельфактора таковы (см. *Прядение* и *Мюль-машина*), что не позволяют пока ставить другие аппараты высоких вытяжек с легким валиком. Каретка при подходе к брусу сообщает ему толчки, что отражается на состоянии легких валиков. Длина сельфактора м. б. определена по ф-ле

$$L = s \cdot l + a,$$

где s—число веретен, l—расстояние между веретенами; величина же a колеблется в пределах от 5 фт. 2 дм. (1,575 *м*) до 6 фт. (1,829 *м*). Расстояние l равно $1^1/_{10}$ дм.(28 *мм*), $1^1/_8$ дм. (28,57 *мм*), $1^1/_4$ дм. (31,75 *мм*), $1^3/_8$ дм. (34,92 *мм*) и $1^1/_2$ дм. (38,1 *мм*); величина его берется в зависимости от того, вырабатывается ли уток или основа. Сельфакторы обычно устанавливаются попарно, а поэтому, чтобы определить площадь для них, нужно найти длину сельфактора и умножить ее на ширину пары машин с учетом отхода каретки. Так напр., ширина пары машин з-да Добсона и Барло с отходом 65 дм. (1,650 *м*), считая от задней части станка одной машины до задней части другой,—6,452 *м*.

Выработанную как на сельфакторах, так и на ватерах пряжу подвергают на особых приборах испытанию и по полученным показателям судят, насколько она удовлетворяет тем требованиям, к-рые к ней предъявляются. В соответствии с назначением пряжи и ее номера берут соответствующий хлопок и ведут производство по заранее выработанному плану прядения. Примерный план прядения для выработки пряжи с применением приборов высоких вытяжек для № 16 и № 24 на приборе Казабланка, а для № 60 на приборе C. S. L. или Рот-Леблана дан в табл. 4 (I—для № 16, II—для № 24 и III—для № 60).

Хлопкопрядильная ф-ка. При проектировании хлопкопрядильной ф-ки прежде всего решается вопрос, где она д. б. построена,

Табл. 4.—План прядения.

	Наименование машин	№ продукта входящего	Вытяжка	Сдваивание	% угаров, влияющ. на номер	№ продукта выходящего	Коэф. крутки	Крутка	Скорость машины	Коэф. полезного действия
I	Опенер Буклея	—	—	—	—	0,00125	—		бар. 500 тр. 900	0,83
	Трепальная холстовая *1	0,00125	4,2	4	2,2	0,00134	—	—	850÷950	0,81
	Кардочесальная *2	0,00134	95	1	7	0,138	—	—	280	0,88
	Ленточная I головка	0,138	5,75	6	0,3	0,133	—	—	300	0,82
	Ленточная II »	0,133	6	6	0,3	0,133	—	—	300	
	Толстый банкаброш	0,133	4	1	0,5	0,53	1,2	0,87	600	0,85
	Перегонный	0,53	4,5	2	0,4	1,2	1,25	1,4	800	0,73
	Ватер	1,2	13,3	1	0,75	16 (основа)	4,5	18	7 300	0,85
						16 (уток)	3,8	15,2	7 100	0,84
II	Однопрочесная трепальная *3	—	—	—	—	0,0014	—	—	750—1100	0,85
	Кардочесальная *4	0,0014	105	1	6	0,158	—	—	175	0,90
	Ленточная I головка	0,156	5,75	6	0,25	0,15	—	—	270	
	Ленточная II »	0,15	6	6	0,25	0,15	—	—	270	0,84
	Толстый банкаброш	0,15	4	1	0,4	0,6	1,1	0,85	600	0,68
	Перегонный	0,6	5,3	2	0,3	1,6	1,15	45	800	0,76
	Ватер	1,6	15	1	0,6	24	4,5	22	9 000	0,89
III	Опенер Буклея	—	—	—	—	0,0016	—	—	450 об.	0,86
	Трепальная холстовая *5	0,0016	4	4	1,2	0,00162	—	—	3-х бильн. тр. 850	0,85
	Кардочесальная *6	0,00162	130	1	4,5	0,22	—	—	165	0,91
	Лентосоединительная	0,022	2	20	0,5	0,022	—	—	35	0,90
	Холстовытяжная	0,022	5,5	6	0,5	0,02	—	—	35	0,90
	Гребнечесальная	0,02	58	6	16	0,23	—	—	95	0,90
	Ленточная I головка *7	0,23	5,8	6	0,25	0,223	—	—	280	0,85
	Ленточная II »	0,223	6	6	0,25	0,223	—	—	280	
	Ленточная III »	0,223	6	6	0,25	0,224	—	—	280	
	Толстый банкаброш	0,224	4,5	1	0,4	1,0	0,9	0,9	550	0,69
	Перегонный	1,0	5,2	2	0,3	2,6	0,95	1,53	750	0,76
	Тонкий банкаброш	2,6	5,75	2	0,2	7,5	1,0	2,71	1 000	0,84
	Ватер	7,5	16	2	0,5	60	4,3	33,3	8 700	0,91

Степень трепания: *1 35÷40, *2 30÷35, *3 25. Степень прочности кардочесания: *2 2 000÷2 100, *4 2 400, *6 3 300, *7 при $d=16/8$ дм.

т. е. решается вопрос о выборе места для постройки ее. При решении этого вопроса в соответствии с планом районирования промышленности учитывается ряд условий экономич. и политич. порядка: политика размещения производительных сил, близость сырьевой базы, наличие удобных путей сообщения для подвоза сырья и топлива, близость районных электрич. станций, близость предприятий для дальнейшей переработки продукции фабрики и др. Когда место для ф-ки выбрано, приступают к проектированию ее, что потребует разрешения целого ряда задач, к числу к-рых нужно отнести прежде всего расчет производств, затем строительную часть, электрификацию ф-ки, вентиляцию, увлажнение и отопление ее и др. Среди всех этих задач самой главной является расчет производства, которое всегда является основой не только хлопкопрядильной ф-ки, но и всякого промышленного предприятия. При расчете производства необходимо правильно разрешить следующие задачи: 1) выбрать сырье, наиболее подходящее для выработки требуемых номеров пряжи как с технологич. стороны, так и с экономической; 2) выбрать тот ассортимент машин, через к-рый выбранное сырье д. б. пропущено для получения данной пряжи; 3) составить наиболее экономичные планы прядения для выработки требуемых номеров пряжи; 4) определить количество необходимого сырья и полуфабрикатов по переходам; 5) определить количество производственных машин, необходимых для оборудования проектируемой ф-ки, и 6) разместить машины наиболее рационально с точки зрения интересов производства. Примером хлопкопрядильной ф-ки, спроектированной и построенной в СССР, можно привести ф-ку «Красная Талка» в 120 000 веретен, предназначенную для выработки основы № 32 и утка № 38. Ф-ка в 16 часов должна вырабатывать основы № 32—8 764 *кг* и утка № 38— 9 288 *кг*, а всего 18 052 *кг*, при среднем № 35,09. План прядения для выработки данных номеров дан в табл. 5.

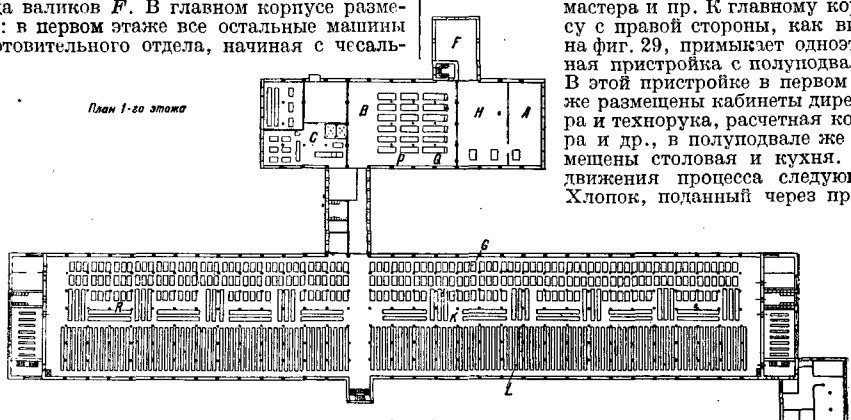
Оборудование этой ф-ки состоит из машин: кипоразбивателей—3, ящичных питателей—6, пневматич. конвейеров—6, опенеров—6, трепальных—12, чесальных—240, ленточных по 3 головки и по 9 выпусков в каждой—18, толстых банкаброшей по 94 веретена—18, перегонных банкаброшей по 156 веретен—34, тонких банкаброшей по 200 веретен—88, основных ватеров по 480 веретен—106, уточных ватеров по 512 веретен—136, мотовил—6, мотальных машин—12, сновальных—24. Кроме этого основного оборудования имеется еще ряд машин, специально предназначенных для обработки угаров, из к-рых по проекту должна вырабатываться вата. Изображенная на фиг. 29 и 29а ф-ка состоит: 1) из главного двухэтажного корпуса длиной внутри 246 *м* и 2) из малого корпуса длиной внутри 89,05 *м*, соединенных между собой коридором длиной 27,3 *м*. В малом корпусе размещены в первом этаже отделения: сортировочное *A*, трепальное *B*, угарное и ватное *C*, а во втором этаже: 8 лабазов (скирд) с 6 питателями опенеров *I* между лабазами *D* и

Табл. 5.—План прядения для основы № 32 и утка № 38.

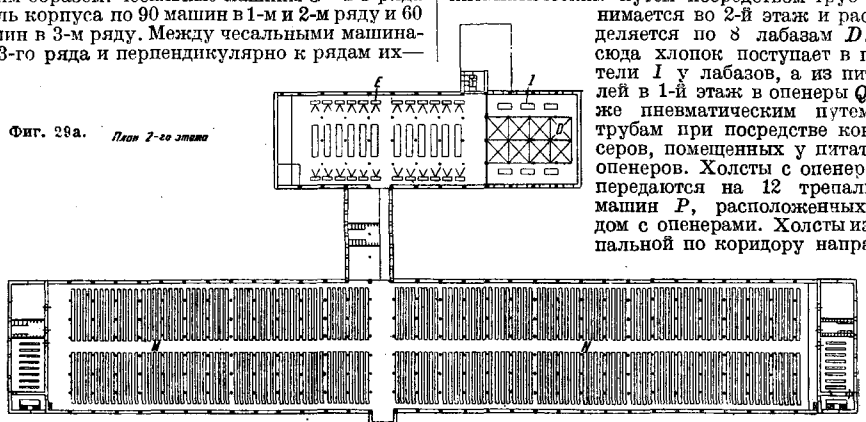
Машины	№ продукта	Число сложений	Вытяжка	Крутка	Коэф. крутки	Действительн. выработка за 16 ч., в кг	об/м.
Трепальные	0,0015	—	—	—	—	1 687 *1	
Чесальные	0,15	—	100	—	—	80 *1	
Ленточная							
I головка	0,15	6	6				
II »	0,152	6	6,1			120 *2	350
III »	0,154	6	6,1				
Толстые банкаброши	0,65	1	4,22	0,8	1,0	1 147 *3	550
Перегонные »	1,6	2	4,92	1,5	1,18	357 *3	720
Тонкие »	4,8	2	6,00	2,72	1,24	106,5 *3	1 100
Ватер (основа)	32	1	6,65	23,8	4,2	17 *3	10 200
Ватер (уток)	38	1	7,95	23	3,8	13,4 *3	9 000

*1 На одну машину. *2 На один выпуск. *3 На 100 веретен.

мотально-сновальный отдел E. К данному корпусу примыкает небольшая одноэтажная пристройка с помещениями для приема хлопка и склада валиков F. В главном корпусе размещены: в первом этаже все остальные машины приготовительного отдела, начиная с чесальных и кончая тонкими банкаброшами. Как видно из фиг. 29, эти машины размещены следующим образом: чесальные машины G—в 3 ряда вдоль корпуса по 90 машин в 1-м и 2-м ряду и 60 машин в 3-м ряду. Между чесальными машинами 3-го ряда и перпендикулярно к рядам их—27 сдвоенных головок ленточных машин k, установленных последовательно, т. е. 18 машин по 3 головки каждая, причем каждая головка имеет по 9 выпусков, разделенных на 2 секции по 4 и 5 выпусков в каждой. Затем между ленточными машинами и параллельно рядам чесальных машин размещены 18 толстых банкаброшей R. Перегонные же и тонкие банкаброши L размещены поперек здания фабрики и перпендикулярно к рядам чесальных с противоположной стороны зала. Во втором этаже главного корпуса размещены в одной половине основные ватера M, а в другой уточные N. В главном корпусе в торцах размещены вспомогательные помещения, как то: раздевальни, уборные, умывальни, кабинет мастера и пр. К главному корпусу с правой стороны, как видно на фиг. 29, примыкает одноэтажная пристройка с полуподвалом. В этой пристройке в первом этаже размещены кабинеты директора и техноурка, расчетная контора и др., в полуподвале же размещены столовая и кухня. Ход движения процесса следующий. Хлопок, поданный через приемное помещение для хлопка F в сортировку A, поступает в 3 кипоразбивателя H, из к-рых пневматическим путем посредством труб поднимается во 2-й этаж и распределяется по 8 лабазам D. Отсюда хлопок поступает в питатели I у лабазов, а из питателей в 1-й этаж в опенеры Q также пневматическим путем по трубам при посредстве конденсеров, помещенных у питателей опенеров. Холсты с опенеров Q передаются на 12 трепальных машин P, расположенных рядом с опенерами. Холсты из трепальной по коридору направляются к чесальным машинам G и по рельсовым путям распределяются по ним. Тазы с лентой с чесальных на тележках направляются



Фиг. 29.



Фиг. 29а.

к ленточным машинам; лента же с ленточных передается на толстые банкаброши, расположенные рядом с ними. Толстая ровница передается непосредственно на перегонные банкаброши, находящиеся против толстых; с перегонных же ровница передается на тонкие, расположенные рядом. Тонкая ровница при помощи двух подъемников, расположенных по концам зала, подается во 2-й этаж. От подъемника к ватерам ровница подвозится на тележках. Основная пряжа также на тележках подается в мотально-сновальное отделение *Е*, где перематывается на сновальные навои. Уточная же пряжа спускается ленточным конвейером в подвал, откуда, как и сновальные навои, направляется в ткацкую ф-ку. Как видим, производственный поток движется при данном размещении машин по кратчайшему направлению, что с точки зрения интересов производства нужно признать наиболее рациональным. Надлежащая организация хлопкопрядильного производства требует: наилучшего использования сырья, минимального запаса полуфабрикатов в производстве, максимальной выработки продукции, но не в ущерб качеству ее, минимального брака как полуфабриката, так и готовой продукции, подбора надлежащей квалификации рабочей силы и наилучшего использования ее, создания наилучших условий труда рабочих, надлежащей организации технического надзора и руководства производством, возможно большей экономии в расходовании вспомогательных материалов и возможного, не в ущерб делу, сокращения учетного и другого персонала.

Лит.: Бергман И., Хлопкопрядение, пер. с нем., М.—Л., 1932; Кузьмин Л., Хлопкопрядение средних номеров, М.—Ив.-Вознесенск, 1932; Таггарт В., Прядение хлопка, пер. с англ., т. 1, М., 1923, т. 2, 2 изд., М., 1929, т. 3, 2 изд., М., 1931; Кованько В., Устройство, организация и рационализация хлопчато-бумажных фабрик, М.—Ив.-Вознесенск, 1931; Васильев Н., Сельфактор, М., 1922; Johannsen O., Handbuch der Baumwollspinnerei, B. 1—2, 3 Aufl., Lpz., 1902; Brücher E., Baumwollspinnerei, Praxis des Baumwollspinners, Technologie der Textilfasern, hrsg. v. R. Herzog, B. 4, Teil 2, B., 1931; Glafey H., Maschinen für die Gewinnung und das Versppinnen der Baumwolle, ibid., B., 1931; Colin J., Traité complet de la filature du coton, t. 1—3, P., 1928—30; Lamoitier P., Traité théorique et pratique de la filature du coton, P., 1928; Nasmith J., The Students' Cotton Spinning, L., 1932; Журналы: «Текстильные новости»; «Известия хлопчато-бумажной промышленности», М.; «Бюллетени НИТИ», Москва; «Leipziger Monatsschrift für Textil-Industrie», Leipzig; «Revue Textile», Paris; «L'Industrie Textile», Paris.

В. Задариовский.

ХЛОПОК, волокно, снимаемое с семян хлопчатника. Первоначально человек использовал дикорастущие многолетние формы хлопчатника, встречавшиеся в тропич. странах, в дальнейшем же, овладев культурой растения, он перешел на однолетние формы, вышел с ними далеко за пределы тропиков и постепенно создал современное обширное мировое хлопководство.

Морфология хлопчатника. Кусты однолетников достигают высоты 1—1,5 *м*. Ветви их, как и многолетников, бывают двух родов: ростовые, несущие только листовые почки, и плодовые, дающие гл. обр. цветочные почки. Преобладание ростовых ветвей свойственно многолетникам и позднеспелым формам хлопчатника, а скороспелые формы имеют преимущественно плодовые ветви, и чем раньше и ниже от главного стебля они образуются, тем скороспелость формы больше. Листья хлопчатника по форме несколько напоминают виноградные, с 3—8 долями. Доли бывают разной ширины и длины, треугольные, треугольно-продолговатые, яйцевидные, тупые и острые, с ровными или зубчатыми краями; окраска их обычно зеленая, но иногда темнокрасная. Цветок состоит из трех прицветников, мало развитой чашечки, пятилепесткового венчика, сросшихся у основания тычинок, несущих оплодотворяющую пыльцу, и пестика: рыльце, столбик и 3—5-дольная завязь; цвет лепестков чаще всего светложелтый, но иногда белый, розовый, красноватый. Плод—коробочка—бывает разной величины и формы и содержит 3—9 *г* сырца; в незрелом состоянии она зеленого цвета, при созревании буреет; в каждой дольке коробочки заключается по 5—7 семян. Форма семени округлая или несколько удлиненная с одним более острым и другим более тупым концами. По снятии волокна у многих форм хлопчатника остается на семенах еще подпушек-*линтер* (см.), придающий им белый, зеленоватый, изумрудный или бурый цвет; у нек-рых же форм подпушек отсутствует, и цвет семян бывает темношоколадный. Ядро содержит до 20% (*от веса семени*) масла. Корневая система образуется главным корнем и боковыми ответвлениями; степень ее мощности зависит от окружающих условий и в первую очередь от *t°*, влажности, аэрации и плодородия почвы. Главный корень в верхней части такой же толщины, как и главный стебель, а ниже толщина его резко уменьшается. Основная масса боковых ответвлений располагается на глубине 40—50 *см* от поверхности земли в удобряемых слоях почвы.

Биология хлопчатника. Хлопчатник совершенно не выносит холода и при *t°* ниже 0° жизнедеятельность его прекращается. Наиболее благоприятной средней месячной *t°* для него является 30°. При *t°* ниже 17—20° происходит замедление в ходе развития растения, а *t°* выше 30° вызывает чрезмерное испарение влаги и как следствие повреждение растений. В хлопководческих районах США, Индии, Египта, Китая, Ср. Азии, Закавказья и Персии средняя годовая *t°* достигает 13—16°, при летней *t°* 25—29°, и общая сумма тепла, получаемая хлопчатником за вегетационный период, не опускается ниже 3 500—4 000°. Хлопчатник требует прямого солнечного освещения и отрицательно реагирует на продолжительное затенение. Однако излишняя длительность солнечного освещения нарушает равновесие между процессами накопления листьями запаса органич. веществ из углерода воздуха и воды—днем и расхода их на прирост растения—ночью, вызывая задержку в цветении и плодообразовании. Опыты туркестанской селекционной станции показали, что, пользуясь искусственным укорочением дня и снижая продолжительность дневного освещения с 14 до 10 ч., можно в условиях Ташкента вызвать у многолетних форм хлопчатника цветение менее чем через 3,5 месяца вместо 6. Огромную роль в жизни хлопчатника играет влага. В США и в некоторых местностях Индии и Китая, где атмосферных осадков за лето выпадает не менее 500 *мм* и распределяются они благоприятно для растения, культура хлопчатника ведется без искусственного орошения. В странах с сухим климатом, в том числе в Ср. Азии и Закавказьи, кроме обеспеченных осадками нек-рых местностей Грузии и немногих районов с близкими грунтовыми водами, возможна только поливная культура хлопчатника. Новые хлопковые районы СССР—Сев. Кавказ, Дагестан, Украина, Крым—причисляются также к засушли-

вым районам и получают за год осадков в среднем не больше 300—350 *мм* и лишь кое-где 450 *мм*. Но почва их обладает способностью хорошо сохранять осенне-зимнюю влагу, почему в них в большинстве случаев обходятся без искусственных поливов, но непременно производят осеннюю вспашку и рациональную обработку земли. Искусственное орошение требует сооружения дорого стоящих ирригационных систем и бдительного ухода за ними, но зато оно дает в руки человека могучий рычаг для регулирования развития растений в желательном для него направлении: давая хлопчатнику ограниченное количество воды до начала цветения, хлопкороб вызывает нужное развитие его корневой системы и сохраняет на будущее питательные вещества удобренных верхних слоев почвы, а, увеличивая поливы в период от цветения до созревания, он, наоборот, переносит работу корней в верхние слои почвы, заставляет растение лучше питаться и тем самым создает лучшие условия для получения хорошего урожая. Под культуру хлопчатника наиболее пригодны глубокие, сухие, суглинистые, достаточно плодородные почвы. Но он удается хорошо и на тяжелых глинистых и на легких песчаных и даже солонцовых почвах, если последние соответствующим образом обработаны. Хлопчатник не переносит почв заболоченных и сильно засоленных. Тучные и сильно удобренные почвы отводить под хлопчатник не выгодно, т. к. это влечет за собою развитие ростовых почек за счет плодовых.

Селекция хлопчатника. Особенности климата и почвы не только ставят грань между хлопководческими и нехлопководческими районами, но и вызывают необходимость в пределах самих хлопководческих районов в одних местностях применять одни разновидности и сорта хлопчатника, а в других местностях другие. Работа по отбору и выведению новых сортов хлопчатника, наиболее удовлетворяющих условиям той или иной местности, лежит на обязанности селекционных учреждений, которые при выведении новых сортов руководствуются заданиями скороспелости, размера коробочки, плодовитости, лучшего выхода волокна из сырца, лучших качеств волокна, устойчивости против заболеваний и т. п.

В СССР имеется уже целый ряд своих хозяйственных селекционных сортов как средне-, так и длинноволокнистых. Кроме того выведены новые селекционные сорта, лучшие по свойствам волокна и по хозяйственным признакам; одни из них находятся еще в стадии размножения, другие занимают пока скромные площади, но к концу 2-й пятилетки селекционные сорта хлопчатника займут следующие места в %-ном отношении к общей площади районов (*табл. 1*).

Культура хлопчатника. Возделывание хлопчатника слагается из следующих операций: подготовка поля к посеву, подготовка семян к посеву, производство самого посева, уход за растением и сбор урожая. Подготовка поля сводится к вспашке, боронованию, внесению удобрений и поливу (на поливных землях). Вспашку нужно производить по возможности осенью, оставляя поле незаборонованным на зиму, а весной следует поле вновь перепахать 1—2 раза. Осенняя вспашка облегчает работу весной, способствует уничтожению сорняков и сохраняет в почве осенне-зимнюю влагу. При перепахивании весной поле обязатель-

Табл. 1.—Ассортимент хлопчатника СССР на 1932 и 1937 гг.

Сорта	Скороспелость	Длина волокна в *мм*	Выход волокна из сырца в %	% от всей площади района хлопков. 1932 г.	% от всей площади района хлопков. 1937 г.
Ср. Азия					
Египетские экстрадлинные	Поздние	39/40	28	4,3	23,2
Египетские короткие волокна	»	33/34	31	3,6	0,9
Навроцкий	Ср. поздн.	27/28	33	52,2	—
№ 508—Батыр	»	28/29	32	6,1	—
Кук	»	24/25	37	0,3	—
Кук селекцион.	»	26/27	38	—	2,7
Триумф Навроцкого	Поздний	29	33	4,6	—
№ 8000—Колхозник	Ср. поздн.	29/30	36	9,8	41,1
№ 2017—Ким	Ср. скороспел.	30/31	30	0,6	—
№ 2017 (произвдн.)—Ким	»	30/31	31	—	18,7
№ 1838	»	30/31	28	1,5	—
№ 1838 (произв.)	»	32/33	29	—	2,7
№ 2034	»	—	—	0,3	—
№ 2005	»	—	—	0,2	—
№ 169—Декхан	»	29/30	28	11,3	—
№ 182—Ак-Джура	»	26/27	32	7,3	—
№ 1306—Шредер	Скоросп.	28	32	5,0	8,0
Чимбайская смесь	»	27/28	29	1,2	—
Ультраскороспелые	Ультраскоросп.	26/27	30	0,2	2,7
Прочие	—	—	—	0,5	—
Итого по Ср. Азии	—	—	—	100	100
Площади в тыс. *га*	—	—	—	1 653	1 867
Казахстан					
Навроцкий	Ср. поздн.	27/28	33	30	—
№ 8000—Колхозник	»	29/30	36	0,5	20,9
№ 2017—Ким	Ср. скороспел.	30/31	30	2,3	—
№ 2017 (произв.) Ким	»	30/31	31	—	43,0
№ 169—Декхан	»	29	28	32,9	—
№ 182—Ак-Джура	»	26/27	32	21,5	—
№ 1306—Шредер	Скоросп.	28	32	11,4	28,1
Ультраскороспелые	Ультраскоросп.	26/27	30	0,2	8,0
Прочие	—	—	—	1,2	—
Итого по Казахстану	—	—	—	100	100
Площади в тыс. *га*	—	—	—	170	249
Закавказье					
Египетск. длин. вол.	Поздние	38/40	28	—	17,81
Египетск. корот. вол.	»	36/38	28	2,85	7,63
Триумф Навроцкого	»	28/29	35	6,01	—
Навроцкий	Ср. поздн.	27/28	34	29,52	—
№ 278—Дадаш	»	28/29	39	0,22	8,91
№ 158	»	29/30	36	—	8,91
№ 169—Декхан	Ср. скороспел.	28/29	29	18,99	—
Кинг-Караявск.	»	24/25	33	35,77	—
№ 6,246	»	29/30	33	—	17,81
№ 114/96	»	29/30	34	0,95	18,57
№ 915—Пионер	Скоросп.	27/28	36	—	20,36
№ 915—492	»	26/27	35	5,63	—
№ 1827, № 1136 и № 97	Ультраск.	—	—	0,05	—
Итого по Закавказью	—	—	—	100	109
Площади в тыс. *га*	—	—	—	316	393

(Продолжение)

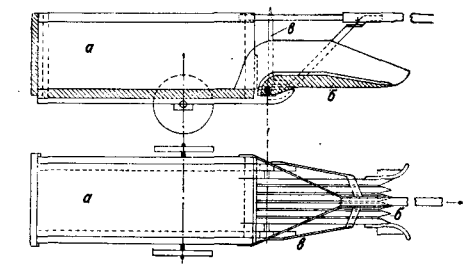
Сорта	Скороспелость	Длина волокна в мм	Выход волокна из сырца в %	% от всей хлопков. площади района	
				1932 г.	1937 г.
Новые районы РСФСР					
№ 169—Денхан	Ср. скороспел.	26/27	29	13,5	—
№ 182—Ак-Джура	»	25/26	31	66,5	—
Кинг-Карагинский	»	23/24	32	7,7	—
№ 1306—Шредер	Скороспел.	26/27	32	12,1	60,0
№ 1827	Ультраскороспел.	24/25	36	—	24,4
№ 97 и № 10193—Комсомолец	»	27/28	32	0,2	15,6
Итого по новым районам	—	—	—	100	100
Площ. в тыс. га	—	—	—	325	450
Украина					
№ 169—Денхан	Ср. скороспел.	26/27	29	9,5	—
№ 182—Ак-Джура	»	25/26	31	68,8	—
Кинг-Карагинский	»	23/24	32	14,0	—
Чимбайская смесь	Скороспел.	26/27	29	0,2	—
№ 1306—Шредер	»	26/27	32	7,5	48,6
№ 1827	Ультраскороспел.	24/25	36	—	25,7
№ 97	»	27/28	32	—	25,7
Итого по Украине	—	—	—	100	100
Площ. в тыс. га	—	—	—	200	350

но боронуется, чтобы не оставалось крупных комьев земли. Удобрения вносятся в почву перед предпосевной вспашкой. В качестве удобрителей используются навоз, хлопковая жмыховая мука, ил из каналов, глина от старых глинобитных (с соломой) построек, минеральные туки. Предпосевный полив с последующим боронованием дается после окончания подготовки почвы. Подготовка семян к посеву имеет целью ускорение появления всходов и заключается в снятии с них подпушка, препятствующего доступу воды к семенам и экономному использованию посевного материала, и в вымачивании семян в течение 2—3 суток в проточной воде. Посев лучше всего производить в то время, когда почва нагрета до 20—25° и не меньше 15°. Посев производится или на разной формы и величины грядах (джояках) вручную *или по гладкому полю: вразброс, рядами*, в лунку. Наиболее рациональный и единственно приемлемый способ посева в крупных совхозных *и колхозных хозяйствах*—рядовой сеялкой. При рядовом посеве расходуется 52—74 *кг* семян на 1 *га*, при разбросном—ок. 50 *кг* и на грядах—до 88 *кг*. Уход за хлопчатником включает в себя прореживание всходов, мотыжение—рыхление почвы и полив. Прореживание производится дней через 10—15 после появления всходов. В каждом гнезде оставляется не больше 2—3 растений при расстоянии между гнездами 15—35 *см* при рядовом посеве и ~35 *см*—при грядковом. Расстояние между рядами при грядковом посеве оставляется обычно до 55 *см*, при посеве же рядовой сеялкой ширина междурядий должна предусматривать возможность их последующей механич. обработки и поэтому, в зависимости от применяемой марки трактора, рекомендуется в пределах 60—80 и до 100 *см*. При разбросном посеве кусты хлопчатника растут в беспорядке на различных расстояниях *друг от друга*. Густота стояния растений на поле должна сочетаться также с особенностями района и сорта хлопчатника. Мотыжение (окучка)—*рыхление почвы в междурядьях* и рядах—имеет целью борьбу с сорной растительностью, предохранение почвы от высыхания и возможно лучшую ее аэрацию. Поэтому за *лето* обработка рядов и междурядий производится несколько раз до тех пор, пока кусты в рядах не сомкнутся и *междурядья не будут затенены*. При грядковом посеве обычно ограничиваются двумя мотыжениями и окучками, производимыми после третьего и четвертого *поливов*; при посеве вразброс также чаще всего бывают два мотыжения и окучки после второго и третьего поливов, а при посеве рядовой сеялкой делается не менее 4 пропашек междурядий и 3—3 мотыжений в рядах. Для новых районов рекомендуют придерживаться четырех пропашек и трех полок, а для богарных (неполивных) районов Ср. Азии и Закавказья—двух полок и двух пропашек. Тщательная обработка почвы в междурядьях и рядах имеет огромное значение, особенно при неполивном хлопководстве, и от нее в значительной мере зависит повышение урожайности. В поливных хозяйствах за время от появления всходов до цветения стараются дать хлопчатнику всего один, редко два полива; наоборот, за время от цветения *до созревания* поливы учащаются и следуют один за другим дней через 10—20. Всего, не считая предпосевного, дается полю 3—5 *поливов*, а *при грядковом посеве до 6* и даже 8 поливов. При сухих легких песчаных почвах число поливов может возрасти до 12—15, а при мало проницаемых глинистых почвах и при почвах тучных с высокими подпочвенными водами может сократиться до двух. За все время вегетации в общем на 1 *га* посева хлопчатника приходится давать воды 4 300—6 000 $м^3$. Способов полива существует несколько: затопление водой всего поля при разбросном посеве или отдельных участков поля, огражденных временными невысокими валиками,—при рядовом посеве; постепенный пропуск воды между грядами, с замыканием канавок поочередно в разных местах земляными перемычками, при посеве на грядках, а при рядовом посеве—медленный пропуск воды по бороздам, сделанным заранее посередине междурядий. Наиболее целесообразным и экономным признается последний способ. После начала *раскрытия коробочек поливы как правило* прекращаются и лишь в виде исключения в особо жаркие годы полю дается дополнительный *полив после первого сбора урожая*.

Сбор урожая в разных странах начинается в разное время в зависимости от времени посева. В США к посеву приступают в середине марта—в первых числах апреля (10—15 апреля), сбор урожая наступает в середине августа—в первой декаде сентября. В СССР сроки посева лежат в промежутке времени с 15 апреля до 15 мая, и поэтому сбор урожая в южных и средних хлопковых районах начинают в первой или во второй половине сентября, а в северных районах—в конце сентября или в первой декаде октября. В разных местностях Индии посевы производятся с апреля по октябрь месяц, почему и сборы урожая тянутся почти круглый год. В большинстве случаев урожай собирается

в три приема и только на богарных землях и для Х. местных семян с нераскрывающейся коробочкой сбор м. б. одним общим. В технически отсталых странах, как было и в довоенной России, культура хлопчатника ведется при огромной затрате труда с применением самых примитивных орудий обработки: омач (близкий родственник сохи), мала (доска, гладкая или с железными зубьями), мотыга, кетмень. В странах же крупного хлопкового хозяйства, как и в совхозных и колхозных хозяйствах СССР, культура хлопчатника немыслима без применения плуга, трактора, усовершенствованной бороны, культиватора и без механизации по возможности всех моментов культивации.

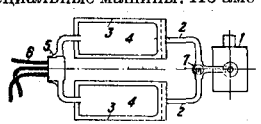
Способы сбора хлопчатника. В настоящее время применяются следующие способы сбора хлопчатника: ручной, срывание коробочек вместе с сырцом (снепинг), общий сбор всего хлопчатника, так называемыми «санями» (слединг), и машинный сбор хлопчатника только из раскрывшихся коробочек. Ручной сбор обходится дорого. Один сборщик в день может собрать 25—40, максимум 70—100 *кг* сырца в зависимости от степени его опытности и сноровки, от величины урожая и крупности



Фиг. 1.

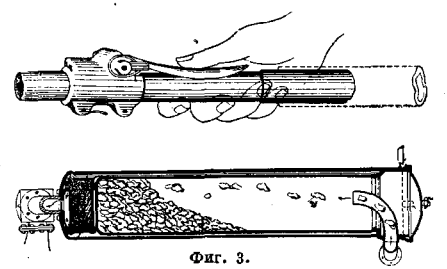
коробочки. Сборщику приходится одной рукой захватывать коробочку, а другой вынимать из нее в несколько приемов сырец и складывать его в подвязанный к поясу мешок; мешок время от времени требуется опоражнивать. Срывание коробочками производится тоже вручную, но, так как здесь отпадает ряд движений по выниманию сырца из коробочек, оно оказывается производительнее первого способа раза в полтора и даже больше и примерно во столько же раз дешевле. В дальнейшем собранные коробочки для извлечения сырца и отделения частей коробочек пропускают через коробочкодробительные и листочкоудалительные машины. Волокно от такого сбора получается все же несколько более засоренное, чем от сбора ручного. Сани (sled) были придуманы америк. фермерами. В первоначальном виде сани представляли собою поставленный на полозья ящик с отсутствующей передней стенкой, в дне к-рого был сделан V-образный зев, переходящий в обитый жестью щелевой прорез шириною 12 *мм*, тянущийся почти до задней стенки ящика. При передвижении саней по полю кусты хлопчатника попадают в зев и щель, и с них удаляются не только все коробочки, но и листья, части веточек и пр. Сани делают также и на колесах, их сдваивают, страивают; введен также ряд конструктивных изменений.

В СССР был испытан ряд конструкций, и выбор остановлен на санях сист. Цыганкова (фиг. 1) как наиболее простой, дешевой и целесообразной. К деревянному ящику *а* на месте отсутствующей передней стенки прикрепляется состоящая из 6 пальцев, обитых сверху листовым железом, гребенка *б*. Рычаг *в* позволяет менять угол наклона пальцев к горизонту и устанавливать его при рабочем положении саней равным примерно 10°. При передвижении саней по полю силою двух лошадей кусты хлопчатника прочесываются, и собираемая масса, «ворох», передвигается по пальцам гребенки вверх и заполняет ящик. Чтобы выделить из вороха сырец и очистить его от массы примесей, также требуются специальные машины. По америк. данным стоимость сбора, очистки и джинирования 1 кипы волокна весом 500 англ. фн. обходится при ручном сборе 22 долл., снепингом—24 долл. и следингом—12—13 долл. Проектная норма ординарного слединга Цыганкова установлена в 1,8 *га* за 10 час.



Фиг. 2.

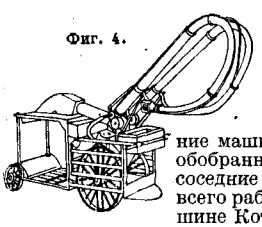
Дальнейшим шагом в деле усовершенствования следингов было присоединение к ним оборудования для дробления коробочек и для очистки сырца от долек коробочек (чингалака) и прочих примесей. Таким путем были созданы в США комбайны Джон-Дира, Смис-Харвестер, а в СССР—видоизмененные типы последнего—комбайн МИП (машино-исследовательского пункта) и комбайн ДИП («догнать и перегнать») изобретателя Чекменева. В своем настоящем виде комбайны-сборщики производят очистку сырца не вполне удовлетворительно. Но по произведенным в СССР опытам конструкцию их можно значительно улучшить. Улучшенные комбайны типа Смис-Харвестер намечаются к использованию для общих сборов богарного хлопчатника. Машины, предназначенные только для сбора сырца из открытых коробочек (первый и второй сборы), можно разделить на 2 группы: машины, лишь повышающие производительность сборщика, и машины, полностью механизирующие сбор. Представителями первой группы служат Турман-вакуум и Коттон-пиккер. Турман-вакуум (фиг. 2 и 3) помещается на тракторе и состоит из мощного вакуумного насоса *1*, системы воздухопроводных труб *2*, двух вакуум-цилиндров *3*, ⌀ 61 *см* и длиною 300 *см*, заправленных в них мешков *4*, приемной коробки *5*, шести гибких рукавов *6* длиною по 11 *м* и ⌀ 50 *мм* с раздваивающимися концами, оканчивающимися соплами, и трехходового крана *7*. Между приемной коробкой и вакуум-цилиндрами поставлены специальные клапаны, открывающиеся в тот момент, когда и в коробке и в вакуум-цилиндре давление воздуха одина-



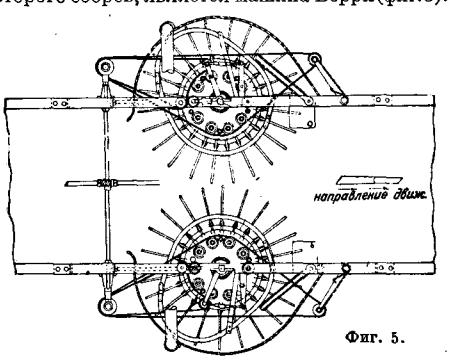
Фиг. 3.

ковое. В зависимости от установки трехходового крана в работе участвует попеременно то один вакуум-цилиндр то другой. Машина обслуживается трактористом и шестью сборщиками—по одному на рукав. Во время работы насоса происходит всасывание воздуха через воздухопроводные трубы, рабочий вакуум-цилиндр, мешок, приемную коробку и рукава. Каждый из рабочих, подвязав рукава к поясу и взяв в каждую руку по соплу, подводит их к раскрывшимся коробочкам, причем Х.-сырец втягивается в мешок. По наполнении $^1/_3$ мешка ток сырца переключают во второй мешок, а в первом производят уплотнение собранного сырца, затем ток сырца опять направляют в первый мешок, а во втором производят уплотнение, и т. д., пока мешки не будут наполнены и поочередно заменены новыми. Турман-вакуум увеличивает производительность сборщика в два и более раз. На перемещение машины и сборщиков с обобранных частей поля на соседние расходуется 5—10% всего рабочего времени. В машине Коттон-пиккер (фиг. 4) также применены тяга воздуха и рукава. Но рукавов всего два и заканчиваются они головками с двумя роликами. Рабочий, привязав головку ремнем к руке, подносит ее к раскрывшимся коробочкам, ролики захватывают сырец из коробочки, а струя воздуха его засасывает в рукав и несет в мешок. Механизм пиккера приводится в движение небольшим мотором, а сам пиккер передвигается по полю вручную. Коттон-пиккер повышает производительность сбора по сравнению с ручным на 25—40%.

Фиг. 4.



Представителем второй группы хлопкоуборочных машин, предназначенных для первого и второго сборов, является машина Берри (фиг. 5).



Фиг. 5.

По внешнему виду машина похожа на автомобиль и для легкости передвижения поставлена на резиновый ход. Главная действующая часть—два вертикальных барабана высотою 91,5 *см* и диаметром 30,5 *см* с 500 вращающимися веретенами каждый; длина веретена 23 *см* и диаметром 6 *мм*, поверхность его покрыта зазубринами. Машина движется по двум смежным междурядьям со скоростью ок. 7 *км/ч*; такую же скорость вращения имеют и оба барабана, но вращаются они в сторону, обратную передвижению машины, чтобы не повредить кусты растения. При движении машины веретена обоих барабанов пронизывают куст насквозь и наматывают на себя сырец из раскрытых коробочек. Когда веретена входят внутрь машины, они начинают вращаться в обратную сторону, сырец освобождается и подается воздухом в ящик, помещенный в задней части машины. Скорость вращения веретен 600 об/м. Машина Берри обслуживается двумя рабочими: один управляет машиной, а другой сбором сырца. Производительность ее ок. 2 *ц/ч* сырца. В СССР сконструированы собственные машины типа Турман-вакуум и типа Берри. Последних предложено даже четыре конструкции: Коркина и Сытина—веретенные, Всесоюзного ин-та с.-х. механики и Островского—с заменой веретен кардной лентой. Но пока практич. применение получил только Турман-вакуум.

Новые приемы возделывания хлопчатника. Среди них надо прежде всего назвать возделывание хлопчатника при помощи рассады, уже занявшее твердое место в хлопководстве СССР. Благодаря более раннему, чем в поле, производству посева в парнике (в бумажных или торфяных стаканчиках), вызывающему при последующей пересадке в грунт (в стаканчиках же) приостановку в росте, благоприятно отражающуюся на ускорении плодоношения, пересадочная культура в конечном счете ускоряет на 20—25 дней созревание, значительно увеличивает число коробочек на каждом кусте и сильно повышает урожайность (на 50—70% и даже 100%); она повышает также качества волокна, дает возможность распространения культуры хлопчатника на новые, более северные районы и способствует замене в старых районах существующих сортов хлопчатника более ценными позднеспелыми сортами, в том числе и египетскими. Особенно велико значение пересадочной культуры для семеноводческих хозяйств, т. к. она поднимает коэф. размножения с 5—9 до 130—174, чрезвычайно эффективно сокращая сроки размножения чистосортного посевного материала, и тем самым разрешает вопрос борьбы с его засорением. В данное время в СССР устремлены все силы на механизацию всех звеньев этого нового приема и на его удешевление. В качестве упрощенного видоизменения пересадочного метода разработан и внедряется в жизнь метод луночного посева, отличающийся своей простотой и легкостью механизации. Особый прибор, или специальная машина, делает по вспаханному и взборонованному полю конусообразные лунки глубиною в 10—13 *мм*, в лунки производят высев по 5 семян, закрывая их стеклом. При этом заделка семян землей происходит автоматически за счет ее осыпания. Получаются миниатюрные индивидуальные парнички, но в самом грунте предохраняющие семена от весенних заморозков и допускающие более раннее производство сева. Результат — ускорение созревания на 13—30 дней, повышение урожая и лучший выход волокна из сырца. Как показали опыты, хлопчатник может размножаться вегетативно, причем в дело идут черенки всех его органов, главного стебля, ростовых и плодовых ветвей и т. д., и даже отдельных листьев, и не только от взрослых растений, но даже и от всходов. В СССР опыты с вегетативным размножением ведутся в трех направлениях: предварительная выгонка молодых растеньиц из заготовленных до сбора урожая черенков и их сохранение до весны, изготовление чубуков непосред-

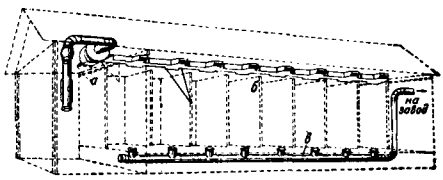
ственно после сбора урожая с последующей выкопкой корней и хранение тех и других до весны и оставление корней с частью главного стебля в 20 *см* высоты зимовать в грунте. В первых двух случаях для хранения пригодны обыкновенные подвалы, земляные ямы и траншеи; в третьем случае корни сначала прикрываются слоем соломы, камыша, тростника или сухих листьев, а затем слоем земли в 15 *см*. Вегетативное размножение сулит большие надежды на возможность использования весьма высоких производственных качеств волокна от первого поколения междувидовых гибридов «американо-египтян» и на повышение урожайности египтян при переводе их на многолетнюю культуру. Кроме того вегетативное размножение может сыграть еще бо́льшую роль в семеноводческих хозяйствах, чем культура рассадой, т. к. при ней коэф. размножения достигает 1 000 и выше. Следует упомянуть еще о фашинизации посевов и о термогене. Фашинизация заключается в том, что под пахотным слоем грядок помещают слой гальки или слой фашин. Это предохраняет почву от засоления, что наблюдается в условиях обычного поливного хозяйства, улучшает аэрацию почвы, уменьшает расход поливной воды и повышает урожайность полей. Термоген—бумага, пропитанная асфальтом; ею покрывается почва после производства посева. Термоген улучшает тепловые условия почвы, способствует сохранению в ней влаги, не дает развиваться сорной растительности, предохраняет почву от образования корки после выпадающих дождей, уменьшает выщелачивание из почвы растворимых питательных веществ, уменьшает затраты на ее рыхление и благоприятно влияет на развитие почвенных микроорганизмов; все это в своей совокупности вызывает ускорение созревания и повышение урожайности. Оправдает ли практика метод фашинизации и применение термогена, покажет будущее.

З а г о т о в к а Х. В капиталистич. странах заготовителями являются хлопкоторговые фирмы, скупающие Х. в виде волокна на рынках через своих агентов. Скупаемый Х. переправляется на склады фирм, сортируется и сбивается в однородные по качествам волокна партии. В СССР Х. поставляется посевщиками государству сырцом через колхозные объединения и с.-х. кооперацию, в руках которых находятся заготовка сырца, скупные пункты и склады. Через них же проходит снабжение хлопкоробов посевными семенами, удобрениями, продуктами питания и раздача авансов. Хлопковая пром-сть в лице государственных хлопкоочистительных заводов ведает лишь приемкой сырца, его очисткой и джинированием и сдачей спрессованного волокна текстильным ф-кам. Между заготовителями и хлопковой пром-стью заключаются договоры.

Х р а н е н и е с ы р ц а. При повышенной влажности и плохом проветривании в хранящемся в уплотненном виде сырце развиваются бактериальные и грибковые микроорганизмы, сырец согревается и страдают качества волокна. Поэтому условия хранения сырца, особенно в таких крупных заводских хозяйствах, как в СССР, имеют большое значение. Лучше всего хранить сырец в сухих амбарах или под крытыми навесами. Но когда их нехватает, приходится прибегать к открытым или закрытым бунтам. Для закладки открытого бунта служат утрамбованные галькой или кирпичом возвышенные площадки двора. По четырем сторонам площадок (лучше на подтоварники) плотно друг к другу укладывают мешки с сырцом, а пространство между ними заполняют сырцом россыпью. За первым ярусом бунта следует такой же второй ярус, за вторым третий и т. д., пока бунт не достигнет нужной высоты. Мешки каждого последующего яруса накладывают на мешки предидущего яруса, несколько отступя от края, и потому форма бунта получается пирамидальной. Сверху бунт делают покатым во все стороны и покрывают или мешками с сырцом или брезентами. Зачастую, после того как бунт устоится, мешки с сырцом, служащие облицовкой, убирают и, наоборот, можно такие же точно бунты делать сплошь из мешков с сырцом. При устройстве закрытых бунтов по периметру дворовой площадки устанавливают на расстоянии 3—3,5 *м* друг от друга стояки из бревен высотою 8,5 *м*, связывают досками и упорами и через каждые 0,2 *м* по высоте обтягивают проволокой. В полученный «колодезь» засыпают сырец, а, чтобы он не выпадал оттуда при загрузке, проволочную сеть временно обвешивают распоротыми старыми мешками. Над образованным бунтом устраивают крышу со скатами, покрытую брезентами. Закрытые бунты лучше предохраняют сырец от согревания, раструски и засорения и поэтому предпочтительнее. Наиболее рациональные размеры открытых бунтов: нижнее основание 25×17 *м*, верхнее основание 17×12,5 и высота 6,3 *м*, при вместимости до 400 *т*. Емкость закрытого бунта при площади его 17×12,8 и при высоте сырца 7,5 *м* тоже ок. 400 *т*. Устройство и емкость амбаров и навесов бывают разные. В СССР стандартного типа амбары делаются из сырцового кирпича на фундаменте из жженого кирпича, пол в них глинобитный, а крыша железная; внутри имеется несколько отделений с самостоятельными выходами, образованных одной кирпичной и несколькими проволочными перегородками, общей емкостью до 1 200 *т*. Стандартного типа навесы имеют деревянные столбы на фундаменте из жженого кирпича, с боков обтягиваются проволокой, сверху прикрываются железной крышей, а внутри той же проволокой разгораживаются на отделения емкостью до 750 *т*.

Д в о р о в ы й т р а н с п о р т с ы р ц а. Разгрузка поступающего на з-д сырца и подача его к амбарам, навесам или бунтам производятся различно. Нередко мешки с сырцом или сырец россыпью переносятся на кусках тары просто вручную или перевозятся на ручных вагонетках. Реже для этого используются электрич. тележки с прицепными фургончиками или самодвижущиеся передвижные наклонные ленточные транспортеры. Но наиболее рациональны пневматич. системы: всасывающе-нагнетательная—для распределения сырца по хранилищам и всасывающая—для передачи его из хранилищ на з-д. Всасывающе-нагнетательные системы устраивают или с сепаратором или со специальными вентиляторами Ремберта и Буфалло. В первой из них сырец подается в сепаратор тягой воздуха, даваемой обыкновенным вентилятором, к-рый отсасывает из сепаратора воздух, и затем тем же воздухом нагнетается по распределительным трубам или же поступает в распределительную ленту или винтовой конвейер и ими выгружается в отделения склада. Вентилятор Ремберта заменяет и вентилятор и сепаратор, роль которого выполняет круглый продырявленный диск, установленный перед крыльчатым колесом; в нем всасы-

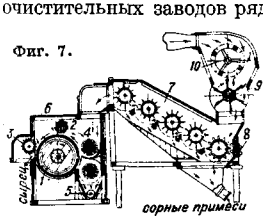
вание и нагнетание сырца совершаются одной и той же струей воздуха. Вентилятор Буфалло пропускает сырец через свои крылья и выбрасывает его потоком воздуха дальше. Всасывающе-нагнетательная система может работать на расстояние 210 *м*, из них 90 *м* приходится *на всасывание и 120 м на нагнетание*. Трубы пневматики имеют ⌀ 350 *мм*; при сепараторе требуется вентилятор № 50, делающий 1 650—1 800 об/м. и расходующий до 40 HP. Сепаратор или специальный вентилятор *а* и нагнетательная труба *б* (фиг. 6) располагаются вверху склада по его середине; от трубы вправо и влево отходят патрубки с загнутыми вниз концами, снабженные заслонками; одновременно бывает открыта только одна заслонка в зависимости от того, в какую часть склада направляется сырец. Всасывающая труба *в*, подающая сырец на з-д, прокладывается тоже по середине склада под полом и по своей длине имеет ряд загрузочных патрубков, закрываемых крышками; подача сырца через очередной открытый патрубок совершается вилами. Иногда всасывающая труба устанавливается и вверху склада внутри или под наружным краем ската крыши; в этих случаях от нее в разных местах свешиваются приемные трубы, т. наз. «телескопы». Расстояние от склада до з-да может доходить до 230 *м*. Вентилятор всасывающей трубы находится в помещении завода.



Фиг. 6.

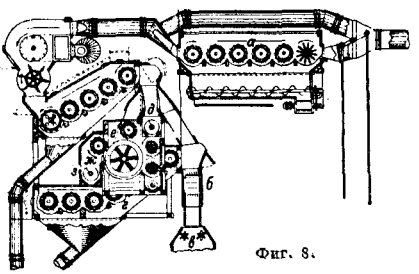
О ч и с т к а с ы р ц а. На очистку сырца от примесей обратили особое внимание после мировой войны в связи с предъявленными прядильщиками повышенными требованиями к качествам волокна и гл. обр. в силу введения в практику удешевленных способов сбора урожая. Это потребовало оборудования хлопкоочистительных заводов рядом дополнительных машин и устройств разнообразных конструкций и разного назначения. В СССР, где проблема механизации общего сбора полностью разрешена, наиболее приемлемыми по данному времени машинами для очистки сырца признаны: стационарные ворохоочистители типа Хардвиг-Эттер и Ханкок-Муррей, полевой ворохоочиститель системы МИП и листочкоудалитель ФЕК. Ворохоочистители типа Хардвиг-Эттер выпускаются пяти размеров; самый малый рассчитан на обслуживание одного джина и самый большой—шести 80-пильных джинов. В СССР такие ворохоочистители строит з-д им. Петровского в Херсоне, почему они и называются «петровцами». В машине средней мощности (фиг. 7) ворох засасывается в телескоп и по трубопроводу ⌀ 330 *мм* подается в сепаратор, состоящий из барабана *10* с круглыми отверстиями в 8 *мм* и 6-лопастного вакуум-клапана *9* с резиновыми планками на концах лопастей. При вращении барабана ворох присасывается к его дырчатой поверхности, освобождается от мелкого мусора и пыли, уносимых воздухом внутрь барабана к вентилятору, снимается постепенно резиновыми планками вакуум-клапана и выгружается в чиститель-дробитель *7*, состоящий из одного дробильного (правый, нижний) и четырех рыхлительных барабанов. Дробильный барабан образуется стальным валом ⌀ 50 *мм*, надетыми на него тремя чугунными кружками и прикрепленными к ним шестью планками из ковкого чугуна с двумя рядами зубьев, расположенных в шахматном порядке на расстоянии 80 *мм* ряд от ряда; ⌀ барабана 406 *мм*, высота зубьев 50 *мм*. Против барабана установлена дробильная рейка *8*, тоже снабженная двумя рядами зубьев высотою 41 *мм*; зубья эти расположены вдвое чаще, чем на барабане, и расстояние их от тела барабана может меняться при помощи установительного рычага от 20 до 50 *мм*. Рыхлительные барабаны железные, колковые; их ⌀ тоже 406 *мм*. Дробильный барабан и рейка дробят своими зубьями коробочки вороха, а рыхлительные барабаны выбивают из них сырец; выделяемые при этом мелкие примеси проваливаются сквозь сетку и отводятся через мусорную трубу. С верхнего рыхлительного барабана смесь сырца, долек коробочек и оставшихся других примесей попадает по течке в коробочкоудалитель *6*. Составные части коробочкоудалителя: верхний и нижний шпильчатые конвейеры *4*, разделенные железным жолобом, шнек *5*, находящийся под решеткой нижнего конвейера, пильный барабан *1*, отбойный валик *2* и щеточный барабан *3*. Пильный барабан деревянный, обитый оцинкованным железом, длиною 2 135 *мм* и ⌀ 760 *мм*; его поверхность покрыта стальными полосами толщиною 1 *мм*, отогнутые края к-рых образуют насеченными на них зубьями пилы. Отбойный валик тоже деревянный, обитый оцинкованным железом и железными уголками. Деревянный щеточный барабан несет на себе 16 планок, сплошь покрытых пучками щетины высотою 25 *мм*. Ворох с раздробленными коробочками перенимает на себя верхний конвейер и подает вдоль пильного барабана (слева направо). Пилы захватывают сырец и увлекают его кверху, а отбойный валик сбивает с него приставшие дольки коробочек (чингалак); далее сырец встречается на своем пути со щеточным барабаном, снимается им с пил и сбрасывается на дистрибюторную ленту, загружающую его в питатели джинов. Дойдя до конца верхнего конвейера, ворох и отбитый чингалак проваливаются в нижний конвейер, еще раз, но уже в обратном направлении, продвигаются им вдоль пильного барабана и окончательно освобождаются от сырца. Остатки вороха выбрасываются из машины через отверстие в ее торцовой стороне, а выпавший из него при продвижении нижним конвейером мелкий сор проваливается сквозь мусорную сетку и удаляется шнеком. Пильный барабан и отбойный валик вращаются против часовой стрелки, а остальные органы машины—по часовой стрелке. Нормальное число об/м.: вентилятора—1 400, барабана-сепаратора—70—75, вакуум-клапана—115—120, дробильного и рыхлительного барабанов—300—310, шпильчатых конвейеров—460—475, шнека—140—150, пильного барабана—95—100, от-

Фиг. 7.



бойного валика—450—470 и щеточного барабана—400—450.

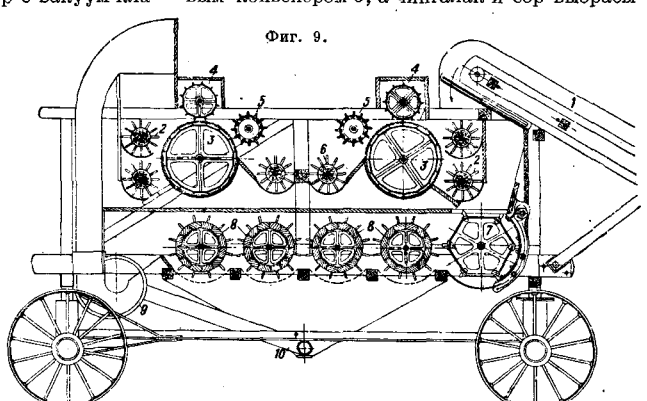
Сдвоенная машина наибольшей мощности (фиг. 8) обыкновенно отличается от описанной только своими размерами и бóльшим числом рыхлительно-чистительных барабанов. Прежде чем попасть в сепаратор, засасываемый вентилятором ворох или сырец в коробочках попадает в шестибарабанный воздушнолинейный чиститель *а*. Приемный барабан сделан из железного вала со вставленными в него по спирали железными же билами, его назначение—равномерно распределять материал по всей ширине машины и дробить на части веточки и другие крупные примеси; пять чистительных барабанов деревянные, обитые оцинкованным железом, с железными колками высотою 55 *мм*; они рыхлят массу материала и выбивают из нее мелкий сор, к-рый проваливается через сетку и удаляется шнеком. Если материал не нуждается в пропуске через воздушнолинейный чиститель, его пропускают через расположенную над чистителем обводную трубу. Сепаратор с вакуум-клапаном и расположенный под ними чиститель-дробитель описанного выше устройства в сдвоенной машине соединены с нижней ее частью обходными каналами с заслонками. Если сырец уже чистый, то его по правому каналу направляют прямо на дистрибюторную (распределительную) ленту *б* и питатели джинов *в*; если материал еще достаточно засорен, его пропускают по левому каналу через второй шестибарабанный чиститель *г*; наконец если материал содержит много чингалака и мусора, ему дают путь по среднему каналу на конвейерный винт *д*, к-рым материал разносится вправо и влево и одновременно загружается в два больших коробочкоудалителя *е*. Щеточные барабаны *эж* коробочкоудалителей сбрасывают извлеченный из вороха и очищенный сырец на нижний конвейерный винт *з*, направляющий его в нижний чиститель *г*, и, только пройдя его, сырец поступает на дистрибюторную ленту и в питатели джинов. Длина пильного барабана—4 200 *мм*, ⌀ 750 *мм*, ширина машины—1 200 *мм* и высота—1 350 *мм*, производительность в зависимости от величины коробочек и их влажности 1—1,5 *т/ч* сырца, расход силы—8 HP, а с вентилятором—18 HP.



Фиг. 8.

К недостаткам ворохоочистителей типа Хардвиг-Эттер относятся: 1) отливка зубьев за одно целое с телом планок дробильного барабана и рейки, 2) примитивность регулировки зазора между дробильным барабаном и рейкой, 3) неполное дробление коробочек в силу шахматного расположения зубьев на дробильном барабане и 4) неравномерная засоренность сырца, выходящего из разных мест по ширине машины, вызываемая поступлением вороха на шпильчатые конвейеры только в одном месте. Ворохоочистители целесообразно устанавливать на скупщунктах, а еще лучше применять на поле, чтобы не перевозить зря массу всяких примесей. Такой передвижной полевой машиной является ворохоочиститель МИП машино-испытательного пункта Среднеазиатского научно-исследовательского хлопкового ин-та конструкции инж. Калясина (фиг. 9). В основном это укороченный и суженный Хардвиг-Эттер с тем однако положительным отличием, что до дробления коробочек он выделяет предварительно из вороха свободный сырец. Ворох по самотаске *1* подается в правый коробочкоудалитель со шпильчатыми конвейерами *2*, пильным барабаном *3*, отбойным валиком *4* и щеточным барабаном *5*. Здесь свободный сырец, вызревший или почти дозревший, отделяется, сбрасывается в конвейер *6* и выводится им из машины, а остальной ворох нижним шпильчатым конвейером *2* выгружается вниз, дробится (коробочки) дробильным барабаном *7*, рыхлится и очищается четырьмя колковыми барабанами *8*, забрасывается в вентилятор *9* и подается им вверх в левый коробочкоудалитель, совершенно одинаковый с правым, а выделенный сор, пройдя сетку, ссыпается в железный жолоб *10* и по нему выводится наружу. Отделенный левым коробочкоудалителем сырец выводится из машины левым конвейером *6*, а чингалак и сор выбрасываются нижним шпильчатым конвейером. Пильные барабаны МИП обтягиваются кардолентой. Корпус машины представляет собою деревянный ящик, помещающийся на тракторном ходе, ее вес ок. 2,5 *т*, производительность 0,15—0,20 *т/ч* сырца.

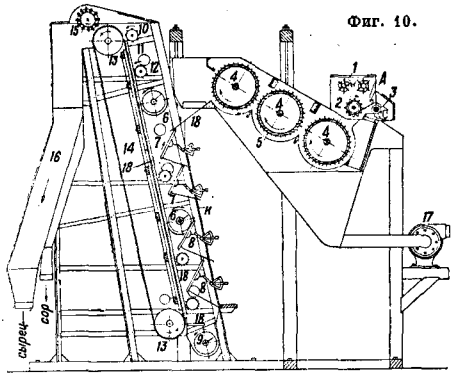
Фиг. 9.



Главным рабочим органом ворохоочистителя сист. Ханкок-Муррей служит кардная лента *14*, натянутая на двух деревянных барабанах *13* (фиг. 10). Ворох засасывается вентилятором и подается в сепаратор (фиг. 11). Его устройство таково: в железном кожухе помещен сетчатый барабан с 8-*мм* отверстиями, а внутри его вращается против часовой стрелки 8-лопаст-

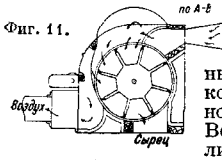
ный барабан с резиновыми планками на концах лопастей. Над сетчатым барабаном у входной трубы устроена распределительная камера, направляющая прошедший сквозь сетку воздух снова внутрь сетчатого барабана. Ворох под воздействием собственного веса и струи воздуха проходит внутрь сетчатого барабана, подхва-

Фиг. 10.

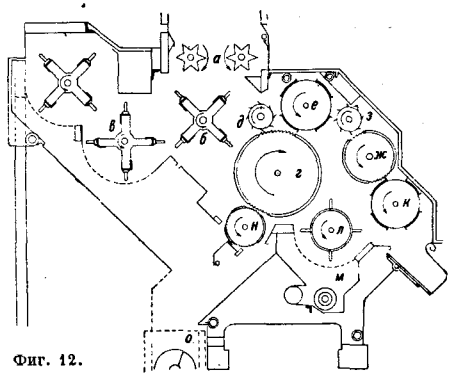


тывается по частям вакуум-клапаном, продувается воздухом и, дойдя донизу, загружается в раскрыватель коробочек, а отработанный воздух и мелкие примеси удаляются сквозь сетку всасывающим вентилятором. Конструкция дробильного приспособления в этом ворохоочистителе значительно лучше, чем у Хардвиг-Эттера. Дробильный барабан *2* (фиг. 10) образован 50-*мм* стальным валом и насаженными на него 25 чугунными звездочками ⌀ 306 *мм*, а *дробильная рейка 3 представляет собою* 24 чугунных кулачка, свободно насаженных на стальной оси и могущих поворачиваться на $^1/_4$ окружности; *Д*—отбойная доска, не допускающая коробочки забивать пространство у задней стенки дробителя. Коробочки здесь не дробятся, а раздавливаются и степень раздавливания регулируется установкой кулачков рейки под требуемым углом. Подается ворох к дробильному барабану питательными валиками *1*, ⌀ 30 *мм*. Три чистителя-рыхлителя *4* имеют ⌀ 500 *мм*, а высоту колков — 45 *мм*. Отбитые ими примеси отсасываются через железный лист с *продольными отверстиями 5 вентилятором 17*. Установка для извлечения сырца из раздавленных коробочек вороха состоит из кардоленты шириною 1 220 *мм* с иглами, загнутыми под углом в 30°, ряда уплотнительных щеточных валиков, конвейеров и течек и съемного щеточного валика. Верхним чистителем-рыхлителем *4* разрыхленный ворох сбрасывается на соединительную течку *18* (верхнюю), а с нее на течку *7* (верхнюю). Движущаяся кверху кардолента забирает из вороха часть сырца и увлекает его с собою. При встрече со щеточным валиком *12* сырец прочнее укрепляется на иглах, а приставший к нему чингалак частично отбивается на верхний конвейер *6*. Оставшийся чингалак отделяется от сырца отбойным валиком *10* и по течке *11* поступает в тот же конвейер *6*. Последний, доведя чингалак и раздавленные

Фиг. 11.



коробочки до конца, сбрасывает их по вертикальной трубе в нижний конвейер *6*, к-рым они снова вводятся в машину. Под нижним конвейером *6* дна нет, поэтому чингалак и коробочки высыпаются из него на течки *8*—*8*, остатки сырца извлекаются кардолентой, а чингалак и прочий мусор проваливаются в конвейер *9* и окончательно удаляются из машины. Что касается сырца, не подхваченного кардной поверхностью сразу же, то он вместе с другими частями вороха падает по течкам *7*—*7*—*8*—*8* вниз и неизбежно вылавливается кардой по частям даже в самом низу машины. Три отбойных валика *18* отбивают чингалак и сор и сбрасывают их в конвейер *9*. Собранный кардолентой сырец сбрасывается с нее щеточным валиком *15 в трубу 16*, через сетчатое дно к-рой из него еще раз высасывается мелкий мусор и пыль. Машина вся металлическая, за исключением трех чистителей-рыхлителей; ее высота 4,76 *м*, длина 4,2 *м* и ширина 2,3 *м*. Расход энергии, включая сепаратор и вентилятор, 18,5 HP. Может обслуживать батарею в 4—5—6 джинов. Скорости рабочих органов: питательные валики 120—130 об/м., дробильный барабан 180—200 об/м., чистители 280—300 об/м., ведущий барабан кардоленты 290—300 об/м., щеточный валик 1 200 об/м. В новых выпусках ворохоочистителей типа Ханкок-Муррей верхний конвейер *6* подает ворох от середины к обоим бокам



Фиг. 12.

машины, а нижний конвейер *6*, наоборот,—с обоих боков к середине; кардное полотно сделано составным из 12 полос общей шириною 1,83 *м*. Этим устранены прежние недостатки машины по неравномерности нагрузки кардоленты и облегчены монтаж и ремонт ее.

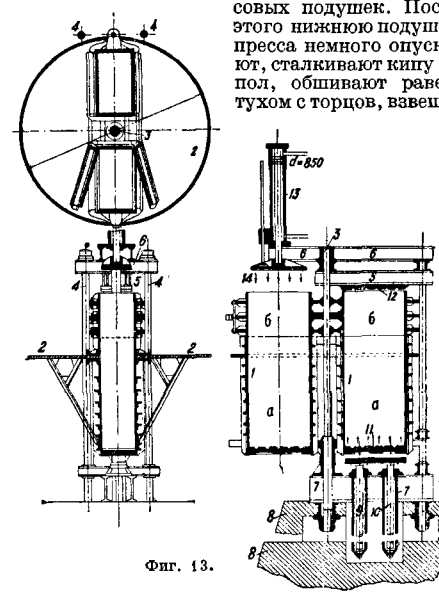
Листочкоудалитель ФЕК (от слов Feeder, Extractor, Cleaner) предназначен для замены большой шелушильной батарейной установки, однако он хорошо работает лишь в качестве дополнения к последней, заменяя питатели 70—80-пильных джинов. Рабочими органами его (фиг. 12) являются: питательные валики *а*, направляющий колковый барабан *б*, 2—5 трепально-рыхлительных барабанов *е*, главный шелушильный пильный барабан *г* с отражательным валиком *д* и счищающим, заменяющим щеточный, валиком *е*, второй, средний, пильный барабан *жс* с отражательным валиком *з* и счищающим валиком *к*, окончательный чистительный колковый барабан *л*, сорный конвейер *м*, контрольный третий нижний пильный барабан *н* и конвейер для шелухи *о*. С питательных валиков сырец гонится направляющим колковым бара-

баном к рыхлителям, частично освобождается ими от проваливающегося через сетку и удаляемого конвейером для шелухи мелкого мусора и подается к главному пильному барабану. Здесь происходит основное извлечение сырца из смеси и передача его счищающим валиком *е* на средний пильный барабан, задача к-рого не допускать при помощи отражательного валика *з* попадания в сырец чингалака. Снятый счищающим валиком *к* сырец окончательно очищается от мелкого сора чистительным барабаном *л* и выводится из машины в джин. Третий пильный барабан поставлен на пути стока чингалака в конвейер, он вылавливает из чингалака случайные остатки сырца и передает их на главный пильный барабан. Скорости рабочих органов: пильные барабаны 145—160 об/м., счищающие и отражательные валики 600—630 об/м. Потребляемая энергия 3 HP.

Отделение волокна от семян и его прессовка. Основной процесс первичной обработки Х.—отделение волокна от семян—производится на *джинах* (см.), волокно направляется на прессы, а семена в склад и далее на посев или на хлопково-маслобойный з-д. Прессы употребляются гидравлические, винтовые, паровые и рычажные, одно-, двух-, трех- и многоящичные, причем ящики бывают револьверные, поворачивающиеся вокруг оси, и откатные. Кроме того различают прессы легкие плантаторские, дающие плотность волокна в кипе 12—15 англ. фн./1 фт.^{3}, средние—для кип плотностью 20—23 англ. фн./1 фт.^{3} и мощные—для кип усиленной компрессации и плотности 38—50 англ. фн./1 фт.^{3}, с углубленным вниз или с верхним вертикальным цилиндром или с цилиндром, расположенным горизонтально. Даваемая прессами форма кип—гл. обр. призматическая, но имеют распространение и прессы для цилиндрич. кип. В наибольшем ходу гидравлич. двухъящичные прессы с вертикальным цилиндром, углубленным в фундамент. Паровые и рычажные прессы почти вышли из употребления.

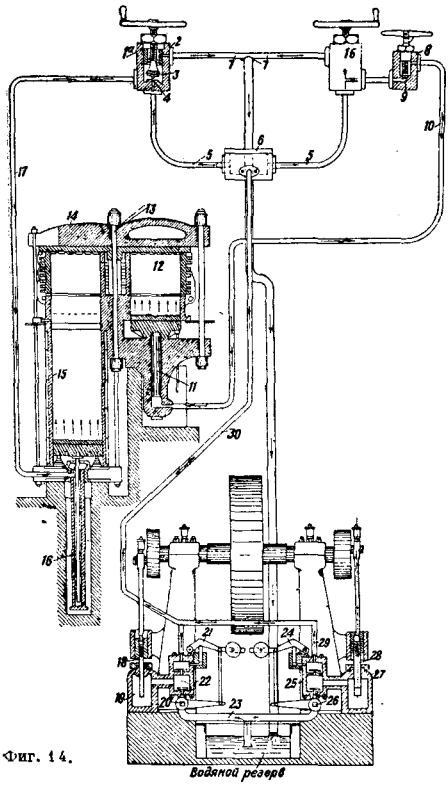
Прессы с верхним вертикальным и с горизонтально расположенным цилиндром устанавливаются в местностях с близкими подпочвенными водами. Прессы для плотной прессовки употребляются в Египте, Индии и США. Гидравлич. прессы, револьверные, известны разных систем: Мюнгера и союзной «Красного Путиловца», Брейтфельд-Данек и Ленинградского Невского з-да, Круппа, Кардвелла и др. Их работу легко уяснить из приводимого описания прессов сист. Брейтфельд-Данек и Круппа. Составные части первого (фиг. 13): прессовые ящики *1—1* с неоткрывающейся нижней частью *а* и с открывающимися в стороны дверцами в верхней части *б*, круглая стальная площадка *2*, вращающаяся вместе с ящиками и установленная в уровень с полом верхнего помещения, центральная колонка-ось вращения ящиков *3*, растяжные колонны *4—4*, упорные балки *5*, каркасы для трамбовки *6—6*, фундаментная плита из балок *7—7*, фундамент *8—8*, плунжеры *9—10*, нижняя прессующая подушка, перемещающаяся внутри ящика при подъеме плунжеров *11*, верхняя неподвижная подушка *12*, цилиндр пневматич. трамбовки *13* и ее подушка *14*. Верх ящиков открыт, а снизу висят могущие подниматься и опускаться днища с пятью-девятью прорезами для продевания проволоки. Ход плунжера—2 530 *мм*. Достигаемое в прессе давление 170—250 *atm*. Насос обычно трехскальчатый с нижней ступенью давления 40—50 *atm*, средней 85—100 *atm* и высшей 250—300 *atm*. Ход скалки насоса—130—150 *мм* при числе об/м. его вала 120—140. Во время прессовки плунжер проходит сначала 2 045 *мм* на низком давлении, затем 260 *мм* на среднем и под конец 225 *мм* на высоком. Когда в правом ящике волокно прессуется, в левый пустой ящик поступает волокно с течки конденсора (см. *Джин*), падая на деревянное днище. Рыхлый Х. периодически, по мере заполнения им всего ящика, уминается трамбовкой. Чтобы при обратном ходе трамбовки Х. не поднимался снова, в верхней части ящика сделаны железные пальцы-крючки с противовесами, входящие крючками внутрь ящиков, но не мешающие работе трамбовки.

После набивки ящик поворачивают под пресс, а по окончании прессовки открывают дверцы ящика, расправляют верхний и нижний куски равентуха по бокам кипы и увязывают ее проволоками, продеваемыми через пазы прессовых подушек. После этого нижнюю подушку пресса немного опускают, сталкивают кипу на пол, обшивают равентухом с торцов, взвешивают и маркируют. Тут же вокруг верхней и нижней подушек одевают новые куски равентуха для дальнейшей работы. Продолжительность прессовки—ок. 15 мин., а в прессах Невского з-да—неполных 11 мин. Составные части пресса Круппа (фиг. 14): распределительные вентили *1а*—к трамбовке и *1б*—к прессу, *2*—седлословный клапан, *3*—перепускной клапан, *4*—напорный клапан вентиля, *5*—нагнетательные трубы к вентилям, *6*—тройник-распределитель, *7*—сливная труба, *8*—запорный вентиль перед прессом, *9*—клапан запорного вентиля, *10*—напорный трубопровод к прессу, *11*—плунжер пресса, *12*—пресс, *13*—колонка, ось вращения ящиков, *14*—верхняя опорная плита, *15*—ящик трамбовки, *16*—плунжер трамбовки, *17*—трубопровод к трамбовке, насос высокого давления, *18*—плунжер, *19*—цилиндр, *20*—запорный кран автоматич. выключателя, *21*—предохранительный клапан автоматич. выключателя, *22*—клапанная коробка и *23*—всасывающий трубопровод; насос низкого давления:



Фиг. 13.

24—автоматич. выключатель, *25*—клапанная коробка, *26*—запоры крана автоматич. выключателя, *27*—цилиндр, *28*—плунжер и *29—30*—нагнетательный трубопровод. Гидронасос делает 1 500 об/м. Ход плунжера трамбовки постоянный—2555 *мм*. Отличительные черты пресса Крупна: 1) помещение трамбовки снизу параллельно гидравлич. цилиндру пресса и 2) две противоположные стенки ящиков отклоняются, поворачиваясь на стержне нижнего основания ящиков, причем Х. из конденсора загружается в ящик лопатой сбоку с одной из открытых сторон; т. о. трамбование Х., производимое в три приема, происходит снизу вверх. При первом трамбовании давление доходит до 5—8 *atm*, при втором до 80—100 *atm* и при третьем до 280—300 *atm*. Опусканию Х. после трамбования вниз препятствуют специальные кулачки

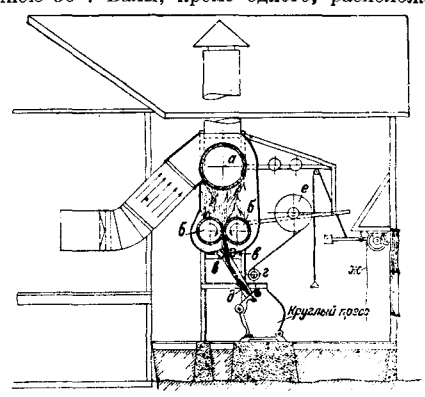


Фиг. 14.

с противовесами. После третьего трамбования переданный в прессовочный ящик Х. подводится поворотом ящика на 180° под пресс. Производительность пресса Крупна—4 кипы в час *весом по 160 кг и размером* 1 020 × 640 × × 800 *мм*. Расход силы 8—16 HP.

Винтовые прессы делаются револьверными и с откатными ящиками; открытые сверху и снизу высокие ящики (или один ящик) передвигаются на колесах по специальным рельсам; Х. в них набивается сверху или трамбовкой или рабочими. При прессовке дном ящику служит нижняя подушка, прикрепленная к полу помещения, а прессовку производит верхняя подушка, привернутая к нижнему концу стального винта ⌀ 150 *мм*. Винт этот проходит через помещенную в ступице большого горизонтального зубчатого колеса медную гайку, а колесо получает движение через малую шестерню от контрпривода. Когда под воздействием опускающейся верхней подушки кипа спрессуется до конца, открывают дверь (одну из стенок) ящика, ящик откатывают, а кипа пакуется, как описано выше. Такие кипы имеют размеры 640 × × 680 × 1 250 *мм* и весят от 130 до 150 *кг*. Производительность пресса 4—4,5 кипы в час. Из прессов для цилиндрич. кип наиболее распространены прессы фирмы Андерсон-Клайтон (фиг. 15). Они состоят из специального конденсора, выпускающего хлопок в виде уплотненного холста, аккумулятора, расположенного над течкой конденсора и принимающего Х. в те моменты, когда в самый пресс больше Х. не требуется, и пресса: 9—13 стальных с небольшими рифлями валов, вращающихся со скоростью 12 об/м., ⌀ 10″ и шириною 36″. Валы, кроме одного, расположены по окружности, с торцовых сторон пространство между ними закрыто вращающимися дисками. Холст Х. сначала проходит между валами *1* и *9* и уже уплотненный ими поступает в пространство между валами *1—2—* ... *—8*, которыми и закатывается. По мере поступления и накатывания новых слоев Х. все больше и больше уплотняется. Когда специальный манометр *или рычаг, связанный с сухарем, покажет*, что прессовка закончена, ток Х. переводят в аккумулятор, а в пресс заправляют кусок равентуха, и им кипа сама и обертывается, причем концы равентуха прихватываются тремя железными кнопками. Затем пресс раскрывается, его передняя половина с тремя валами поднимается кверху, и кипа выталкивается на пол специальным рычажным толкачом-роликом; концы ра-

Фиг. 15.



Фиг. 16.

вентуха сшиваются шпагатом, кнопки вытаскиваются, а с торцов пришиваются куски тары. Конденсор и аккумулятор показаны на фиг. 16, где *а*—сетчатый барабан конденсора ⌀ 48″ и шириною 36″, делающий 75—100 об/м., *б*—*б*—тоже сетчатые барабаны шириною и ⌀ 36″; вращаясь со скоростью 4 об/м., они спрессовывают Х. в холст и дополнительно удаляют из него мелкие примеси, *в*—*в*—допрессовывающие валики ⌀ по 10″, делающие по 10,5 об/м., *д*—течка, *г*—резиновый вал с намотанным на него полотном, другой конец к-рого прикреплен к валу *е*. При поднятии рычагом течка упирается в вал *г*, и холст Х. поступает на движущееся полотно; когда течка опускается, полотно передает набранный Х. в пресс вместе с Х., поступающим с конденсора; *жс* — конец равентуха, заправляемый в пресс. По данным фирмы Андерсон-Клайтон ее пресс потребляет максимум 45 HP и обслуживается 1—2 рабочими, давая в час 5—6 кип весом 110—130 *кг* и плотностью 28—32 англ. фн./1 фт.³. Однако практика СССР, имеющего два таких пресса, показала, что расход энергии доходит до 62 HP и что одним рабочим обойтись нельзя. Кроме того выявились и существенные недостатки их работы и конструкции: сильное нагревание Х., влекущее за собою размягчение воскообразного слоя волокон и вызывающее иногда их слипание, сваливание в кошмообразное состояние верхних слоев кипы при прессовке влажного Х., увеличение пороков Х. при продолжительной прессовке, частые поломки осей рифленых прессующих валов и затруднительность ремонта из-за большой тяжести отдельных частей и пр.

К л а с с и ф и к а ц и я Х. Поступающий в кипах на рынок Х. в целях удобства его купли-продажи классифицируется, разделяется на классы или на классы и сорта, к-рые устанавливаются путем сличения с официально утвержденными образцами, т. н. стандартами, вернее с их рабочими дубликатами. Основными признаками, служащими для распознавания сортов и классов, являются цвет и содержание пороков и примесей, но кроме них принимают во внимание зрелость волокна, его блеск (см. *Волокна прядильные*), а также характер Х., разумея под этим понятием крепость, ровность, плотность в массе и шелковистость волокна. К порокам хлопка относятся: к о ж и ц а с в о л о к н о м и п у х о м—частицы оторванной или раздробленной кожицы семян, очень цепкие, переходящие в пряжу и снижающие ее качества; у з е л к и — цепкие точки спутанных волокон, тоже попадающие в пряжу; р в а н о е и п е р е б и т о е в о л о к н о, м е р т в о е в о л о к н о — совершенно не вызревшее, в виде пучка (пластик); н е з р е л ы е ц е л ы е, б и т ы е и д а в л е н ы е с е м е н а, частично дробящиеся при обработке Х. в прядении и увеличивающие в нем содержание кожицы; з а в и т к и—пучки волокон разнообразной величины, слегка закрученные; ж г у т и к и—такие же пучки волокон, но сильнее закрученные, и к о м б и н и р о в а н н ы е п о р о к и—несколько соединенных между собою жгутиков. Посторонние примеси делятся на неорганические (земля, пыль, песок) и органические (частицы листка, стебля, прицветника, чинглалака и пр.). Большинство примесей, как и бо́льшая часть пороков, выпадает в угар и понижает выход чесальной ленты (см. *Хлопкопрядение*), более же цепкие из них, как и кожица с узелками, могут переходить в пряжу и ткани, затрудняя процессы крашения. Основной продукт мировой торговли—средневолокнистый Х. США имеют самостоятельную классификацию для разных цветов. Для основного цвета—белого—установлено 9 классов: Middling Fair (высший), Strict Good Middling, Good Middling, Strict Middling, Middling, Strict Low, Low Middling, Strict Good Ordinary и Good Ordinary (низший). Для остальных цветов классов меньше, а именно: для Yellow Tinged (с желтоватым оттенком) — Strict Good Middling, Good Middling, Strict Middling, Middling, Strict Low Middling; для промежуточного между белым и «с желтоватым оттенком» цвета Spotted (пятнистый)—Good Middling, Strict Middling, Middling, Strict Low Middling и Low Middling; для Yellow Stained (желтый), для промежуточного между «с желтоватым оттенком» и «желтым» цвета Light stained (желтоватый), для Blue stained (синеватый) и для промежуточного между «белый» и «синеватый» цвета Gray Stained (сероватый) по три класса: Good Middling, Strict Middling и Middling. Дубликаты официальных стандартов изготовлены только для основных цветов, Х. же, отнесенные при классификации к промежуточным цветам, расцениваются по стандартам того из двух соседних с ними цветов, к к-рому они ближе подходят. Стандарты америк. Х. признаны универсальными, т. е. едиными и для США и для Европы. За базисный класс принят Middling. Стандарты египетского Х. предусматривают 6 классов: Extra Fine (высший), Fine, Good, Fully Good Fair, Good Fair и Fair (низший). Базисным классом является Fully Good Fair. Индийский Х. имеет тоже 6 классов: Super Fine (высший), Fine, Fully Good, Good, Fully Good Fair и Good Fair (низший). Союзный Х. америк. семян делится на следующие сорта и классы (табл. 2).

Табл. 2.—Классификация союзного Х. американских семян.

Сорт	Класс	Общая характеристика класса
1	Высокий отборный (90,8*) Отборный (90,4*) Высокий нормальн. (90,0*) Нормальный (89,6*) Низкий нормальный (88,9*) Сорноватый (88,4*) Низкий сорноватый Сорный (87,5*)	Почти без пороков. Постепенное нарастание пороков с переходом от одного класса к другому
2	Высокий отборный Отборный Высокий нормальный Нормальный Низкий нормальный Сорноватый Низкий сорноватый	Незначительное колич. пороков. Постепенное нарастание пороков с переходом от одного класса к другому
3	Отборный Высокий нормальный Нормальный Низкий нормальный Сорноватый Низкий сорноватый	Постепенное нарастание пороков с переходом от одного класса к другому
4	Высокий нормальный Нормальный Низкий нормальный Сорноватый Низкий сорноватый	То же
5	Нормальный Сорноватый	То же
6	Сорноватый Сорный	То же

*Ориентировочный выход чесальной ленты в %.

Сорта разнятся между собою по степени зрелости волокна, его цвету, блеску, шелковистости

и плотности на вид, причем во внимание принимается совокупность всех этих признаков, а классы—по совокупному содержанию всех пороков и примесей. Стандарты на сорт и класс изготовлены из образцов Х., в к-рых лабораторными методами предварительно были определены степень зрелости волокна и содержание пороков, и должны сопровождаться стандартами на длину, крепость, тонину и другие качества волокна. Кроме того класс Х. поверяется фабричным выходом чесальной ленты. Иными словами, союзная классификация построена на производственных признаках в отличие от торговой классификации иностранного Х. В данное время уже установлены ориентировочные величины выхода чесальной ленты для классов 1-го сорта и выработаны стандарты на длину и крепость волокна, а цифровые характеристики остальных производственных признаков будут даны дополнительно. Стандарты на длину волокна установлены для длин: 24/25, 25/26, 26/27, ..., 30/31 и 31/32 *мм*. Стандартов на крепость волокна три: для Х. крепкого, средней крепости и слабого. В отличие от стандартов на сорт и класс, с к-рыми исследуемый Х. можно сравнивать только на-глаз и к к-рым нельзя прикасаться руками, стандартами на длину и крепость пользуются вручную. В первом случае одно и то же лицо сравнивает длину испытуемого Х., полученную им ручным методом (см. *Волокна прядильные*), с такой же длиной Х. стандартных образцов или же лабораторным методом определяется длина правой части диаграммы для испытуемого и стандартных Х. Во втором случае классификатор делает свое заключение на основании тех ощущений, к-рые у него получаются при разрыве вручную небольших прядок волокна Х. испытуемого и из стандартных образцов. Здесь также можно ручной метод заменить лабораторным, причем при разрывной длине 21 000 *м* и выше волокно классифицируется крепким, 21 000—17 000 *м*—средней крепости и до 17 000 *м*—слабым. Торговая классификация применяет цифровые показатели только для длины волокна Х. США, причем стандарты выработаны на длины от $^1/_4''$ до $1^3/_4''$ с градациями через $^1/_{32}''$. Союзный Х. местных семян классифицируется на три сорта: «белый» с классами: отборный, нормальный и сорноватый, «желтоватый» и «желтый», каждый с классами: нормальный и сорноватый. Те же три сорта предусмотрены союзной классификацией для Х. персидского и западно-китайского местных семян как ручной, так и машинной очистки. Х. машинной очистки в сорте «белый» имеют 5 классов: высокий отборный, отборный, нормальный, сорноватый и сорный, а в том же сорте ручной очистки—4 класса: отборный, нормальный, сорноватый и сорный. Остальные сорта, вне зависимости от способа очистки, имеют каждый по 3 класса: нормальный, сорноватый и сорный. В зависимости от района происхождения различают: Персидский Х. Побережья (из провинций Мазандаран, Астрабад); Центральный (из центральных провинций Хоросана и персидского Азербайджана), Западно-Китайский Х. Кашгарский (Кашгарского округа провинции Синдзян) и Турфанский (Урумчайского округа провинции Синдзян).

Инструментальная оценка качеств волокна Х. и их увязка с качествами пряжи. Практич. оценка качеств Х. методами классификации производится быстро, и в этом ее преимущество, но она субъективна и не может претендовать на достаточную точность. Поэтому при современном состоянии техники и при необходимости оптимального использования сырья она уже не в состоянии удовлетворить запросов текстильной промышленности. Инструментальная оценка качеств волокна Х., наоборот, характеризует эти качества цифровыми показателями несравненно объективнее, но при современном состоянии лабораторного оборудования требует значительно большей затраты времени. Поэтому заменить собою уже сейчас методы классификации она не может, но совместное применение обоих методов целесообразно и рационально уже и теперь. В СССР на этот путь уже становятся и организуют технологич. лаборатории при хлопкоочистительных заводах и при обслуживающих прядильные ф-ки базисных складах. За границей же инструментальные методы оценки качеств волокна Х. пока применяются только в научно-исследовательских работах. Поскольку в наше время цифровыми показателями можно оценивать большинство качеств волокна Х., рядом исследователей уже предложены ф-лы, связывающие их с качествами пряжи. Американские исследователи, отец и сын Шельдон, выработали формулы, устанавливающие зависимость крепости пряжи от длины волокна:

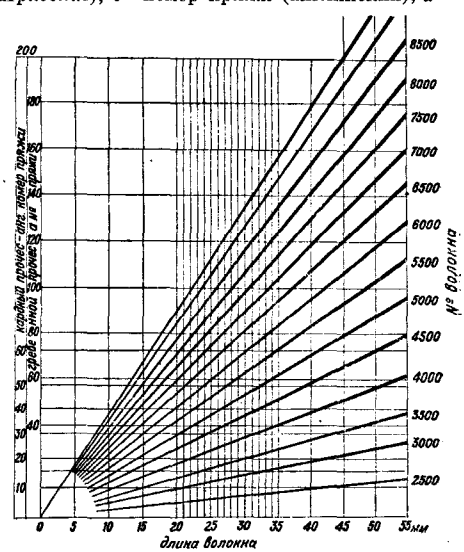
Для кардной пряжи

$$S_1 = \frac{1\,800(1 \pm 0{,}11a \pm 0{,}01b)}{c},$$

для гребенной пряжи

$$S_2 = \frac{1\,750(1 \pm 0{,}11a \pm 0{,}01b)}{c},$$

где S_1 и S_2—крепость пасьмы в англ. фн. (см. *Прядение*), c—номер пряжи (английский), a—



Фиг. 17.

отклонения в шестнадцатых долях дюйма от длины волокна в 1″ и b—отклонения номера пряжи от № 28 (в числе номеров). Знаки + или — берутся в зависимости от того, уклоняются ли длина волокна и номер пряжи вверх от 1″

к № 28 или вниз. Другой американский исследователь, Уиллис, связывает крепость пряжи с длиною и крепостью волокна:
для основы № 24:

$$S_1 = 67{,}85\,L + 0{,}00039034\,K - 18{,}36,$$

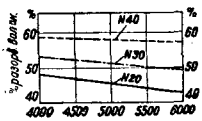
для основы № 28:

$$S_2 = 107{,}487\,L + 0{,}0003302\,K - 52{,}73,$$

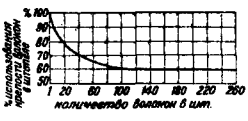
для основы № 36:

$$S_3 = 98{,}624\,L + 0{,}00005041\,K - 48{,}85,$$

где S_1, S_2 и S_3—крепость пасьмы в англ. фн., L—длина волокна по стандарту в дм. и K—крепость волокна в англ. фн. на 1 дм.². О'Рерих построил номограмму (фиг. 17) для определения допустимого номера пряжи по длине волокна (нижние цифры) и его метрич. номеру (цифры справа сбоку). По этой номограмме увеличение длины волокна на 1 *мм* повышает прядильную способность Х. на 2—6 англ. номеров,



Фиг. 18.

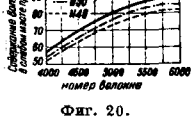


Фиг. 19.

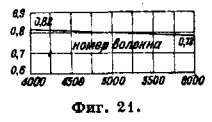
а увеличение метрич. номера на 500 *м*—на 6—10 номеров. Наконец советский исследователь инж. Белицын предложил для средних номеров пряжи ф-лу, увязывающую крепость пряжи не только с длиною и метрич. номером волокна, но и с другими его качествами,

$$K_н = ч \cdot T_р \cdot T_0 \cdot K_в + ч\,(T_с - 0{,}5\,T_р)\,D_м \cdot K_с,$$

где $K_н$—крепость одиночной нити в *г* при расстоянии между зажимами 500 *мм*; $ч$—число волокон в поперечнике пряжи, определяемое по ф-ле $ч = \frac{\text{№ волокна метрич.}}{\text{№ пряжи англ.}} \cdot 1\,693$; $T_р$—коэф., характеризующий % волокон, разорванных при обрыве пряжи, и определяемый по диаграмме фиг. 18; T_0—коэф., указывающий поправку в средней крепости волокна при разрыве его штапелем и определяемый по диаграмме фиг. 19; $K_в$—средняя крепость волокна в *г*; $T_с$—коэф., указывающий %-ное содержание волокон в слабом месте пряжи и определяемый по диаграмме фиг. 20; $D_м$—модальная длина волокна



Фиг. 20.



Фиг. 21.

и $K_с$—сила сцепления в *г* на 1 *см* длины волокна, показывающая, какую нагрузку надо приложить к одиночному волокну, чтобы протащить его между другими волокнами того же Х., и определяемая по диаграмме фиг. 21. Первая половина правой части ф-лы инж. Белицына учитывает величину нагрузки, идущей на разрыв части составляющих пряжу волокон, а вторая половина ее показывает величину силы, которую нужно приложить к пряже, чтобы растащить необорванные волокна; причем условно принято, что число скользивших при обрыве пряжи волокон равно половине разорванных волокон.

Мировое производство Х. Главными поставщиками Х. на мировые рынки служат: средневолокнистого Х.—США, длинноволокнистого—Египет и коротковолокнистого—Индия и Китай. В годы, предшествовавшие мировому кризису в капиталистич. странах, США ежегодно собирали волокна до 56—59% от всего мирового урожая и свыше 80% от мирового урожая средневолокнистого Х., Египет—до 5,5—6,0% от всего мирового урожая и свыше 60% от мирового урожая длинноволокнистого Х., а Индия и Китай—соответственно до 18—21% и 6—7% от всего мирового урожая и до 59% и 26% от мирового урожая коротковолокнистого Х. В 1928 г. в США было занято под Х. 18 350 000 *га* и было собрано 3 139 000 *т* волокна, в Египте и Индии площади равнялись 726 600 и 10 485 100 *га*, а сбор волокна достигал 359 870 и 1 015 000 *т*. С 1928 г. посевные площади и сборы урожая в волокне в этих странах показывают или резкие колебания или падение и в % к 1928 г. выражаются в таких цифрах (табл. 3).

Табл. 3.—Динамика урожая хлопка в США, Египте и Индии.

Годы	США		Египет		Индия	
	*1	*2	*1	*2	*1	*2
1929 . .	101,0	102,5	106,3	104,4	99,2	106,4
1930 . .	99,5	95,4	120,2	82,6	91,2	97,4
1931 . .	91,5	120,1	97,0	80,4	72,9	84,3

*1 Площади. *2 Урожай волокна.

Дореволюционная Россия своим Х. покрывалась всего на половину, а остальные 50% ввозила гл. обр. из США и Египта. В годы империалистич. и гражданской войн союзное хлопководство пережило сильный кризис, но затем стало быстро оправляться и в настоящее время значительно перешагнуло довоенные нормы, как это видно из табл. 4.

Табл. 4.—Динамика хлопководства в СССР за 1921—1931 гг.

Годы	Площади посевов в тыс. *га*	Сбор волокна в тыс. *ц*
1921	99,0	57,5
1922	70,3	67,2
1923	220,7	416,1
1924	448,4	981,0
1925	591,0	1 572,0
1926	653,7	1 622,0
1927	802,1	2 162,0
1928	971,3	2 448,3
1929	1 055,5	2 640,0
1930	1 540,7	3 269,8
1931	2 137,0	4 005,4

Такому успеху способствовало гигантское развитие хлопководства не только в Ср. Азии и Закавказьи, но и в новых хлопковых районах, уд. в. к-рых по сравнению со старыми хлопковыми районами за последние годы характеризуется табл. 5. По новым районам, освоение которых является наиболее трудным, хлопковые площади увеличились за 3 года в 33 раза, при соответственном увеличении сбора волокна в 43,3 раза.

Если не считать тяготеющих к СССР восточных Х.—персидского, афганского и западнокитайского, то от ввоза иностранного Х. СССР теперь освободился совсем.

Табл. 5.—Развитие хлопководства по районам за 1929—31 гг.

Районы	Хлопковые площади в тысячах га			Сбор волокна в тысячах ц		
	1929 г.	1930 г.	1931 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.
Узбекистан	588,4	818,1	964,8	1 756,0	2 143,3	2 260,6
Туркмения	118,4	156,8	181,4	261,0	351,1	416,4
Таджикистан	67,5	116,0	134,7	115,0	185,9	192,0
Киргизия	42,9	60,7	82,1	111,0	136,5	133,1
Кара-Калпакия	36,7	49,0	54,4	52,0	87,1	96,2
Итого по Ср. Азии	853,9	1 200,6	1 417,4	2 325,0	2 904,2	3 098,3
Казакстан	55,6	75,5	121,0	130,0	134,1	232,6
Азербайджан	113,9	132,5	199,7	145,0	162,0	392,1
Армения	13,1	16,3	25,0	26,0	33,2	33,7
Грузия	8,3	11,3	19,9	9,0	8,9	32,2
Итого по ЗСФСР	135,3	160,1	244,6	180,0	204,1	458,0
Сев. Кавказ	6,0	69,2	160,5	3,32	17,23	53,1
Дагестан	3,1	13,4	21,1	0,69	4,36	11,3
Крым	0,1	4,7	27,3	0,03	0,83	15,3
Нижняя Волга	1,5	2,2	0,6	0,36	0,77	0,7
Украина	—	15,0	144,5	—	3,91	106,1
Итого по нов.район.	10,7	104,5	354,0	5,0	27,1	216,5
Всего по СССР	1 055,5	1 540,7	2 137,0	2 640,0	3 269,8	4 005,4

Лит.: Касаткин Н., Новые приемы возделывания хлопчатника, Москва, 1930; Рогожин Н. и Куприянов И., Новые районы хлопководства, Москва, 1931; Кондрашев С., Культура хлопчатника, вып. 1 и 2, Москва, 1930—31; Крутцов А., Пересадка и луночный посев хлопчатника, Ташкент, 1932; Высоцкий К., Новые методы в культуре хлопчатника, Ташкент, 1932; Троицкий Н. и Ушаков С., Первый год механизации сбора хлопка, Ташкент, 1931; Колясин Е., Вакуумная хлопкоуборочная машина, Ташкент, 1932; Федоров В., Первичная обработка хлопка, Москва, 1932; Насекин Н., Хлопковое волокно, его добывание и свойства, Москва—Иваново, 1933; Белицын Н., Составление смесок в хлопкопрядении, Москва, 1932; Постановления Всесоюзного совещания по селекции и семеноводству хлопчатника, состоявшегося в Москве 20—30 окт. 1931 г., Москва, 1931; Постановления Всесоюзного совещания по механизации хлопководства, состоявшегося 13—21 января 1932 г. в Москве, Москва, 1932; «Хлопковое Дело», Москва, 1928, *3—4*; Студенцов А., Очистка хлопка-сырца от посторонних примесей, «Хлопковое Дело», Москва, 1929, *8—9*; Битенбиндера А., Пресс для цилиндрических кип Андерсон-Клейтон и К°, «Хлопковое Дело», Москва, 1928, *5—6*; Груздев П. и Соловьев А., *Исследование хлопка, собранного различными системами хлопкоуборочных машин*, «Бюллетень Центральной Лаборатории Серпуховского хлопчатобумажного треста», Серпухов, 1932, *14—15*; ОСТ 3317/1931, 3557/1931, 4839/1932; «International Cotton Bulletin», 1933, v. 11, *42*; «Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse», Mulhouse, 1932, v. 98, *9*.

И. Чапковский.

ХЛОПЧАТНИК, см. *Хлопок.*

ХЛОР, Cl, элемент VII группы периодической системы, находится между фтором и бромом; вместе с последними и иодом образует группу галоидов. Ат. в. 35,46; известны изотопы Х. с ат. в. 35 и 37. Открыт в 1774 г. химиком К. Шееле при нагревании двуокиси марганца (MnO_2) с соляной к-той. В свободном виде почти не встречается (иногда входит в состав вулканич. газов), но широко распространен в природе в виде разнообразных соединений, напр. в виде соли NaCl, реже KCl и $MgCl_2$, к-рые и являются исходным сырьем для получения Х. в технике. Х.—газ желтовато-зеленого цвета, с острым неприятным запахом, оказывающий сильное раздражающее действие на слизистые оболочки носа и горла и вызывающий удушье; $t^{\circ}_{крит.}$ +146°, критич. давление 83,9 *atm*, $t^{\circ}_{кип.}$ −33,6°, $t^{\circ}_{пл.}$ 101°; 1 *л* Х. весит при 0° и 760 *мм* 3,214 *г*; 1 *г* Х. занимает объем 0,3158 *л*. Х. в $2^1/_2$ раза тяжелее воздуха. В 100 объемах воды растворяется при 0° и 766 *мм* 460 объемов, а при 20° 226 объемов Х.; водный раствор Х. называется хлорной водой. При охлаждении хлорной воды (насыщенной) выделяются кристаллы гидрата хлора $Cl_2 \cdot 6H_2O$, к-рые при нагревании распадаются на Х. и воду. Коэф. расширения жидкого Х. (−30÷0°) равен 0,00179 (Книтч). Х. легко сжижается при обыкновенной t° при давлении ~6 *atm*; при охлаждении требуемое давление еще меньше. Коэф. сжатия при 35,4° 0,000225. 1 *кг* жидкого хлора дает 316 *л* газа. Удельная теплоемкость (13 ÷ 202°) 0,124; уд. в. жидкого Х. при 15° 1,4257 (Ланге) или 1,4273 (Книтч). Теплота испарения жидкого хлора при температуре +8° составляет 62,7 *cal*/*г*. В пределах 0 ÷ 184,4° и 0,00569 ÷ 1,6960 *atm* свойства Х. отклоняются от газовых законов, выше 1 450° он распадается на атомы. Х. легко растворяется в органических растворителях: четыреххлористом углероде, этансульфурилхлориде, тетра- и пентахлорэтане; хорошо адсорбируется древесным углем. Сухой Х. почти не реакциеспособен, но в присутствии следов влаги энергично вступает в реакцию и так же активен, как кислород; дает ряд разнообразных соединений почти со всеми элементами (кроме фтора, брома и инертных газов). С водородом при солнечном свете соединяется со взрывом, на рассеянном свете—медленнее, в темноте—незаметно. Струя Х. горит в водороде. Свеча горит в Х. При действии на раствор щелочи на холоду Х. дает соль хлорноватистой к-ты, при нагревании—соль хлорноватой к-ты. Х.—элемент с переменной валентностью; в окиси Х. Cl_2O он одновалентен, в хлорноватой к-те $HClO_3$—пятивалентен, в хлорном ангидриде Cl_2O_7 и хлорной к-те $HClO_4$—семивалентен.

Промышленное производство Х. началось после открытия получения соды методом Леблана, т. е. в начале 19 в. (соляная к-та, хлорная известь), но в небольших масштабах. Производство сильно развилось с открытием электролитич. метода получения Х. из растворов хлористых солей щелочных металлов (NaCl, KCl).

Первые заводские опыты относятся к 80-м годам прошлого в. (з-д Григсейм-Электрон близ Франкфурта на/М.). При разложении водных растворов указанных выше солей электрическим постоянным током при соблюдении определенных условий удалось получить одновременно три продукта: хлор, водород и едкий натр (или едкое кали). Т. о. производство Х. оказалось связанным с производством важнейших щелочей, и с этого времени началася *непрерывный рост производства Х. электролизом*, приведший к теперешним гигантским масштабам и вытеснивший постепенно почти совсем химич. методы производства Х. На рост производства Х. сильно повлияли: сжижение Х., начавшее входить в практику в начале текущего века, и война 1914—1918 гг., открывшая применение для Х. как удушающего вещества. В настоящее время на земном шаре насчитывается свыше 300 электролитич. хлорных установок, среди к-рых нек-рые про-

изводят 100 и более *т* Х. в сутки. Мировая продукция Х. составляла в 1927 г. 370 000 *т*, в настоящее время она оценивается в ~ 528 000 *т* (при потенциальной мощности з-дов до 800 000 *т* Х. в год); Америка, в частности США, производит ок. 42% всей мировой продукции Х., затем идет Германия—21%, Англия—8,5%, Франция—6,6%, Италия—3,6%, Япония—4,7%, Венгрия—1,5%, Бельгия—1,3%, Швеция и Норвегия—по 0,9%, Польша—0,75% и т. д. В СССР производство хлора в промышленном масштабе существует давно. Старейшим хлорным з-дом является Бондюжский (на р. Каме), работающий по химич. методу с 1890 г. До 1897 г. он был единственным поставщиком хлорной извести. В 1897 г. присоединились: небольшая установка хлорной извести в Сосновицах и хлорный з-д в Зембковицах. В 1900 г. вступил в работу з-д «Донсода» в Переездной, а с 1901 г. начал работать электролитич. хлорный з-д «Русский Электрон» в Славянске.

Для получения Х. химич. путем в лабораторном масштабе применяются различные методы, в частности метод обработки перекиси марганца соляной к-той:

$$MnO_2+4HCl=MnCl_2+Cl_2+2H_2O,$$

либо метод нагревания смеси перекиси марганца с поваренной солью и серной к-той:

$$MnO_2+2NaCl+2H_2SO_4=MnSO_4+Na_2SO_4+Cl_2+2H_2O,$$

либо метод нагревания соляной к-ты с двухромовокалиевой солью:

$$K_2Cr_2O_7+14HCl=2CrCl_3+2KCl+3Cl_2+7H_2O,$$

либо наконец метод обработки белильной извести, хлоратов или марганцевокислой соли соляной к-той. В пром-сти производство Х. химич. путем в настоящее время играет ничтожную роль. Находят применение гл. обр. два способа: 1) из соляной к-ты путем окисления ее перекисью марганца (способ Вельдона) и 2) из хлористого водорода путем окисления его кислородом воздуха в присутствии контактного вещества (способ Дикона).

По способу Вельдона в промышленности применяют в качестве исходного вещества не перекись марганца, а регенерированный при помощи извести ил от предыдущих операций:

$$CaO\cdot MnO_2+6HCl=3H_2O+CaCl_2+MnCl_2+Cl_2$$

или

$$CaO\cdot 2MnO_2+10HCl=5H_2O+CaCl_2+2MnCl_2+2Cl_2.$$

Процесс производят в гранитных заторниках высотой 3 *м*, диам. 2 *м*. Сперва задается к-та (16—18° Bé), а затем постепенно вводится ил. Х. получается высокопроцентный (90%), годный для сжижения. Способ не имеет будущего, т. к. для переработки соляной к-ты на Х. теперь существует более изящный способ выделения из нее Х. электролизом.

По способу Дикона хлористый водород, выходящий из сульфатных печей, освобождается в башнях Гей-Люссака (см. *Соляная кислота*) от серной к-ты и поступает в контактную башню для окисления кислородом воздуха. Контактной массой являются куски кварца или глиняные шарики, пропитанные двойной солью хлорной меди с хлористым натрием. Благодаря теплоте реакции *t*° доходит до 400—450°. Выходящий из контактного аппарата газ содержит 10÷12% Х., непрореагировавший хлористый водород, водяные пары и много воздуха. Х. обыкновенно перерабатывают на хлорную известь в аппарате Газенклевера, состоящем из 6 расположенных друг над другом горизонтальных чугунных цилиндров с мешалками, через к-рые гашеная известь проходит сверху вниз навстречу идущему снизу вверх Х. В наших условиях этот способ также не имеет перспектив, т. к. в СССР имеются большие залежи природного сульфата (Карабугаз, Сев. Кавказ, Сибирь), делающие излишним получение его синтетически. Х. можно получать, как сказано выше, и из соляной кислоты, разлагая ее электролизом. Большое количество соляной кислоты должно получаться при гидролизе $MgCl_2$ и $AlCl_3$. Эти методы находятся еще в стадии разработки.

Гораздо более интересным является добывание Х. путем электролиза по реакции

$$2NaCl+2H_2O=Cl_2+2NaOH+H_2$$

или аналогично, исходя из KCl. Обычно работают с водными растворами означенных солей, причем на аноде выделяется газообразный Х., а образующийся на катоде металл реагирует с водой и дает соответствующую щелочь и водород

$$2Na+2H_2O=2NaOH+H_2.$$

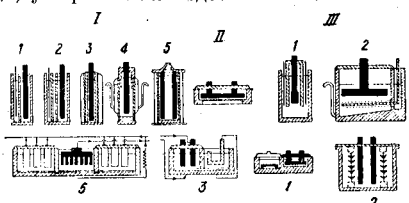
Для того чтобы воспрепятствовать обратному соединению продуктов электролиза, ставят между анодом и катодом перегородку (диафрагму) или пользуются в качестве катода ртутью, которая образует с выделяющимся щелочным металлом амальгаму. Разложение амальгамы с образованием щелочи и водорода производится в отдельной части аппарата. В качестве анодов применяют угольные графитированные или же магнетитовые стержни или плиты, в качестве катодов—железные цельные или дырчатые листы или сетки, или наконец ртуть. Диафрагмы делают из цементных плит или из асбестового картона или асбестовой ткани. 1 Ah дает 1,3223 *г* Х., 0,0376 *г* водорода, 1,494 *г* едкого натра (или 2,094 *г* едкого кали). Имеется свыше 300 патентов ванн для электролиза, из которых практическое применение нашли примерно 35. Однако и из последних интерес представляют лишь немногие (18).

Ниже представлена полная схема деления всех известных способов получения Х. на группы. Группа I. Ванны вертикального расположения: 1) с цементной диафрагмой большого диффузионного сопротивления (ванны Грисгейм-Электрон, Макдональд, Утенин-Шаландр); 2) с двумя или более легко проницаемыми (фильтрующими) диафрагмами, расположенными между анодом и катодом (ванны типа Финлей, Баденского завода, Циба-Монтэ); 3) с одной вертикальной фильтрующей диафрагмой, расположенной между анодом и катодом и прилегающей к последнему; катодное пространство пустое или наполнено электролитом (ванны типа Гаргривс-Бэрд, Аллен-Мур, Нельсон, Крэбс, Помилио, Таунсенд); 4) такие же, но круглого сечения (ванны типа Гиббс, Ворс, Уиллер, Дэвис-Гамильтон, X_2); 5) как в предыдущей подгруппе, но сложенные по принципу фильтр-пресса (ванны типа Дау). Группа II. Ванны горизонтального расположения (ванны типа Ле-Сэр Кермичэл, Сименс-Биллитер). Группа III. Ванны без диафрагмы: 1) чистый тип колокола (ванны типа Аусиг); 2) тип колокола с применением на катоде газоотводящих оболочек (ванны типа Биллитер-Лейкам, Песталоцца). Группа IV. Ванны с ртутным катодом: 1) горизонтального расположения (ванны типа Кастнер, Келнер, Сольве, Уайтинг, Аусиг-Крэбс-Уддехольм); 2) вертикального расположения (ванны Вильдермана); 3) вертикального расположения с диафрагмой (ванны Ринк).

Схематическое изображение особенностей построения ванн различных групп и подгрупп

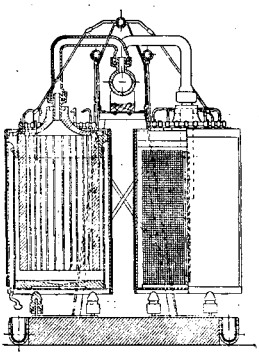
представлено на фиг. 1. Электрохимическая и техническая характеристики важнейших типов ванн приведены в таблице [1], помещенной на ст. 519—522.

Ванны, относящиеся к группе I,1 и I,2, можно считать, за исключением типа Баденского з-да, устаревшими. Недостатки их: низкое ис-



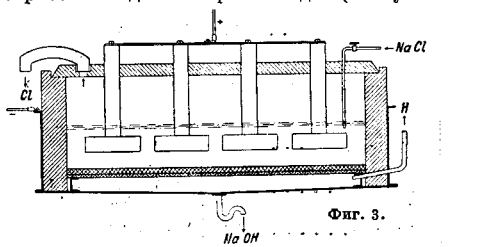
Фиг. 1.

пользование тока, громоздкость конструкции, дороговизна эксплоатации, периодичность хода процесса, низкая концентрация щелока и Х. Метод Грисгейм-Электрон, хотя имеет значительные преимущества, за границей всюду уже оставлен. Преимуществами этого способа являются: возможность работы на простых угольных или магнетитовых анодах, легкость использования водорода (водород высокой чистоты) и возможность параллельного получения хлоратов. Из ванн группы I,3 в настоящее время интересными являются лишь ванны типа Крэбс и Бэк-Май-Рэй (с внутренним катодом и двухсторонним использованием анодов), хотя существует значительное число хлорных заводов, построенных до и во время войны, имеющих ванны Таунсенд (катодное пространство заполнено керосином), Аллен-Мур и Нельсон. Крупнейшей установкой по методу Нельсона является построенный во время войны хлорный з-д Эджвудского арсенала в США мощностью в 100 *m* Х. в сутки (установлено 3 552 ванны по 1 000 А каждая). Ванны в общем дешевы и практичны, но уступают в простоте ваннам группы I,4. Ванны круглого сечения I,4 остаются в данный момент непревзойденными по простоте, дешевизне и практичности (фиг. 2). В США в последнее время стали применять ванны сист. Ворс, вытесняющие постепенно ванны системы Гиббс и Уиллер. Ванны Дау I,5 являются новинкою, они устроены в форме фильтр-пресса и применяются только на одном заводе (Дау Кэмикэл К°) в США (100 *m* хлора в сутки). Из ванн группы II жизненным типом являются лишь ванны Сименс-Биллитер (фиг. 3), обладающие большой надежностью в эксплоатации, но отличающиеся дороговизною. Ванны группы III,1 и III,2 пользуются меньшей популярностью и применяются преимущественно в мелких установках. Интересной особенностью их является нечувствительность к перебоям в работе. Ванны с ртутным катодом группы IV,1, 2 и 3 имеют несомненные преимущества, выражающиеся в высокой чистоте и высокой концентрации получаемого каустического щелока. Дороговизна ртути, сложность конструкции и повышенный расход энергии сдерживают их распространение.



Фиг. 2.

Технология получения Х. электролизом сводится к следующему. Для электролиза пользуются постоянным током напряжением 110÷270 V. Мощность генераторов выбирается последнее время в 4 000 А, в ртутных ваннах 5 000÷8 000 А. Электрич. ток проходит последовательно серию ванн одну за другой, производя в каждой разложение рассола на Х., едкий натр и водород. Серия ванн составляется из 30÷70 штук. Поступающий для электролиза рассол подвергается сначала химич. очистке для удаления Ca и Mg. Применяется обработка хлористым барием с последующим кипячением и обработкой едким натром и содой (или угле-



Фиг. 3.

кислым газом). Обработанный рассол отстаивается, фильтруется и идет в ванны на разложение током. Равномерное питание ванн рассолом регулируется в каждой ванне особыми питателями. Х. отводится из ванн по керамиковым или стеклянным трубкам в общий коллектор и далее на осушку и переработку. Водород отводится по железному трубопроводу в газгольдер или в атмосферу, иногда через эксгаустер. Щелок вытекает из ванн в желоба или трубопроводы через специальные капельницы для разделения струи на капли во избежание утечки тока. Следует заботиться об изоляции и герметичности ванн. Электролитич. водород обладает высокой чистотой и может иметь широкое применение в различных отраслях промышленности, напр. для автогенного дела, для гидрогенизации жиров, для синтеза аммиака и для наполнения дирижаблей. Вытекающий щелок содержит обычно 100÷125 *г* NaOH в *л* (в ртутных ваннах от 350 до 400 *г* и выше). Он подвергается выпариванию в вакуум-аппаратах (дуплекс или триплекс) с солеотделителями для выделения выпадающей соли. Уваренный до 35° Bé, он поступает на рапид-аппараты (быстродействующие вакуум-аппараты), выпаривающие его до 50° Bé. Для отделения растворенной в нем соли применяются холодильники и отстойники. Тем не менее и после этого в нем остается 1,8—2,0% соли. Для получения химически чистого раствора щелочи применяют методы Баденского з-да (осаждение семиводной щелочи) и Грибановского (обработка сульфатом). Щелочь находит применение в жидком виде, т. к. крепость 50° Bé достаточна для всех родов потребителей. В таком виде она доставляется по ж. д. в цистернах (с обогревающими змеевиками) или в железных бочках. Если требуется, щелочь подвергают плавлению в чугунных горшках голым пламенем или под вакуумом в аппаратах Фредеркинга и затем

Электрохимическая и техническая характеристики важнейших

Название метода	Группа	Диафрагма: род	Диафрагма: срок службы в мес.	Рабочий период ванны	Анод: род	Анод: срок службы в мес.	Катод	Расстояние между электродами в *см*
Григсгейм-Элект. *1	I,1	Цемент	9÷24	3÷4 дней	Уголь или магнетит	9÷24	Железные листы	10
Утенин-Шаландр *2	I,1	Порист. трубки, 114 шт., диам. 50 *мм*, длина 500 *мм*	—	15÷30 дней	Угольные плиты 550×60×20 *мм*		Пластинки из листов. железа	5
Финлей *3	I,2	Асбестовый картон	—	—	Графит	—	Железные листы	5—6
Циба-Монтэ *3 . .	I,2	Асбест. ткань	—	—	»	—	Железн. каркасы из прутьев	?
Гаргривс-Бэрд *3	I,3	Асбест	2÷6	6 нед.	Ретортн. уголь, 72 шт. 420×225×50 *мм*	18÷24	Железная сетка или дырчатое железо	4—4,2
Аллен-Мур *3 . . .	I,3	Асбестовый картон	6÷9	6÷9 мес.	Графит	12÷14	то же	4
Нельсон *3	I,3	Асбестовый картон	6÷9	6÷9 мес.	Графит, 14 шт. 100×100×430 *мм*	24÷30	Дырчатое железо	4
Крабс *3	I,3	Асбест. ткань	9÷11	9÷11 мес.	то же	—	» »	—
Помилио *3	I,3	Асбестовый картон	—	—	» »	—	» »	—
Таунсенд-Марш *3	I,3	» »	3	3 мес.	» »	6	» »	1,5
Бэк-Мак-Рэй *3 . .	I,3	» »	6÷8	6÷8 мес.	» »	10÷12	» »	—
Рэнэ-Мориц *3 . . .	I,3	» »	6÷8	6÷8 мес.	» »	—	» »	—
Гиббс *3	I,4	» »	4÷5	4÷5 мес.	24 шт. 50×50×930 *мм*	24	» »	2,5
Ворс *3	I,4	» »	4÷5	4÷5 мес.	24 шт. 50×50×915 *мм*	24	» »	2,5
Уиллер *3	I,4	» »	4÷5	4÷5 мес.	28 шт. 50×50×810 *мм*	12÷16	» »	2,5
Дау *3	I,5	Асбест	—	—	то же	—	Железная сетка	—
Сименс-Биллитер *3	II	Асбест. ткань или картон	годы	годы	» »		» »	6—8
Ауссиг *3	III,1	Без диафрагмы	—	—	» »	годы	Железные листы	—
Биллитер-Лейкам *3	III,2	Газовые покровы из асбестовой ткани	годы	—	» »	»	Железные прутья	8—10
Песталоцца *3 . . .	III,2	Газовые покровы из асбест. ткани	»	—	» »	»	—	—
Кастнер *3	IV,1	Без диафрагм	—	2÷4 мес.	» »	—	Ртуть	1,3—1,5
Сольве *3	IV,1	» »	—	8÷9 мес.	» »	12÷18	»	1,3—1,5
Уайтинг *3	IV,1	» »	—	—	» »	12÷18	»	?
Ауссиг-Крабс-Уддехольм *3	IV,1	» »	—	—	» »	12÷18	»	1,3—1,5
Вильдерман *4 . . .	IV,2	» »	—	—	» »	—	»	—

*1 Периодическая циркуляция. *2 Непрерывная циркуляция. Не вышла из стадии опыта. *3 Непрерывная

типов ванн для электролиза растворов поваренной соли.

Рабочее напряжение в V	Плотность тока на анодах в А/*м*²	Концентрация щелочи в *г/л*	CO_2 в хлоре в %	Утилизация тока в %	Нормальная нагрузка ванны в А	Размеры ванны в *мм*	Площадь пола, заним. 1 ванной: не считая проход, в *м*²	Площадь пола, заним. 1 ванной: с проход., отнес. на 1 000 А, в *м*²	Вес анода в 1 ванне в *кг*	Общая мощность, установки по Биллитеру, в kW
3,8÷4,1	200÷300	45÷50	10÷12	60÷80	2 400÷4 500	3 812×3 100×870	11,8	10,35	197	12 000
4,0÷4,8	200	—	—	65	1 500	2 000×650×700	1,4	—	—	—
3,0÷3,5	—	145	Следы	85÷90	—	—	—	—	—	—
3,3÷4,5	460	110÷130	2	90	700	—	5,5	—	—	—
3,5÷4,2	300	100	6÷8	80÷90	2 000÷3 100	3 500×2 115×450	1,08	—	—	5 500
3,6÷3,8	408	110÷120	1—2	92	1 500	2 800×910×370	0,96	5,5	130	15 000
3,7÷4,0	400	110÷120	1—2	90	1 000	1 980×580×280	0,55	2,33	127	20 000
3,6	660	110÷120	1—2	90	4 000	2 300×950×520	2,18	1,57	650	9 000
3,8÷4,0	—	—	—	92	3 200	—	—	—	380	—
4,0÷4,6	1 200÷2 550	120÷150	—	93÷97	2 500÷5 000	2 500×420×1 000	1,05	—	—	10 000
3,6	650	—	—	92÷97	1 500	1 300×890×330	0,43	1,14	600	—
3,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,5÷4,0	1 000	100÷120	—	90	1 000	диам. 660, высота 950	0,34	1,37	—	25 000
3,5÷3,8	1 000	100÷120	0,8÷1,5	90÷95	1 000	то же	0,34	—	92	
3,6÷4,0	1 000	100÷120	0,8÷1,5	90	1 000	»	0,34	—	—	—
3,4÷4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,5÷4,0	460÷700	125÷130	1,1÷1,5	94÷96	2 200	5 400×1 470×345	8,36	8,86	467	50 000
4,5÷4,5	200	120	2	85	—	—	—	—	—	4 000
—	200÷300	100÷120	4—5	89÷93	—	—	—	—	—	
4,1÷4,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,1÷4,5	1 000	350	2	95	7 500	—	—	—	—	—
—	—	350	2	95	8 500	1 480×1 355×260	20,0	7,30	315	10 000
—	—	—	2	95	—	—	—	—	—	—
—	—	480÷500	2	95	5 000÷6 000	5 000×1 650	9,75	—	—	—
—	300	350	2	95	—	—	—	—	—	—

циркуляция. *4 Непрерывная циркуляция. Выходит из применения.

разливают в жестяные барабаны емкостью от 160 до 400 *кг*. Хлорный газ по выходе из ванн отводится к холодильникам (керамиковым или свинцовым), орошаемым водой, и конденсирует там до 80% содержащейся в нем влаги. Дальнейшая сушка Х. производится в керамиковых или свинцовых башнях, орошаемых крепкой серной к-той 66° Bé. За счет отнятия влаги из Х. серная к-та разбавляется примерно до 60° Bé. В США уже применяется метод концентрации ее в вакуум-аппаратах с одновременной отгонкой Х. продуванием воздуха.

Переработка Х. производится в настоящее время по многим путям; этому способствует внедрение в практику производства жидкого Х., к-рый в этом виде весьма удобен для перевозки на расстояние в стальных баллонах (малых полутонных, однотонных), в ж.-д. цистернах и в баржах водными путями. Таким путем снабжение Х. самых разнообразных потребителей производится легко. Сжижение Х. (см. *Сжижение газов*) производится чаще всего при одновременном сжатии и охлаждении газа. Сжатие производится компрессорами до 3—5 *atm*, охлаждение—в холодильных установках до —15 или —20° (среднее охлаждение) или до —40 или —50° (глубокое охлаждение). Первый метод чаще применяется. Компрессоры старых типов вроде Шютце (сжатым воздухом) или Баденского з-да (через промежуточные жидкости: керосин и серная к-та) выходят из употребления. Входят в практику простые поршневые компрессоры из кислотоупорного чугуна (одно- и многоступенчатые) со смазкой серной кислотой (системы: Крэбс, Сюрт, Вегелин и Гюбнер и др.). Сжижение практически нецелесообразно, если концентрация Х. ниже 80% (обычно работают при 90—95% Х.). Очень распространена переработка Х. на хлорную известь, белильные щелока (растворы гипохлоритов) и иначе твердый высокопроцентный прессованный гипохлорит (см. *Хлора соединения*). Для производства хлорной извести нужно брать известняк лучшего качества. Жженая известь не должна содержать много глины, солей магния, железа; ее гасят чаще всего в механических аппаратах Шультесса, а хлорируют либо в свинцовых камерах, либо в аппаратах Газенклевера, либо в последнее время в многоэтажных бетонных камерах Бакмана с мешалками. Весьма хлороемким производством является также переработка хлора химич. путем по методу Либига на хлораты (бертолетова соль) путем хлорирования горячего известкового молока с последующим обменным разложением хлората кальция.

Расходные коэфициенты для материалов и прочих статей принимаются в практике электролиза обыкновенно следующие. Очистка рассола: на 1 $м^3$ очищенного рассола расходуется 0,48 $м^3$ сырого рассола, 0,52 $м^3$ обратного рассола от выпарки. Расход реактивов ($BaCl_2$, Na_2CO_3, HCl) определяется по наличности примесей в рассоле. Электролиз: на 1 *т* Х. расходуется—очищенного рассола 12,65 $м^3$, электрич. энергии постоянного тока 3 270 kWh (метод Ворса или X_2), диафрагм (асбест) 3 *кг*, анодов графитовых 10 *кг*. Расход энергии на 1 *т* Х. в ваннах Сименс-Биллитер составляет обычно 3 300—3 400 kWh, в ртутных ваннах Сольве 4 800—5 000 kWh, в ртутных ваннах Крэбс-Уддехольм 4 500—4 600 kWh. В себестоимости Х. до 38% расходов падает на рассол, диафрагмы и аноды; на энергию приходится примерно столько же, остальное падает на цеховые расходы, ремонт, амортизацию и общезаводские расходы. Получаемая от электролиза щелочь расценивается обычно по рыночной стоимости и тем самым снимает с себестоимости Х. часть расходов. Необходимою частью для производства электролиза являются электроды. Применяются разнообразные типы электродов: угольные, графитовые, графитированные и магнетитовые. Угольные электроды приготовляются из смеси кокса, спекающегося угля и каменноугольной смолы и обжигаются первый раз при 500°, а второй при 1 400°. Подобным же образом производятся и электроды из натурального графита. Графитированные аноды (Ачесона) получаются путем графитирования описанных выше угольных анодов в электрич. печах. Магнетитовые аноды представляют собой пустотелые стержни, отливаемые из расплавленной закисьокиси железа Fe_3O_4, получаемой в электрических печах при высоких температурах; они очень стойки в отношении Х., но хрупки. Последнее время в технике получает применение электролиз расплавленных солей NaCl или KCl для получения металлич. Na или K; в качестве побочного продукта при этом получается Х., однако с значительной примесью воздуха.

Применение. Х. применяется для выделения брома из растворов, а также для получения соляной к-ты и ряда соединений Х.: хлористого алюминия, хлорной меди, хлористой серы, хлористого фосфора, хлорокиси фосфора и др., затем для получения ряда органич. соединений: фосгена, хлороформа, хлорбензола, хлористого бензила, бензойной к-ты, пикриновой к-ты, хлорпикрина, хлоруксусной к-ты и др., для получения ряда органических растворителей (четыреххлористый углерод CCl_4, дихлорэтан $C_2H_4Cl_2$, трихлорэтан $C_2H_3Cl_3$, дихлорэтилен $C_2H_2Cl_2$, трихлорэтилен C_2HCl_3, тетра-, пента- и гексахлорэтан и др.). Х. применяется также для производства большого ряда промежуточных органич. продуктов (красителей, фармацевтических продуктов, отравляющих веществ), а также применяется для очистки нефти, сахара, для получения целлюлозы из стеблей растений, соломы и камышей, для хлорирования руд, для дезинфекции питьевых и сточных вод и воды в купальных бассейнах и для ингаляций при лечении инфекционных заболеваний (грипп).

Лит.: [1]) «ЖХП», М., 1932, *6*.—Федотьев П., Содовое дело и связанные с ним производства, СПБ, 1898; его же, Современное состояние химической промышленности в России, СПБ, 1902; его же, Современное состояние химич. и электрохимич. промышленности на континенте Европы, СПБ, 1907; его же, Конспект лекций по технич. электрохимии, СПБ, 1902; его же, Электролиз водных растворов, Петроград, 1921; его же, Крупная минеральная химическая и электрохимическая промышленность за последнее десятилетие, Л., 1925; его же, Химико-технологические очерки и материалы по химизации народного хозяйства Союза ССР, Л., 1930, вып. 7; Изгарышев Н., Электрохимия и ее технические применения, 2 изд., Л., 1931; Аллманд А., Основы прикладной электрохимии, пер. с англ., ч. 1, М.—Л., 1925; Биллитер И., Технический электролиз хлористых щелочей, пер. с нем., 1930; Сасс-Тисовский Б., Хлор, его получение и применение, М., 1930; Либерман Г., Химия и технология отравляющих веществ, изд. 3, Л., 1932; Соломатин Н., Электролиз поваренной соли, М.—Л., 1932; Еньков В., Монтаж установки для производства жидкого хлора, М., 1931; Гордеев М. и Еремин Г., Производство хлорной извести, М.—Л., 1932; Зорин Н., О производстве хлорной извести в аппаратах Бакмана, М.—Л., 1932; Сасс-Тисовский Б., Производство хлора, Л., 1933; Allmand A., The Principles of Applied Electro-Chemistry, 2 ed., L., 1924; Billiter J., Die elektrolytische Alkalichloridzerlegung mit festen Kathodenmetallen, Halle a/S., 1912; Billiter J., Technische Elektrochemie, B. 1—5, Halle a/S., 1924; Ergänzungsband, Halle a/S., 1930; Drews K., Verdichtete und verflüssigte Gase, Halle a/S., 1928. **Б. Сасс-Тисовский.**

ХЛОРА СОЕДИНЕНИЯ. Благодаря способности хлора непосредственно соединяться с большинством элементов существует большое количество самых разнообразных Х. с. как неорганич., так и органич. характера. Неорганич. Х. с. весьма распространены в природе. Наиболее часто встречается хлористый натрий в виде твердых отложений (каменная соль, галит) и в виде растворов в морской воде, соляных озерах и природных рассолах. Также встречается в природе хлористый калий (сильвинит KCl, карналлит $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) и хлористый магний (в составе карналлита).

Неорганические Х. с. Хлор не соединяется с кислородом непосредственно; все его кислородные

родные соединения получаются косвенными путями; все они эндотермичны и многие непрочны—легко распадаются и часто со взрывом. Известны 4 кислородные к-ты хлора: хлорноватистая к-та HClO, хлористая к-та $HClO_2$, хлорноватая к-та $HClO_3$, хлорная к-та $HClO_4$ и соответствующие им ангидриды: Cl_2O, Cl_2O_3 и Cl_2O_7. Кроме того существуют окислы ClO_2, Cl_2O_6 и ClO_4. Наиболее постоянные к-ты: $HClO_3$ и $HClO_4$. Все кислородные к-ты хлора одноосновны.

Хлорноватистая кислота образуется из хлорной воды (см. *Хлор*) при стоянии по ур-ию:

$$Cl_2+H_2O=HCl+HClO;$$

ее получают также, пропуская Cl_2O в воду. Очень разбавленные ее растворы бесцветны; конц. растворы желтого цвета, резкого запаха; HClO может долго сохраняться в темноте, но на свету или при нагревании быстро распадается на Cl_2, O_2 и $HClO_3$; HClO—сильный окислитель: обесцвечивает индиго и лакмус. Соли ее, гипохлориты, имеют большее значение в технике, чем к-та. Гипохлориты кальция и натрия вместе с хлорной известью применяются для беления тканей и для многих других целей. Описание их свойств см. *Кальция соединения* и *Натрия соединения*.

Хлорная известь, или *белильная известь* (см.), получается путем хлорирования тонкого порошка гашеной извести (примерно с 1,5—4% избытка воды):

$$Ca(OH)_2+Cl_2 \rightarrow Ca\begin{matrix}Cl\\OCl\end{matrix}+H_2O.$$

Указанная химич. ф-ла хлорной извести ныне считается устаревшей; вместо нее принята сейчас за границей и в СССР ф-ла Дитца:

$$3\,Ca\begin{matrix}Cl\\OCl\end{matrix}\cdot CaO\cdot 4H_2O.$$

Хлорирование производят либо в камерах (каменных, свинцовых) с ручным перемешиванием, либо в механич. аппаратах—барабанах (Газенклевера, Руджа, Де-Нора, Орланди и Леви), либо в многоэтажных железобетонных башнях-камерах Бакмана. Аппараты первых двух типов дают хлорную известь с содержанием до 32% активного хлора (класс Б по стандарту ОСТ 59), аппараты Бакмана—до 36% и выше (класс А того же стандарта). Беление производится растворами хлорной извести в воде с содержанием 8÷35% активного хлора. Подобные растворы приготовляют часто непосредственно в белильных цехах, применяя хлорирование растворов извести (известкового молока) хлором из электролиза или из баллонов. Для нежных тканей предпочитают применять растворы гипохлорита натрия NaClO, приготовляемого либо электролизом раствора поваренной соли без диафрагмы либо путем хлорирования раствора едкого натра (иногда с прибавлением кальцинированной соды) хлором из электролиза или из баллонов по реакции:

$$Cl_2+2NaOH=NaClO+NaCl+H_2O.$$

Если в последнем процессе в качестве щелочи вместо NaOH применять раствор KOH, то получается белящий раствор гипохлорита калия (жавелевая вода) KOCl. Гипохлориты м. б. выделены из раствора в виде белого порошка (перхлорон, капорит, гипорит, сихлор и др.). Такой продукт, спрессованный в таблетки, содержит до 50% активного хлора, очень стоек и более удобен для применения и транспорта, чем хлорная известь, почему и фабрикуется теперь во многих странах в значительных количествах. Гипохлориты натрия и калия легко растворимы в воде; приготовление белильных растворов происходит весьма просто. Хлорная известь очень нестойка, легко теряет хлор при хранении, и перевозка ее связана с перевозкой лишнего балласта (известь, тара).

Хлористая кислота $HOCl\cdot O$ получается пропусканием в воду газообразного или жидкого ClO_2; реакция идет по ур-ию:

$$2ClO_2+H_2O=HClO_3+HClO_2.$$

Чистый раствор получают разложением соли бария при помощи H_2SO_4. К-та очень непрочная и разлагается уже при 0° на Cl_2 и ClO_2. Соли ее, хлориты, взрывают при высокой $t°$ и от удара и технич. значения не имеют.

Хлорноватая кислота $HClO_3$ получается при разложении соли бария или калия серной к-той. Разбавленный ее раствор бесцветен и без запаха; концентрированный—с острым запахом и маслянистой консистенцией; выпариванием можно довести его до уд. в. 1,282; такой раствор содержит 40,1% $HClO_3$ и соответствует ф-ле $HClO_3\cdot 7H_2O$. При дальнейшем выпаривании к-та разлагается. В ней растворяются многие металлы: Fe, Sn, Bi и Cu, причем к-та восстанавливается. $HClO_3$—сильный окислитель органич. соединений: она переводит этилен в гликоль, аллиловый спирт—в глицерин и т. д. Соли ее, хлораты, также сильные окислители; бо́льшая часть их растворяется в воде; наибольшее значение имеют: хлорат калия $KClO_3$, т. н. *бертолетова соль* (см.), и хлорат натрия $NaClO_3$; последний применяют как окислитель в печатании тканей и в производстве черного анилина, а также как заменитель бертолетовой соли во всех областях применения последней. Оба указанных хлората находят большое применение в производстве спичек, пиротехнике, военном деле и окислительных процессах. Известны 4 метода переработки хлора на хлораты (бертолетову соль): 1) метод Бертолле—действием хлора на раствор KOH при нагревании:

$$6KOH+3Cl_2=KClO_3+5KCl+3H_2O;$$

2) метод Либига—действием хлора на известковое молоко при нагревании и дальнейшим обменным разложением с KCl:

$$6Ca(OH)_2+6Cl_2=Ca(ClO_3)_2+5CaCl_2+6H_2O;$$
$$Ca(ClO_3)_2+2KCl=2KClO_3+CaCl_2;$$

3) метод Муспратта—действием хлора на раствор гидрата окиси магния:

$$6Mg(OH)_2+6Cl_2=Mg(ClO_3)_2+5MgCl_2+6H_2O;$$
$$Mg(ClO_3)_2+2KCl=2KClO_3+MgCl_2;$$

4) метод Байера—действием хлора на раствор гидрата окиси цинка:

$$6Zn(OH)_2+6Cl_2=Zn(ClO_3)_2+5ZnCl_2+6H_2O;$$
$$Zn(ClO_3)_2+2KCl=2KClO_3+ZnCl_2.$$

На практике наибольшим распространением пользуется метод Либига в двух вариантах: 1) английском, применяющем обменное разложение с KCl сразу после хлорирования извести с дальнейшим выпариванием раствора калиевого хлората, и 2) немецком, применяющем после хлорирования упаривание раствора для выделения $CaCl_2$, после чего уже производится обменное разложение с KCl. Хлорирование производится либо в чугунных эмалированных абсорберах с мешалками либо в бетонных башнях. Получение $NaClO_3$ химич. путем труднее

в виду большей его растворимости. Последнее время оба хлората получаются преимущественно электролизом горячих растворов KCl или NaCl без диафрагмы. Оба хлората электролитич. путем легко переводятся в перхлораты ($KClO_4$, $NaClO_4$), имеющие применение в технологии взрывчатых веществ.

Известны также хлораты алюминия, аммония, бария, кальция, хрома и свинца. Свойства их описаны при соответственных металлах.

Хлорная кислота $HClO_4$ получается повторной перегонкой смеси порошкообразного перхлората калия $KClO_4$ с 96—79,5%-ной H_2SO_4 или обменным разложением $KClO_4$ и кремнефтористоводородной к-ты:

$$2KClO_4+H_2SiF_6=K_2SiF_6+2HClO_4.$$

Чистая $HClO_4$—бесцветная подвижная жидкость, сильно дымящая на воздухе. Наиболее сильная из всех известных к-т, поражает кожу, образуя трудно залечиваемые язвы. Уд. в. D_4^{22} 1,764; $t°_{пл.}$ −112°; $t°_{кип.}$ 56°. При перегонке под атмосферным давлением разлагается часто со взрывом; с водой и с хлороформом смешивается во всяких соотношениях. Водный ее раствор—бесцветная тяжелая маслянистая жидкость, напоминающая конц. H_2SO_4; образует ряд гидратов; наиболее исследован моногидрат $HClO_4 \cdot H_2O$—иглы, легко растворяющиеся в воде с выделением при этом тепла. Соли ее, перхлораты, по многим свойствам напоминают хлораты: так же хорошо растворяются в воде (за исключением солей K, Cs, Rb, Tl), но многие их свойства повышены (устойчивость, окислительная способность); получаются они очень легко электролитич. путем (исходя гл. обр. из растворов $NaClO_3$). Перхлорат натрия $NaClO_4 \cdot H_2O$ кристаллизуется в ромбич. иглах; нагретый до 200°, теряет кристаллизационную воду не плавясь; при дальнейшем повышении $t°$ выделяется свободный кислород. Кристаллы $NaClO_4$ легко расплываются на воздухе (в противоположность $KClO_4$), и потому он не имеет прямого технич. применения; тем не менее $NaClO_4$ имеет важное значение как исходный материал для получения других перхлоратов. Перхлораты аммония и калия NH_4ClO_4 и $KClO_4$ получают обычно обменным разложением из $NaClO_4$; первый применяется как взрывчатое вещество; $KClO_4$ постоянен на воздухе, плохо растворяется в воде, при $t°$ −0,5° застывает, $t°_{кип.}$ 104,5°; выше этой $t°$ разлагается с выделением кислорода; сильный окислитель. Перхлорат бария $Ba(ClO_4)_2 \cdot 3H_2O$ служит исходным материалом для получения $HClO_4$.

Окись хлора Cl_2O, ангидрид HClO, получается при нагревании водных растворов HClO; газ пронзительного запаха, раздражающе действует на органы дыхания, легко сгущается в жидкость; уд. в. 3,0072; $t°_{кип.}$ жидкого Cl_2O 3,8° (при 776 *мм* давления); в воде растворяется 200 объемов газа; при нагревании, а также на солнечном свету разлагается; с $CaCl_2$ дает хлорную известь и свободный Cl_2. Двуокись хлора ClO_2 получают действием конц. серной к-ты на $KClO_3$; желтый газ с удушливым запахом; уд. в. (при 10,7° и 718 *мм* давления) 2,3894. Легко сгущается в жидкость с $t°_{кип.}$ +10°. При понижении $t°$ застывает в темнооранжевые кристаллы, к-рые при −59° плавятся. Легко дает гидрат $ClO_2 \cdot 8H_2O$; при нагревании взрывает, также при соприкосновении с серой, каучуком, фосфором. Вода растворяет (при 4°) 20 объемов газообразного ClO_2. На свету раствор ClO_2 образует $HClO_3$, в темноте может сохраняться очень долго; является сильным окислителем и белящим средством, обесцвечивает растительные краски (лакмус). Водный его раствор применяют для обесцвечивания мелассы, сахарных соков, глицерина; служит также для борьбы с вредителями (насекомыми).

С водородом хлор дает хлористый водород, соляную к-ту HCl (см. *Галоидоводородные кислоты* и *Соляная кислота*). Соли соляной кислоты—хлориды—имеют большое применение в технике. Хлористый кальций $CaCl_2$ находит применение в холодильном деле и в химич. пром-сти как реагент и влагоудалитель, а $MgCl_2$—для приготовления брусков, точильных камней, искусственных жерновов, ксилолитовых плит. Хлористый алюминий $AlCl_3$ широко применяется в процессе крекинга нефти или мазута для повышения выхода бензина. Хлористый мышьяк $AsCl_3$ является исходным веществом для производства люизита и ряда боевых О. В. (см. *Арсины боевые*). Хлористая сурьма $SbCl_3$ применяется для приготовления рвотного камня и раствора для бронзирования; пятихлористая сурьма $SbCl_5$—для целей хлорирования. Хлористое олово $SnCl_2$ применяется как протрава в текстильном деле и как восстановитель; хлорное олово $SnCl_4$—в текстильном деле как протрава и как боевое дымообразующее вещество для завес; для последней цели служат также четыреххлористый кремний $SiCl_4$ и четыреххлористый титан $TiCl_4$. Из цинковых соединений хлористый цинк $ZnCl_2$ применяется для пропитки шпал, а хлорокись цинка $HOZnCl$ и $ClZn \cdot OZnCl$—в зубоврачебном деле для цемента. Хлористая ртуть (каломель) Hg_2Cl_2 применяется для лечебных целей, для бенгальских огней и для живописи по фарфору; хлорная ртуть (сулема) $HgCl_2$—для дезинфекции, пропитки дерева и травления стали. Хлористое серебро AgCl применяется в фотографии и лабораторном деле; хлористый барий $BaCl_2$ применяется для борьбы с вредителями в с. х-ве и для очистки рассола в электролизе поваренной соли; хлористое железо $FeCl_2$ и хлорное железо $FeCl_3$ служат катализаторами. Из прочих Х. с. можно указать на хлористую серу S_2Cl_2, к-рая применяется для вулканизации каучука, в производстве иприта (горчичного газа) и для дефекации сока сахарного тростника; хлористый сульфурил Cl_2SO_2 и хлорсульфоновая к-та $ClSO_3H$ применяются в качестве боевых О. В. и в качестве хлорирующих веществ. Для целей хлорирования также служат: трехххлористый фосфор PCl_3, пятихлористый фосфор PCl_5 и хлорокись фосфора $POCl_3$.

Органические Х. с. Применение хлора в химии органич. соединений настолько обширно, что здесь можно остановиться только на главнейших. Лишь немногие органич. соединения м. б. получены без участия хлора. Так, амидная, гидроксильная, карбоксильная группы и радикалы SO_2, HSO_3, $CH_3 \cdot CO$ вводят обычно в органические соединения через хлористые соединения. Процесс хлорирования является в органич. химии наиболее часто применяемым. Из хлорированных углеводородов можно

указать на четыреххлористый углерод CCl_4, хлороформ $CHCl_3$, хлорпроизводные этана и этилена: дихлорэтилен $C_2H_2Cl_2$, трихлорэтилен C_2HCl_3, тетрахлорэтилен C_2Cl_4, тетрахлорэтан $C_2H_2Cl_4$, пентахлорэтан C_2HCl_5 и гексахлорэтан C_2Cl_6. Все они применяются как *растворители* (см.), а также как антисептики, инсектисиды и гермисиды. При участии хлора получается амиловый спирт, применяемый в большом количестве в производстве целлюлоида, нитромасс и пластич. масс. Хлорацетон $CH_3 \cdot CO \cdot CH_2Cl$ применяется для синтеза лимонной к-ты и как слезоточивое О. В. Трихлорэтилен участвует в производстве синтетич. индиго. Для той же цели применяется *этиленхлоргидрин* (см.). Фосген $COCl_2$ применяется для производства ряда красителей, фармацевтич. препаратов и как боевое и отравляющее вещество, поражающее действие которого в 8 раз сильнее хлора. Последним свойством обладает и дифосген $Cl \cdot COOCCl_3$. Хлорацетофенон $C_6H_5 \cdot COCH_2Cl$ применяется как слезоточивое О. В. При хлорировании бензола получается хлорбензол C_6H_5Cl, являющийся промежуточным продуктом для производства ряда органических препаратов, красок и взрывчатых веществ; в отходе получаются полихлориды: *п*-дихлорбензол и *о*-дихлорбензол. При хлорировании толуола получается хлористый бензил $C_6H_5CH_2Cl$, являющийся промежуточным продуктом при получении бензилцеллюлозы. Из хлорпроизводных толуола известны также: хлористый бензилиден $C_6H_5CHCl_2$ и трихлорметилбензол $C_6H_5 \cdot CCl_3$. Хлористый бензоил $C_6H_5 \cdot COCl$ идет на производство перекиси бензоила, применяемой для отбелки муки. Хлористый циан CNCl известен как отравляющее вещество. Теми же свойствами обладает хлорпикрин (трихлорнитрометан) CCl_3NO_2. Известны также хлорбензойная и хлорсалициловая к-ты, хлорфенолы и хлоркрезолы (применяются в синтетич. процессах), хлорнафталины (как растворители и продукты для получения воскообразных изоляционных веществ и красок). Хлоранилины находят большое применение для красильных целей. Хлоруксусные к-ты (моно-, ди- и три-) $CH_2Cl \cdot COOH$, $CHCl_2 \cdot COOH$ и $CCl_3 \cdot COOH$ и хлористый ацетил $CH_3 \cdot COCl$ широко применяются в красочном производстве. Хлоральгидрат $CCl_3 \cdot CH(OH)_2$ применяется в медицине как снотворное и для получения чистого хлороформа. О натриевой соли *п*-толуолсульфохлорамида см. *Хлорамины*. Дихлордиэтилсульфид, или иприт, является одним из сильнейших средств химич. войны. Для той же цели используются хлорпроизводные органич. соединений, содержащие мышьяк. В общем не менее 95% средств химич. войны получаются при прямом или косвенном действии хлора. Многие из хлорпроизводных органич. соединений находят применение в медицине для анестезии, замораживания и антисептики.

Лит.: см. *Хлор*. **Б. Сасс-Тисовский.**

ХЛОРАЛЬ, трихлоруксусный альдегид, $CCl_3 \cdot CHO$ получен Либигом в 1832 г.; готовится хлорированием этилового спирта в присутствии хлорного железа. В начале реакции выделяется в большом количестве хлористый этил; при охлаждении спирт очень быстро поглощает хлор, сильно увеличивается в весе и выделяет слой водной соляной к-ты. По окончании реакции смесь подвергают перегонке и собирают фракцию 94—97°. Для получения чистого Х. фракцию эту нагревают с равным объемом крепкой серной кислоты до тех пор, пока не перестанут выделяться пары хлористого водорода. Когда это достигнуто, отделяют Х. от серной к-ты и подвергают перегонке.

Х.—бесцветная жидкость с резким запахом; $t°_{кип.}$ 98,1°; уд. в. при 0°—1,54175, при 9,4°—1,52813, при 20°—1,512. Х. легко полимеризуется в твердый аморфный полимер, метахлораль, к-рый при нагревании деполимеризуется в мономолекулярный Х. С водой Х. не смешивается; при прибавлении к нему воды образуется твердый продукт присоединения ($t°_{пл.}$ 47,4°), хлоральгидрат, $CCl_3 \cdot CH(OH)_2$; в теоретич. отношении он представляет интерес как соединение, содержащее два гидроксила у одного атома углерода. Некоторые реакции сближают его с альдегидами, например при окислении азотной к-той он дает трихлоруксусную кислоту, с бисульфатом образует кристаллич. соединение, аммиачную окись серебра восстанавливает с образованием металлич. зеркала. Хлоральгидрат в воде очень хорошо растворим и дает слабокислую реакцию. Он растворим также в алкоголе и эфире; в петролейном эфире, бензоле, хлороформе и сероуглероде он растворяется лишь при нагревании. С крепкой серной кислотой хлоральгидрат отдает воду и образует безводный Х. Со спиртом Х. соединяется, образуя хлоральалкоголят $CCl_3 \cdot CH(OH) \cdot OC_2H_5$. При действии водных растворов щелочей Х. уже при обыкновенной $t°$ расщепляется на хлороформ и соль муравьиной к-ты:

$$CCl_3 \cdot CHO + KOH = CHCl_3 + HCOOK.$$

Х. является сильным наркотич. средством, находившим, обычно в виде хлоральгидрата, раньше большое применение, теперь сильно сократившееся из-за вредного действия на сердце.

Лит.: Кацнельсон М., Приготовление синтетич. химико-фармацевтич. препаратов, 3 изд., Л., 1933; Meyer V. u. Jacobson P., Lehrbuch d. organ. Chemie, B. 1, T. 2, B. u. Lpz., 1913; Fränkel S., Die Arzneimittel-Synthese, 5 Aufl., B., 1921. **М. Кацнельсон.**

ХЛОРАМИНЫ, соединения общей ф-лы $RNHCl$ или R_2NCl; получаются они действием хлорной извести или гипохлорита натрия на соли аминов или свободные амины:

$$RNH_2 \cdot HCl + NaOCl \rightarrow RNHCl + NaCl + H_2O.$$

Х. жирного ряда—жидкие, иногда дымящие на воздухе вещества, легко отщепляющие галоид, обладают ясно выраженными окислительными свойствами, могут служить как хлорирующие агенты [например дихлормочевина $CO(NHCl)_2$, твердое кристаллич. вещество, распадающееся в водных растворах, с образованием HOCl]. Большинство Х. жирного ряда растворимо в органич. растворителях и воде. Х. ароматич. ряда—б. ч. твердые кристаллич. вещества, легко отщепляющие галоид, после чего они легко вступают в различные реакции конденсации. Обладают сильными окислительными свойствами, в водных растворах гидролизуются на амин и HOCl (реакция обратима). Наибольшее распространение получил хлорамин Т — *п*-толуолсульфохлорамин натрия $CH_3 \cdot C_6H_4SO_2N \cdot NaCl \cdot 3H_2O$, выпускаемый иностранными фирмами под разными названиями: «активин», хлорамин «Heyden»; белое кристаллическое вещество, растворимое в 15 ч. воды, на воздухе пахнет хлором, к-рый выделяется при действии к-т; при 170—180° разлагается. Получается действием гипохлоритов натрия, кальция или хлорной извести на толуолсульфамид; содержит 25% активного хлора; в лабораториях применяется для иодомет-

трич. определения некоторых соединений; в хирургии—для дезинфекции, в бумажном производстве—для отбелки; в крашении тканей—для получения черного анилина. Предложен как дегазатор нек-рых О. В. (иприта, арсинов), с к-рыми образует нетоксичные продукты.

Лит.: Г. П. 390658; Англ. П. 241579; Комаровский, Филонов, Коренман, «Ж. прикл. химии», 1933, т. 6, р. 742; Herzog, «Oester. Chem. Ztg», 1927, B. 30, p. 71; Roberts, «Journ. of the Chem. Soc.», L., 1923, p. 849, 2707; Feibelmann, «Chem. Ztg», Cöthen, B. 48, p. 297, 685; Hinton, Muiara, «Analyst», L., 1927, v. 52, p. 688; Obszewski, «Chem. Ztg», L., 1928, B. 52, p. 141; Thamann, «Apoth. Ztg», 1927, B. 65, p. 73; Dietzel, Tantel, «Apoth. Ztg», 1929, B. 44, p. 989; Schieman, Navak, «Ztschr f. ang. Chem.», Lpz., 1927, B. 40, p. 1032; Mann, «Journ. of the Chem. Soc.», L., 1932, p. 958.

Н. Мельников.

ХЛОРБЕНЗОЛЫ, продукты замещения водорода в бензоле (C_6H_6) хлором. В группе Х. возможны 6 степеней замещения, дающие благодаря изомерии по положению 12 различных соединений. Все они получаются в технике прямым хлорированием бензола газообразным хлором в присутствии катализаторов—Fe или $FeCl_3$. В первую очередь образуется монохлорбензол C_6H_5Cl; при дальнейшем хлорировании получается гл. обр. *п*-дихлорбензол с примесью *о*-дихлорбензола, а из трихлорбензолов—гл. обр. несимметрич. изомер (1,2,4). В качестве побочного продукта получается в большом количестве хлористый водород. Для промышленного хлорирования бензола применяют чугунные реакторы, в к-рые загружают бензол вместе с некоторым количеством железных стружек (катализатор); газообразный хлор подается непосредственно из баллонов либо нагнетается с помощью компрессора. Хлорирование обычно ведут до получения смеси следующего состава: 50÷55% C_6H_5Cl, 3÷10% ди- и трихлорбензолов и от 40 до 45% неизмененного бензола. После этого смесь выпускают из реактора, промывают водой, нейтрализуют щелочью, сушат и фракционируют в колонном аппарате. Другие методы получения Х., напр.: а) из фенолов—действием PCl_3 или PCl_5, б) из ароматических аминов—через диазосоединение (по Зандмейеру-Гаттерману) и в) хлорированием сульфокислот, в технике не применяются. Низшие члены группы Х. сохраняют химич. свойства бензола—способность нитроваться, сульфироваться и т. п. Подвижность хлора в Х. очень мала: не только вода, но даже спиртовые растворы едких щелочей, а также Na_2S и KCN на них не действуют. Водными щелочами Х. омыляются только при высоких $t°$ (до 300°) и повышенном давлении. Лишь при дополнительном введении нитрогрупп ($—NO_2$) хлор в Х. приобретает заметную подвижность, к-рая в тринитропроизводных становится уже весьма значительной.

Монохлорбензол C_6H_5Cl—бесцветная жидкость со слабым ароматич. запахом; уд. в. D_{15}^{15} 1,1125; D_4^{20} 1,107; $t°_{пл.}$ −45,2°; $t°_{кип.}$ 132,1°; $t°$ вспышки 28,5; показатель преломления n_D^{20} 1,525. В воде C_6H_5Cl нерастворим; растворяется в спирте. Основное применение его—переработка нитрацией в динитрохлорбензол $C_6H_3(Cl)^1(NO_2)_2^{2,4}$, из к-рого далее получают динитрофенол и пикриновую к-ту (взрывчатое вещество), а также сернистые черные красители; в небольших размерах он применяется как растворитель для смол при производстве лаков (самостоятельно или в смесях со спиртом и со скипидаром); за последние годы он приобрел значение в производстве синтетич. фенола [1] помощью реакции

$$C_6H_5Cl+H_2O=C_6H_5OH+HCl.$$

Для этого C_6H_5Cl омыляют 8%-ным NaOH или содой в медном автоклаве под давлением до 200 *atm* при $t°$ 260÷370°; для облегчения гидролиза необходимо присутствие соединений Cu; для улучшения выходов и уменьшения расхода щелочи полезно вводить до 12% дифенилового эфира $C_6H_5\cdot O\cdot C_6H_5$. Производство это осуществлено в США в крупном заводском масштабе; продукция синтетич. фенола из C_6H_5Cl в США к 1930 г. уже превысила выработку фенола через сульфокислоту. Возможно также прямое превращение хлорбензола в анилин [2]:

$$C_6H_5Cl+NH_3=C_6H_5\cdot NH_2+HCl$$

(под давлением в присутствии Cu-соединений) и в дифениламин [3]:

$$C_6H_5Cl+C_6H_5\cdot NH_2=C_6H_5NH\cdot C_6H_5+HCl.$$

Дихлорбензолы $C_6H_4Cl_2$; существует 3 изомера, обладающих следующими физическими свойствами:

Изомеры	Уд. вес	$t°_{кип.}$	$t°_{пл.}$	n_D
Орто- (1,2-)	D_{20}^{20} = 1,3088	179	−17,6	1,5518 [22°]
Мета- (1,3-)	D_4^{20} = 1,288	173	−24,8	1,546 [20°]
Пара- (1,4-)	$D_4^{200,5}$ = 1,4581	173	+52,9	1,5266 [70°]

Первые два соединения—жидкости, растворимые в спирте. *п*-Дихлорбензол—бесцветные кристаллы со своеобразным, довольно приятным запахом, очень летучие; он нерастворим в воде, легко растворяется в бензоле CS_2, горячем спирте, хорошо растворим в эфире; существует повидимому в двух кристаллич. модификациях с точкой перехода при 39,5°; получается фракционировкой хлорированного бензола (см. выше) и кристаллизацией остаточной фракции. Нитрованием *п*-дихлорбензол перерабатывается в 1,4-дихлор-6-нитробензол и далее в красители; он служит также для синтеза нек-рых динитросоединений, гидрохинона, производных дифеновой к-ты и т. д. Самостоятельно или в смесях с другими веществами он применяется как инсектисид—для уничтожения моли (в США и Германии), для окуривания плодовых деревьев (США) и для борьбы с паразитами, живущими в почве (филоксера, капустная муха, личинка хруща и др.). Смесь *о*- и *п*-дихлорбензолов в соотношении ~75 : 25 применялась нек-рое время в качестве растворителя для лаковых смол; такая смесь имеет уд. в. 1,35, $t°_{кип.}$ ~ 175° и $t°$ вспышки 62°.

Трихлорбензолы $C_6H_3Cl_3$; существует 3 изомера, обладающих следующими свойствами:

	$t°_{пл.}$	$t°_{кип.}$
Смежный (1, 2, 3)	52	219
Несимметрич. (1, 2, 4)	17	213
Симметрич. (1, 3, 5)	63	208,5

Из них 1, 2, 4-трихлорбензол (D^{10} = 1,574; n_D^{20} 1,5671) образуется в наибольшем количестве при хлорировании бензола; он применяется изредка как растворитель при очистке высокомолекулярных соединений. Симметрич. 1, 3, 5-трихлорбензол получается из 2, 4, 6-трихлоранилина путем элиминирования аминогруппы; он может служить промежуточным продуктом для нек-рых технич. синтезов, напр. для получения 2, 4, 6-тринитро-1, 3, 5-триазобензола (новое мощное взрывчатое вещество).

Тетрахлорбензолы $C_6H_2Cl_4$ (3 изомера), пентахлорбензол C_6HCl_5 и гексахлорбензол C_6Cl_6 технич. значения не имеют.

Лит.: [1] Meyer K. u. Bergius F., «B», B., 1914, Jg. 47, p. 3155; Hale W. a. Britton E., «Ind.

Eng. Chem.», 1928, v. 20, p. 114; Ушаков М. и Зелинский Н., «Журн. прикл. химии», 1932, т. 5, р. 362; 2) Г. П. 204951; Ам. П. 1607824/1926; 3) Карпухин П., «ЖХП», 1928, т. 5, р. 1106.—Цукерман И., «ЖХП», 1925—1926, т. 2, р. 338; Hollemann A., Die direkte Einführung von Substituenten in den Benzolkern, B., 1910; Bourion F., «Bull. de la Société chimique de France», P., 1920, série 4, t. 27, p. 833; Lewy A. a. Frank H., «Transactions of the Amer. Electrochem. Soc.», N. Y., 1923, v. 43, p. 107; Carswell T., «Ind. Eng. Chem.», 1928, v. 20, p. 729; «Chem. Age», L., 1929, v. 21, Dyestuffs Supplement, p. 29.

В. Янковский.

ХЛОРГИДРИНЫ, хлорозамещенные спирты, производимые от многоатомных спиртов путем замены части гидроксилов атомами хлора. Кроме Х. существуют аналогичные химич. соединения, в которых гидроксил спирта замещен бромом или иодом; их всех объединяют под общим названием галоидгидринов; они характеризуются общими способами получения и общими химич. свойствами. Получают их различными способами: 1) непосредственно из спирта действием HBr или HCl (но не HJ), напр.:

$$CH_2OH\cdot CH_2OH+HBr=CH_2OH\cdot CH_2Br+H_2O;$$

2) присоединением хлорноватистой к-ты к ненасыщенным углеводородам или спиртам:

$$CH_2:CH_2+ClOH=CH_2Cl\cdot CH_2OH;$$

3) непосредственным присоединением галоида к ненасыщенным спиртам:

$$CH_2:CH\cdot CH_2OH+J_2=CH_2J\cdot CHJ\cdot CH_2OH.$$

С хлористым ацетилом галоидгидрины легко реагируют, образуя сложные эфиры:

$$CH_2Cl\cdot CH_2OH+ClCO\cdot CH_3=CH_2Cl\cdot CH_2(OCO\cdot CH_3)+HCl.$$

Галоидные атомы в галоидгидринах отличаются подвижностью и м. б. легко вытеснены, напр. действием водорода in statu nascendi. Наибольшее значение из Х. имеют Х. *гликолей* (см.) и *глицерина* (см.). Об Х. этиленгликоля см. *Этиленхлоргидрин*. Для глицерина известны моно- и дихлоргидрины. Существует 2 изомера (α- и β-) монохлоргидрина:

$$CH_2OH\cdot CHOH\cdot CH_2Cl \text{ и } CH_2OH\cdot CHCl\cdot CH_2OH.$$

Первый получается при насыщении глицерина хлористым водородом; технически его готовят 15-часовым нагреванием (при $t°$ 120°) глицерина с соляной к-той уд. в. 1,185; масло, не смешивающееся с водой, уд. в. 1,338 (его внутренний ангидрид, эпихлоргидрин, $CH_2\cdot CH\cdot CH_2Cl$), получается действием едкого

кали на дихлоргидрины глицерина; нерастворимая в воде жидкость с $t°_{кип.}$ 117° применяется как растворитель; β-монохлоргидрин получается из аллилового спирта действием хлорноватистой к-ты:

$$CH_2:CH\cdot CH_2OH+ClOH=CH_2OH\cdot CHCl\cdot CH_2OH;$$

в небольшом количестве он образуется также при получении α-изомера. Дихлоргидрины глицерина известны в двух изомерных формах: 1) α- или симметрич. дихлоргидрин $CH_2Cl\cdot CHOH\cdot CH_2Cl$ и 2) β- или несимметрич. дихлоргидрин $CH_2Cl\cdot CHCl\cdot CH_2OH$; α-изомер — масло, растворимое в воде (при 19° в 9 ч. воды), с $t°_{кип.}$ 174—175°, уд. в. 1,346, применяется как растворитель для лаков и смол, в приготовлении пластич. масс и для рафинирования минеральных масел; β-изомер, получаемый из аллилового спирта действием хлора,—жидкость с $t°_{кип.}$ 183°, уд. в. 1,355, практич. применения не имеет. Из Х. спиртов высшей атомности известны Х. маннита и эритрита.

Лит.: Meyer V. u. Jacobson P., Lehrbuch d. organischen Chemie, 2 Aufl., B. 1, T. 2, Berlin u. Leipzig, 1923.

Н. Ельцина.

ХЛОРИНАЦИЯ, один из методов извлечения золота из руд и концентратов. В течение 2-й половины 19 в. этот метод нередко применялся в золотой пром-сти, но уже к концу 2-го десятилетия 20 в. хлоринационные з-ды почти не встречаются. В Юж. Африке в последние годы Х. применялась (как метод гидрометаллургич. извлечения металла) к платиновым концентратам, но в небольшом масштабе (см. *Платина*, Металлургия платины. Химизм процесса выражается реакцией $2Au+3Cl_2=2AuCl_3$, протекающей в присутствии влаги. Поэтому если в золотых рудах не оказывалось достаточного количества влаги, то перед Х. их увлажняли. Хлорное золото легко растворяется в воде. После обработки золотой руды хлором хлорное золото выщелачивается водой. Осаждение золота из растворов после Х. происходит по одной из следующих реакций: 1) сернокислым закисным железом нейтрализуется избыток хлора и осаждается золото

$$6FeSO_4+3Cl_2=2Fe_2(SO_4)_3+2FeCl_3,$$
$$2AuCl_3+6FeSO_4=2Au+2FeCl_3+2Fe_2(SO_4)_3;$$

2) сернистым газом

$$SO_2+Cl_2+2H_2O=H_2SO_4+2HCl,$$
$$2AuCl_3+3SO_2+6H_2O=2Au+6HCl+3H_2SO_4;$$

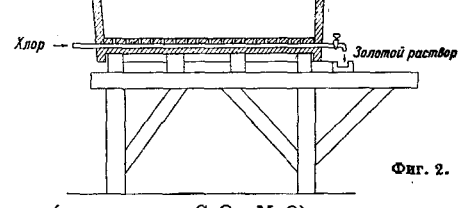
3) *сероводородом*

$$H_2S+Cl_2=2HCl+S,$$
$$2AuCl_3+3H_2S=6HCl+Au_2S_3;$$

4) применялось также осаждение древесным углем. В нек-рых случаях рекомендовалась предварительная обработка руды перед хлоринацией: 1) амальгамация в случае крупных частиц золота (необходим длительный контакт частиц с ртутью); 2) предварительный обжиг намертво

Фиг. 1.

колчеданистых руд или концентратов в однодовых печах (фиг. 1); окисленные золотые руды непосредственно поддаются Х.; 3) предварительное прокаливание в случае основных

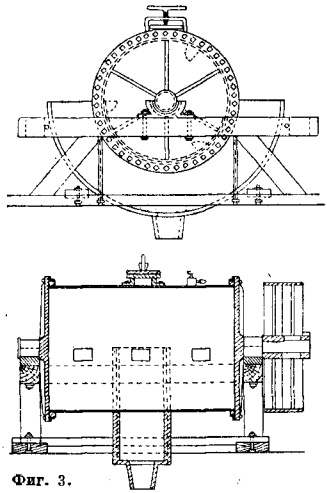


Фиг. 2.

руд (содержащих CaO, MgO) для спекания основных окислов с кварцем во избежание высокого расхода хлора.

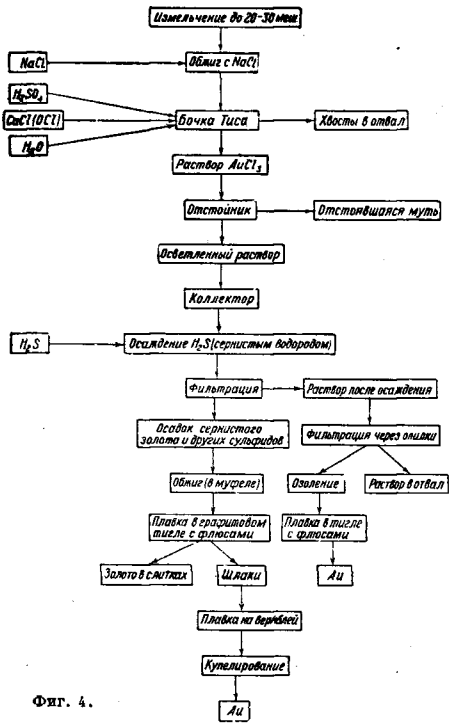
На з-дах Х. производилась тремя способами: 1) Х. в чанах—способы Платтнера, Перси и Диткена; 2) Х. во вращающихся бочках (деревянные барабаны, выложенные свинцом)—способы Тиса и Мирса; 3) выщелачивание двумя

смешивающимися в момент выщелачивания растворами; хлор, выделяющийся в результате



Фиг. 3.

их взаимодействия, образует раствор в воде. Таковы методы: Мунктелля (растворы белильной извести и серной к-ты), Этарда (перман-



Фиг. 4.

ганат калия и соляная к-та), Блэк—Этарда (перманганат, серная к-та и поваренная соль). При выщелачивании руды в чанах употреблялись деревянные чаны с плотными крышками и фильтрующими ложными днищами (кругами с отверстиями), покрытыми крупным гравием и песком (на фиг. 2 представлена схема чана Платтнера). Руда, загружаемая в чан, должна содержать от 6 до 12% влаги. Контакт руды с хлором продолжался от 12 до 36 час. Промывка водой производилась сверху. Руды, содержащие и серебро, выщелачивались гипосульфитом до Х. (богатые серебром) или после Х. (бедные руды). При Х. во вращающихся бочках употреблялись барабаны вместимостью от 5 до 25 *m* (фиг. 3—бочка Тиса, продольный и поперечный разрезы). Внутри барабана получался хлор при действии под давлением серной к-ты на белильную известь. Обработка длилась от 3 до 6 часов. В барабанах нередко имелся внутренний фильтр, и промывка производилась от 1 до 2 часов водой, поступающей в барабан через цапфу. На схеме (фиг. 4) указан процесс Х. руд по способу Тиса. При выщелачивании руды по способу Мунктелля употреблялись бетонные чаны, вмещавшие 100 *m* руды. Количество извлеченного золота из руд доходит до 93—96%. Слабые стороны Х.: 1) высокая стоимость процесса; 2) ядовитые свойства хлора; 3) невысокое извлечение серебра дополнительными процессами (до 60%). Х. может применяться в случае богатых золотых руд или концентратов с невысоким содержанием серебра.

До введения механич. обжиговых печей в Америке общая стоимость Х. на 1 *m* руды—10 р. 50 коп. (стоимость обжига 27%); после введения механич. обжиговых печей стоимость обработки 7 р. 50 коп. (стоимость обжига 13½%). В СССР в настоящее время Х. применяется в Джетыгаринском комбинате (на Урале) для извлечения золота из огарков после обжига колчеданистых руд.

Лит.: Мостович В., Хлорирование, Томск, 1922; Плаксин И., Обработка золотых руд, М.—Л., 1932; Эйслер М., Металлургия золота, пер. с англ., 2 изд., СПБ, 1905; Rose J., Metallurgy of Gold, L., 1915; Sharwood W., Hydrometallurgy of Gold a. Silver (в книге Liddell), Handb. of Non-Ferrous Metallurgy, v. 2, N. Y., 1926.

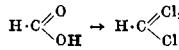
И. Плаксин.

ХЛОРИРОВАНИЕ, см. *Промежуточные продукты для синтеза красителей*, *Вода*.

ХЛОРНАЯ ИЗВЕСТЬ, см. *Белильная известь*.

ХЛОРОФИЛЛ, см. *Красящие вещества*.

ХЛОРОФОРМ, трихлорметан, $CHCl_3$, метенилхлорид, химич. соединение, к-рое можно рассматривать как производное муравьиной к-ты, в которой гидроксильная группа замещена одним атомом хлора, а кислородный атом карбонила двумя атомами хлора:



муравьиная к-та хлороформ

Исходными материалами для технич. получения Х. служат этиловый спирт, ацетон, а в последнее время применяется и четыреххлористый углерод, к-рый легко превращается в Х. восстановлением цинком и серной к-той. В лабораторном масштабе Х. готовится из смеси хлорной извести, воды и спирта, к-рую осторожно нагревают (до ~ 80°); затем смесь перегоняется. Полученный отгон состоит из двух слоев: нижнего, представляющего Х., и верхнего водного, в к-ром растворено немного спирта и Х. Тщательно отделенный слой Х. сушат безводным хлористым кальцием и затем перегоняют на водяной бане. Электрохимич. путем Х. получается путем электролиза хлоридов щелочей или хлористого кальция

в разбавленном спирте или водном ацетоне. Лучше и дешевле получение Х. из ацетона; чем чище последний, тем больше выход Х. На 100 *кг* Х. требуется 57 *кг* ацетона и 209,5 *кг* хлора или 634,8 *кг* хлорной извести. Получаемый указанными путями Х. содержит часто посторонние вещества. В очень чистом виде его можно получить из хлораля по ур-ию:

$$CCl_3\cdot CHO + NaOH = CHCl_3 + HCOONa;$$

смесь из 100 ч. хлораля и 150 ч. 15%-ного раствора едкого натра перегоняют и отогнанный Х. очищают промыванием крепкой серной кислотой. Промывание продолжают до тех пор, пока серная к-та не будет оставаться совершенно бесцветной; Х. отделяют, промывают несколько раз разбавленным раствором соды, сушат хлористым кальцием и перегоняют на водяной бане.

Х.—бесцветная нейтральной реакции жидкость сладковатого запаха и вкуса; $t°_{кип.}$ химически чистого Х. (при 760 *мм* давления) 61,2°; уд. в. его при 10°—1,5088, при 15°—1,502, при 17,75°—1,497, при 20°—1,4891. Х., применяемый для медицинских целей, имеет $t°_{кип.}$ 60—62° и уд. в. 1,474—1,478. Т. к. под влиянием воздуха и света Х. разлагается на фосген и хлористый водород по реакции

$$CHCl_3 + O \rightarrow CO\langle^{Cl}_{Cl} + HCl,$$

то для врачебных целей его употребляют в *смеси* со спиртом (0,5—1,0%), мешающим разложению. Прибавление спирта понижает $t°_{кип.}$ и уд. в. Х. $t°_{кип.}$ Х., содержащего до 1,0% спирта, 60—62°; уд. в. D^{15} 1,485 ÷ 1,489. Х. смешивается во всех отношениях со спиртом, эфиром, сероуглеродом и эфирными маслами. Крепкая серная кислота не действует на него при обыкновенной $t°$. Атомы галоида в Х. легко подвергаются обмену. При действии слабой водной щелочи получаются соли муравьиной к-ты:

$$CHCl_3 + 4NaOH = H\cdot C\langle^{O}_{ONa} + 3NaCl + 2H_2O.$$

С крепкой щелочью он дает окись углерода:

$$CHCl_3 + 3NaOH = 3NaCl + CO + 2H_2O.$$

При действии на Х. аммиака и едкого кали образуется цианистый калий:

$$CHCl_3 + NH_3 + 4KOH = KCN + 3KCl + 4H_2O.$$

Хранить Х. следует в темных и герметически закрытых сосудах.

Благодаря наркотич. действию Х. его применяют для наркоза при хирургических операциях; применяемый для медицинских целей Х. (Chloroformium pro narcosi) должен отличаться совершенной чистотой. Х. отличается также хорошей растворяющей способностью для жиров и других органич. веществ, почему он находит применение и как растворитель (см. *Растворители*). Для обнаружения Х. пользуются тем, что при нагревании его с первичными аминами (обычно применяют анилин) и едким кали получаются изонитрилы, характеризующиеся чрезвычайно неприятным запахом:

$$C_6H_5NH_2 + CHCl_3 + 3KOH = C_6H_5NC + 3KCl + 3H_2O.$$

Реакция эта служит для обнаружения не только Х., но и первичных аминов. Испытания Х. производят на присутствие хлористого водорода, свободного хлора, четыреххлористого углерода и других хлористых соединений.

Лит.: Вольф Г., Растворители жиров, масел, восков и смол, М.—Л., 1932; Meyer V. u. Jacobson P., Lehrbuch d. organ. Chemie, 2 Aufl., B. 1, Lpz., 1922—23; Fränkel S., Die Arzneimittel-Synthese, 3 Aufl., B., 1912; Berl-Lunge, Chemisch-technische Untersuchungsmethoden, 7 Aufl., B. 3, B., 1923. **М. Кацнельсон.**

ХЛОРПИКРИН, трихлорнитрометан, CCl_3NO_2, бесцветная или светложелтая жидкость, $t°_{кип.}$ 112,4°; $t°_{пл.}$ −64°; уд. в. при 20° 1,6579. Упругость пара Х. при различных температурах следующая:

$t°$	−20°	0°	10°	20°	30°	100°	105°
Давл. в *мм*	1,44	5,64	10,37	18,3	31,1	532	597

В 1 *л* воды при 0° растворяется 2,272 *г* Х., при 75° 1,141 *г*. Вода при 32° растворяется в Х. в количестве 1 *г* на 1 000 *г* Х., при 50°—1,85 *г*. Х. хорошо растворим в большинстве органич. растворителей.

Х. впервые получен (Стенгауз, 1848) действием хлорной извести на пикриновую к-ту:

$$2C_6H_2OH(NO_2)_3 + 22CaOCl_2 \rightarrow 6CCl_3NO_2 + 3Ca(OH)_2 + 13CaCl_2 + 6CaCO_3.$$

Этот способ с нек-рыми видоизменениями получил техническое осуществление для получения Х.: пикриновую к-ту растворяют в воде, содержащей гашеную известь, и смешивают затем с хлорной известью; образовавшийся Х. отгоняют паром и отделяют от воды. На 1 *кг* к-ты берут 10 *кг* 34—35%-ной хлорной извести. Выход по этому способу достигает 84—85% теоретического. Нашел также технич. осуществление способ Ортона, заключающийся в действии хлора на щелочные пикраты при 0—5°:

$$C_6H_2OH(NO_2)_3 + 11Cl_2 + 5H_2O \rightarrow 3CCl_3NO_2 + 13HCl + 3CO_2.$$

Этот способ (видоизмененный Фрамом) дает 98% теоретич. выхода. 30 ч. пикриновой к-ты смешивают с 6 ч. $Ca(OH)_2$ и 200 ч. H_2O, прибавляют 81 ч. $Ca(OH)_2$ в 800 ч. H_2O и хлорируют при 0—1°, затем Х. отгоняют с паром. Х. может быть получен и другими способами: хлорированием и окислением нитросоединений ароматич. ряда, нитрованием хлороформа, действием царской водки на ацетон и др. Х. довольно устойчив: водные к-ты и щелочи на него не действуют даже при кипячении. Олеум и конц. серная к-та разлагают Х. с образованием фосгена и нитрозилсерной к-ты; Х. разлагается также при высоких $t°$ с образованием фосгена; Х. реагирует с алкоголятами и фенолятами; с меркаптидами и неорганич. сульфидами (как окислитель) из иодистых солей в спиртовых растворах выделяет иод. В присутствии воды реагирует с металлами, восстанавливаясь в метиламин. Х. является физиологич. ядом — превращает гемоглобин крови в метгемоглобин и вызывает слезотечение (в концентрации 0,012 *мг* на 1 *л* воздуха); смертельная концентрация (при экспозиции в течение 15 мин.) 0,15 *мг/л*. В войну 1914—18 гг. Х. применялся как боевое О. В., гл. обр. с другими О. В. в артиллерийских снарядах, минах, гранатах и т. п. В настоящее время применяется для различных видов дезинсекции: борьбы с грызунами, вредителями хлебопродуктов, растений и т. д.

Лит.: Либерман Г., Химия и технология О. В., 3 изд., М.—Л., 1932; Ф. П. 612075; Ан. П. 225262; Nekrassow, Melnikow, «B», 1929, B. 62, p. 2091; Hayt, «Ind. Eng. Chem.», 1928, v. 20, p. 835; Hayt, Ellenberger, ibid., 1927, v. 19, p. 461. **Н. Мельников.**

ХЛОРСУЛЬФОНОВАЯ КИСЛОТА, $ClSO_3OH$, неполный хлорангидрид серной к-ты (см. *Серы соединения*). Свойства хлорангидрида у Х. к. выражены очень резко: она крайне бурно реагирует с водой, образуя серную и соляную к-ты:

$$ClSO_3OH + H_2O = H_2SO_4 + HCl,$$

а со спиртами легко дает кислые эфиры серной кислоты, напр.

$$ClSO_2OH+C_2H_5OH=SO_2(OH)(OC_2H_5)+HCl.$$

Высокомолекулярные органич. вещества обугливаются ею так же, как и конц. серной к-той. Пары Х. к. сильно действуют на органы дыхания; концентрация их выше 6 *мг/л* является смертельной. При всякого рода работах с Х. к. необходимы особые меры предосторожности, исключающие возможность соприкосновения Х. к. с водой и влажными материалами, а также возможность ожогов ею.

Технич. получение Х. к. основывается на реакции

$$SO_3+HCl=ClSO_2OH.$$

Газообразный HCl и пары SO_3 пропускаются противотоком через чугунные реакторы, снабженные водяным охлаждением, или через башенный аппарат с кислотоупорной насадкой и водяной рубашкой. Для облегчения синтеза полезно заранее вводить в реактор нек-рое количество готовой Х. к., служащей растворителем для реагирующих газов. Иногда процесс ведут, обрабатывая газообразным HCl заранее приготовленный раствор SO_3 в Х. к., либо пропуская HCl в высокопроцентный олеум (~ 40% SO_3) и подвергая образующуюся Х. к. отгонке. Вводимый в реакцию HCl д. б. совершенно сухим, иначе продукт будет содержать примесь H_2SO_4, понижающую его технич. качества. При анализе Х. к. обычно определяют %-ное содержание SO_3 и HCl (из продуктов гидролиза), что позволяет вычислить и содержание свободной H_2SO_4 (см. [1]).

Применение. Х. к. применяется как весьма энергичное сульфирующее средство—гл. обр. для сульфирования толуола при производстве сахарина и для получения сульфокислот из нитропроизводных нафталинового ряда. Х. к. используется также при ацетилировании целлюлозы (для ускорения этого процесса) и при получении уксусного ангидрида. Х. к. служит для получения диметилсульфата $SO_2(OCH_3)_2$, чистой надсерной к-ты (действием H_2O_2 на Х. к.) и для очистки парафиновых углеводородов, выделяемых из нефти (Х. к. не реагирует с ними, но легко реагирует с нафтенами). В военном деле Х. к. (с 1916 г.) находит значительное применение в качестве дешевого дымообразующего вещества—для создания маскирующих дымовых завес при полевых, морских и воздушных боевых операциях войск; для этой цели используется как сама Х. к., так и жидкие смеси ее с серным ангидридом.

Производные Х. к. Эфиры Х. к.—алкилхлорсульфаты—м. б. получены по одному из следующих способов: а) действием избытка хлористого сульфурила на спирты; б) действием SO_3 на хлористые алкилы; в) действием PCl_5 на соли алкилсерных к-т; г) из простых эфиров действием хлористого пиросульфурила ($S_2O_5Cl_2$):

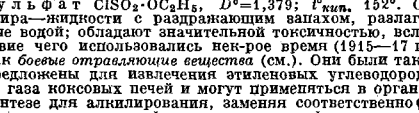
$$ROH+SO_2Cl_2=ClSO_2\cdot OR+HCl,$$

$$RCl+SO_3=ClSO_2\cdot OR,$$

$$RO\cdot SO_2\cdot ONa+PCl_5=ClSO_2\cdot OR+NaCl+POCl_3,$$

$$ROR+S_2O_5Cl_2=2ClSO_2\cdot OR.$$

Метилхлорсульфат $ClSO_2\cdot OCH_3$, уд. в. D_4^{20} = =1,484 и $t°_{кип.}$ 134,4° (с разложением); этилхлорсульфат $ClSO_2\cdot OC_2H_5$, D^0=1,379; $t°_{кип.}$ 152°. Оба эфира—жидкости с раздражающим запахом, разлагаемые водой; обладают значительной токсичностью, вследствие чего использовались нек-рое время (1915—17 гг.) как *боевые отравляющие вещества* (см.). Они были также предложены для извлечения этиленовых углеводородов из газа коксовых печей и могут применяться в органич. синтезе для алкилирования, замения соответственно диметил- и диэтилсульфат; алкилирование фенолов и жирных аминов протекает без побочных реакций; ароматич. амины при этом не только алкилируются, но часто и сульфируются при азоте, образуя сульфаминокислоты, напр.



Направление реакции по тому или другому пути зависит от температуры; этим способом могут быть получаемы алкиланилины. Разлагая алкилхлорсульфаты HCl, можно получать CH_3Cl и C_2H_5Cl.

Хлористый пиросульфурил $S_2O_5Cl_2$ или $O(SO_2Cl)_2$ есть ангидрид Х. к.; густая жидкость с уд. в. 1,834; $t°_{кип.}$ 145°; $t°_{пл.}$ 39°. Применяется иногда для сульфирований ароматич. соединений и для синтеза алкилхлорсульфатов.

Лит.: [1]) Lauer F., «Ztschr. f. analytische Chemie», Wiesbaden, 1925, B. 65, p. 337.—Г. П. 160102, 228424; Анг. П. 131024; Фр. П. 496189; Некрасов В., Химия отравляющих веществ, 3 изд., Л., 1930; Либерман Г., Химия и технология отравляющих веществ, 3 изд., Л., 1932; Kolb W., «Metallbörse», B., 1927, Jg. 17, p. 2553, 2666, 2722, 2778, 2833; Levaillant et Simon, «CR», Paris, 1919, v. 169, p. 854; Traube W., «Ztschr. f. ang. Chemie», Berlin, 1925, Jg. 38, p. 441; Sheppard A. a. Henne A., «Ind. Eng. Chem.», 1930, v. 22, p. 356.

В. Яниковский.

ХЛОРУГОЛЬНЫЕ ЭФИРЫ, алкилхлоркарбонаты, или алкилхлорформиаты, общей ф-лы Cl·CO·OR (где R—углеводородный радикал)—производные хлоругольной (хлормуравьиной) к-ты Cl·CO·OH, в свободном состоянии неизвестной. Низшие Х. э. жирного ряда—летучие, резко пахнущие (сходно с фосгеном) бесцветные жидкости, пары к-рых сильно раздражают глаза и органы дыхания. Ядовиты; токсич. действие их аналогично действию фосгена. Мало растворимы в воде, хорошо растворяются в спирте и эфире. Благодаря наличию в их составе группы CO·Cl Х. э. сохраняют химич. характер кислотных хлорангидридов (фосгена); они очень реакциеспособны и вступают во все реакции, свойственные хлорангидридам органич. к-т. Так, водою и щелочами Х. э. гидролизуются с образованием соответствующего спирта, HCl и CO_2 (или хлористой и углекислой солей); со спиртами дают соответствующие карбонаты CO·OR·OR′; с аммиаком—уретаны NH_2·CO·OR; с аминами—алкилуретаны: $R\cdot NH_2+Cl\cdot CO\cdot OR'=HCl+RNH\cdot CO\cdot OR'$; с третичными аминами они образуют непрочные соединения, распадающиеся на амин, CO_2 и хлористый алкил RCl. При перегреве Х. э. распадаются по схеме $Cl\cdot CO\cdot OR\rightarrow RCl+CO_2$. Общий способ получения Х. э.—взаимодействие спиртов с фосгеном по ур-ию

$$CO\langle^{Cl}_{Cl}+ROH=HCl+CO\langle^{Cl}_{OR}$$

Необходимые условия этой реакции—низкая $t°$ и избыток $COCl_2$ в реакционной среде; при несоблюдении этих условий образуются гл. обр. карбонаты $CO(OR)_2$. Другой возможный способ получения Х. э.—хлорирование формиатов—в настоящее время не применяется.

Метилхлоркарбонат $Cl\cdot CO\cdot OCH_3$, уд. в. D^{15} = 1,236 и $t°_{кип.}$ 71,4°; легко гидролизуется. Для его технич. получения в хорошо охлаждаемый (ниже 0°) освинцованный реактор загружают жидкий фосген и при размешивании постепенно приливают обезвоженный метиловый спирт. Полученный эфир быстро промывают ледяной водой, сушат $CaCl_2$ и перегоняют. Неперегнанный продукт реакции содержит значительную (7÷15%) примесь диметилкарбоната $CO(OCH_3)_2$; выход хлоркарбоната равен 80÷90% теоретического. Метилхлоркарбонат применяется при окуривании помещений как предупредительная добавка к синильной к-те, цианугольному эфиру и другим сильно ядовитым инсектисидам, вводимая с целью придать этим веществам раздражающие свойства и тем облегчить их обнаружение в воздухе. Он служит также материалом для получения метилового эфира цианугольной к-ты $CN\cdot CO\cdot OCH_3$, важного инсектисида («циклон»); и для синтеза нек-рых душистых веществ (эфиры гептин- и октинкарбоновых к-т). Путем хлорирования из

него получаются монохлор-, дихлор- и трихлорметиловый эфиры хлоругольной к-ты, весьма токсичные соединения, которые (особенно трихлорметилхлоркарбонат $Cl\cdot CO\cdot OCCl_3$, т. н. дифосген) широко применялись в качестве боевых О. В. и вырабатывались в течение 1916—18 гг. в огромных количествах; о свойствах и применении этих соединений см. *Боевые отравляющие вещества*.

Этилхлоркарбонат $Cl\cdot CO\cdot OC_2H_5$, уд. вес $D_{15}^{15}=1{,}1449$, $t°_{кип.}$ 94° и $t°_{пл.}$ −80,6°; получается из фосгена и этилового спирта подобно метилхлоркарбонату; также употребляется в качестве добавки к инсектисидам и идет для получения цианугольного эфира $CN\cdot CO\cdot OC_2H_5$ и ряда фармацевтич. препаратов: уретана $NH_2\cdot CO\cdot OC_2H_5$, фенилуретана $C_6H_5\cdot NH\cdot CO\cdot OC_2H_5$, эйхинина (карбэтоксихинина) из хинина и др. В органич. синтезе $Cl\cdot CO\cdot OCH_3$ и $Cl\cdot CO\cdot OC_2H_5$ являются удобным средством для введения этерифицированной карбоксильной группы —CO·OR в молекулу любого вещества, причем эта группа может быть фиксирована при углероде, азоте либо кислороде. Высшие гомологи Х. э. почти не имеют технич. применения. Нек-рые из них служат промежуточными продуктами для синтеза сложных фармацевтич. препаратов; они изучались также со стороны их токсич. свойств в отношении насекомых-вредителей.

Лит.: Г. П. 118536, 118537, 251805, 254471, 282134, 297933; Фр. П. 497467; Ам. П. 1618824; Либерман Г., Химия и технология отравляющих веществ, 3 изд., Л., 1932; Кретов А. и Бакакина А., «Журн. прикл. химии», М., 1929, т. 2, стр. 809; Roese B., «Ann. der Chemie», Lpz., 1880, B. 205, p. 227; Hentschel W., «B», 1885, Jg. 18, p. 1177; Norris J., «I. Eng. Chem.», 1909, v. 11, p. 817; Capelli G., «Gazzetta chimica Italiana», Roma, v. 50, 2, p. 8; Roork R. a. Cotton R., «I. Eng. Chem.», 1928, v. 20, p. 512; Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 3, p. 358.

В. Янковский.

ХОДКОСТЬ судна, способность его под действием движителя (см. *Движители судовые*) развивать данную скорость хода. Для этого движитель должен развивать толкающее судно усилие, по величине равное и обратно направленное горизонтальной продольной составляющей воздействия воды и воздуха на судно при данной скорости, называемой сопротивлением судна. Т. о. сопротивление разделяется на сопротивление воздуха и имеющее у нормальных судов превалирующее значение сопротивление воды; первое определяется по обычным способам *аэродинамики* (см.), последнее входит в теорию корабля и составляет наиболее трудный и не поддающийся в надлежащей мере математическому анализу отдел ее. Гидродинамика несмотря на сильное развитие этой науки не может в полной мере разрешить выдвигаемые практикой вопросы, помогая лишь до некоторой степени их надлежащей установке и освещению. Поэтому в основном вопросы Х. базируются на экспериментальных данных, в особенности на работах англ. исследователя В. Фруда. До Фруда были разрозненные попытки освещения этого вопроса, не давшие какого-либо определенного метода установления мощности механизмов для достижения заранее определенной скорости движения судна. Позже Фруда ряд исследователей уточнил нек-рые спорные вопросы, но в основном метод Фруда остался до настоящего времени непоколебленным. Полное сопротивление R_n, оказываемое водою передвижению судна, Фруд разделил на три части: волновое $R_в$, водоворотное $R_{вр}$ и сопротивление трения $R_т$, т. е.

$$R_n = R_в + R_{вр} + R_т.$$

Вследствие разности давлений в оконечностях судна и в средней его части при движении судна на поверхности воды возникают волны. Эти волны из-за взаимного трения частиц воды будут постепенно исчезать, а на их место в волновое движение будут увлекаться новые массы воды. Образование волн требует постоянной затраты энергии, восполняемой работой движителя и выражаемой при данной скорости некоторой силой, называемой волновым сопротивлением. Чем больше скорость движения, тем бо́льшую часть от полного сопротивления составляет волновое сопротивление. Трение воды о подводную поверхность судна вызывает в ней частью поступательное движение, частью же вращательное. Последнее выявляется в виде мелких вихрей или водоворотов, возрастающих с увеличением скорости. Вместе с тем приходят в движение и далее отстоящие от корпуса судна струи воды, вследствие чего вокруг движущегося судна образуется как бы водяная оболочка, участвующая в общем его движении, но со значительно меньшей скоростью. Вследствие разности скоростей объем воды, увлеченной трением о подводную поверхность судна, отстает от него, за кормой образуется поток, следующий за судном и называемый попутным следом, или попутным потоком. Наряду с мелкими водоворотными движениями существуют водовороты, вызываемые формой движущегося судна. Причиной их является резкое изменение направления подводной поверхности судна, нарушающее при известных скоростях правильное обтекание водою судна. Нарушения формы обводов судна выражаются как в виде резкого обрыва поверхности (срез кормы), так и в очертаниях ватерлиний (выпуклости, впадины). Всякие выступающие части (кронштейны гребных валов, рули, ахтерштевни и т. п.) также являются причинами водоворотов. У морских судов с плавными обводами водоворотное сопротивление невелико и обычно не превышает 5—8% полного сопротивления. Отдельно водоворотное сопротивление не вычисляется и опытным путем не определяется, а всегда рассматривается совместно с волновым сопротивлением. Оба вида этих сопротивлений образуют вместе т. н. остаточное сопротивление $R_o = R_в + R_{вр}$. Т. к. вода обладает вязкостью и сцеплением, то при движении судна она оказывает на подводную поверхность касательное усилие. Последнее при прочих равных условиях будет тем больше, чем большей шероховатостью обладает подводная поверхность. Это касательное усилие, отнесенное ко всему судну, называется сопротивлением трения. При нормальных средних скоростях сопротивление трения играет доминирующую роль (при небольших скоростях 80—90% полного сопротивления).

Сопротивление трения. Изучение трения тел, движущихся в жидкостях, начинается с опытных исследований Кулона и Боффуа. Основание современного знания трения воды было положено В. Фрудом. Исследования сопротивления трения Фруд делил на три отдела: 1) на определение закона изменения *сопротивления в зависимости от скорости*; 2) на определение различия в сопротивлении в зависимости от состояния поверхности; 3) на определение различия в сопротивлении на единицу поверхности, зависящего от различия длин поверхности. Для устранения по возмож-

ности иных видов сопротивления (кроме трения) Фруд для опытов брал тонкие широкие доски разной длины (2—50 фт.) с заостренными концами и буксировал их под поверхностью воды в бассейне с различными скоростями. Поверхность досок покрывалась различными веществами, как то: лаком, парафином, коленкором, оловом и песком. Из опытов Фруд вывел, что сопротивление трения выражается ф-лой

$$r = fsv^n,$$

где r—сопротивление трения доски в англ. фн., s—полная поверхность доски в фт.^{2}, v—скорость в фт./ск., f и n—постоянные для данной доски, зависящие от длины и состояния поверхности. Коэф. трения f не зависит от давления и глубины погружения доски, изменяется пропорционально увеличению шероховатости поверхности и уменьшается с увеличением длины доски, причем для досок свыше 50 фт. длиною можно считать его при данном состоянии шероховатости постоянным. Показатель n для коротких досок равен 2, а для длинных несколько меньше. Фруд также установил, что плавные очертания подводной поверхности судна, покрытые ровным слоем краски, будут иметь то же сопротивление трения, что и парафиновые поверхности для моделей. Полученные результаты Фруд экстраполировал и для судов, имеющих длины, значительно превышающие длины досок, примененных для опытов, т. ч. сопротивление трения для судна выразил той же ф-лой (лишь все числовые значения д. б. отнесены к судну). Для перехода же к действительным судам необходимо было бы: а) довести испытания до длин в 300 $м$, б) довести испытания до скоростей, превышающих более чем в 4 раза наивысшие скорости, применявшиеся при опытах, в) сделать переход от плоских поверхностей к кривым для тел различной формы. По данным Фруда (переведенным в метрич. меры) для судов сопротивление трения в $кг$ выражается ф-лой

$$R_m = \lambda_c \gamma S v^{1,825} = 0{,}2973\, \lambda_c \gamma S V^{1,825},$$

где λ_c—коэф., зависящий от длины судна, γ—уд. в. воды в $кг/м^3$, S—смоченная поверхность судна в $м^2$, v—скорость судна в $м/ск$, V—тоже судна в узлах ($V = 1{,}944\, v$); значения коэфициента λ_c см. *Судостроительный опытовый бассейн*. Если подводная поверхность обшита медью, то λ_c можно уменьшить на 8%. Если она обросла ракушками, то λ_c может возрасти на 30% при увеличении показателя при v до 2. При обрастании поверхности водорослями λ_c может возрасти до 50%, но показатель при v не увеличится свыше 1,85—1,90. Из ряда последующих опытов над сопротивлением досок, произведенных с весьма улучшенными измерительными приборами и приемами, следует признать, что цифры, полученные Фрудом, являются заслуживающими полного доверия. Сюда относятся опыты Геберса, Мак-Энти, Тейлора и опыты Национального бассейна в Теддингтоне. По данным Геберса сопротивление трения в $кг$ выражается ф-лой

$$R_m = \lambda_1 \varrho v^2 S \left(\frac{vL}{\nu}\right)^{-0{,}125},$$

где λ_1—коэфициент, не зависящий от длины судна и равный 0,0103; ϱ—массовая плотность воды в $кг\ ск^2/м^4$, v—скорость судна в $м/ск$, S—смоченная поверхность в $м^2$, L—длина в $м$, ν—кинематическая вязкость в $м^2/ск$; значения ϱ и ν зависят от $t°$ и равняются:

для морской воды	при $t° =$	7°	13°	18° C
		$\varrho = 104{,}7$	104,6	104,5 $кг\ ск^2/м^4$
		$\nu \cdot 10^6 = 1{,}47$	1,23	1,08 $м^2/ск$
для пресной воды	при $t° =$	0°	10°	20° C
		$\varrho = 101{,}9$	101,9	101,7 $кг\ ск^2/м^4$
		$\nu \cdot 10^6 = 1{,}78$	1,30	1,00 $м^2/ск$

Опыты Кемпфа с трубами дали следующие результаты: а) средняя величина удельных сопротивлений значительно выше соответственных цифр Фруда, Геберса и др. экспериментаторов, б) если исключить из рассмотрения сравнительно небольшую длину (3—6 $м$) головного участка поверхности (эта длина зависит от очертаний носовой оконечности); то удельное сопротивление остальной части поверхности имеет постоянную величину, т. е. не зависит от положения рассматриваемого участка поверхности по длине трубы. Опыты Перринга (1925—26 гг.) показали, что удельные сопротивления хорошо согласуются с данными Геберса, но несколько понижены по сравнению с таковыми Фруда. Опыты Кемпфа на пароходе «Гамбург» (1927 г.) дали величины удельного сопротивления, значительно повышенные по сравнению с данными Геберса. В виде общего вывода можно отметить, что напряженная работа, к-рая ведется рядом испытательных бассейнов и научных работников, в ближайшее время *даст окончательное освещение* сопротивления, обусловленного действием касательных сил воды на поверхность судна. В настоящее время является наиболее целесообразным не слишком отходить в вычислениях сопротивления трения от имеющего за собой десятилетия практич. применения метода Фруда, особенно при внесении в него корректив, установленных работами Геберса, Перринга и Национального бассейна.

Для определения сопротивления трения необходимо знать величину подводной смоченной поверхности судна. Достаточно точный подсчет м. б. произведен измерением обводов всех шпангоутов от киля по данную грузовую ватерлинию и их суммированием по одному из правил приближенного интегрирования; кривизну поверхности (по Тейлору) учитывают, помножая полученную площадь на коэф. $k > 1$, величина которого в зависимости от отношений $L:B$ и $L:T$ (B—ширина по грузовой, T—наибольшая осадка) м. б. взята из диаграммы фиг. 1. При проектировании важно знать приблизительную величину поверхности раньше, чем будет изготовлен теоретич. чертеж. В этом случае можно пользоваться одной из следующих эмпирич. ф-л для определения величины смоченной поверхности S в $м^2$:

$$S = 1{,}52\, LT + (0{,}374 + 85\delta^2) LB \text{ (Норман)},$$

$$S = 2L\sqrt{\mathbb{X}} \text{ (Дюпре)},$$

$$S = L[0{,}15\delta U + 2T(1-\delta)] \text{ (Рот)},$$

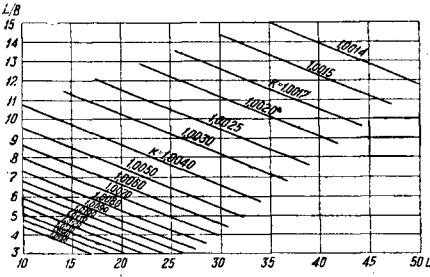
$$S = (1{,}7T + \delta B)L \text{ (Мумфорд)},$$

$$S = \frac{C}{5{,}92}\sqrt{DL} \text{ (Тейлор)}.$$

Во всех этих ф-лах L, B и T—длина, ширина и углубление судна, D—водоизмещение судна, U—периметр мидель-шпангоута, δ—коэф. полноты водоизмещения $\left(\delta = \frac{D}{L \cdot B \cdot T}\right)$, $\mathbb{X}$—площадь мидель-шпангоута. Лучшие результаты дают ф-лы Мумфорда и Тейлора. Значения коэф-та C для ф-лы Тейлора в зависимости от отношения $B:T$ и коэф-та полноты мидель-шпангоута β м. б. взяты с фиг. 2. Подводная поверхность получается в тех единицах, в каких подставляются размеры; при подстановке

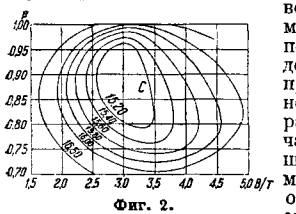
в ф-лу Тейлора D в фт.^{3} и L в фт. получим S в фт.^{2}, если же D выражено в английских тоннах и L — в футах, то необходимо коэфициент C умножить на 5,92.

Остаточное сопротивление. При обтекании вполне погруженного тела водою

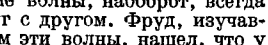


Фиг. 1.

давление последней в носовой и кормовой частях увеличивается, а в средней уменьшается. Если судно не вполне погружено, то свободная поверхность воды подвергается постоянному атмосферному давлению, почему увеличение давления в какой-нибудь точке воды вызывает подъем ее в этом месте выше уровня, а уменьшение давления вызывает образование впадин. Как повышение, так и понижение уровней вызовет образование волн, распространяющихся дальше по закону волновых движений (фиг. 3). Характер волн, образуемых носовой и кормовой оконечностями судна, трудно поддается наблюдению, так как при распространении волн, образуемых носовой частью, они смешиваются с кормовыми волнами, отчего их вид изменяется. Система волн, производимых движением судна в глубокой невозмущенной воде, состоит частью из поперечных частью из расходящихся волн, угол расхождения которых для одного и того же судна почти не зависит от скорости судна (фиг. 4). Расходящиеся носовые и кормовые волны будут взаимно параллельны и нигде друг с другом не сталкиваются. Поперечные носовые и кормовые волны, наоборот, всегда интерферируют друг с другом. Фруд, изучавший опытным путем эти волны, нашел, что у наклонных волн гребень более крутой, чем у поперечных. Профиль поперечных волн трохоидальный, и длина волны равна длине судна. Волны, возникающие на поверхности воды при движении судна, по своему характеру, свойствам и способу распространения не отличаются от волн, возникающих от ветра. На основании закона механич. подобия сравнение между естественными и искусственными волнами вполне возможно; для исследований применяется трохоидальная волна, профиль которой образован трохоидой. Теория трохоидальных волн дает удовлетворительное объяснение всех явлений движения морских волн. Теория была предложена Герстнером и детально разработана Ранкином и Фрудом. Волновое сопротивление судна можно определить по одной из следующих приближенных ф-л:



Фиг. 2.



Фиг. 3.

$$R_s = \frac{CD^{2/3}V^4}{L} \text{ кг или } R'_s = \frac{C_1 D_1^{2/3} V^4}{L_1} \text{ англ. фн.;}$$

$$R_s = 0{,}518 \cdot \frac{\delta D V^4}{L^2} \text{ кг или}$$

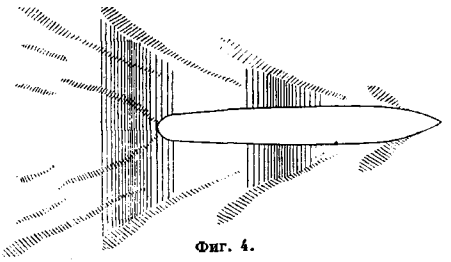
$$R'_s = 12{,}5\,\frac{\delta D_1 V^4}{L_1^2} \text{ англ. фн. (Тейлор);}$$

$$R_s = [0{,}787 + 46{,}1(\varphi - 0{,}53)^2]\,\frac{B^2 T}{L^2} V^4 \text{ кг или}$$

$$R'_s = [0{,}53 + 31(\varphi - 0{,}53)^2]\,\frac{B_1^2 T_1}{L_1^2} V^4 \text{ англ. фн.}$$

(Ховгард);

обозначения в ф-лах прежние соответственно в англ. (D_1, L_1, B_1, T_1) или метрич. мерах (D, L, B, T), φ — коэф. продольной остроты,



Фиг. 4.

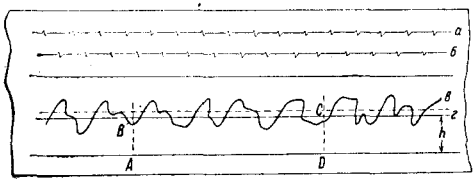
равный $\delta : \beta$, где β — коэф. полноты мидель-шпангоута, а δ — коэф. полноты водоизмещения. Значения коэф. C и C_1 даны в табл. 1.

Табл. 1.—Значения коэфициентов C и C_1 в формуле волнового сопротивления.

Тип судна	C	C_1
Тихоходные грузовые пароходы	0,0616—0,0685	0,45—0,50
Линейные корабли и пассажирские пароходы	0,0548—0,0615	0,40—0,45
Крейсеры и быстроходные пассажирские пароходы	0,0480—0,0548	0,35—0,40
Легкие крейсеры и миноносцы	0,0411—0,0480	0,30—0,35

Наиболее точный способ определения остаточного сопротивления судна дан Фрудом и состоит в определении волнового сопротивления модели судна и пересчете полученных результатов на натуру. Этот способ основан на законе механич. подобия (см. *Теория подобия*). Он же доказал, что волновые системы судна и его модели при соответствующих скоростях будут подобны. Если отношение размеров судна к модели будет α, а отношение скорости судна к скорости модели $\sqrt{\alpha}$, то волновое сопротивление судна R_s будет в α^3 раз больше такового же для модели, к-рая д. б. вполне подобна судну как по размерам, так и в весовом отношении, для чего перед буксировкой модели последняя загружается до требуемого веса мешочками с песком. Перед опытом приблизительно определяется наибольшая и наименьшая величины ожидаемого сопротивления модели. Накладывая грузы, соответствующие ожидаемым сопротивлениям, на чашки весов тележки, проводят на бумаге регистрирующего приспособления оси, относительно которых ориентируется ки-

вая сопротивления. Затем с заранее выбранной скоростью буксируется модель (см. *Судостроительный опытовый бассейн*). Когда скорость тележки установится, включаются сопротивление модели и регистрирующие приборы. После пробега на бумаге прибора получится диаграмма (фиг. 5), на к-рой линия *а* отмечает

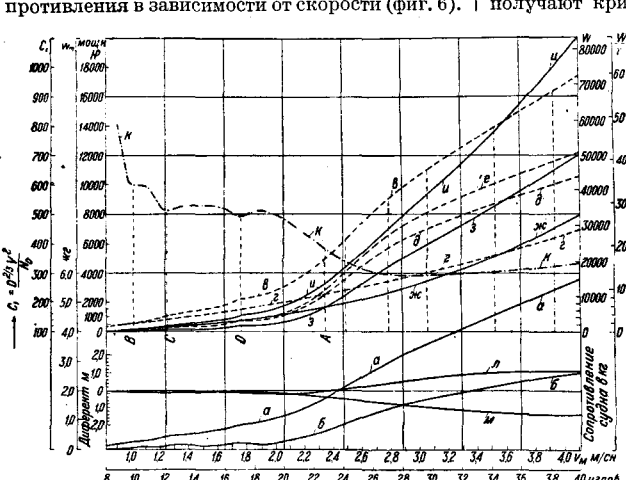


Фиг. 5.

путь тележки (обычно через 4 *м*), *б*—время (0,5 ск.), а *в*—сопротивление модели сравнительно с ожидаемым (линия *г*). Для определения величины сопротивления выбирается часть диаграммы (обычно длиною 32 *м*) и проводятся крайние ординаты AB и CD. Планиметром измеряется площадь f прямоугольника $ABCD$ и площадь F, ограниченная осью AD, крайними ординатами AB и CD и кривой сопротивления *в*. Тогда

$$r = h + \Delta h = h + \left(\frac{F-f}{f}\right) h,$$

где h—ожидаемое сопротивление, Δh—разница между истинным и ожидаемым сопротивлением. Получив после ряда пробегов с различными скоростями, включая и максимальную, величины сопротивлений модели, строят кривую сопротивления в зависимости от скорости (фиг. 6).



Фиг. 6.

Так как закону подобия подчиняется лишь остаточное сопротивление, то из полученного опытом полного сопротивления модели *r* вычитается сопротивление трения; помножая полученное остаточное сопротивление модели на куб линейного коэф. подобия a^3, показывающего, во сколько раз корабль больше модели, получаем величину волнового сопротивления судна при подобной скорости хода в узлах $V = 1{,}946 v_м \sqrt{a}$, где $v_м$—скорость модели в *м/сек*. Прибавляя к ней сопротивление трения судна, вычисленное по одной из формул, приведенных выше, получаем общее сопротивление судна при данной скорости хода. Основные ф-лы и соответствующие коэф-ты трения судна и модели см. *Судостроительный опытовый бассейн*.

На фиг. 6 изображена сводная диаграмма испытаний модели и пересчета на натуру миноносца водоизмещением 1 080 *т*, при коэф. подобия $a = 25$; на фиг. 6 обозначают: *а*—общее сопротивление модели w_m, *б*—остаточное сопротивление модели, *в*—общее сопротивление судна W, *г*—сопротивление трения судна, *д*—остаточное сопротивление судна, *е*—сопротивление судна в *кг* на 1 *т* водоизмещения $\frac{W}{t}$, *жс*—мощность сопротивления трения в HP, *з*—мощность волнового сопротивления в HP, *и*—общая эффективная мощность в HP движителя без учета его кпд, *к*—адмиралтейский коэф. мощности от водоизмещения $C_1 = \frac{D^{2/3} V^3}{N_0}$, где N_0—общая мощность в HP, *л* и *м*—диференты носом и кормой при соответствующей скорости хода, *А*—экономич. скорость хода, *B*, *C* и *D*—скорости, при к-рых имеет место резонанс носовой и кормовой волн и вследствие этого увеличение сопротивления судна. Путь построения диаграммы следующий: от кривой *а* откладывают вниз сопротивления трения r_m модели и получают кривую *б*; увеличивая ее в a^3 раз и изменяя масштаб абсцисс в отношении $V = 1{,}946 v_м \sqrt{a}$, получают кривую остаточного сопротивления судна *д*; прикладывая к ней ординаты вычисленной особо кривой сопротивления трения *г*, получают кривую общего сопротивления судна *в* в *кг*; помножая каждую ординату кривых *б*, *в* и *г* сопротивлений судна на 0,0006859 V, получают соответствующую мощность в HP. Изменения диферента, наблюдаемые на модели, помноженные на *а*, дают соответственные значения для судна при подобных скоростях хода. Остаточное сопротивление подвергается достаточно достоверному математическому анализу. Мичель дает аналитическое вычисление его при весьма небольшом круге допущений, если только обводы судна заданы аналитич. ур-иями. Решение Мичеля в свое время ускользнуло от внимания специалистов. Лишь после использования Гавелоком (1928 г.) метода Мичеля последний привлек к себе всеобщее внимание. Виглей (1926 г.) приводит кроме ряда теоретич. выкладок, относящихся к методу Мичеля, также результаты фактич. испытаний трех моделей. Общие выводы из опытов Виглея таковы: 1) метод Мичеля дает весьма хорошие количественные результаты; 2) качественный характер кривых чрезвычайно хорошо отвечает действительности; 3) в среднем вычисленные по Мичелю волновые сопротивления несколько меньше фактически наблюденных величин. Морской инж. Г. Павленко (1928 г.) показал, что метод Мичеля может быть доведен до числового

результата не только для обводов, задаваемых аналитич. ур-ием, но и при обводах, заданных графически теоретическ. чертежом судна. Объем требующихся при этом вычислений хотя и значителен, все же не выходит из привычных для инженера рамок подсчетов, напр. при подсчетах килевой качки. Отметим, что кривая волнового сопротивления не идет плавно вверх, но с увеличением скорости имеет выступы и впадины, обусловленные главным образом резонансом и интерференцией носовой и кормовой волновых систем.

Определение мощности механизмов. Основным вопросом X. является определение мощности механизмов, потребной для сообщения судну данной скорости.

Для определения мощности механизмов могут служить следующие способы. 1) Способ непосредственного вычисления составных частей мощности. Как известно, мощность определяется произведением из силы на скорость по направлению силы. Полное сопротивление вычисляется по приближенным ф-лам в отдельности для каждого вида сопротивления. Эффективная мощность в HP определится ф-лой

$$N_e = 0{,}00307\, R_n' V = 0{,}006859 R_n V,$$

где R_n' и R_n—полное сопротивление судна в англ. и метрич. мерах. Надежного результата этот способ не дает. 2) Способ адмиралтейских коэф-тов. Индикаторная мощность механизмов м. б. определена по одной из следующих ф-л:

$$N_u = \frac{D^{2/3} V^3}{C_1}; \quad N_u = \text{⊠} \frac{V^3}{C_2}.$$

Здесь D—водоизмещение в m, V—скорость в узлах, ⊠—площадь погруженной части мидель-шпангоута в $м^2$, C_1—адмиралтейский коэф. от водоизмещения, C_2—адмиралтейский коэф. от миделя. Коэф-ты C_1 и C_2 нужно брать из опытов с судами. Применение адмиралтейских коэфициентов может дать надежные результаты лишь тогда, когда судно, взятое для сравнения, подобно проектируемому, причем скорости д. б. соответствующими, т. е. находиться в отношении $\sqrt{a}$. Если брать величину адмиралтейских коэф-тов для судов, сильно различающихся по форме и не при соответствующих скоростях, то получаются ненадежные результаты. Способ адмиралтейских коэф-тов давал хорошие результаты прежде, когда скорости были невелики и не было столь большого разнообразия в типах судов, как в настоящее время. При применении английских мер данные в табл. 2 значения коэф-тов C_1 и C_2 необходимо помножить: C_1 на 1,0014, C_2 на 10,894. Во Франции находит еще применение адмиралтейский коэф. от миделя, к-рому придается такой вид:

$$N_u = \text{⊠} \left(\frac{V}{m}\right)^3,$$

где m—коэф. утилизации. Значения коэф. C_{1e}, C_{2e} и m_e для вычисления эффективных мощностей N_e, а также L, D, ⊠, V, соответствующие N_e и $\frac{N_e}{D}$, для ряда судов различных типов приведены в табл. 2. 3) Способ определения мощности по одной из эмпирич. ф-л. Для определения мощности механизмов был предложен ряд эмпирических ф-л. Все формулы применимы лишь в пределах тех скоростей, которыми обладали суда в момент вывода их. Приводим некоторые из них.

1. Ф-ла Афанасьева:

$$N_e' = 1\,000 \left(\frac{V}{A}\right)^{10/3} \left(\frac{D_1^2}{kL_1}\right)^{1/3}.$$

$$N_e = 675 \left(\frac{V}{A}\right)^{10/3} \left(\frac{D^2}{kL}\right)^{1/3}.$$

Здесь длина: L_1—в фт., L—в $м$; водоизмещение: D_1—в англ. тоннах, D—в m; мощность: N_e'—в англ. HP, N_e—в метрич. л. с.; V—скорость в узлах; $k = \frac{L}{B}$ — отношение длины судна по грузовой ватерлинии к наибольшей его ширине; A—практич. коэф. (характеристика), принимаемый для полированных винтов равным 24,5, для неполированных—25. В ф-ле после подстановки исключается влияние длины судна; последняя играет большую роль в сопротивлении. Для судов водоизмещением до 15 000 m и со скоростью до 20 узлов ф-ла дает хорошие результаты. 2. Ф-ла Ховгарда:

$$N_e' = 0{,}00307 \left\{0{,}062\ \lambda_e S_1 V^{2,83} + \right.$$

$$\left. + [0{,}53 + 31(\varphi - 0{,}53)^2] \frac{B_1^2 T_1}{L_1^2} V^5 \right\} \text{ англ. HP},$$

$$N_e = 0{,}006859 \left\{0{,}2973\ \lambda_e S V^{2,825} + \right.$$

$$\left. + [0{,}787 + 46{,}1(\varphi - 0{,}53)^2] \frac{B^2 T}{L^2} V^5 \right\} \text{ метрич. л. с.}$$

В ней отдельно учитывается сопротивление трения и волновое сопротивление в зависимости от обводов судна, т. ч. получаются хорошие результаты. Значение букв приводилось выше. 3. Ф-ла Тейлора:

$$N_e' = 0{,}00307 \left[0{,}062 \lambda_e S_1 V^{2,825} + 12{,}5 \frac{\delta D_1 V^5}{L_1^2}\right] \text{англ. HP},$$

$$N_e = 0{,}006859 \left[0{,}2973\ \lambda_e S V^{2,825} + 0{,}518 \frac{\delta D V^5}{L^2}\right]$$

метрич. л. с.

Значение букв приводилось выше. Формула дает очень хорошие результаты, если скорость в узлах не превосходит $\sqrt{L_1}$ фт. Она является одной из позднейших по времени появления. 4) Способ испытания моделей. Определив испытанием модели сопротивление ее движению и сделав пересчеты на судно, нетрудно вычислить эффективную мощность, зная, что последняя равна сопротивлению, умноженному на скорость. 5) Способ определения мощности по диаграмме Тейлора. Чтобы иметь возможность пользоваться результатами исследований для судов различного водоизмещения, различной длины и при различных скоростях и непосредственно сравнивать их, необходимо привести их к одному показателю водоизмещения, длины и скорости. Для этой цели Тейлор выбрал следующие основные переменные: а) сопротивление выражается в фн. на англ. тонну водоизмещения $\frac{R}{D}$, б) сопротивление приводится к длине в 100 фт. введением переменной $\frac{D}{\left(\frac{L}{100}\right)^3}$, называемой показателем длины, в) скорости подобных судов пропорциональны $\sqrt{L}$, почему вводится переменная $\frac{V}{\sqrt{L}}$, называемая показателем скорости. Для вычисления сопротивления трения Тейлор применил ф-лу Фруда, причем подводную поверхность вычислял по своей ф-ле (см. выше). Одновременно Тейлор дает диаграмму для вычисления коэф-та C в зависимости от отношения

Табл. 2.—Значения коэфициентов сопротивления и основные данные судов различных типов.

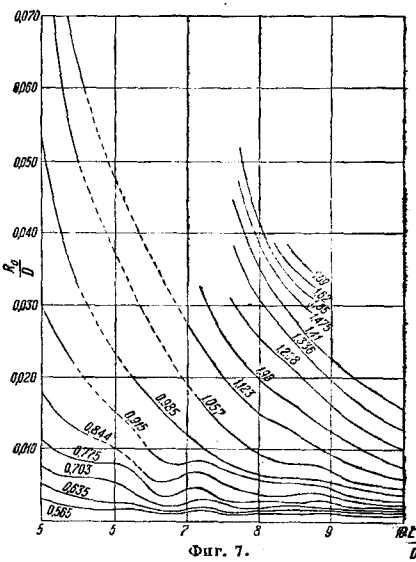
№	Тип судна	L в $м$	D в $т$	∇ в $м^3$	V в узлах	N_e в IP	$\frac{N_e}{D}$	C_{1e}	C_{1e}	m_e
1	Трансатлантический экспресс	280,0	57 700	322,0	23,2	61 800	1,07	65	302	4,02
2	» » »	202,0	22 900	166,5	23,5	37 800	1,65	61	298	3,94
3	» » »	190,5	21 385	148,7	22,0	27 000	1,26	64	327	4,00
4	Большой пассажирский пароход	194,0	22 100	165,0	18,0	17 200	0,78	60	287	3,93
5	» » »	193,0	23 200	165,8	15,0	9 300	0,40	65	315	4,02
6	» » »	170,0	17 250	139,6	18,5	10 600	0,61	64	305	4,00
7	» » »	136,5	13 175	125,3	13,5	4 800	0,36	69	308	4,10
8	» » »	121,4	10 340	114,2	11,5	2 500	0,24	77	322	4,25
9	Малый пассажирский пароход	69,5	2 200	44,3	10,0	1 050	0,48	50	190	3,68
10	Пассажирский пароход для перевозки через Ламанш	92,0	1 915	32,3	20,0	5 600	2,92	46	220	3,59
11	Пассажирский пароход для перевозки через Ламанш	83,8	1 695	33,2	20,0	5 400	3,19	49	211	3,66
12	Паровая яхта	121,9	5 710	63,7	15,0	3 700	0,65	61	307	3,97
13	»	116,6	4 260	65,3	21,5	9 650	2,27	72	291	4,16
14	Большой грузовой пароход	170,7	24 800	173,0	13,5	5 460	0,22	86	418	4,43
15	» » »	152,4	21 115	163,0	12,0	4 000	0,19	76	359	4,23
16	» » »	131,1	12 400	115,4	11,0	2 500	0,20	69	316	4,10
17	» » »	105,2	7 985	89,7	11,0	1 700	0,21	80	357	4,31
18	Малый грузовой пароход	88,1	4 580	68,1	10,5	1 225	0,27	70	305	4,12
19	» » »	79,8	3 400	59,9	9,0	700	0,21	76	288	4,23
20	» » »	62,1	1 780	37,3	9,0	440	0,25	79	307	4,29
21	» » »	47,3	940	29,4	8,0	350	0,37	55	181	3,80
22	» » »	37,8	320	13,5	9,0	260	0,81	50	172	3,68
23	Малый каботажный пароход	32,0	130	6,9	12,0	225	1,73	71	263	4,14
24	» » »	26,0	66	4,1	12,0	220	3,33	43	172	3,50
25	Промысловый пароход	41,0	445	17,0	10,9	490	1,10	57	194	3,85
26	Буксирный пароход	40,0	390	17,2	11,0	350	0,90	84	262	4,38
27	» »	35,0	340	16,1	12,1	520	1,53	67	203	4,06
28	» »	15,2	48	5,2	9,1	150	3,13	36	91	3,30
29	Ледокол	47,2	890	29,8	9,5	500	0,56	64	200	4,00
30	Речной товарный винтовой пароход	60,0	481	9,4	7,3	205	0,43	24	156	2,88
31	Речной колесный пассажирский пароход	62,0	325	7,1	9,9	503	1,55	18	114	2,64
32	Речной колесный пассажирский пароход	40,5	100	3,2	11,1	250	2,50	24	157	2,88
33	Речной колесный товарный пароход	67,0	550	9,3	7,2	382	0,69	12	85	2,29
34	Речной колесный буксирный пароход	50,0	300	7,3	10,3	620	2,07	16	98	2,52
35	Речной колесный буксирный пароход	40,0	212	6,9	10,5	300	1,42	35	179	3,27
36	Речной пароход с кормовым колесом	46,8	144	3,8	9,0	210	1,46	17	128	2,57
37	Речной пароход с кормовым колесом	22,8	43	2,4	8,0	80	1,86	24	125	2,88
38	Паровой баркас	15,0	23	2,6	8,0	65	2,83	32	107	3,17
39	Линейный корабль	175,3	26 000	239,8	22,1	46 000	1,78	56,5	205	3,83
40	Большой крейсер	196,8	24 000	222,7	27,5	63 000	2,62	73,5	275	4,18
41	Малый крейсер	140,5	4 900	60,9	28,0	30 000	6,07	45,0	213	3,55
42	Большой миноносец	101,8	1 800	27,7	35,7	40 000	22,2	31,6	168	3,16
43	Малый »	76,3	700	11,6	32,5	20 000	28,6	25,0	135	2,93
44	Подводная лодка над водой	82,0	1 128	22,0	14,7	2 400	2,13	29	143	3,08
45	» » под »	82,0	1 863	36,7	8,5	1 100	0,59	20	84	2,74

$\frac{D}{\left(\frac{L}{100}\right)^3}$ и коэф-та полноты миделя μ или в зависимости от изменения μ и отношения $\frac{B}{T}$. Для вычисления сопротивления трения для судна Тейлор дает диаграмму, в к-рой в зависимости от показателя скорости $\frac{V}{\sqrt{L}}$ и показателя длины $\frac{D}{\left(\frac{L}{100}\right)^3}$ можно непосредственно получить сопротивление трения на 1 англ. тонну водоизмещения для судна в 500 фт. длиною. Остальные размеры и характер обводов при этом таковы, что коэф. C получается равным 15,4. Если C имеет другое значение, определяемое из диаграммы, то вводится поправочный множитель. Так же поправочный множитель вводится, если судно имеет длину, отличающуюся от 500 фт. Таким путем определяется $\frac{R_m'}{D}$. Для определения величины остаточного сопротивления Тейлор взял нормальный (стандартный) теоретический чертеж. Исходя из него, было изготовлено 80 моделей, причем изменились отношение $\frac{B}{T}$, показатели длины $\frac{D}{\left(\frac{L}{100}\right)^3}$ и коэф. продольной остроты φ. Отношений $\frac{B}{T}$ было взято 2, именно 2,25 и 3,75. Каждая из 80 моделей была испытана в бассейне, и остаточное сопротивление в фн. на англ. тонну водоизмещения было дано в диаграммах. Каждая диаграмма остаточного сопротивления дана для определенного отношения $\frac{B}{T}$ и $\frac{V}{\sqrt{L}}$. Кривые на ней дают значения сопротивления для целого ряда значений коэф-та продольной остроты φ и отношений $\frac{D}{\left(\frac{L}{100}\right)^3}$, встречаемых на практике. Для применения кривых при отношениях, отличающихся от приведенных на диаграммах, применяется интерполяция, что заменяет испытание промежуточных моделей. Имея из диаграммы значения сопротивления трения $\frac{R_m'}{D}$ и остаточного сопротивления $\frac{R_0'}{D}$ на англ. тонну водоизмещения, нетрудно вычислить и полное сопротивление. Для перехода от сопротивления к мощности

в англ. HP вводится множитель 0,00307 DV. Теория Тейлора и его диаграммы изложены в его ценном труде D. W. Taylor, The Speed and Power of Ships. Пользование диаграммами Тейлора дает почти такую же точность определения мощности механизмов, как и испытания в бассейне модели. Применять этот способ нужно с нек-рой осторожностью, обращая внимание на пределы допущений и учитывая некоторые недостатки его, так как наилучшие результаты получатся для тех судов, которые более или менее похожи на прототипы, испытанные Тейлором. Способ незаменим при первоначальных прикидках мощности, а также при проектировании судов в институтах, когда испытание моделей вследствие материальных затруднений невозможно.

На фиг. 7 приведены (по Ch. Doyère'y) кривые остаточного сопротивления в m на одну m водоизмещения $\left(\frac{R_0}{D}\right)$ в зависимости от остроты судна, выражаемой отношением $\frac{L\gamma^{1/3}}{D^{1/3}}$ (где γ — уд. в. воды, равный 1,00 для пресной и 1,02÷1,03 для морской воды) для различных значений подобных скоростей $v(g^3D)^{-1/6}$.

Зависимость сопротивления судна от основных размерений судна. Коэф. трения λ_0 и показатель степени n уменьшаются с увеличением длины судна в весьма незначительной мере. Поэтому сравнительно тихоходным судам, для к-рых доминирующее значение имеет сопротивление трения, придают меньшую длину, так как при этом уменьшается величина смоченной площади S. Остаточное сопротивление при равном водоизмещении уменьшается с увеличением длины. С увеличением скорости влияние длины увеличивается, что приводит к росту длины у быстроходных судов несмотря на то, что это вызывает увеличение сопротивления трения. Т. к. сопротивление трения пропорционально квадрату скорости, а остаточное сопротивление пропорционально четвертой степени скорости, то экономия в остаточном сопротивлении для более длинных судов при больших скоростях поглощает увеличение сопротивления трения. При достижении некоторого предела (около 250 *м*) полное сопротивление начинает увеличиваться с увеличением длины. Рост скорости у современных, особенно военных, судов вызывает увеличение их длины. Но по ряду соображений этот рост длины ограничивается в сравнении с ростом скоростей. Увеличение относительной скорости, характеризуя сравнительное укорочение судна, свидетельствует о том, что сопротивление современных судов приближается к наиболее невыгодной области в отношении достижения скорости, т. е. к горбу кривой сопротивления. Стремление к достижению больших скоростей заставило конструкторов обращать наибольшее внимание на уменьшение остаточного сопротивления. Первым способом является заострение оконечностей, вторым — введение цилиндрич. вставки в средней части судна. При малых скоростях введение такой вставки всегда уменьшает остаточное сопротивление. При больших скоростях вставка вызывает увеличение остаточного сопротивления, а для средних скоростей для каждого коэфициента продольной остроты φ имеется такая длина вставки, которая отвечает минимальному остаточному сопротивлению. Еще В. Фруд установил, что носовые шпангоуты должны иметь форму **U**, а кормовые форму **V**. Опыты Тейлора подтвердили выводы Фруда. Образующееся при движении судна вокруг носа повышенное давление, сосредоточенное благодаря **U**-образным шпангоутам глубоко под водой, в большей степени направляет струи воды под днищем к корме в область пониженного давления для заполнения пространства за кормой и в меньшей степени к поверхности. Вследствие этого при **U**-образных носовых шпангоутах получается меньшее волнообразование. Широкая плоская корма способствует этому движению струй под днищем. **U**-образные кормовые шпангоуты, как показали опыты, менее выгодны, чем шпангоуты **V**-образной формы, а также и чем

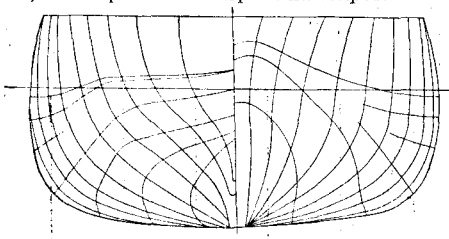


Фиг. 7.

плоская корма. Для малых скоростей (до $V = 0{,}6\sqrt{L}$), когда волновое движение не имеет существенного значения, выгода **U**-образного носа менее ощутима, т. ч. судно с подрезанным носом и расширяющимися носовыми шпангоутами **V**-образной формы показывает лучшие результаты.

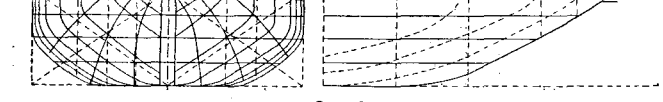
В последнее время начинает применяться каплеобразная форма носа. Эта форма была впервые предложена также В. Фрудом, к-рый подобным утолщением крайней носовой оконечности создавал фальшивую носовую волну, в подошве к-рой должен был локализоваться гребень главной носовой волны, чтобы добиться хотя бы частичной нейтрализации носового волнообразования. Каплеобразная форма носа является развитием **U**-образования носовых шпангоутов, поэтому имеет все те преимущества в смысле направления струй под днищем к корме, какие отмечались выше. Положительное влияние каплеобразной формы носа наиболее ощутимо при скоростях $(1{,}0 \div 1{,}2)\sqrt{L}$, причем уменьшение сопротивления достигает до 10%. Капля должна помещаться ниже грузовой ватерлинии вблизи киля; выше грузовой форштевень м. б. прямым вертикальным. На последних герм. и итал. военных кораблях применена каплеобразная форма носа. Точно так

же на новейших трансатлантических пароходах «Бремен» и «Европа» имеется капля (см. *Судостроение*). С увеличением отношения ширины судна к углублению от 1,79 до 4,03 увеличивается и полное сопротивление в зависимости от скорости в пределах 15 ÷ 25%. Увеличение углубления влечет уменьшение смачиваемой поверхности, а следовательно и сопротивления трению, но при условии, что это увеличение не связано со значительным уменьшением длины, т. к. при этом выигрыш на сопротивлении



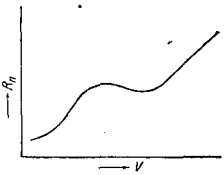
Фиг. 8.

трения поглотится потерей на остаточном сопротивлении. Остаточное сопротивление уменьшается с увеличением углубления. Диферент судна на корму имеет положительное влияние на сопротивление, хотя размеры этого влияния невелики. Это влияние объясняется улучшением обтекания поверхности наклоненного на корму судна. Вместе с тем диферент на корму способствует лучшей работе винтов. В последнее время начала применяться особая форма подводной части судна, предложенная еще до начала империалистической войны инж. Майером. По данным Гамбургского бассейна она уменьшает полное сопротивление до 20%. На фиг. 8 показаны проекции струй на корпусе для нормальных обводов. Струи имеют искривленную форму и благодаря этому путь частиц воды вдоль судна увеличивается, вследствие чего увеличивается сопротивление трения. Энергия же, необходимая на отклонение струй от кратчайшего пути, увеличивает и полное сопротивление. Придание судам таких обводов, чтобы струи были возможно спрямлены и частицы воды шли по кратчайшим путям, должно привести к уменьшению сопротивления. Из фиг. 9 видно, что при обводах Майера струи значительно спрямлены. Все шпангоуты в форме Майера параллельны между собою и наклонны по всей длине на один угол. Кормовая и носовая половины симметричны между собою. Ц. т. отдельных половин шпангоутов должны находиться по возможности на одной прямой, причем проекции носовой и кормовой половин ее на корпусе должны совпадать. Кроме спрямления и укорочения струй форма Майера имеет еще следующие преимущества. Подводная поверхность уменьшается до 7%, что влечет за собою уменьшение сопротивления трения. Особенное значение имеет форма форштевня в связи с треугольной формой шпангоутов, которая создает благоприятные условия для входа носа в воду и уменьшает волнообразование в носу. Обычная для нормального судна водяная гора впереди его форштевня у формы Майера отсутствует почти совершенно. Кормовые волны также значительно меньше. Остальные мореходные качества судна, имеющего обводы Майера, также повышаются. Кроме того простота форм шпангоутов и уменьшение числа листов наружной обшивки с поверхностью двоякой кривизны облегчают постройку судов с этими обводами.



Фиг. 9.

Суда быстроходные и глиссирующие. При скоростях $V \cong 1{,}5\sqrt{L}$ происходит наложение вершин носовых и кормовых волн, вызывающее увеличение волнообразования, а следовательно и сопротивления. Но за этим пределом система носовых волн, удлиняясь, продвигается в корму и начинает постепенно интерферировать с кормовой системой, т. ч. высота волн за кормою начинает уменьшаться. Пока это уменьшение не будет поглощаться ростом расходящихся волн, относительное полное сопротивление будет уменьшаться. Кривая полного сопротивления примет вид, представленный на фиг. 10. Чем длиннее носовая часть корпуса и более пологи линии батоксов, тем меньше влияние расходящихся волн и тем резче скажется влияние интерференции поперечных волн. Большое значение при больших скоростях имеет форма кормовых батоксов. Пологая их форма создает хороший подвод струй воды к винтам. С возрастанием скорости от $V = 2{,}5\sqrt{L}$ до $V = 4{,}0\sqrt{L}$ единственным средством для уменьшения сопротивления является уменьшение волнообразования вообще. Для этого необходимо, чтобы поверхности встречи с водой имели возможно удобные пологие углы и наименьшую кривизну обводов, по к-рым направляются естественным ходом струи воды. У *глиссеров* (см.) эти струи направляются вдоль батоксов и скулы. Плоские пологие батоксы для глиссеров необходимы, подъем же батоксов в корме нежелателен, т. к. это вызовет всасывающее действие кормовых обводов, увеличение попутного потока, а следовательно увеличение сопротивления. Во всех судах струи воды, направляющиеся под днище в корму, дают вертикальную составляющую, действующую снизу вверх на днище судна. Для глиссеров с увеличением скорости вертикальная составляющая принимает значительную величину, и если обводы судна имеют соответствующую форму для ее использования, то судно поднимается из воды, т. ч. вес вытесняемой им воды меньше его веса. Использование глиссеров для военных целей побудило все морские державы усиленно заняться этим родом судов и добиться за короткий срок больших результатов. Но это же обстоятельство заставляет держать в строгой тайне достижения, так что



Фиг. 10.

в литературе найти указания относительно формы и зависимости между их элементами невозможно. Полное сопротивление буксируемой под различными углами диферента пластины уменьшается по мере его увеличения, достигая минимума при 4—6°, а затем растет, ассимптотически приближаясь к нек-рой прямой. Бекер дает зависимость между водоизмещением d_1 в англ. фн. (d в *кг*) модели, площадью несущей поверхности s_1 в кв. фт. (s в $м^2$) и скоростью v_1 в фт./ск. (v в *м/ск*) в форме ур-ния:

$$\frac{d_1}{s_1} = 0{,}12v_1^2;\ \frac{d}{s} = 6{,}3v^2.$$

Формулировка наиболее точна в пределах *наивыгоднейшего угла встречи*, т. е. 3—5°. В отношении дореданной части глиссера имеются 2 противоположных требования: она должна улучшать глиссирующие его свойства и удовлетворять требованиям мореходности. Для первого необходимо наиболее плоское образование днища, т. к. вертикальная составляющая получается больше, достигая максимума при совершенно плоском днище. Мореходные же качества плоского образования неудовлетворительны. Необходимость разрезания и разбрасывания на стороны *встречной волны*, требования сухости палубы глиссера при этом и его устойчивости на курсе приводят к заострению днища внизу с развалом наверху у палубы, что не вяжется с требованиями глиссирования. В противоположность носовой зареданная часть может быть вполне плоской. Относительно формы и высоты редана нет определенных данных. Имеются лишь указания, что форма редана должна обеспечивать свободный доступ воздуха в реданный угол для выхода глиссера на редан. Расположение зареданного днища *д. б.* таково, чтобы достигалось наименьшее обрызгивание его струями воды, срывающимися с редана. Вычисление сопротивления не имеет той определенности, как для обычных судов. До выхода на редан величина сопротивления определяется так же, как и для обычных судов. К моменту выхода глиссера на редан сопротивление достигает максимума, и движение его принимает толкущийся характер. С переходом в глиссирующее состояние наступает успокоение в движении, и величина сопротивления оказывается пропорциональной скорости в степени < 2.

Лит.: Погодин А., Судовые двигатели, СПБ, 1908; Фан-дер-Флит А., Теория корабля, ч. 2, СПБ, 1913; Костенко В., Теория корабля, Сопротивление воды движению судов, Л., 1926; Найденов В., Теория корабля, Сопротивление судов, Одесса, 1928 (лит.); Яковлев С., Кораблеустройство и тримное дело, ч. 1.—Теория корабля, Л., 1928; Харитонович Б., Сопротивление воды движению судов, Л., 1931 (лит.); Pollard J. et Dudebout A., Architecture navale, Théorie du navire, t. 1—4, Paris, 1890—94; Froude W., Experiments on Surface Friction Experienced by a Plan Moving through Water, «Br. Ass. Rep.», L., 1874—1877; Rankine M., On Plate Water-Lines in Two Dimensions, «Transactions of the Institution of the Naval Architects», London, 1864; Taylor D., On the Ship-Shaped Stream Forms, ibid., 1894; Taylor D., The Speed a. Power of Ships, v. 1—2, N. Y., 1910; Havelock T., Theory of Ship Waves a. Wave Resistance, «Proc. Roy. Soc.», L., 1908, 1925; Baker G., Ship Form Resistance a. Screw Propulsion, 2 ed., L., 1920; Telfer E., Ship Resistance Similarity, «Transactions of the Institution of the Naval Architects», 1927; Perring G., Some Experiments upon the Skin Friction of Smooth Surfaces, ibid., 1926; Wigley W., Ship Wave Resistance, ibid., 1926; Tutin J., The Analysis of Ship Resistance, ibid., 1928; Nicolson D., Design a. Construction of High-Speed Motor Boats, ibid., 1927; Michell J., «Philosophical Magazine», L., 1898; Doyère Ch., Contribution à l'étude de la résistance à la marche d'un navire, P., 1918; Gebers F., Ein Beitrag zur experimentellen Ermittelung des Wasserwiderstandes gegen bewegten Körper, «Schiffbau», B., 1908; Kempf G., Neuere Erfahrungen im Schiffsbau-Versuchswesen, Jahrbuch der Schiffbautechn. Gesellschaft, B. 26, B., 1927; Horn, Theorie des Schiffes, Hndb. d. physikalischen u. technischen Mechanik, hrsg. v. F. Auerbach u. W. Hort, B. 5, 2 Aufl., Lpz., 1928; Johow-Foerster, Hilfsbuch für den Schiffbau, B. 1, 5 Aufl., B., 1928; многие статьи журнала «Werft-Reederei-Hafen», B. **С. Яковлев.**

ХОЛЕСТЕРИН, см. *Стерины*.

ХОЛОДИЛЬНИКИ, сооружения, предназначенные для хранения различных скоропортящихся пищевых продуктов при соответствующе низкой $t°$ с предварительным охлаждением или замораживанием их. В зависимости от рода продукта и срока хранения его требуемые $t°$ в холодильных камерах и предварительная термич. обработка достигаются или одним льдом (см. *Ледники*), или смесью льда и соли (см. *Ледосоляное охлаждение*), или посредством работы специальных *холодильных машин* (см.). Под выражением «холодильник» обычно понимают холодный склад с машинным охлаждением, состоящий из охлаждаемых камер, где применяется искусственный холод, и машинного и аппаратного отделений. Машинный Х. сооружается или в виде *самостоятельного здания* или составляет часть обслуживаемого холодом предприятия—*бойни*, колбасной ф-ки и пр.

Типы холодильников. 1) Производственно-заготовительные Х., располагаемые в районах заготовок скоропортящихся продуктов. 2) Распределительные Х. для крупных центров или районов потребления, служащие для аккумулирования скоропортящихся продуктов питания и последующего распределения их после сезона заготовок. 3) Портовые Х. для сбора скоропортящихся грузов и хранения их до погрузки на *суда-рефрижераторы* (см.). 4) Х. смешанного типа и 5) Х. транспортного типа на судах-рефрижераторах или в поездах рефрижераторах. Отличительной особенностью производственно-заготовительных Х. является незначительный срок хранения продуктов (ок. 5—15 дн.), причем до 80% мощности холодильных машин идет на термич. обработку продуктов—охлаждение и замораживание. Распределительные Х. хранят некоторые продукты до 3—5 месяцев, и холод гл. обр. расходуется на покрытие потерь через теплопередачу извне.

Технич. характеристикой Х. служат следующие величины: емкость камер хранения в m, пропускная способность камер охлаждения и морозилок в m/сутки и мощность холодильного оборудования в Cal/час.

По СССР на 1 января 1933 г. Х. по типам их и роду продукта характеризуются следующими данными (см. табл. 1).

Проектирование Х. ведется согласно заданию, вытекающему из экономическ. обоснования целесообразности сооружения данного Х., причем для заготовительных Х. следует учесть товарность *соответствующего района для ближайших лет* и сезон заготовок, а для распределительных Х.—*динамику* роста населения и годового потребления скоропортящихся продуктов. Такое задание определяет тип и назначение Х., емкость камер хранения, пропускную способность камер охлаждения—морозилок, — грузооборот и другие условия работы. Кроме того следует учесть размеры отведенного для постройки участка земли, направление подъездного ж.-д. пути, возможность расширения в будущем и пр. По родам продукта и нормам загрузки на 1 $м^2$ площади камер (для камер хранения ок. 0,6 $m/м^2$ и для камер охлажде-

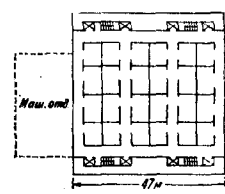
Табл. 1.—Характеристика Х. СССР.

Организации	На 1 января 1933 г.		Холодопроизводительность на 1/I 1933 г. в тыс. Cal/час	
	Колич.	Емкость в m	Всего	Уд. вес в %
Хладоцентр	46	80 920	25 020	35,0
Главрыба	19	30 182	14 129	19,7
Главмясо	33	16 855	14 250	19,9
Союзптицепродукт и Союззаготптица	35	6 483	5 625	7,8
Союзмолоко	5	2 489	1 293	1,8
Союзмаслопром	19	1 994	650	0,9
Центросоюз	14	26 051	6 940	6,9
Союзнарпит и Всекопит	48	2 773	3 540	5,0
Прочие организации (Союзмаргарин, Комхоз и др.)	11	4 250	2 210	3,0
Итого	230	172 000	73 657	100

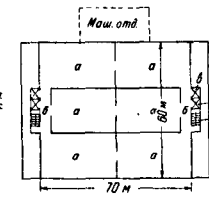
ния, или морозилок, ок. 0,2 $m/м^2$) определяется общая площадь всех камер, к-рая разбивается на несколько этажей. Наиболее выгодной формой Х. является куб, обладающий при максимальном объеме минимальной поверхностью, вследствие чего сокращаются первоначальные затраты на сооружение и изоляцию, а при эксплоатации снижается расход холода. Однако форма Х. в виде куба не всегда бывает удачна в отношении приема и выпуска грузов и часто предпочитают форму Х. в виде параллелепипеда, имеющего в основании прямоугольник с отношением сторон обычно не более 1 : 2, что позволяет удлинить фронт грузовых операций со скоропортящимися продуктами. При планировке Х. стремятся расположить охлаждаемые камеры, коридоры, подъемники и лестницы т. о., чтобы уменьшить потери холода при эксплоатации и создать удобное обслуживание Х. В этом отношении желательно морозилки помещать рядом с камерами, предназначенными поддерживать низкие темп-ры, и было бы ошибочным для них отводить верхний этаж вследствие бо́льших потерь холода. Вместе с тем расположение морозилок в подвальном этаже влечет нек-рую опасность деформации Х. вследствие промерзания грунта и возможного его выпучивания. Обычно камеры и коридоры располагают т. о., чтобы одновременно можно было принимать грузы с одной стороны Х., а с другой—производить беспрепятственно, без встречных потоков, выдачу их. Если скоропортящиеся продукты перед приемом или при выдаче требуют осмотра и переупаковки, то для этой цели по возможности устраивают светлые помещения—распаковочные. Площадь коридоров, вестибюлей, лестниц и подъемников, образующая «бесполезную площадь», д. б. возможно уменьшена по отношению к полезной загрузочной площади камер. В зависимости от общей полезной площади холодильных камер коэф. использования площадей, т. е. отношение загрузочной площади камер ко всей площади Х., составляет:

Площадь камер в $м^2$	до 500	500—1 000	1 000—3 000	30 000 и выше
Коэф. использования	0,7	0,7—0,8	0,8—0,85	0,85—0,9

Вместо широко применявшейся «немецкой» планировки Х. (фиг. 1), предусматривавшей устройство коридоров, идущих по периметру здания и пересекающих его, в настоящее время распространяется «американская» планировка (фиг. 2). Особенности ее заключаются в не-



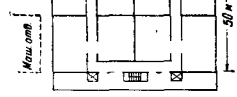
Фиг. 1.



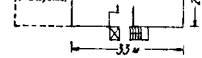
Фиг. 2.

большом числе камер *а* (обычно не более 6 на этаж), в отсутствии коридоров, заменяемых тамбурами *б*, к-рые располагаются возле шахт для подъемников *в* и лестниц *г* т. о., чтобы предоставить непосредственный проход в любую камеру. На фиг. 3 изображен план холодильника имени XVI партсъезда на 7 000 m в Москве, на фиг. 4—Х. на 1 000 m в 3 этажа, на фиг. 5—портовой Х. на 9 360 m в Ленинграде (Новый порт).

Машинное и аппаратное отделения обычно представляют собой пристройку к холодному складу, причем для крупных электрифицированных Х. объем их составляет ок. 10% от



Фиг. 3.



Фиг. 4.

объема склада, для средних—до 15% и для мелких—до 20%. Если Х. строится в черте города, где территория ограничена, машинный зал выгодно ввести в контур холодного склада—обычная конструкция в Америке. Площадь машинного и аппаратного отделений зависит от типа холодильных машин, числа их и общей мощности оборудования, а также от рода двигателей и способа соединения их с компрессорами. Приблизительно для вертикальных компрессоров, непосредственно соединенных с

Фиг. 5.

электромоторами, требуется около 0,5 $м^2$ площади пола на 1 000 Cal/час мощности холодильных машин.

Высота холодильных камер зависит от рода продуктов и составляет: а) при охлаждении и замораживании мясных туш подвесом на подвесных путях, а также при хранении охлажденного мяса—3,6 $м$, причем в случае особо тяжелых туш максимальная высота повышается до 4,5 $м$, б) для камер с навалочными грузами—хранение мороженого мяса, птицы, дичи, рыбы и пр.—3 $м$, в) для яичных камер—3,2 $м$, но при наличии в одном этаже камер с на-

валочными грузами высота снижается до 3 *м*, г) для камер небольшой площади при продмагах, столовых и пр. в зависимости от местных условий допустима высота ок. 2,5 *м*.

Строительная часть Х. Стены Х. несут только нагрузку от собственного веса, а вся тяжесть от сохраняемых грузов и междуэтажных перекрытий передается на систему колонн, т. ч. стены служат как бы чехлом над этажеркой, образуемой колоннами и перекрытиями. Обычно применяется каркасная конструкция из колонн и обвязок, которые располагаются на уровне пола каждого этажа, а заполнением наружного каркаса служат пустотелые камни толщиной 500—600 *мм*, шлако- или пенобетон (300—400 *мм*) и железобетонные щиты—панели (100—160 *мм*), входящие в оставляемые вдоль наружных колонн пазы. Колонны каркаса выполняются из железобетона с пролетом между осями ~ 5 *м*, причем для создания непрерывности изоляции стен колонны по периметру здания делают двойные, скрепляя их между собой по этажам железными анкерами 25 *мм* (фиг. 6). Между колоннами оставляют промежуток *а* ок. 160 *мм*, равный обычной толщине изоляции стен.

Фиг. 6.

Междуэтажные перекрытия в Х. должны выдерживать кроме собственного веса полезную нагрузку 1 $т/м^2$ и устраиваются обычно в виде плоской плиты толщиной ок. 180 *мм*, подпертой колоннами «грибовидной» формы. Плоские безбалочные перекрытия особенно целесообразны для Х., так как они устраняют застои воздуха и допускают удобное размещение охлаждающих змеевиков и воздушных каналов.

Кровли Х. часто устраиваются с малым уклоном (1 : 25) или плоскими для возможности использования чердака в качестве складочного помещения. Такие кровли огнестойки, но требуют особой тщательности выполнения и рационального расположения влагоизоляционных слоев для предупреждения протекания воды.

Изоляция предназначается для уменьшения количества тепла, проникающего извне Х. Применяемые с этой целью теплоизоляционные материалы должны удовлетворять следующим главным требованиям: 1) иметь малый коэфициент теплопроводности λ, выражаемый в Cal/час · $м^2$ · °C при толщине слоя в 1 *м*, 2) обладать малым уд. весом γ ($кг/м^3$), 3) быть мало гигроскопичными, так как влажность понижает изолирующую способность, 4) не иметь запаха, чтобы не передать его сохраняемым продуктам, 5) быть огнестойкими и 6) хорошо сопротивляться гниению и паразитам. В качестве изоляционных материалов применяются преимущественно вещества растительного или минерального происхождения с многочисленными порами, образующими замкнутые воздушные ячейки. Изоляционные материалы из растительных волокон в сухом состоянии обладают более благоприятным коэфициентом теплопроводности, чем пористые тела минерального происхождения, но легче подвергаются воздействию сырости и разрушению от гнилостных грибков. Среди различных изоляционных материалов, применяемых в холодильном деле, особое распространение получили следующие (табл. 2).

Табл. 2.—Материалы, применяемые в холодильном деле.

Наименование	λ	γ
Пробковые плиты	0,04 —0,03	150—300
Торфоизотерм	0,01 —0,05	150—300
Торф сухой	0,04 —0,06	180—320
Сфагнум	0,04 —0,03	150—300
Камышит	0,08 —0,07	160—350
Соломит	0,08 —0,07	160—350
Кизельгур	0,05 —0,12	350—580
Зола древесная	0,06 —0,08	300—500
Опилки древесные	0,05 —0,06	210—250
Шевелин	0,035—0,04	150—180
Шлаки котельные	0,13 —0,15	750—800

В виду важного значения изоляции Х. для сокращения потерь холода, а следовательно и эксплоатационных расходов необходимо применять наиболее совершенные изоляционные материалы при достаточной толщине слоев и самом тщательном производстве изоляционных работ. Пробковые плиты, к-рые являются наиболее совершенным изоляционным материалом, ограничены в своем применении из-за валютных соображений, т. к. пробка импортируется из-за границы. Поэтому приходится употреблять другие материалы, стараясь компенсировать их худшее качество тщательностью выполнения изоляционных работ. После выбора изоляционного материала находят такое сочетание изолирующих слоев соответствующей толщины и строительных материалов сооружения, чтобы в совокупности образовалась общая изоляционная конструкция, обеспечивающая экономичность изоляции, долговечность службы ее, защиту от действия влаги и грызунов в соединении с легкостью и дешевизной производства самих работ.

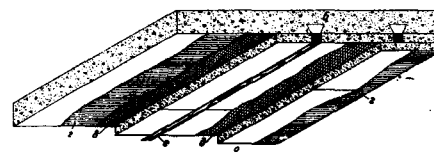
Коэф. теплопередачи k, определяющий экономичность изоляции, выражает утечку холода в Cal/час через 1 $м^2$ поверхности при разности $t°$ снаружи и внутри камер в 1°. В зависимости от этой разности $t°$ обычно принимают следующие значения k:

Разность $t°$	50—35	35—30	30—25	25—20	20—15
Коэф. k	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5

При намеченных изоляционных конструкциях для стен, полов и перекрытий Х. проверяют значение k, пользуясь формулой Пекле:

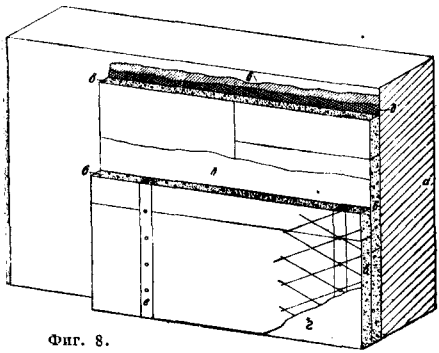
$$k = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \cdots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{a_0}},$$

где a и a_0—коэф. теплоперехода у обеих поверхностей, δ_1, δ_2, ..., δ_n—толщины слоев строительных и изоляционных материалов в *м*, λ_1, λ_2, ..., λ_n — коэф. теплопроводности соответствующих материалов. Для наружной стороны стен и верхнего перекрытия принимают a=25, для промежуточных стен и перекрытий a=a_0=15 и для нижнего пола, соприкасающегося с почвой, a=∞. С южной и западной сторон, а также и со стороны господствующих ветров толщину изоляции стен желательно увеличить на 10—20 *мм*. На фиг. 7 изображена конструкция изоляции перекрытия Х.: *а*—железобетонное перекры-



Фиг. 7.

тие с впущенными в бетон деревянными пробками *б*; *в* — пробковые плиты или торфоизотерм; *г*—штукатурка; *д*—смазка гудроном; *е*—деревянные рейки. На фиг. 8 изображена изоля-



Фиг. 8.

ционная конструкция стены Х.: *а*—кирпичная кладка; *б*—цементная штукатурка; *в*—пробковые плиты или торфоизотерм; *г*—штукатурка по сетке; *д*—смазка гудроном; *е*—деревянные рейки.

Производство изоляционных работ начинается после того, как сооружение Х. закончено вчерне, стены его достаточно просохли, снята опалубка перекрытий и в нижнем этаже сделано бетонное основание для изоляции пола от проникновения грунтовых вод. Для предотвращения большой утечки холода изоляционные слои не должны иметь разрывов, образуемых перекрытиями, внутренними стенами, колоннами нижнего и верхнего этажей. Укладка пробковых плит и др. производится не менее чем в 2 слоя с предварительным обмакиванием их в горячий гудрон для защиты от действия на них влаги. После этого плиты накладываются на подготовленное основание пола или прикрепляются к стенам и потолку, для чего д. б. заложены деревянные рейки или «пробки», а при железобетоне оставлены отрезки проволоки ⌀ 2—3 *мм*, связанные с арматурой. К плитам первого слоя прибивают гвоздями второй слой так, что он перекрывает швы нижнего слоя. Для уменьшения влагопроницаемости и термодиффузии часто между слоями прокладывают водо- и воздухонепроницаемую бумагу, отделяющую изоляционные слои, или применяют особые асфальтовые эмульсии и мастики. Засыпка промежуточных пространств в стенах торфом, опилками, шлаком и др. производится постепенно с соответствующим уплотнением, чтобы избежать впоследствии неравномерного оседания и образования пустот. Необходимо предупредить попадание воды сверху и предусмотреть возможность добавления изоляционного материала при усадке его. При изоляции полов и перекрытий сыпучим материалом последнему придают одинаковую толщину слоя, его несколько уплотняют и выравнивают под горизонтальную плоскость. Вообще материал для засыпки должен быть однородный и хорошо просушенный. В виду ухудшения изолирующей способности конструкции при проникновении внутрь воздуха и содержащихся в нем водяных паров с внешней и внутренней поверхностей холодильников наносят воздухонепроницаемый слой в виде специальной штукатурки, особой асфальтировки или обкладки их белыми глазурованными плитками.

Мощность холодильного оборудования определяется на основании калорических расчетов, к-рые должны учесть суммарный расход холода по данному Х., составленный из приведенных ниже отдельных статей. 1) Расход холода на теплопередачу зависит от площади стен, пола и потолка охлаждаемых камер, коэф-та их теплопередачи и разности $t°$ снаружи и внутри камер. Общий расход холода на теплопередачу в сутки будет

$$\Sigma Q_1 = \Sigma\, 24Fk(t - t_0)\ \text{Cal},$$

где F—поверхность в $м^2$ стен, пола, потолка каждой камеры, k—коэф. теплопередачи (обычно не выше 0,4), t—темп-ра наружного воздуха или почвы в жаркое время года для данного места или темп-ра воздуха смежных камер, t_0—темп-ра воздуха камеры. 2) Расход холода на понижение $t°$ продуктов зависит от теплоемкости их и $t°$, с какой продукты поступают на Х. и до какой они д. б. доведены, и определяется по ф-лам: а) при охлаждении

$$\Sigma Q_2 = \Sigma\, (Gc + gc')(t_1 - t_2),$$

б) при замораживании

$$\Sigma Q'_2 = \Sigma G\, [c\ (t_1 - t') + 80\, w + c'(t' - t_2)] + \\ + \Sigma g c_1 (t_1 - t_2),$$

где G—вес нетто в $кг$ каждого продукта, поступающего в сутки для охлаждения или замораживания, c—теплоемкость продукта при охлаждении в Cal/$кг$ °C, c'—тоже при темп-рах ниже точки замерзания, t_1—темп-ра поступающего продукта, t_2—темп-ра продукта по окончании охлаждения или замораживания, t'—темп-ра замерзания продукта, w—процентное содержание влаги в продукте, g — общий вес тары продукта, c_1—теплоемкость материала тары. 3) Расход холода на вентиляцию камер определяется по объему камер, многократности смены воздуха, а также по $t°$ и влажности наружного воздуха и воздуха внутри камер согласно ф-ле:

$$\Sigma Q_3 = \Sigma a V [0{,}31(t - t_0) + r(pf - p_0 f')],$$

где a—многократность смены воздуха в сутки, V — объем вентилируемых камер в $м^3$, t — темп-ра наружного воздуха, t_0—темп-ра воздуха, поступающего из воздухоохладителя, r—теплота конденсации водяных паров ($r = 0{,}61$ для $t_0 > 0$ и $r = 0{,}68$ для $t_0 < 0$), p и p_0—содержание влаги в $г/м^3$ для насыщенного воздуха при t и t_0, f и f'—влажность в процентах для воздуха при t и t_0. 4) Расход холода на освещение камер, пребывание рабочих, открывание дверей и пр. не поддается точному учету и оценивается увеличением общего расхода холода на 10—15%.

Общий суточный расход холода получается суммированием отдельных расходов и выражается соотношением

$$Q = a\ (\Sigma Q_1 + \Sigma Q_2 + \Sigma Q_3),$$

где

$$a = 1{,}10 \div 1{,}15.$$

По принимаемой продолжительности работы холодильного оборудования (обычно 16—20 ч. в сутки) определяется и мощность его в рабочих калориях, т. е. при таких $t°$ испарения, к-рые должны обеспечить заданные $t°$ в камерах. Для большей надежности в работе для больших Х. требуемую мощность холодильного оборудования разбивают на несколько агрегатов, а в отдельных камерах применяют то охлаждение,

к-рое наиболее отвечает роду продукта и условиям термической обработки его, например для морозилок предпочтительнее непосредственная система охлаждения (см. *Холодильные машины*), для яиц и фруктов—воздушное охлаждение (см. *Воздухоохладители*). В зависимости от типа Х. и величины его потребная мощность холодильного оборудования составляет для распределительных и портовых Х. на 1 *т* емкости 300—200 Cal/ч., а для заготовительных на 1 *т*/сутки замораживания около 8 000—10 000 Cal/ч. Стоимость холодильно-силового оборудования по отношению к стоимости сооружения Х. составляет в зависимости от величины его ок. 60—100%, а все первоначальные затраты распределяются приблизительно в таком соотношении: сооружение 45—55%, изоляция 10—15%, оборудование 35—50%.

Эксплоатация Х. Распределение эксплоатационных расходов зависит от типа Х., величины его и других условий эксплоатации, причем для предварительных соображений можно принять следующее распределение (в %):

Заработная плата с начислениями	21
Производственные расходы (энергия, вода и пр.)	19
Текущий ремонт зданий и оборудования	5
Амортизация сооружения и оборудования	30
Промналоги и сборы	3
Проценты по ссудам	7
Общеадминистративные расходы	10
Прочие расходы	5

Экономичность работы Х. характеризуют следующие технически-эксплоатационные показатели. Расход холода на 1 *ц* груза в день для северных распределительных Х. емкостью 1 000—3 000 *т* при средней загрузке 50—70% составляет 60—70 Cal, а для южных Х. 150—200 Cal. Расход энергии на 1 *ц* в день для электрифицированных северных Х. 0,04—0,05 kWh, а для южных 0,1—0,12 kWh. Расход энергии на 1 000 Cal для холодильных машин около 200 000 Cal/ч. составляет 0,6—0,65 kWh, причем на 1 затраченный силочас получается 1 300—1 400 Cal. Расход смазки на 1 000 Cal для электрифицированных Х. 0,6—0,65 *г*. Расход аммиака при рассольном охлаждении ок. 0,8 *кг*, а при непосредственном испарении до 1,2 *кг* в год на 1 000 Cal часовой холодопроизводительности. Расход рабочей силы на 1 000 *ц* в день для распределительных Х. 1—1,5 чв-д. и для портовых Х. повышается до 2 чв-д. Искусственный холод получил первое применение в производстве, транспорте и хранении скоропортящихся продуктов питания, а именно в мясопромышленности, птицепромышленности, яичном деле, рыбопромышленности, молочном хозяйстве, маслоделии и сыроварении, в плодоовощном деле, на пивоваренных з-дах, в дрожжевом производстве, на желатиновых з-дах, шоколадных и конфектных ф-ках и т. д. Такое широкое применение холода в пищевой пром-сти объясняется важными преимуществами его перед другими способами консервирования: продукт остается в первоначальном своем состоянии, не меняя ни внешности ни вкуса, не теряя своей питательности и удобоваримости. Ослабляя сезонность продуктов и давая возможность распределять их населению почти в течение всего года, холодильное дело сближает районы производства с центрами потребления пищевых продуктов, обеспечивая сохранность их при этом соответствующими *холодильными перевозками*.

За последние годы холод широко применяется и в химич. пром-сти для следующих целей: ожижение паров и газов, разложение смесей газов и жидкостей (см. *Сжижение газов*), разделение сложных растворов, кристаллизация солей, регулирование скорости сопровождающихся выделением тепла химич. реакций и др. Главными областями применения холода в химич. пром-сти являются производство синтетич. аммиака, получение жидкого воздуха, хлора, удушающих веществ, производство искусственного волокна, целлюлоида, взрывчатых веществ, фармацевтич. препаратов, рафинирование нефтяных продуктов и масел, резиновое производство и пр. Кроме того холодильное дело захватывает и другие самые разнообразные области, напр. сохранение мехов, цветоводство, горное дело (при прохождении водоносных слоев), текстильную пром-сть (мерсеризация тканей) и др.

Особенно быстрое и широкое развитие холодильное дело получило в США, где в 1928 г. было 38 905 холодильных установок, не считая свыше 800 000 мелких устройств; оно охватило всю торгово-промышленную жизнь страны, находя применение в 218 отраслях.

В СССР холодильное дело не достигло еще своего должного развития; общее число холодильников по 1932 г. составляло 255 с емкостью 174 870 *т*, с замораживающей мощностью 3 101 *т*/сутки и общей мощностью холодильных машин 46 263 000 Cal/ч. Однако СССР имеет все данные для пышного расцвета холодильного дела на основе реконструкции с. х-ва и индустриализации страны. Плановое снабжение населения продуктами питания требует сооружения целой сети Х. и создания мощного холодного транспорта, который должен сблизить производящие районы с центрами потребления. Такая «фригорофикация» СССР заключает в себе: а) производственно-заготовительные Х. при мощных мясных комбинатах, рыбных промыслах и т. д., б) распределительные Х. для крупных центров или районов потребления, служащие для аккумулирования скоропортящихся продуктов питания и последующего распределения их после сезона заготовок, в) портовые Х. экспортного значения, г) технич. средства холодотранспорта—изотермич. вагоны, льдохранилища, ледоделательные заводы и станции предварительного охлаждения. Холодильное дело имеет важное значение для снабжения рабочих доброкачественными пищевыми продуктами, а в настоящий период строительства социализма такая «непрерывная холодильная цепь» создает благоприятные условия для интенсификации производства скоропортящихся продуктов, а также для увеличения экспорта некоторых из них на международный рынок.

Н. Комаров.

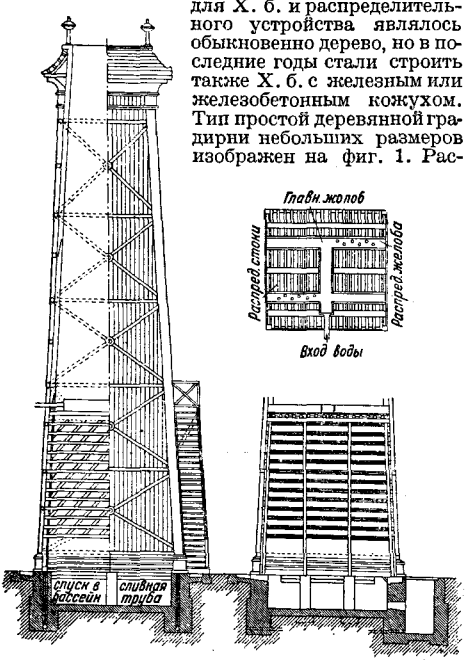
Лит.: Комаров Н., Холод, М.—Л., 1932.

ХОЛОДИЛЬНОЕ ДЕЛО, см. *Холодильник*.

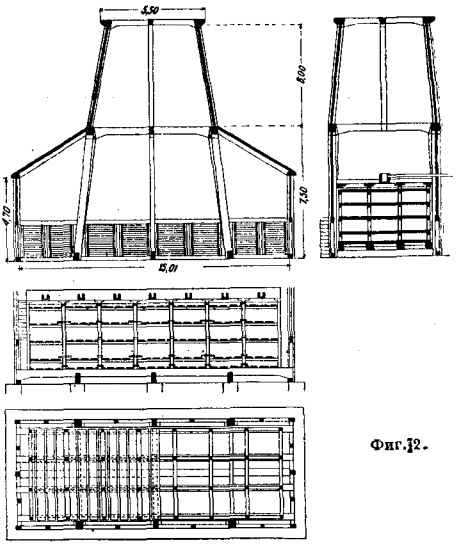
ХОЛОДИЛЬНЫЕ БАШНИ, градирни. Конденсаторы паровых турбин требуют в 50—60 раз больше охлаждающей воды, чем пропускают пара. При больших установках получается поэтому большое количество расходуемой охлаждающей воды. В случае недостаточного количества свежей воды приходится в этом случае прибегать к применению искусственно охлаждаемой оборотной воды, требующей только незначительного добавления свежей воды взамен потерь. Такие устройства для охлаждения оборотной воды находят применение и в других случаях большого расхода воды при недостаточном запасе свежей воды, например на

металлургич. в-дах. Одним из наиболее распространенных способов охлаждения оборотной воды является применение охлаждающих башен. Х. б. представляет собой высокую башню, в к-рую на известной высоте подводится нагревшаяся охлаждающая вода. Эта вода при помощи особой распределительной системы размельчается и в размельченном виде падает вниз. Вследствие тяги, создаваемой наличием высокой башни над распределительным устройством или с помощью вентилятора, навстречу теплой воде идет поток воздуха, имеющего $t°$ более низкую, чем $t°$ теплой воды. Этот воздух охлаждает воду, во-первых, непосредственно—путем конвекции, во-вторых, путем испарения части теплой воды, причем затрачиваемая на это испарение теплота отнимается от остальной воды.

В Х. б. можно различать следующие 4 типа: а) открытые градирни с естественной циркуляцией воздуха, б) закрытые с естественной циркуляцией воздуха, в) закрытые с искусственной циркуляцией воздуха, г) закрытые с комбинированной циркуляцией воздуха. Преобладающим является тип закрытых градирен с естественной циркуляцией воздуха. Материалом для Х. б. и распределительного устройства являлось обыкновенно дерево, но в последние годы стали строить также Х. б. с железным или железобетонным кожухом. Тип простой деревянной градирни небольших размеров изображен на фиг. 1. Распределительное устройство состоит в ней из водоподводящей коробки, промежуточных и распределительных коробок, из которых вода выходит уже распыленная; она стекает затем по системе деревянных планок квадратного сечения с увеличивающимся распылением. Недостатком деревянных холодильных башен является быстрая порча дерева вследствие гниения несмотря на применяемое пропитывание деревянных частей предохраняющими от гниения средствами, напр. карболинеумом. В виду этого в настоящее время большие градирни строятся часто с железобетонным или железным кожухом и с распределителями также из железобетона или железа. Пример железобетонной градирни фирмы Губер в Бреславле показан на фиг. 2. Градирня, изображенная на фиг. 1, имеет тот недостаток, что доступ воздуха возможен только на нижней цилиндрич. поверхности и прохождение его через падающие струйки воды затруднительно. В большой градирне, построенной з-дом Бальке для станции Гольпа (в Силезии),



Фиг. 1.



Фиг. 2.

недостаток этот устранен тем, что подвод воздуха сделан по всей наклонной нижней части градирни (фиг. 3). В железобетонной градирне типа Л. Шварц и К° распыливание воды сделано иначе, чем в обыкновенных градирнях [1], вода стекает здесь тонкой пленкой по вертикальным стенкам, что значительно увеличивает теплоотдачу. Градирня этого типа строится в настоящее время для Мурманской ТЭЦ (с искусственной циркуляцией). Совершенно оригинальный тип Х. б. представляют железобетонные гиперболич. градирни типа Ван Итерсон и Купперс в Англии, к-рые описаны проф. И. Н. Бутаковым [7, 12, 1].

Р а с ч е т Х. б. основан на свойствах влажного воздуха. Назвав γ_d вес пара, заключенного в 1 $м^3$ воздуха при данном барометрич. давлении p и темп-ре t_d, и γ_s уд. в. сухого насыщенного пара при той же темп-ре и давлении p_s (находимом по темп-ре t_d из таблиц для водяного пара), получим выражение для относительной влажности

$$\varphi = \frac{\gamma_d}{\gamma_s} = \frac{p_d}{p_s}. \qquad (1)$$

При этом полное барометрич. давление влажного воздуха p равно сумме парциальных давлений p_d и p_l пара и воздуха:

$$p = p_d + p_l. \qquad (2)$$

Имеем для p_d и γ_d выражения:

$$p_d = \varphi p_s,$$
$$\gamma_d = \varphi \gamma_s.$$

Уд. объем воздуха, соответствующий давлению

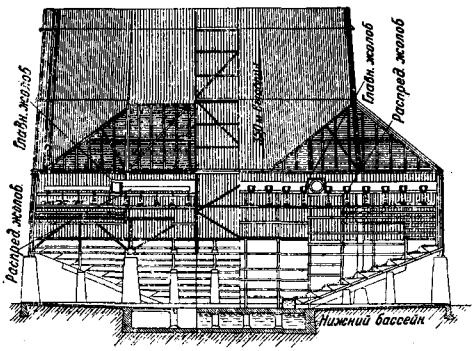
p_l и температуре t_d, найдется из уравнения состояния для воздуха

$$v_l = \frac{R(273+t_d)}{p_l} = \frac{RT_d}{p_l}, \quad (3)$$

где $R = 29{,}27$ при размерности p_l в *кг/м²*; при размерности его в *мм* рт. ст. будет

$$v_l = \frac{2{,}16T_d}{p_l}. \quad (4)$$

Знание величин φ, v_l и γ_s дает возможность найти количество пара d, содержащееся в 1 *кг* воздуха. Имеем: $d = \varphi\gamma_s v_l$. Введем теперь такие обо-



Фиг. 3.

значения: G_1—количество охлаждающей воды, поступающей в градирню (*кг/ч*), G_2—количество воды, стекающей в бассейн после охлаждения (*кг/ч*), L—количество воздуха, проходящее через градирню (*кг/ч*), t_{l_1} и t_{l_2}— темп-ры воздуха при входе в градирню и при выходе из нее, t_1 и t_2—темп-ры охлаждаемой воды в те же моменты, φ_1 и φ_2—относительные влажности воздуха в те же моменты, v_1 и v_2—уд. объемы воздуха в те же моменты, γ_1 и γ_2—уд. веса сухого насыщенного пара при темп-рах t_{l_1} и t_{l_2}; i_1 и i_2—теплосодержания пара, соответствующие тем же моментам. c_p—теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении, равная 0,24. Тогда будем иметь выражение для количества испаренной воды:

$$G_1 - G_2 = L(\varphi_2\gamma_2 v_2 - \varphi_1\gamma_1 v_1) \quad (5)$$

и ур-ие для теплового баланса градирни:

$$G_1 t_1 + c_p t_{l_1} L + \varphi_1\gamma_1 v_1 i_1 L = \\ = G_2 t_2 + c_p t_{l_2} L + \varphi_2\gamma_2 v_2 i_2 L. \quad (6)$$

Из этих ур-ий находим

$$L = \frac{G_1(t_1 - t_2)}{c_p(t_{l_2} - t_{l_1}) + \varphi_2\gamma_2 v_2(i_2 - t_2) - \varphi_1\gamma_1 v_1(i_1 - t_2)}. \quad (7)$$

При расчете Х. б. можно считать известными (или выбранными) величины G_1, t_1, t_2, t_{l_1}, t_{l_2}, φ_1 и φ_2; величины γ_1, γ_2, i_1 и i_2 м. б. найдены из таблиц пара по темп-рам t_{l_1} и t_{l_2}; из тех же таблиц можно найти парциальные давления пара p_{s_1} и p_{s_2}, и парциальные давления пара при входе и выходе будут равны соответственно

$$p_{d_1} = \varphi_1 p_{s_1}; \quad p_{d_2} = \varphi_2 p_{s_2}.$$

Парциальные давления воздуха будут:

$$p_{l_1} = p_A - p_{d_1}; \quad p_{l_2} = p_A - p_{d_2},$$

где p_A—барометрич. давление. Уд. объемы воздуха v_1 и v_2 найдутся из ур-ия (3):

$$v_1 = \frac{2{,}16T_1}{p_{l_1}}; \quad v_2 = \frac{2{,}16T_2}{p_{l_2}}.$$

Количество воздуха L найдется по ф-ле (7), а количество испаренной воды $G_1 - G_2$ по ф-ле (5).

Для определения силы тяги в градирне примем обозначения: H_k—высота камина (*м*), принимаемая от $^3/_4$ до $^2/_3$ полной высоты градирни H, Δh—сила тяги в *кг/см²* или в *мм* вод. ст., v_1—уд. объем сухого воздуха снаружи градирни. Тогда уд. в. сухого воздуха снаружи градирни будет равен $\frac{1}{v_1}$ *кг/м³*, вес содержащегося в нем пара $\varphi_1\gamma_1 v_1$, полный вес 1 *м³* влажного воздуха вне градирни $\frac{1}{v_1} + \varphi_1\gamma_1 v_1$ и полный вес влажного воздуха в конце камина $\frac{1}{v_2} + \varphi_2\gamma_2 v_2$. Средний вес влажного воздуха в камине:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{v_1} + \varphi_1\gamma_1 v_1 + \frac{1}{v_2} + \varphi_2\gamma_2 v_2\right).$$

Разность в весе на 1 *м³*:

$$\frac{1}{v_1} + \varphi_1\gamma_1 v_1 - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{v_1} + \varphi_1\gamma_1 v_1 + \frac{1}{v_2} + \varphi_2\gamma_2 v_2\right) = \\ = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{v_1} + \varphi_1\gamma_1 v_1 - \frac{1}{v_2} - \varphi_2\gamma_2 v_2\right).$$

Сила тяги будет

$$\Delta h = H_k \cdot \frac{1}{2}\left(\frac{1}{v_1} + \varphi_1\gamma_1 v_1 - \frac{1}{v_2} - \varphi_2\gamma_2 v_2\right) \text{ кг/м}^2. \quad (8)$$

Скорость протекания воздуха через камин будет

$$c = \psi\sqrt{2g\Delta h \cdot v_1} \text{ м/сек}, \quad (9)$$

где ψ—коэф. скорости, для к-рого В. А. Макеев дает значение, равное 0,65. Площадь сечения камина F найдется по ф-ле:

$$F = \frac{L\left(\frac{1}{v_1} + \varphi_1\gamma_1 v_1\right)}{3\,600c} \text{ м}^2. \quad (10)$$

Размеры объема и площади нижней части градирни д. б. увеличены в связи с занятием значит. части объема охлаждающим устройством.

Выбор темп-ры t_2 выхода охлажденной воды из Х. б. имеет весьма большое значение для конденсатора и для паровой турбины, т. к. эта $t°$ приблизительно равна начальной $t°$ охлаждающей воды в конденсаторе и от нее зависит выбор вакуума в *конденсаторе* (см.) и противодавления в паровой турбине. Темп-ра охлаждающей воды м. б понижена ниже $t°$ воздуха, т. к. при этой $t°$ воздух еще может поглощать водяные пары. Поэтому самым нижним пределом $t°$, до к-рой может понизиться охлаждающая вода, есть $t°$, соответствующая парциальному давлению пара в поступающем в Х. б. воздухе. Эта $t°$ называется **точкой росы**, т. к. соответствует появлению росы на охлажденной поверхности психрометра. На самом деле в Х. б. эта $t°$ не достигается, а достигается несколько более высокая темп-ра τ (более низкая, чем $t°$ воздуха), называемая **пределом охлаждения**. Она м. б. определена экспериментально при помощи смачиваемого термометра, к-рый показывает $t°$, при к-рой устанавливается равновесие между количеством теплоты, отнимаемой при испарении воды, и теплоты, вновь получаемой вследствие нагревания от воздуха. Вопрос этот отчасти выяснен в опытах Гейбеля [15]. Для нахождения предела охлаждения вычислением может с известным приближением служить диаграмма *Мюллера*, приведенная в книге Шмидта [6].

Зоной охлаждения в Х. б. называется разность темп-р $t_1 - t_2$ поступающей и выходя-

щей охлаждаемой воды. (Обыкновенно $t_2 > \tau$.) Поэтому отношение

$$\eta_{охл.} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - \tau}$$

иногда определяют как кпд Х. б.

При расчете Х. б. большое значение имеет количество охлаждающей воды [9], приходящейся на 1 $м^2$ площади башни в месте входа воздуха. Это количество обозначается через q. Чем больше эта величина, тем интенсивнее охлаждение воды, а потому тем больше получается разность $t_1 - \tau$. Гефер [14] советует брать для средних условий q между 3 и 4. Гутермут дает для q значения между 4 и 6; Гейбель [16] дает те же пределы, что Гефер; в табл. Бальке (приведенной у Шмидта) [6] значения q от 1,5 (для самых малых Х. б.) до 3,7 (для самых больших).

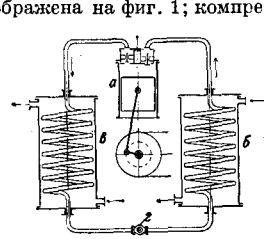
Наиболее полные опытные исследования Х. б. сделаны Гейбелем [16] и Меркелем [17]. Однако многие вопросы, напр. влияние размеров капель воды, высоты и времени падения капель и др., нуждаются в дальнейших исследованиях. Приемочные испытания Х. б. даны у Ланга [18] и в немецких правилах [20].

Лит.: [1]) Макеев В., Конденсационные устройства паросиловых установок, 2 изд., М.—Л., 1933; [2]) Радциг А., Теория и расчет конденсационных установок, 2 изд., М.—Л., 1933; [3]) Жирицкий Г., Паровые машины, 5 изд., М.—Л., 1933; [4]) его же, Паровые турбины, 2 изд., Киев, 1930; [5]) Александров, Конденсационные установки, М.—Л., 1933; [6]) Шмидт К., Конденсация паровых машин и паровых турбин, СПБ, 1912; [7]) Бутаков И., Охлаждение циркуляционных вод, М.—Л., 1933; [8]) Благов, Градирни, их расчет и конструкция, М.—Л., 1933; [9]) Арефьев А., Постройка башенного охладителя сист. Бальке, «ИТИ», 1925, *9(11)*; [10]) его же, Методы расчета башенных охладителей при переменном режиме, там же, 1931, *2 (62)*; [11]) Бутаков И., Охлаждение циркуляционных вод, «Вестн. металлопром.», М., 1930, *11—12*; [12]) его же, Новейший тип башенного охладителя, «Тепло и сила», М., 1930, *10*; [13]) Weiss F., Die Kondensation, 2 Aufl., B., 1910, p. 272—327; [14]) Hoefer K., Die Kondensation bei Dampfkraftmaschinen, B., 1925; [15]) Evans L., Steam Condensing Plant, L., 1928; [16]) Geibel C., Ueber die Wasserrückkühlung mit selbstventilierendem Turmkühler, «Forschungsarbeiten», 1922, H. 242, «Z. d. VDI», 1922, p. 31, 88, 1924, p. 152; [17]) Merkel, Verdunstungskühlung, «Forschungsarbeiten», 1925, H. 275; [18]) Lang K., Abnahme von Rückkühlanlagen, «Die Wärme», B., 1932, *1, 2*; [19]) Grosse Kühltürme in Eisenbeton, «Arch. f. Wärmewirtschaft u. Dampfkesselwesen», B., 1929, H. 12; [20]) Regeln f. Abnahmeversuche an Rückkühlanlagen, B., 1932.

А. Радциг.

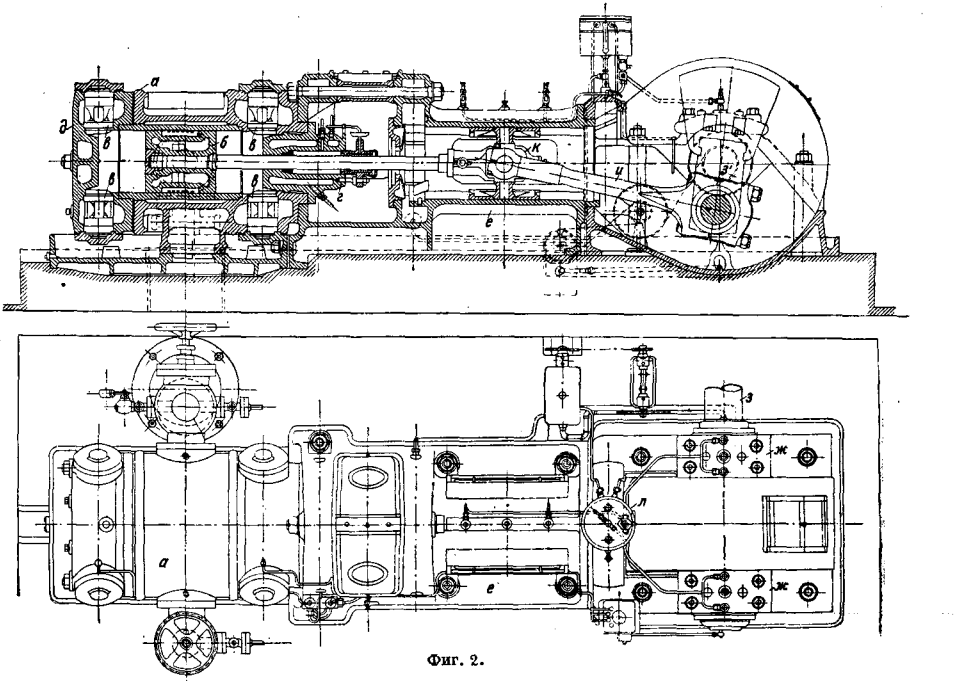
ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ, машины и аппараты, служащие для получения холода за счет затраты механич. или тепловой энергии. Х. м. строятся следующих систем: 1. Паровые компрессионные Х. м., основанные на предварительном сжатии паров, обращении их в жидкость и последующем испарении (Я. Перкинс, 1834 г., К. Линде, 1874 г.). 2. Газовые компрессионные Х. м., работающие воздухом и основанные на том явлении, что при расширении сжатого воздуха с падением давления падает также и $t°$ его (Горри, 1845 г.). 3. Абсорбционные, или поглощательные, Х. м., основанные на поглощении жидкостями паров и последующем выделении их из раствора при нагревании (Карре, 1850 г.). 4. Вакуум-машины, работающие водяными парами и основанные на кипении воды при низких $t°$ вследствие разрежения воздуха (Лесли, 1810 г., М. Леблан, 1910 г.). Из этих систем по экономичности своего действия наибольшее распространение получили паровые компрессионные Х. м., между тем как газовые и вакуум-Х. м. вышли совершенно из употребления, а абсорбционные Х. м. применяются гл. обр. в таких производствах, которые могут использовать тепловую энергию в виде отработанного мятого пара, теплоты дымовых газов и пр.

Паровые компрессионные Х. м. работают летучими жидкостями, которые обладают свойством переходить при низкой $t°$ в парообразное состояние и, обратно, под действием сжатия и охлаждения снова сгущаться в жидкость. Испарение летучей жидкости сопровождается отнятием из окружающей среды большого количества тепла, необходимого для парообразования (скрытая теплота парообразования), причем в зависимости от давления, под к-рым находится испаряющаяся жидкость, кипение происходит при сравнительно низкой $t°$, что и дает возможность использовать это явление для целей охлаждения. Для обратного обращения паров в жидкое состояние требуется затратить энергию, чтобы путем сжатия повысить давление, а следовательно и $t°$ паров. При этом $t°$ конденсации соответствует тому давлению, под к-рым находятся сжатые пары. Таким образом Х. м., работающая парами той жидкости, которая служит рабочим телом—холодильным агентом, или хладагентом, по самому способу своего действия должна иметь следующие главные части: 1) испаритель-рефрижератор, или охладитель, в к-ром жидкий хладагент, превращаясь в пар и отнимая от окружающей среды тепло, вызывает охлаждение, 2) компрессор, в к-ром происходит повышение давления паров рабочего тела, т. е. хладагента, засасываемых из испарителя-рефрижератора; 3) конденсатор, в к-ром под действием охлаждающей воды сжатые пары хладагента переходят в жидкое состояние, и 4) регулирующий вентиль, имеющий целью регулировать поступление жидкого хладагента в испаритель, а следовательно давление и $t°$ испарения. Схема действия паровой компрессионной Х. м. изображена на фиг. 1; компрессор *а* отсасывает из испарителя *б* пары испаряющегося хладагента с низкой $t°$ и сжимает их до такой $t°$, чтобы осуществить в конденсаторе *в* переход тепла от нагретых сжатых паров к охлаждающей воде. Хладагент, превращенный в конденсаторе в жидкое состояние, поступает затем через регулирующий вентиль *г* в испаритель. Соответствующей установкой его можно поддерживать такое давление, которое отвечает требуемой температуре парообразования. Жидкий хладагент, испаряясь в испарителе, понижает температуру окружающей среды—воздуха или незамерзающего раствора поваренной или других солей. Испарившийся хладагент снова засасывается компрессором, сжимается в нем, сжижается в конденсаторе и после мятия в регулирующем вентиле снова поступает в испаритель для производства в нем при своем испарении полезного холода. Компрессионные паровые холодильные машины образуют следовательно замкнутую систему, в которой непрерывно происходит круговой процесс переноса тепла хладагентом из испарителя в конденсатор. При этом поглощаемое в испарителе тепло отнимается от охлаждаемой среды, а тепло, выделяющееся в конденсаторе, уносится охлаждающей водой.



Фиг. 1.

Главные хладагенты компрессионных Х. м. Требования к хладагентам сводятся к следующему: 1) теплота парообразования, характеризующая охладительную способность, д. б. по возможности велика, 2) удельные объемы в пределах обычных $t°$ конденсации и испарения должны быть малы, 3) давления насыщенных паров, соответствующие обычным $t°$ конденсации и испарения, должны лежать в пределах, употребительных в технике, причем легче бороться с утечкой хладагента при относительно высоких давлениях, чем с проникновением воздуха в аппаратуру при вакууме, 4) хладагент не должен разъедать металлических частей Х. м. или давать со смазкой соединения, нарушающие правильность работы, 5) хладагент не должен оказывать чрезмерно вредного действия на технический персонал при неизбежной утечке. По своим физич. свойствам находят применение следующие хладагенты: аммиак NH_3, углекислота CO_2, сернистый ангидрид SO_2, хлорметил CH_3Cl, дихлорэтилен $C_2H_2Cl_2$, бромистый метил CH_3Br и др. Для Х. м. требуется, чтобы хладагенты не содержали посторонних примесей свыше 0,1%. На месте своего производства они обращаются в жидкое состояние и разливаются в стальные бутыли-баллоны обычно емкостью 20 *кг*. Данные о давлении и удельных объемах насыщенных паров CO_2, SO_2 и NH_3 при различных $t°$ см. *Спр. ТЭ*, т. V, стр. 390. По физич. свойствам хладагентов в пределах, обычных на практике, от +30° до −30° аммиачные Х. м. работают с умеренными (11,9—1,2 *atm*), углекислотные с высокими (73,1—14,6 *atm*), а сернистокислотные с низкими давлениями (4,7—0,4 *atm*), причем вследствие различной величины теплоты испарения и уд. объема для одинаковой холодопроизводительности объемы цилиндра минимальны для CO_2, умеренны для NH_3 и очень велики для SO_2. Поэтому наибольшее распространение для любых пределов $t°$ и любой холодопроизводительности получили аммиачные Х. м., затем для холодопроизводительности до 100 000 Cal/ч.—углекислотные, хладагент которых не имеет запаха. Сернистокислотные Х. м. большой холодопроизводительности вышли из употребления, но широко применяются в мелких автоматич. установках. Холодопроизводи-



Фиг. 2.

тельность Х. м. при данном хладагенте зависит не только от размеров компрессора, числа оборотов его и теплопередающих поверхностей аппаратов, но также от условий работы установки, причем за нормальные условия приняты: $t°$ испарения −10°, $t°$ конденсации +25° и $t°$ перед регулирующим вентилем + 15°. Для перехода к другим условиям работы надо данную величину холодопроизводительности умножить на отношение величин холодопроизводительности при соответствующих $t°$, указанных в табл. 1, и учесть изменения коэф-тов подачи.

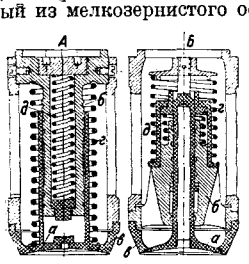
Компрессор (см.) является наиболее важной и ответственной частью Х. м. компрессионной системы. Типы компрессоров различают по следующим признакам: 1) по хладагенту—компрессоры аммиачные, углекислотные и др., 2) по способу действия—компрессоры простого и двойного действия, 3) по направлению оси цилиндра—горизонтальные и вертикальные компрессоры, 4) по расположению цилиндров—компрессоры двойные с общей рамой и одним кривошипом и сдвоенные с отдельными рамами, но общим валом, 5) по холодопроизводительности—компрессоры малые (до 30 000

Табл. 1.—Теоретическая холодопроизводительность в Cal на 1 $м^3$ паров аммиака.

t° испарения	Температура перед регулирующим вентилем								
	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	+40°	+45°	+50°
−50	104,3	102,2	100,0	97,8	95,6	93,4	91,2	88,9	83,6
−45	137,4	134,6	131,8	128,9	126,1	123,1	120,2	117,3	114,3
−40	178,7	175,1	171,4	167,7	164,0	160,3	156,5	152,7	148,8
−35	229,6	224,9	220,3	215,6	210,8	206,1	201,2	196,4	191,5
−30	291,6	285,8	279,9	274,0	268,0	262,0	255,9	249,7	243,5
−25	363,4	359,2	351,9	344,4	336,9	329,4	321,9	314,2	306,4
−20	453,0	447,0	437,9	428,8	419,5	410,2	400,9	391,4	381,8
−15	562,3	551,2	540,1	528,9	517,6	506,2	494,7	483,0	471,3
−10	687,2	673,8	660,3	646,7	633,0	619,0	605,0	590,9	576,7
− 5	833,1	816,9	800,7	784,2	767,7	751,0	733,9	716,9	699,7
0	1 002,5	983,1	963,5	943,9	924,1	904,0	883,7	863,3	842,7
+ 5	1 198,1	1 175,0	1 151,7	1 128,3	1104,7	1080,8	1056,8	1032,5	1008,0
+10	1 422,9	1 395,6	1 368,1	1 340,4	1312,4	1284,2	1255,7	1227,0	1198,0

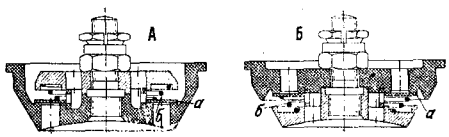
Cal/ч.), средние (до 200 000 Cal/ч.) и большие. 6) по числу оборотов—тихоходные (до 100 об/м.) и быстроходные (от 200 и выше), 7) по числу ступеней сжатия—одноступенчатые и многоступенчатые. Главными частями компрессора являются: цилиндр *а* (фиг. 2, изображающая горизонтальный аммиачный компрессор), поршень *б*, клапаны *в*, передняя крышка *г* с сальником и задняя крышка *д*, рама—станина *е* с подшипниками *ж*, коренной вал *з*, маховик, механизм для преобразования движения—кривошип *з'*, шатун *и* и ползун *к* (крейцкопф), смазочное устройство *л*, предохранительное устройство. Конструктивные различия в компрессорах обусловливаются типом их, в особенности горизонтальным или вертикальным расположением оси цилиндра.

Горизонтальные компрессоры. Цилиндр аммиачного компрессора, отливаемый из мелкозернистого особо плотного чугуна, покоится или целиком на станине или находится как бы на весу, присоединяясь к кольцевой поверхности рамы посредством фланца на передней части. При большой холодопроизводительности под цилиндр добавляется соответствующая подставка (фиг. 2). В современных компрессорах из-за больших скоростей предъявляются особо высокие требования к правильной центровке цилиндра, сальника и направляющих для ползуна. Гнезда для клапанов и соединительные каналы между ними располагают обычно в теле цилиндра. Для предупреждения сильного нагревания цилиндр иногда имеет водяную рубашку. Уплотнение поршня достигается обычно пружинящими кольцами. Углекислотные компрессоры имели иногда поршень с кожаными манжетами, расположенными в разные стороны между бронзовыми кольцами и стягиваемыми гайкой.



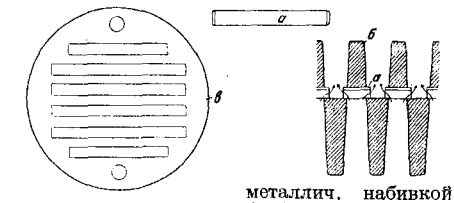
Фиг. 3.

Клапаны компрессора для правильной работы должны обладать достаточным проходом для паров хладагента, быстро, легко открываться и плотно, надежно закрываться. Пружины клапанов не д. б. излишне тугими. В компрессорах Х. м. применяют следующие типы клапанов: шпиндельные клапаны (фиг. 3), *А*—нагнетательный, *Б*—всасывающий, имеющие легкую стальную конусообразную тарелочку *а* с полым стержнем, двигающимся в особых направляющих *б*. Под действием пружины *г* эта тарелочка плотно прижимается к седлу *е* клапана. Пружины *д* служат для аммортизации удара в конце подъема клапана. Пластинчатые клапаны (фиг. 4), *А*—нагнетательный, *Б*—всасывающий, имеют тонкую (2—3 *мм*) кольцеобразную пластинку *а* из хромоникелевой стали, прижимаемую к опорной поверхности легкой пружиной *б* в 4—6 витков. В америк. компрессорах применяются пластинчатые клапаны системы Вортингтона (фиг. 5), состоящие из ряда прямоугольных плоских пластинок *а*, закладываемых между двумя тарелками *б* и *в* т. о., что концы пластинок зажимаются, а сами пластинки могут несколько изгибаться под действием разности давлений по обе стороны их и пропускать т. о. пар.



Фиг. 4.

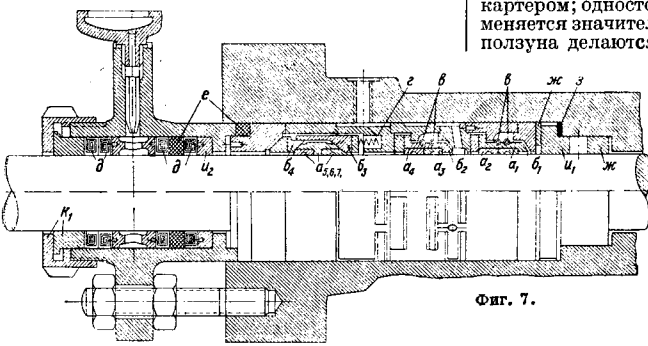
Сальник (фиг. 6) служит для пропуска поршневого штока, причем в кольцевое пространство сальника закладывается соответствующее уплотнение—набивка, чтобы препятствовать выходу паров хладагента из цилиндра. Набивка закладывается на грундбуксу *а* сальника и заканчивается нажимной втулкой *б*, служащей для уплотнения ее и подвода смазки к поршневому штоку. Применявшаяся раньше хлопчатобумажная набивка в виде 5—8 колец круглого или квадратного сечения с косо срезанными концами в настоящее время вытеснена металлич. набивкой. Набивка Гуна состоит из полуколец мягкого металла (свинец с оловом) квадратного сечения с пропитанной маслом хлопчатобумажной прокладкой внутри (фиг. 6.) Набивка Крэна состоит из колец, спрессованных из тонких листов фольги и пропитанных графитом и маслом. Эти гибкие кольца поддаются сжатию и вследствие наличия антифрикционного металла хорошо отводят теплоту трения. Набивка Кранца состоит из системы разрезных колец из белого металла a_1, a_2, ..., a_7 (фиг. 7), которые вставляются попарно в рабочие кольца $б_1$, $б_2$, выполняемые из особого сорта чу-



Фиг. 5.

гуна. Каждое кольцо *а* состоит из трех частей, хорошо пришлифованных друг к другу. Эти части каждого кольца соединяются между собой т. о., чтобы стыки их не совпадали с таковыми же соседнего кольца, для предупреждения утечки хладагента; соединение отдельных частей каждого кольца, производится кольцевой спиральной пружиной *в*, надетой на рабочие кольца $б_1$ и $б_2$, равномерно прижимающей кольца $а_1$, $а_2$, $а_3$ и $а_4$ к поршневому штоку; кольца $а_5$, $а_6$ и $а_7$ прижимаются к штоку и друг к другу действием осевых пружин *г* и скосов нажимных колец $б_3$ и $б_4$. Кроме того на фиг. 7 обозначено: *д*—хлопчатобумажный сальниковый шнур, *е*—резиновые кольца, *эс*—клингерит, *з*—картон, $и_1$, $и_2$—грундбуксы, $к_1$—нажимное кольцо. Для углекислотных машин

Фиг. 6.



Фиг. 7.

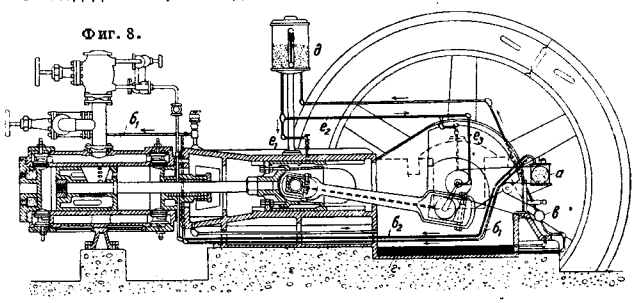
применялась также набивка из кожаных манжет, прижимаемых к поршневому штоку резиновыми кольцами. Между манжетами вставляются кольца из баббита, в к-рые частично манжеты и заходят.

Смазочное устройство. В современных компрессорах смазка вводится под давлением в сальник и во всасывающий патрубок цилиндра. Для этой цели служит специальный лубрикатор, приводимый в движение от вала компрессора, кроме того для более интенсивной смазки подшипников и кривошипного механизма употребительны ротационные масляные насосы, приводимые в действие от вала компрессора посредством ременной передачи. Схема смазки горизонтального аммиачного компрессора показана на фиг. 8, где *а*—лубрикатор высокого давления, питающий две трубки: $б_1$—к всасывающей трубе для смазки цилиндра и $б_2$—к сальнику для смазки штока; *в*—масляный насос низкого давления, качающий масло из маслосборника в резервуар *д*, откуда смазка по трубкам $е_1$ и $е_2$ распределяется следующим образом: по $е_1$—к направляющим, по $е_2$—к подшипникам коренного вала и по $е_3$—к цапфам кривошипа и крейцкопфа.

Предохранительное устройство компрессора для предотвращения чрезмерного повышения давления состоит обычно из пружинного предохранительного клапана, установленного для аммиачных машин на давление 20 *atm*; открываясь, он сообщает между собой нагнетательную и всасывающую стороны. Такой предохранительный клапан располагается иногда непосредственно под цилиндром или устанавливается на отводе, соединяющем нагнетательные клапаны компрессора. В углекислотных машинах вместо клапана на нагнетательной стороне ставится тонкая медная пластинка, которая прорывается при повышении давления до 120 *atm*, после чего углекислота через соответствующую трубку переходит на всасывающую сторону. Такое же устройство с тонкой пластинкой из чугуна или специального сплава применяется в новых конструкциях и для аммиачных машин (фиг. 9).

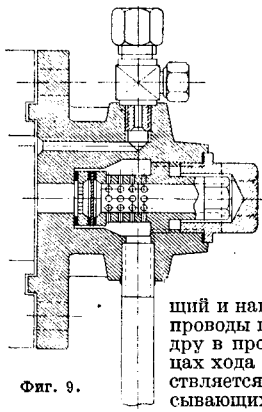
Рама компрессоров горизонтального типа в новейших конструкциях обычно делается вильчатая, с закрытой кривошипной камерой—картером; односторонняя байонетная рама применяется значительно реже. Направляющие для ползуна делаются цилиндрической формы, допускающей лучшую смазку и вращение вала в любую сторону; кроме того по сравнению с прежними плоскими направляющими цилиндрические имеют несомненные преимущества также в отношении лучшей центровки оси перемещения ползуна с осью цилиндра. Подшипники для вала делают с кольцевой смазкой или принудительной смазкой под давлением, а при небольшой холодопроизводительности машины ставят шарикоподшипники. Вильчатая рама позволяет располагать маховик с любой стороны, и поэтому нет необходимости в построении правых и левых моделей. Для машин большой холодопроизводительности необходима постановка за маховым колесом добавочного третьего выносного подшипника.

Фиг. 8.



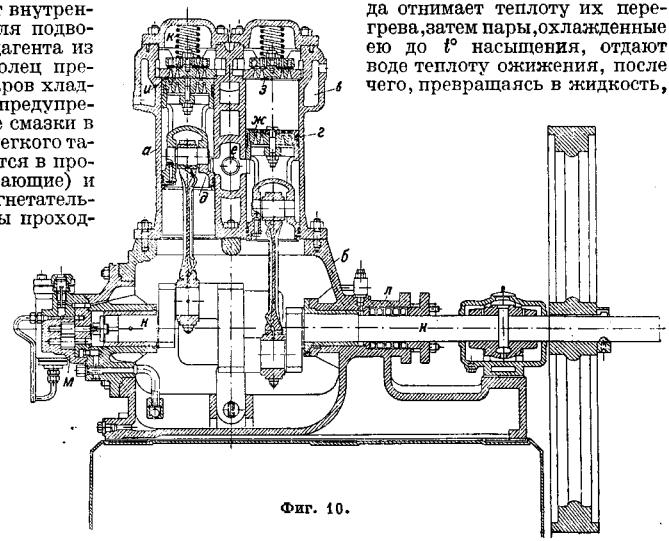
Вертикальные компрессоры. Цилиндры *а* вертикального компрессора (фиг. 10) для малых моделей составляют одно целое или соединяются на болтах с картером—рамой *б*, имея в верхней, наиболее нагреваемой части охлаждающую рубашку *в*. В больших моделях цилиндры устанавливаются на особую фундаментную раму. Характерной особенностью вертикальных компрессоров является соеди-

нение на общей раме нескольких цилиндров—блокирование их, что дает более спокойный и равномерный ход. Благодаря большей скорости вертикальных, компрессоров и большей равномерности вращающего момента возможно обойтись маховиком меньшего веса или непосредственно соединять компрессор с электрическим мотором, ротор которого играет роль маховика. Второй характерной особенностью большинства вертикальных компрессоров является прямоточность, т. е. пары при всасывании, сжатии и выталкивании движутся в цилиндре в одном направлении. Для этого необходимо, чтобы всасывающий и нагнетательный трубопроводы примыкали к цилиндру в противоположных концах хода поршня, что осуществляется расположением всасывающих клапанов в поршне, а нагнетательных в крышке цилиндров. Этот тип является компрессором простого действия. Поршень *г* вертикального компрессора делают очень длинным, так как он соединяет в себе поршень и крейцкопф *д*; он снабжается двумя рядами колец, из которых нижние ограничивают внутреннюю полость, служащую для подвода всасываемых паров хладагента из патрубка *е*. Нижний ряд колец препятствует проникновению паров хладагента в картер, а также предупреждает излишнее засасывание смазки в цилиндр. Клапаны обычно легкого тарельчатого типа располагаются в проходном поршне *жс* (всасывающие) и в крышке цилиндра *з* (нагнетательные). Всасывающие клапаны проходного поршня имеют отжимные пружины и закрываются при перемене хода благодаря инерционным силам и повышению давления при ходе поршня вверх. Нагнетательные клапаны обычно помещаются в фальшивую крышку *и*, к-рая прижимается сильными пружинами *к* к седлу, образуемому выточкой в верхней части цилиндра. Этим устройством устраняется опасность разрыва цилиндра при попадании в него жидкого хладагента. Сальник *л* имеется только на одной боковой стороне рамы для пропуска вала, и в виду отсутствия возвратно-поступательного движения работа такого сальника значительно облегчается. Набивка для сальника делается обычно из колец мягкого антифрикционного металла. Смазочное устройство для цилиндра вертикального компрессора состоит из зубчатого насосика *м*, приводимого в действие от главного вала *н*, причем циркулирующее масло постоянно пропускается через фильтр. Для малых моделей смазка вкладышей шатуна, подшипников и сальника производится разбрызгиванием масла в картере вследствие погружения в него нижнего конца шатуна. Для этой цели картер наполнен маслом до соответствующего уровня (масляная ванна), причем маслоуказательное стекло снаружи картера позволяет наблюдать уровень масла. Предохранительное устройство состоит из клапана, к-рый отжимается при повышении давления за известный предел. Кроме того при засасывании в цилиндр жидкого хладагента автоматически поднимается упомянутая выше фальшивая крышка цилиндра. Рама компрессора вертикального типа для малых и средних по мощности моделей представляет одно целое с цилиндрами, а при большой холодопроизводительности рама отливается отдельно от цилиндров. В виду того что рама, соединяющая в себе и картер, подвергается действию паров хладагента, она д. б. выполнена из наилучшего мелкозернистого чугуна. Для доступа к коленчатому валу и шатунам в раме имеются большие отверстия с соответствующими крышками, а также боковая крышка с подшипником для коленчатого вала. Характеристика аммиачных компрессоров вертикального типа дана в табл. 2.



Фиг. 9.

Конденсатор. Х. м. служит для превращения в жидкое состояние (ожижения) сжатых компрессором паров хладагента. Этот процесс совершается благодаря действию охлаждающей воды, к-рая уводит от хладагента полученную им в испарителе теплоту, увеличенную еще на тепловой эквивалент работы компрессора. Сначала от сжатых паров хладагента вода отнимает теплоту их перегрева, затем пары, охлажденные ею до $t°$ насыщения, отдают воде теплоту ожижения, после чего, превращаясь в жидкость, переохлаждаются почти до $t°$ поступающей воды. Последняя нагревается в конденсаторе на 8—10°; чем ниже $t°$ охлаждающей воды, тем ниже давление сжатия в компрессоре и меньше расход мощности. Главные типы конденсаторов—погружные, оросительные, противоточные и кожухо-трубчатые.



Фиг. 10.

Погружной конденсатор состоит из змеевиков, изогнутых в виде спиралей и погруженных в круглый цилиндрический резервуар.

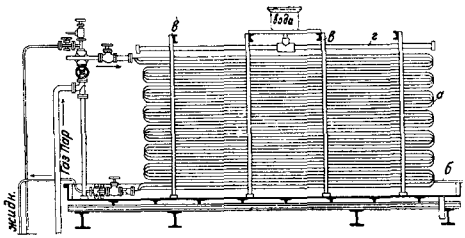
Табл. 2.—Аммиачные вертикальные компрессоры. *1

Характеристика	Номера									
	206 *2	207 *2	209 *2	213 *2	215 *2	217 *2	215 *3	217 *3	223 *2	226 *2
Число цилиндров	2	2	2	2	2	2	4	4	2	2
Диам. цилиндров, *мм*	65	80	100	130	160	180	130	180	250	280
Ход поршня, *мм*	60	70	90	130	150	170	150	170	230	260
Число об/м.	410	405	390	350	340	330	340	330	300	290
Присасываемый объем, *м*³/ч	9,8	17,1	33,1	72,4	123,0	171,0	246,0	343,0	406,5	556,5
Холодопроизводительность, Cal/ч.	4 000	7 000	14 000	31 000	55 000	80 000	110 000	160 000	200 000	275 000
Коэф. подачи	0,604	0,608	0,63	0,638	0,667	0,70	0,667	0,70	0,732	0,735
Потребная мощность, IP	2,1	3,5	6,4	12,5	20,0	28,6	39,5	56,0	65	89
Диам. маховика, *мм*	450	550	700	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600
Ширина маховика, *мм*	60	70	90	120	150	160	180	220	240	280
Вес маховика, *кг*	40	60	70	135	255	365	400	535	610	700
Общий вес компрессора, *кг*	150	240	400	940	1 340	1 880	2 230	2 830	3 030	3 560
Диам. всасыв. и нагнетательн. трубопроводов, *мм*	20	20	30	40	50	50	70	80	80	100

*1 Заводов Борзиг—Германия—Гумбольдт—модели 1931 г. *2 Модель SNZ. *3 Модель SNW.

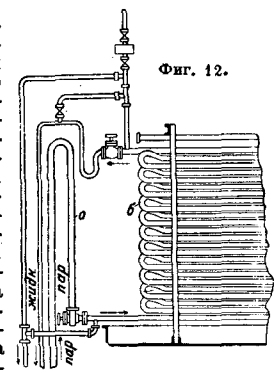
Пары хладагента поступают через верхний сборник, а нижний служит для отвода ожиженного хладагента. Охлаждающая проточная вода поступает снизу конденсатора и уходит, нагревшись, вверху его, причем скорость воды при проходе через резервуар невелика—около 0,1 *м/сек*, так что коэфициент теплопередачи не превосходит 200 Cal/час *м*² °C, т. е. с 1 *м*² охлаждающей поверхности возможно отвести не свыше 1 200 Cal/ч. Погружные конденсаторы в настоящее время применяются лишь изредка для машин небольшой холодопроизводительности или для судовых Х. м. и совершенно вытеснены конденсаторами других типов для машин средней и большой мощности.

Оросительный конденсатор состоит из змеевиков, орошаемых снаружи водой, стекающей сверху вниз. В зависимости от расположения труб и подвода паров хладагента различают следующие главные типы: 1) Оросительный конденсатор со змеевиками из горизонтальных труб и верхним подводом паров хладагента (фиг. 11). Змеевики *а* конденсатора



Фиг. 11.

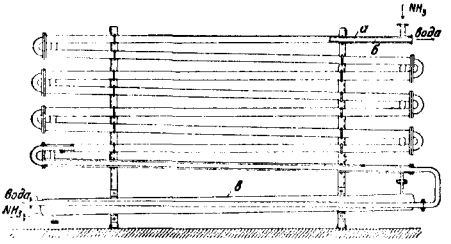
этого типа ставятся в вертикальных плоскостях на расстоянии ок. 500—700 *мм* друг от друга над поддоном *б*—низким резервуаром для стока воды—и укрепляются в этом положении соответствующими стойками *в* и подкосами. Орошение змеевиков водою производится при помощи водораспределительных труб или желобов *г*, проходящих над каждым змеевиком. В этой устарелой уже конструкции охлаждающая вода и хладагент текут в одном направлении сверху вниз, и поэтому нельзя достигнуть сильного переохлаждения жидкого хладагента. При такой конструкции оросительного конденсатора с 1 *м*² поверхности его возможно снять до 1 200 Cal/ч. 2) Оросительный конденсатор со змеевиками из горизонтальных труб и нижним подводом хладагента (фиг. 12) осуществляет противоток хладагента и воды, вследствие чего достигается также и переохлаждение жидкого аммиака. Для предупреждения стока его через нижний сборник в нагнетательный трубопровод труба *а* изгибается соответствующим образом—сначала кверху и затем вниз. Кроме того для задержания образующегося конденсата витки змеевика имеют петлеобразные загибы *б*. Охлаждение перегретых паров хладагента, поступающих в конденсатор, производится вниз конденсатора за счет частичного испарения сконденсированного аммиака через непосредственное соприкосновение с ним, вследствие чего для этих целей не требуется добавочной поверхности конденсатора. В американских конструкциях таких конденсаторов применяется также промежуточный отвод жидкого аммиака, т. к. часть поверхности конденсатора, покрытая жидким аммиаком, теряется для процесса конденсации. Эффективность теплопередачи 1 *м*² поверхности достигает 3 500 Cal/ч. 3) Оросительный конденсатор с вертикальными трубами. Подвод перегретых паров производится к нижнему сборнику, а охлаждение их достигается путем непосредственного соприкосновения со стекающим жидким хладагентом. Вследствие вертикального положения труб получаются легкий отвод сконденсировавшихся паров и масла, бо́льшая скорость орошения водой и поэтому достаточно высокая эффективность теплопередачи—до 2 500 Cal/час.



Фиг. 12.

Противоточный конденсатор (фиг. 13) состоит из двух змеевиков *а* и *б*, заключенных один в другой. В пространстве между внешним и внутренним змеевиками происходит ожижение хладагента, к-рый поступает сверху вниз, между тем как вода течет по внутреннему змеевику в противоположном направлении—снизу вверх. Под конденсатором располагается для аккумулирования жидкого аммиака соответствующей емкости ресивер *в*. В новых конструкциях трубы укрепляются на стойках с уклоном в направлении движения хладагента для более легкого стока жидкого аммиака и

масла. Для упрощения сборки противоточного конденсатора и легкого доступа к внутренним и внешним трубам для очистки их от загрязне-



Фиг. 13.

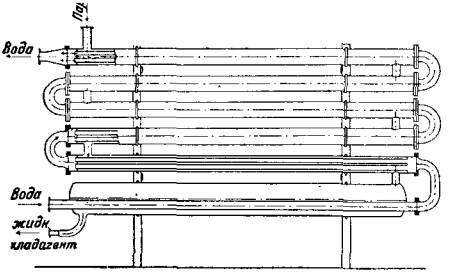
ний применяют особые соединительные части. Такие противоточные конденсаторы вследствие большой эффективности своей поверхности (около 4 000 Cal/ч.) и компактности получили широкое распространение для холодильных установок малой и средней мощности. Размеры аммиачных противоточных конденсаторов даны в табл. 3. При большой холодопроизводитель-

Табл. 3. — Аммиачные противоточные конденсаторы. *1

Характеристика	Поверхность, м²							
	6,2	7,3	8,4	9,4	12,2	14,3	16,4	18,5
Количество секций	1	1	1	1	2	2	2	2
Число двойных труб в секции	12	14	16	18	11	13	15	17
Длина конденсатора, м	5	5	5	5	5	5	5	5
Число стоек	2×4	2×4	2×4	2×4	2×3	2×3	2×3	2×3
Высота стоек, мм	1 325	1 540	1 760	1 975	1 940	2 155	2 370	2 585
Диам. аммиачн. вентилей, мм	30	30	30	30	50	50	50	50
Диам. водопроводн. кранов	$1^1/_4$″	$1^1/_4$″	$1^1/_4$″	$1^1/_4$″	2″	2″	2″	2″

*1 Завод «Компрессор», Москва.

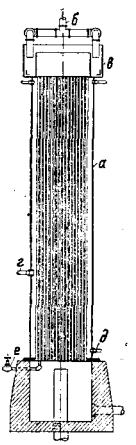
ности применяются также противоточно-элементные конденсаторы (фиг. 14), к-рые отличаются тем, что вместо одной внутренней трубы число их увеличено до 3, 7 или 14 при диаметре наружной трубы соответственно 100—200 мм (фиг. 14). При том же способе дей-



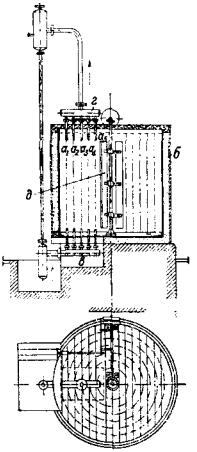
ствия их, как и обычных противоточных конденсаторов с двойными трубами, получается бо́льшая компактность и требуется меньшее число параллельных соединений.

Вертикальный кожухо-трубчатый конденсатор типа Schell and Tube с верхним подводом охлаждающей воды состоит из цилиндрич. кожуха *а* (фиг. 15) ⌀ 600—1 200 мм, в днища к-рого развальцованы трубы длиной ок. 5 м. Вода, поступающая через трубу *б* и распределительный кольцевой бачок *в*, стекает вниз пленкой по внутренней поверхности труб, а перегретые пары вводятся через патрубок *г* перпендикулярно к трубам приблизительно на $^1/_2$ высоты кожуха и сдувают при этом сконденсировавшиеся пары. Стекающий вниз жидкий аммиак собирается на дне и отводится в ресивер через патрубок *д*, освобождая поверхность труб для процесса конденсации. Для спуска масла имеется особый вентиль *е*. Переохлаждение в конденсаторе этого типа не осуществляется из-за отсутствия противотока и производится добавочно в противоточном переохладителе. Коэф. теплопередачи достигает 700—1 200 Cal, т. е. на 1 м² поверхности 3 500—6 000 Cal/час. Конденсатор занимает очень мало места и обычно устанавливается снаружи машинного отделения. Вертикальный кожухо-трубчатый конденсатор с нижним подводом охлаждающей воды вследствие противотока имеет переохлаждение в самом конденсаторе, но обладает пониженной теплопередачей, так как вода поднимается по трубам с относительно малой скоростью. Поэтому такие конденсаторы не имеют особых преимуществ перед конденсаторами с орошением водой.

Испаритель-рефрижератор является той частью Х. м., в к-рой происходит испарение хладагента, сопровождаемое отнятием из окружающей среды необходимой для этого процесса теплоты парообразования. Испаритель м. б. помещен или непосредственно в охлаждаемое помещение или погружен в резервуар с водным раствором поваренной соли или других солей (рассольное охлаждение). Испаритель для охлаждения рассола состоит из ряда змеевиков a_1, a_2, ... (фиг. 16), помещенных в цилиндрич. резервуаре *б* и снабженных распределительными *в* и собирательными *г* частями. Под-



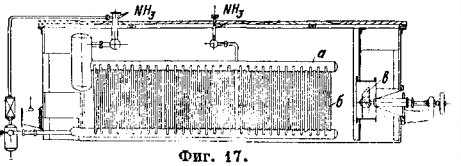
Фиг. 15.



Фиг. 16.

вод жидкого хладагента делается снизу змеевиков, а отсасывание паров к компрессору — вверху их. Внутри резервуара помещена приводимая в движение от привода мешалка *д*. Охлажденный рассол, с большим уд. весом,

опускается в нижнюю часть испарителя и оттуда берется насосом для циркуляции его по холодильным батареям, между тем как нагревшийся рассол возвращается после прохода через них обратно к верху испарителя. Чтобы рассол в испарителе не нагревался под действием сравнительно высокой $t°$ наружного воздуха, резервуар его д. б. хорошо изолирован. В нек-рых случаях вместо цилиндрического резервуара ставят прямоугольный с небольшой сравнительно высотой, и змеевики лежат в нем не круглыми витками, а вытянутыми в горизонтальной плоскости, занимая почти всю площадь резервуара. Мешалки также принимают другой вид, устраиваются они сбоку резервуара в виде гребного винта. Эффективность холодоотдачи таких устарелых уже испарителей цилиндрической и «сундучной» формы не превышает с 1 $м^2$ 1 200 Cal/ч. За последние годы получают распространение т. н. испарители интенсивного действия, которые вследствие своих конструктивных особенностей отличаются повышенной холодоотдачей при

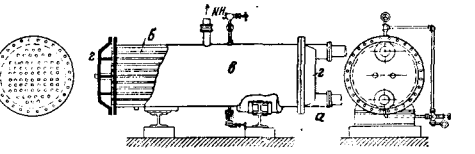


Фиг. 17.

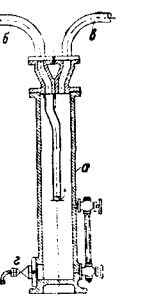
меньшей рабочей поверхности и незначительности занимаемого места. Повышение коэф-та холодоотдачи в них основано на быстром отводе образующихся паров из коротких систем вертикальных или наклонных труб и затоплении их жидким хладагентом (flooded system), к-рый, циркулируя по трубам, смывает препятствующие испарению пузырьки пара. К испарителям этого типа относятся испарители сист. Линде и Иорк. Испаритель Линде состоит из двух длинных труб *а* (фиг. 17) большого диаметра (150 *мм*), расположенных одна под другой и соединенных с обеих сторон короткими трубками *б* ($\varnothing$ $^{30}/_{38}$ *мм*) длиной 800 *мм*. При таких вертикальных трубках создается нек-рая циркуляция жидкого аммиака, который увлекается кверху образующимися пузырьками пара (принцип термосифона). Кроме того вследствие незначительного объема этих испарителей является возможным дать сильное перемешивание рассола винтовой мешалкой *в*, а число Cal, снимаемых с 1 $м^2$ поверхности, достигает ок. 2 500 Cal/час, т. е. почти в 2,5 раза больше прежних устарелых конструкций. Испаритель Иорк имеет также два распределителя *а* и *б* (фиг. 18) из труб большого диаметра, подходящих к питательному сосуду *в* с жидким аммиаком, снабженному для сохранения постоянного уровня поплавковым регулятором *г*. Верхний и нижний распределители соединяются между собой изогнутыми трубами *д* диам. 30 *мм*, к-рые не затрудняют процесс испарения образованием «пробок», что имеет место при большой длине испарительных змеевиков с малым уклоном подъема трубы. Такие испарители иногда носят название «селедочной кости», так как напоминают ее своим видом.

Фиг. 18.

Кожухо-трубчатые испарители (фиг. 19) характеризуются повышенной скоростью движения рассола (0,75—2,0 *м/сек*), вводимого через патрубок *а* и циркулирующего по трубам *б* ($\varnothing$ 50 *мм*), к-рые снаружи омываются жидким аммиаком, затопляющим кожух *в* испарителя. Кожух располагается на соответствующих подставках в горизонтальном положении; диам. его 660—1 100 *мм*, длина 1 800—5 500 *мм* при толщине стенок 6—10 *мм*; число труб, развальцованных в торцовых стенках, в зависимости от диаметра составляет 60—180. Одноходные испарители этого типа без распределительных боковых крышек особенно пригодны для ледогенераторов, занимая только ок. 10% объема бака. Многоходные испарители этого типа имеют соответствующей формы боковые крышки *г*, *г*, к-рые путем соответственного расположения переборок доводят число ходов рассола до 12, что позволяет усилить скорость циркуляции последнего, а следственно повысить эффективность охлаждающей поверхности на 1 $м^2$ при нормальной разности $t°$ аммиака и рассола в 5° до 1 700—2 500 Cal/час. Недостатком кожухо-трубчатых испарителей являются некоторая опасность замерзания в трубах рассола и разрыв их при случайной остановке циркуляционного насоса, что м. б. устранено применением растворов хлористого кальция очень сильной концентрации.



Фиг. 19.



Фиг. 20.

Маслоотделитель предназначается для улавливания смазки, увлекаемой с парами хладагента из компрессора, с целью предупредить загрязнение смазкой змеевиков конденсатора и испарителя, что ухудшает работу их. Кроме того является возможным вновь использовать полученную из маслоотделителя смазку после соответствующей фильтрации ее. Маслоотделитель (фиг. 20) представляет собой цилиндрич. сосуд *а*, в к-рый поступают по трубке *б* сжатые пары хладагента: они уходят вверху по трубке *в*. *Резкое падение скорости* движения паров и изменение направления движения заставляют отдельные частицы смазки собираться на дне маслоотделителя, откуда они отводятся через кран *г*. В Х. м. с перегревом паров работа маслоотделителя протекает в

более трудных условиях, так как вследствие высокой $t°$ аммиачных паров частицы смазки уносятся из цилиндра компрессора в парообразном состоянии и для своего выделения требуют предварительного охлаждения.

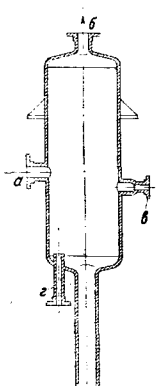
Грязевик включается на всасывающей стороне вблизи компрессора и имеет назначение улавливать все загрязнения и не допускать их в цилиндр компрессора; он представляет собой расширение трубопровода, куда вставляется частая сетка; конструкция грязевика должна допускать возможность легкой выемки сетки и очистки ее.

Соединительные трубопроводы Х. м. должны быть из цельнотянутых труб, испытанные для аммиачных Х. м. на 60 *atm* и для углекислотных на 160 *atm*. Размеры труб для аммиачных Х. м. даны в табл. 4.

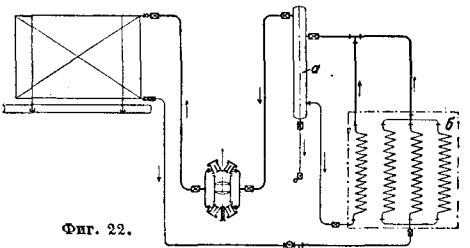
Табл. 4.—Нормальные размеры и вес труб для аммиачных холодильных машин.

Внутр. диам., *мм*	10	13	19	25,5	30	34	40	52	62	68	80	85	92	104	122	152
Наружн. » »	17	21	27	33,5	38	42	48	60	70	76	89	94	102	114	133	164
Толщ. стенок, »	3,5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,5	4,5	5	5	5,5	6
Вес 1 *м* трубы, *кг*	1,16	1,95	2,25	2,89	3,32	3,75	4,31	5,47	6,50	7,85	9,28	9,87	10,72	13,32	17,16	23,24

Для наиболее экономичной работы Х. м. требуется, чтобы жидкий хладагент полностью испарялся в той части ее, к-рая для этой цели предназначена, т. е. в испарителе. Однако применяемый в настоящее время для повышения холодоотдачи затопленный тип испарителя для удовлетворения этому требованию нуждается в установке на пути от испарителя к компрессору отделителя жидкости. Посредством этого прибора из влажных паров задерживаются частицы жидкости, и компрессор отсасывает уже сухой пар. Выгода сухого хода компрессора заключается в том, что во вредном пространстве цилиндра устраняется испарение жидкости, наблюдаемое при влажном ходе компрессора. Т. о. отделение жидкости из засасываемых паров благоприятно влияет на линию расширения в индикаторной диаграмме компрессора, и объем всасывания будет больше, что увеличит и холодопроизводительность. Кроме того несмотря на более высокую температуру (70—90°), вызванную перегревом паров при сжатии, ослабляются явления теплообмена между стенками цилиндра и парами, т. к. перегретый пар обладает меньшей теплопроводностью, чем смесь пара и жидкости. Вследствие этого сухой ход компрессора повышает холодопроизводительность на 10—15%, но требует для него соответствующей набивки сальника и усиленной смазки. Задержанные отделителем частицы жидкости отводятся тем или иным путем к испарителю и используются там для производства холода. Конструкция отделителя жидкости напоминает маслоотделитель и основана на резком изменении направления движения влажных паров и на падении скорости их. вследствие чего увлеченные из испарителя частицы жидкости как обладающие большим уд. весом выпадают и собираются в нижней части вертикального цилиндрич. сосуда (фиг. 21), где *а*—вход влажного пара NH_3, *б*—выход сухого пара NH_3, *в*—выход жидкого NH_3, *г*—спускная линия, *д*—спуск масла, *е*—спуск загрязнений. Так как одновременно с частицами жидкости отделяется и смазка, то для стока ее под сосудом имеется удлиненная часть и соответствующие приспособления для спуска масла и загрязнений. Схемы включения отделителя жидкости в систему Х. м. следующие. 1) Отделенная жидкость подводится обратно в испаритель благодаря своему весу, если отделитель *а* (фиг. 22) расположен достаточно высоко и напор больше, чем гидравлические сопротивления в испарителе *б*. В противном случае жидкость подается посредством таких принудительных устройств, как инжектор или



Фиг. 21.

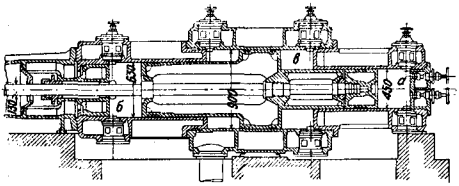


Фиг. 22.

насос. 2) В виду того что в жидком хладагенте, поступающем от регулирующего вентиля, содержится некоторое количество паров, то целесообразно по предложению Шмица направить его предварительно через отделитель жидкости вместе с парами, засасываемыми из испарителя. Из отделителя жидкости хладагент, освобожденный от паров и содержащий только одну жидкость, подводится к испарителю, а компрессор засасывает уже сухие пары. 3) Особенностью схемы з-да Del-Orto является направление жидкого хладагента из отделителя помощью насоса в конденсатор, с целью увлажнения паров, поступающих от компрессора, и улучшения теплопередачи в конденсаторе.

Двух- и многоступенчатое сжатие является целесообразным при высокой $t°$ конденсации и низких $t°$ испарения, когда отношение давления сжатия p и всасывания p_0 для горизонтальных компрессоров больше 6, а для вертикальных прямоточных больше 8, так как при больших перепадах давлений и наличии вредного пространства компрессор вообще может перестать засасывать пары хладагента. Выполнение Х. м. многократного сжатия осуществляется на практике следующими способами: 1) применением специальных конструкций компрессоров с одним цилиндром и ступенчатым поршнем или построенных по типу тандэм-машин. На фиг. 23 дан трехступенчатый аммиачный компрессор со ступенчатым поршнем; отношение объемов трех ступеней: высокого давления *а*, среднего давления *б* и низкого давления *в* равно 1 : 1,88 : 3,00; 2) применением сдвоенных компрессоров, работающих от обще-

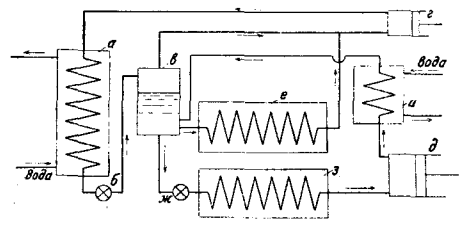
го вала, причем цилиндры при одинаковом ходе поршня отличаются только диаметрами; 3) применением обычных машин одноступенчатого сжатия, работающих отдельно, но соединенных



Фиг. 23.

между собой соответствующими трубопроводами при правильно рассчитанных засасываемых объемах, получаемых путем соответствующего подбора числа оборотов отдельных компрессоров и их размеров.

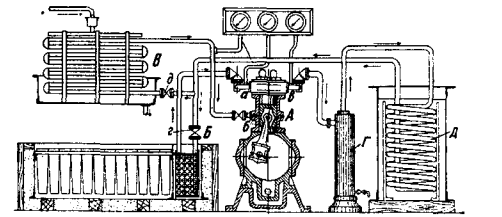
Схема с двухступенчатым регулированием (фиг. 24) отличается тем, что поступающий из конденсатора *а* жидкий аммика дросселируется вентилем *б* до промежуточного давления и поступает затем через отделитель *в*, в котором образовавшиеся при дросселировании пары отделяются от жидкости и отсасываются цилиндром высокого давления *г* компрессора; небольшая часть жидкого аммиака из промежуточного сосуда *в* испаряется вследствие подвода к ней перегретых паров из цилиндра низкого давления *д*, а остальное количество частично отводится непосредственно в испаритель высокого давления *е*, а частично



Фиг. 24.

через регулирующий вентиль *же* поступает на испарение в испаритель низкого давления *з*; охладитель *и* служит для предварительного охлаждения паров, сжатых в цилиндре низкого давления; вышеописанная схема с двухступенчатым испарением употребительна в случае необходимости иметь различные температуры испарения, напр. для предварительного охлаждения мяса и быстрого замораживания его при очень низких *t°*. Кроме этих схем возможны различные видоизменения их, напр. переохлаждение аммиака за счет испарения части его из промежуточного сосуда.

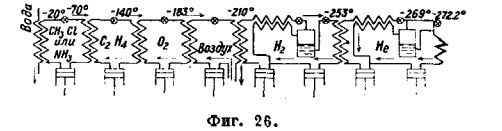
Холодильный процесс Ворхиса осуществляет двухступенчатый цикл в одном цилиндре «компрессора многократного эффекта» (Multiple-Effect). Схема установки изображена на фиг. 25. При ходе поршня компрессора *А* вниз он засасывает через всасывающие клапаны *а* пары из испарителя низкого давления *Б* (с более низкой *t°*, напр. из ледогенератора) почти до конца хода, когда открываемые поршнем окна *б* в стенках цилиндра сообщают полость цилиндра с испарителем высокого давления *В*, пары к-рого и наполняют собой цилиндр. После соответствующего сжатия пары из цилиндра через нагнетательные клапаны *в* идут в маслоотделитель *Г* и затем в конденсатор *Д*, где они сжижаются и через регулирующие вентили *г* и *д* поступают снова в соответствующие испарители. Схема каскадного цикла (фиг. 26) заключается в следующем: две или более обыкновенных Х. м. работают совместно т. о., что тепло, передаваемое конденсатором машины цикла с более низкой *t°*, воспринимается испарителем машины цикла с более высокой *t°*. Не представляя теоретически особых выгод, эта схема на практике выгодна в том отношении, что вследствие уменьшения перепада давлений увеличиваются коэф. подачи компрессоров и их индикаторный кпд. Кроме того эта схема дает возможность соединенной работы



Фиг. 25.

машин с различными хладагентами, причем в различных интервалах *t°* применяются такие хладагенты, к-рые наиболее им соответствуют, например CO_2 или NH_3—для ступени высокого давления и этан, этилен или закись азота—для ступени низкого давления при получении *t°* ок.—100°. На фиг. 26 изображена схема восьмиступенчатой Х. м. для получения наиболее низших из достигнутых в настоящее время *t°*; первые четыре ступени имеют последовательно в качестве хладагентов хлористый метил или аммиак, этилен, кислород и воздух, затем следуют две двухступенчатые Х. м. с водородом и гелием в качестве хладагентов. В испарителе последней ступени кипит гелий при весьма пониженном давлении, развивая *t°* в —272,2°.

Холодильное машиностроение в СССР сосредоточено на заводе «Компрессор» (Москва) и з-де им. Фрунзе в Сумах. Учитывая огромную потребность страны в холодильном оборудовании для пищевой, химич. пром-сти и пр., про-



Фиг. 26.

делана большая работа по типизации Х. м. Выбраны наиболее целесообразные типы вертикальных прямоточных компрессоров и тех аппаратов, к-рые вследствие своей большой эффективности требуют меньшей затраты металла.

Расчеты компрессионных Х. м. Расчеты Х. м. производятся на основании калорич. расчетов (см. *Холодильники*), определяющих потребное количество холода в сутки, и по принятой продолжительности работы, что дает холодопроизводительность Х. м. в рабочих Cal/час. Для подсчета мощности компрес-

соров изображают рабочий процесс Х. м. в заданных условиях в энтропийной диаграмме *T-s* или в энтальпийной *p-i*, которая оказывает огромные услуги при расчетах, позволяя непосредственно находить теплосодержание в различных точках процесса. Рабочий процесс действительной Х. м. отличается от идеального процесса, протекающего по обратному циклу Карно, тем, что вместо расширительного цилиндра вводится регулирующий вентиль, добавляется переохлаждение сконденсированного жидкого хладагента, и сжатие ведется в области перегретых паров (сухой ход). На фиг. 27 изображен рабочий процесс в *T-s* и *p-i* диаграммах: *A*—левая пограничная кривая, разде-

Фиг. 27.

ляющая состояние жидкости и насыщенного пара с паросодержанием $x=0$, *B*—правая пограничная кривая, разделяющая состояние сухого пара с паросодержанием $x=1$ и перегретого пара, *1—2*—сжатие в компрессоре (адиабата); *2—2'*—охлаждение перегретых паров (изобара); *2'—3*—конденсация насыщенных паров при темп-ре t и давлении p конденсатора (изотерма и изобара); *3—3'*—переохлаждение жидкого хладагента в конденсаторе (изобара); *3'—4*—дросселирование в регулирующем вентиле (изоэнтальпа) и *4—1*—испарение жидкого хладагента при темп-ре t_0 и давлении p_0 в испарителе (изотерма и изобара). По разности теплосодержания в точках *2* и *1* определяется затрата работы на сжатие $Al=i_2-i_1$ при полезном холодильном действии $q_0=i_1-i_4$; $A=1/427$—механический эквивалент тепла. Количество тепла, отводимого в конденсаторе, $q=i_2-i_3'=q_0+Al$, причем теплосодержание перед регулирующим вентилем $i_3'=i_4$. Работа компрессора за указанный цикл Карно Al' равна в энтропийной диаграмме площади *1—2—2'—3—3'—6—1* при соответственном холодильном действии q_0, выражаемой площадью *1—5—a—c*. Значение теплосодержания—энтальпий берут из таблиц, если точки лежат на пограничных кривых, или непосредственно отсчитывают по энтальпийной диаграмме. Работа компрессора в *кгм* для сжатия 1 *кг* паров хладагента может быть вычислена по следующей формуле:

$$Al=A\frac{\varkappa}{\varkappa-1}\cdot 10^4\, p_0\, v_0\left[\left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}-1\right],$$

где $\varkappa$—показатель адиабаты: для аммиака $\varkappa=1{,}3$, для сернистой к-ты $\varkappa=1{,}25$ (для углекислоты в виду близости критич. точки следует пользоваться *p-i* диаграммой), p и p_0—давления в конце и в начале сжатия в *кг/см²*, v_0—уд. объем засасываемых паров хладагента в *м³/кг*. На основании полученных теоретич. величин q_0 и Al для 1 *кг* хладагента представляется практически возможным вычислить необходимый объем паров, проходящих через компрессор, и мощность последнего с учетом следующих коэф-тов: коэфициента подачи λ, характеризующего работу компрессора и представляющего отношение действительно полученной холодопроизводительности к той холодопроизводительности, к-рую теоретически должны были бы дать холодильные машины, если бы компрессор при всасывании заполнялся на 100% сухим насыщенным паром, индикаторного кпд компрессора η_i—отношения мощности, теоретически необходимой для получения требуемой холодопроизводительности, к мощности, действительно затраченной. В зависимости от отношения давлений конденсации p и испарения p_0 проф. Планк дает значения коэфициентов λ и η_i, приведенные в табл. 5.

Табл. 5.—Значения коэфициентов λ и η_i в % для различных значений $p:p_0$.

$p:p_0$ . .	3	4	5	6	7	8	9	10
λ . . .	70—85	65—78	60—70	55—65	50—60	45—55	40—50	40—45
η_i . .	80—88	74—82	70—78	67—73	63—70	60—68	58—62	55—60

В табл. 5 нижние пределы относятся к тихоходным компрессорам малых размеров с большим вредным пространством, а верхние—к быстроходным компрессорам крупных размеров с небольшим вредным пространством. Часовой объем засасываемых паров хладагента, служащий для определения размеров цилиндра компрессора, получаем по ур-ию $V=\frac{Q_0 v_0''}{q_0\lambda}$, где Q_0 Cal/час—холодопроизводительность Х. м., v_0''—уд. объем засасываемых сухих паров, *м³/кг*, q_0—холодильное действие Cal/*кг*, λ—коэф. подачи. Задаваясь отношением диам. цилиндра D к ходу поршня H (для современных компрессоров $\frac{D}{H}\cong 1$) и числом об/м. n в зависимости от типа, получаем для компрессора двойного действия:

$$V=\frac{60\pi nH}{4\cdot 10^6}(2D^2-d^2)=\frac{3\,600\pi c_m}{8\cdot 10^4}(2D^2-d^2),$$

где D—диам. поршня в *см*, H—ход в *см*, d—диам. штока в *см*, а $c_m=\frac{2\cdot H\cdot n}{60}$—средняя скорость поршня в *м/сек*, равная 1,3—2,9 *м/сек* для горизонтальных машин, откуда, полагая $d\cong 0{,}2D$, а $\frac{H}{D}=k$, получаем

$$D=22{,}1\sqrt[3]{\frac{V}{n\cdot k}}=1{,}90\sqrt{\frac{V}{c_m}}.$$

Для одного цилиндра простого действия

$$V=\frac{60\pi nHD^2}{4\cdot 10^6}=\frac{3\,600\pi c_m D^2}{8\cdot 10^4},$$

откуда для компрессора с z цилиндрами

$$D=27{,}7\sqrt[3]{\frac{V}{n\cdot k\cdot z}}=2{,}66\sqrt{\frac{V}{c_m\cdot z}},$$

где c_m для вертикальных прямоточных компрессоров принимается равной 1,7—3,3 *м/сек*. Т. о., построив в диаграммах *T-s* или *p-i* рабочий процесс Х. м. и определив теоретич. холодильное действие на 1 *кг*, переходим к действительному часовому объему паров, проходящих через компрессор, и наконец к основным размерам последнего: D—диаметру цилиндра и H—ходу поршня. Расход индикаторной мощности компрессора в Ир при заданной часовой холодопроизводительности Q_0 определяется по ф-ле

$$N_i=\frac{Q_0 Al}{q_0\eta_i\,632},$$

где q_0—холодильное действие хладагента при заданных условиях работы, Al—затрата теоретич. работы на сжатие 1 *кг* хладагента. Действительная потребная мощность

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_м},$$

где $\eta_м$—механич. кпд, колеблющийся в пределах 0,78—0,90 для Х. м. с Q_0=15 000÷600 000 Cal/час. Расчет поверхности конденсатора ведется по заданной холодопроизводительности, увеличенной на тепловой эквивалент работы компрессора, т. е. $Q = Q_0 + 632\ N_i$. Требуемая поверхность охлаждения в $м^2$ составит $F = \frac{Q}{k\Delta t}$, где k—коэф. теплопередачи Cal/час. $м^2$ °C и Δt—средняя разность $t°$ между конденсирующимися парами и охлаждающей водой. Значения $k\Delta t$, составляющие эффективность теплопередачи, указаны выше при характеристике различных типов конденсаторов. Расчет поверхности испарителя ведется по ф-ле: $F = \frac{Q_0}{k\Delta t}$, где k—коэф. холодоотдачи Cal/час $м^2$ °C, Δt—средняя разность $t°$ между рассолом и испаряющимся хладагентом (рассольное охлаждение) или между воздухом камер и испаряющимся хладагентом (непосредственное испарение). Значения $k\Delta t$ для первого случая указаны при характеристике испарителей, а для непосредственного испарения имеем следующую зависимость k от величины Δt:

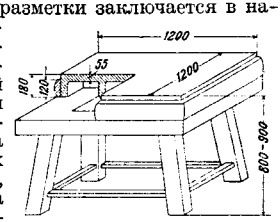
Δt	5—8	8—10	10—15
k	7—10	10—15	16—20

Абсорбционные Х. м. представляют те же Х. м. компрессионной системы, но вместо компрессора, требующего затраты механич. энергии, имеется особый термический компрессор, использующий сравнительно дешевое тепло от мятого пара, дымовых газов и пр. Кроме того добавочно к хладагенту в работе абсорбционной Х. м. участвует жидкое тело—поглотитель, к-рый поглощает пары хладагента из испарителя в особом абсорбере и выделяет их при высоком давлении и $t°$ из кипятильника, требующего для этой цели подвода тепла. В качестве хладагента применяется аммиак, а поглотителем служит вода. Такие абсорбционные Х. м. не получили пока широкого применения несмотря на заманчивые перспективы использования их в нек-рых отраслях пром-сти, располагающих отбросным теплом. Последние усовершенствования их в виде двухступенчатого испарения (работы Альтенкирха) повышают экономичность действия их почти вдвое и дают возможность в нек-рых случаях соперничать с холодильными машинами компрессионной системы.

Лит.: Комаров Н., Холод, 3 изд., 1934; Планк Р., Америк. холодильная техника, 1931; Цыдзик В. и Йоэльсон Е., Холодильные машины и аппараты, ч. 1—2, М.—Л., 1932—34; Hirsch M., Die Kältemaschine, B., 1932; Macintire H., Handbook of Mechanical Refrigeration, N. Y., 1928; Motz M., Principles of Refrigeration, 1932. **Н. Комаров.**

ХОЛОДНАЯ ОБРАБОТКА металлов, способ изменения формы изделий из металла в холодном состоянии путем прокатки, волочения, штамповки, ковки и спайки, а также гл. обр. путем обработки резанием, производимой на станках и в меньшей степени ручными инструментами. В практике понятие Х. о. ограничивается преимущественно различными видами слесарных работ, куда входят: разметка, рубка, опиловка, шабровка, притирка, слесарно-монтажные работы, а также связанные с перечисленными ручными работами операции, выполняемые чаще на станках: сверление отверстий, развертывание, нарезка резьбы. Несмотря на значительный прогресс в методах современного машиностроения Х. о. в узком смысле занимает весьма заметное место с характерной тенденцией к постепенному понижению уд. в. ее. Эта тенденция особенно заметна в таких операциях, как рубка, сверление, развертывание и нарезка резьбы, где ручная работа быстро вытесняется обработкой на станках. Аналогичный процесс вытеснения наблюдается, но в меньшей степени, в опиловке, шабровке, притирке и даже в инструментально-лекальном деле, где за последнее время появился ряд специальных станков. В области слесарно-монтажных работ механизация не проявилась особенно заметно, но зато в этой области происходит резкое уменьшение уд. веса ручных работ за счет введения взаимозаменяемости механически обработанных деталей. В наименьшей степени замена ручной работы обработкой на станках имеет место в разметке. В тех случаях, когда бывает невозможно заменить ручную обработку механической на станках, улучшения экономич. показателей достигают, рационализируя методы работы. Х. о. является благодарным полем для применения научной организации труда, основывающейся на наблюдении и определении эффективности различных методов работы, *хронометраже* (см.) и т. п. В СССР вопросами научной организации труда занимается Центральный Институт Труда (ЦИТ), проведший ряд интересных работ, легших в основу преподавания слесарного дела в соответствующих учебных заведениях.

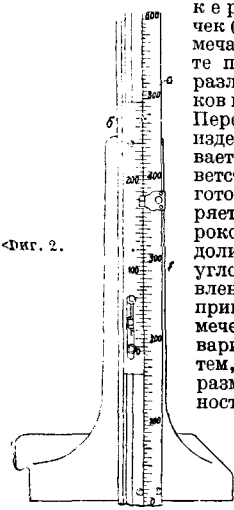
Разметка. Поковки и отливки перед пуском их в обработку обычно размечаются по чертежу. Процесс разметки заключается в нанесении на заготовку линий, ограничивающих излишний металл, к-рый надлежит снять при обработке. Разметка производится на разметочных плитах (фиг. 1), установленных на козлах или кирпичных фундаментах в зависимости от размера их. Для разметки мелких изделий ходовой размер плит 1 200 × 1 200 *мм*, для крупных деталей плиты делаются размерами 1 500 × 3 000, 2 000 × 5 000, 4 000 × 6 000 *мм* и более. Разметочная плита по верхней своей плоскости хорошо выстрогана, пришабрена и выверена. Устанавливается плита строго горизонтально по уровню.



Фиг. 1.

Инструментами при разметке служат: простая масштабная стальная линейка длиною до 1 000 *мм* и чугунный угольник или специальная, укрепленная на угольнике масштабная линейка с неподвижной *а* и подвижной *б* шкалами (фиг. 2), позволяющая вести отсчеты от осевых линий изделия. Для расчерчивания параллельных линий на изделии применяется рейсмус (фиг. 3) с перемещающейся по вертикальной стойке чертилкой. Для расчерчивания линий по линейке употребляется ручная чертилка—заостренный стальной закаленный пруток. Построение прямых углов и линий, перпендикулярных одна к другой, осуществля-

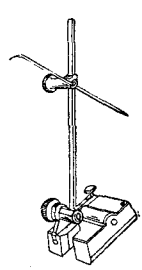
ется при помощи стального угольника в 90° с уширенной нижней полкой. Расчерчивание окружностей и нанесение закруглений, а также перенос с масштабной линейки размеров и проверка расстояний на изделии производятся разметочным циркулем (фиг. 4). Из других инструментов, необходимых для разметки, следует отметить разметочный штангенциркуль (фиг. 5), ватерпас, или *уровень* (см.), транспортир (фиг. 6) и кернер для наметки точек (фиг. 7). Установку размечаемых предметов на плите производят при помощи различного рода домкратиков и подкладок (фиг. 8 и 9). Перед разметкою каждое изделие тщательно осматривается в отношении соответствия конфигурации заготовки с чертежом, проверяется наличие внешних пороков (трещин, раковин, недолитых мест, поломанных углов, всевозможных искривлений), а также размеры припусков. При этом замеченные недостатки предварительно размеряются с тем, чтобы, приступая к разметке, получить уверенность, что они отойдут при дальнейшей обработке. Чтобы обеспечить четкое нанесение линий на изделие, последнее покрывается тонким слоем белой



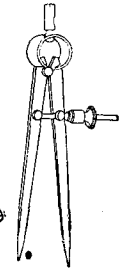
Фиг. 2.

или цветной краски (мел, густо разведенный в воде, и т. п.). Техника разметки состоит в том, что на размечаемую деталь в соответствии с чертежом наносятся сначала горизонтальные и вертикальные оси и линии, а затем окружности, закругления и наклонные линии.

Ручная резка металла осуществляется различными приемами. Для резки проволоки применяются кусачки длиной 75—250 *мм* (фиг. 10), а для листового железа—ручные *ножницы* (см.) с длиною лезвий 75—250 *мм*. Профильный металл большего сечения отрезают ручными (фиг. 11) или же приводными ножовками (см. также *Режущий инструмент*, Пилы). Производительность ножовки в 300 *мм* длиной равна приблизительно для круглой и квадратной стали 1,6 *мм*² за один ход, для труб и уголков 1,0 *мм*², для сложных профилей 0,7 *мм*². Число ходов в мин. для ручной и машинной ножовки без охлаждения 60—80, для машинной с охлаждением 80—120.

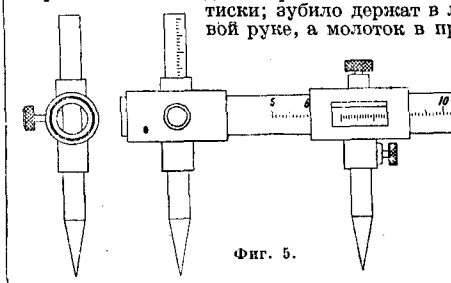


Фиг. 3.

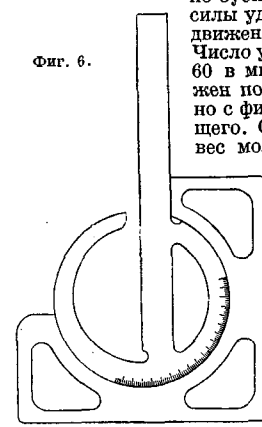


Фиг. 4.

Рубка металла. Инструментами в процессе рубки являются зубило и молоток. При рубке б. или м. широких плоскостей применяется слесарное *зубило* (см.). Для вырубания различных фигурных углублений (пазов, канавок и т. п.) применяется крейцмейсель. Слесарные молотки применяют весом 100—800 *г*. Рубка зубилом производится следующим обр. Обрабатываемое изделие крепко зажимается в тиски; зубило держат в левой руке, а молоток в правой; зубилу дают наклон к поверхности губок тисков в 30—35°. Основными моментами при рубке являются меткость удара молотком по зубилу, соразмеренность силы удара и правильность движения молотка и руки. Число ударов молотком 30—60 в мин. Вес молотка должен подбираться соразмерно с физич. силой работающего. Обычно принимается вес молотка для учеников до 14 лет 0,4 *кг*, до 17 лет 0,5 *кг*; для взрослых рабочих 0,6 *кг*; для сильных взрослых 0,8 *кг*. Производительность при рубке в сильной степени зависит от крепости обрабатываемого металла. Сталь режется тяжелее чугуна, а потому стружку по стали берут меньше в $1^1/_2$—2 раза, чем при рубке чугуна. Выгоднее снимать за один раз тонкую стружку; работа при этом производится быстрее, чем в случае, если сразу брать толстую стружку.



Фиг. 5.

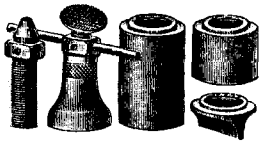


Фиг. 6.

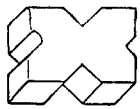
Опиловка металла. Процесс опиловки, производимый ручным способом с помощью *напильника* (см.), является одним из методов обработки поверхности металлич. изделия с целью придания последнему б. или м. правильной поверхности. Предмет закрепляется в тиски с таким расчетом, чтобы обрабатываемая часть выступала удобно и устойчиво из губок тисков. Элементом правильной обработки в тисках являются надлежащее положение работающего и уменье владеть напильником; корпус рабочего д. б. устойчив в вертикальном положении с незначительным уклоном вперед, без колебания взад и вперед (без раскачивания). Правильное положение левой и правой руки по отношению к тискам видно из фиг. 12. Практика опиловки металлич. поверхностей заключается в том, что сначала снимают толстый слой металла большим драчевым напильником с крупной насечкой. Опиловку производят по диагонали сначала в одном направлении, а затем в другом. Поверка плоскости производится чаще

Фиг. 7.

всего обыкновенной линейкой. После грубой обдирки для окончательной опиловки поверхности оставляют припуск 0,1—0,2 *мм* толщиной. Оставшийся тонкий слой спиливают личным или шлифным напильником. Точность обработки личными напильниками м. б. доведена до 0,05—0,02 *мм*, т. е. точности, достаточной для сопрягающихся друг с другом деталей. При опиловке личными напильниками вязких металлов во избежание забивания впадин насечки стружкой напильник натирают мелом. Окончательная доводка иногда заканчивается шлифованием при помощи наждачной шкурки, навернутой на напильник, с покрытием изделия ма-



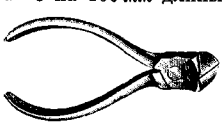
Фиг. 8.



Фиг. 9.

слом. Проверка поверхности изделия производится угольником и линейкой или «на краску»; *последний метод описан ниже*.

Шабровка плоских и криволинейных поверхностей, предварительно обработанных на станке или напильником, требуется в тех случаях, когда необходимо получить хорошо пригнанные друг к другу поверхности двух сопряженных деталей, напр. направляющие в станках, подшипники шпинделя и т. п. (см. *Шабер и шабрение*). Для обнаружения выступающих мест на обрабатываемой поверхности применяют поверку «на краску», а именно: точную поверочную плиту покрывают тонким слоем растертой на льняном масле берлинской лазури, накладывают на изделие и передвигают по последнему, или наоборот; следы краски остаются на выступающих местах, к-рые и подвергаются дальнейшей шабровке; процесс повторяется, пока количество пятен не достигнет: 4—8 на 100 *мм* длины (или 1—4 на дм.²) при грубой работе, 10—16 на 100 *мм* длины (или



Фиг. 10.

Фиг. 11.

6—16 на дм.²) при обыкновенной шабровке, 18—25 на 100 *мм* длины (или 20—40 на дм.²) при очень точной шабровке. Чугун шабрится всухую, а для стали шабер смачивается в мыльной воде или в скипидаре.

Притирка применяется в тех случаях, когда требуется особенно высокая точность изделия (в пределах допусков 0,001—0,003 *мм*) и особенно тщательная отделка, как напр. при обработке калибров, точных приборов и т. п.; припуск на притирку оставляется равным 0,02—0,05 *мм*, редко больше. Работа производится с помощью металлич. притиров, в поверхность к-рых вдавлен шлифующий порошок (см. *Точная обработка отверстий*).

Сверление отверстий м. б. произведено ручным или гораздо чаще механич. способом. В том и другом случае инструментом для сверления служит *сверло* (см.), причем прибором для ручного сверления является *дрель* (см.), *трещетка* (см.) или *коловорот* (см.). При ручном сверлении применяют перовые или спиральные сверла. Чаще всего применяются спиральные сверла; они лучше, чем перовые, как в отношении легкости работы, так и точности и чистоты отверстия. Числа оборотов сверл ручных сверлильных приборов достигают: в винтовых дрелях до 1 400 об/м., в дрелях с конич. шестернями до 300 об/м., в коловоротах не более 60 об/м. и в трещетке до 6 об/м. Величина подачи сверла при ручном сверлении за один оборот не превышает 0,05—0,1 *мм*.

Развертыванием отверстий *разверткою* (см.) снимается весьма тонкий слой металла, благодаря чему достигается точность и чистота отделки, которых нельзя получить путем сверления. Процесс развертывания можно производить ручным способом (вращая развертку *воротком*) или, чаще, на станках сверлильном, токарном или др. (см. также *Точная обработка отверстий*).

Нарезание внутренней винтовой нарезки производится *метчиками* (см.). В случае изготовления внутренней нарезки вручную применяются слесарные метчики (2 или 3 в комплекте) с воротками; нарезание ведется со смазкой метчика мыльной водой для латуни, растительным маслом для стали, керосином для чугуна и алюминия; метчик вводят постепенно, вращая то вперед то обратно и проверяя правильность положения оси метчика; при механич. обработке применяются гаечные метчики на сверлильных или резьбонарезальных станках. Наружная нарезка вручную изготовляется с помощью раздвижных или круглых плашек и *клупов* (см.). Техника нарезания резьбы остается примерно такая, как и при работе метчиками. При механич. нарезке наружной резьбы применяют *болторезные станки* (см.). Как метчики, так и плашки необходимо затачивать по мере их затупления.

Фиг. 12.

В слесарном деле особое положение занимает лекальное дело—производство измерительных калибров, лекал или шаблонов. Заготовка калибра не представляет чего-либо особенного и ведется на токарных, фрезерных или других станках, далее она опиливается напильником вручную на станке или шлифуется. Особенностью лекального дела является точная доводка лекал или калибров после закалки. Основным приемом при этом является притирка на станке, где возможно, или ручная при невозможности станочной работы. Доводка контролируется или точными измерительными инструментами (плитки Иогансона, точные микрометры, оптиметр и пр.) или контршаблонами (*см. Лекала*). *Значительное применение ручная* Х. о. находит в слесарно-монтажном деле, охватывающем сборку, монтаж и ремонт машин. В слесарно-монтажном деле основной задачей является сборка машины или части ее из отдельных деталей; при этом собранная машина должна удовлетворять определенным требованиям в отношении точности положения деталей. Основными приемами работы, встречающимися в слесарно-монтажном деле, будут те элементарные операции, к-рые описаны выше (вырубка, опиловка, шабровка, нарезка и т. п.); однако они являются лишь целью достижения определенного положения деталей машины в

сборке и заданного соединения (свинчивания, склепывания, различного рода посадок деталей). Поэтому и инструменты слесаря-монтажника являются типичными слесарными: молотки, напильники, зубила и т. п. Однако в части измерительных средств монтажнику необходимо иметь дополнительные приборы, как то: уровни, отвесы, угольники, большие линейки и т. п., и наконец при монтаже большое значение имеют подъемные средства—тали, домкраты, краны и пр.

Лит.: Соколов М., Слесарное дело, 5 изд., М.—Л., 1933; Четыркса М., Курс слесарного дела, М., 1930; Макаревич И. и Соловьев Ф., Слесарь-лекальщик, Ленинград—Москва, 1932; Ларионов В., Ремонт и монтаж машин-орудий, Ленинград—Москва, 1932; Бергард Г., Станки по металлу и работа на них, т. 1, Слесарное дело, пер. с англ., Москва, 1924; Калинин Н. и Забаев А., Методы ремонта станков, Ленинград, 1933; Metzger M., Die Kunstschlosserei, Lübeck, 1927; Steinbrings D., Der praktische Maschinenschlosser und Mechaniker, 2 Aufl., B. 1, 2, Stg., 1927. **И. Лебяченко и В. Федоров.**

ХОЛОДНОЕ КРАШЕНИЕ, крашение волокнистых материалов, гл. обр. растительных, нерастворимыми азокрасителями, называемыми также «ледяными» (см. *Крашение*).

ХОЛСТ, льняная ткань из пряжи № 20—40, обыкновенно ручной пряжи 30—71 *см* шириною. Выпускается суровым и беленым, обычно свертывается в трубку (новинка). Холст бывает и хл.-бум. в 89 *см* шириною из основы и утка № 10, сильно крученых, при плотности основы 22 нити и утка 20 нитей на 1 *см*. **С. Молчанов.**

ХОНДРИЛЛА, травянистое растение из сем. сложноцветных, содержащее каучук и смолы. На подземных стеблях некоторых видов (гл. обр. растущих в песках Казахстана) укусы насекомых, питающихся млечным соком Х., вызывают образование наплывов, состоящих из веществ млечного сока, пропитавших песок (2% каучука и 6% смол). По удалении песка получается вещество, названное кузнецовкой (в честь пом. нач. ж.-д. ст. И. Ф. Кузнецова, который открыл каучук в наплывах), состоящее из 25—30% каучука и 60—65% смол. Кузнецовка с успехом заменяет каучук при изготовлении клеенок, эбонитовых изделий, резиновой подошвы и может частично итти в другие резиновые смеси. Извлечение производится при помощи горячей щелочи (песок оседает, часть смол растворяется, кузнецовка всплывает). Благодаря тому что часть смол кузнецовки уже при небольшом нагревании растекается, сушку и вальцевание приходится проводить после смешивания с обрезками импортного каучука. Из зеленой скашиваемой растительной массы Х. извлекается зеленая кузнецовка. Т. к. каучук и бо́льшая часть смол сосредоточены в млечниках зеленой части коры, т. е. на периферии стебля, то возможно обогащение материала мочкой, при к-рой кора легко снимается с древесины. Зеленая кузнецовка (12% каучука и 80% смол) отличается большой липкостью и может служить для изготовления гусеничного клея, не уступающего импортному тангельфуту. Кузнецовка из Х. оказалась пригодной в качестве примеси к синтетич. спиртовому каучуку. На нек-рых видах Х. насекомые вместо наплывов образуют домики-чехлики из шелковой основы, обклеенной отбросами. Отбросы эти содержат непереваренный каучук (11%), почему чехлики лучше наплывов могут служить для получения кузнецовки. Дикие заросли Х. занимают значительное пространство, особенно в Казахстане (~ 622 500 *га*). Запас Х. в природе исчислен ориентировочно в 423 675 000 кустов, что при возможности получения 10 *г* кузнецовки с одного куста Х. (из зеленой массы, наплывов и чехликов) составляет до 4 236 *т* природного запаса. Разведение Х. семенами не встречает затруднений. Скошенное растение отрастает вновь от подземных частей растения. В Челкаре (Казакстан) работает завод треста «Каучуконос», получающий кузнецовку из наплывов. Там же имеются опытные плантации Х. Один из видов Х. может обеспечить до 270 *кг* кузнецовки с 1 *га* (при насаждении в 10 000 кустов). **Г. Босс.**

ХРИЗОБЕРИЛЛ, минерал, алюминат бериллия $BeAl_2O_4$, ромбической системы, одиночные призматич. кристаллы, часты двойники и для *александрита* (см.)—тройники. Агрегаты в виде включений в граните и слюдяном сланце, а также в виде друз кристаллов в пустотах. Твердость 8,5; уд. в. 3,7. Цвет—зеленый (от бледнозеленого до изумрудно-зеленого), реже желтый. Густо окрашенные разновидности (александрит) обладают резко выраженным плеохроизмом (см. *Дихроизм*). Перед паяльной трубкой не плавится и не изменяется. Х.—редкий камень; нек-рые разновидности его считаются драгоценными камнями первого класса и ценятся весьма высоко. Х. известен в трех видоизменениях, имеющих весьма различную ценность: 1) травяно-зеленый и оливково-зеленый от почти бесцветного до голубовато-зеленого—собственно Х.; 2) цимофан—камень золотисто-желтого тона с шелковистым отливом, из Индии и Цейлона, и 3) александрит. В СССР («Изумрудные кони» и район р. Самарки на Урале) известны 1-я и 3-я разновидности, причем собственно Х. встречается очень редко.

Лит.: Лебедев Г., Учебник минералогии, Петербург, 1907; Коллектив авторов, Рабочая книга по минералогии, под ред. проф. А. Болдырева, ч. 1, Москва—Ленинград—Новосибирск, 1932; Ферсман А., Драгоценные и цветные камни СССР, т. 1, Ленинград, 1922, т. 2, Ленинград, 1925; Dammer B. u. Tietze O., Die Nutzbaren Mineralien, 2 Aufl., Band 1, Stuttgart, 1927. **И. Мельников.**

ХРИЗОТИЛ, хризотил-асбест, минерал ромбич. системы, волокнистая разность змеевика—водного силиката магния $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Содержит 44% SiO_2, 43% MgO и 13% H_2O. Обычно часть кремнезема и магнезии замещается железом и алюминием. Содержание конституционной воды колеблется в пределах 11,5÷15%. Снижение ее до 12% и ниже сильно понижает эластичность, мягкость и прочность волокна, длина к-рого обычно не превышает 2—5 *мм*, но изредка доходит до 125—150 *мм*. При прокаливании выше 450° волокно постепенно теряет свою прочность и при $t°$ выше 800° становится хрупким. При $t°$ 1 500° Х. плавится; в к-тах б. или м. растворим. Твердость 3—3,5; уд. в. 2,5. Цвет Х. белый, желтоватый, оливково-зеленый. Является непроводником тепла и звука. Х. залегает в виде прожилков в змеевиковых горных породах. Генетически Х. связан с оливином и образуется при выветривании последнего. Высокосортный Х., с длиной волокна в среднем 8—9 *мм* и выше, применяется для изготовления асбестового текстиля; низкосортный Х. с длиной волокна ниже 6 *мм* применяется в строительном деле. Месторождения хризотила известны в Канаде, Родезии, на острове Кипре и в СССР—на Урале, Кавказе, в Казакстане, Сибири. Наибольшее значение в промышленности СССР имеют два месторождения: Баженовское на Среднем Урале и Ильчирское (Тункинское) в Бурято-Монгольской республике. См. также *Асбест*.

Лит.: Федоровский Н., Курс минералогии, изд. 4, М.—Л., 1932; Соболев Н., Асбест, его свойства, происхождение, месторождение и применение, М., 1931; «НИ», т. 1, Л., 1926. **Н. Федоровский.**

ХРОМ, Cr, химич. элемент VI группы периодич. системы (аналог молибдена; вольфрама и урана); ат. в. 52,01; изотопы: 50 (4,9%), 52 (81,6%), 53 (10,4%) и 54 (3,1%); порядковое число 24. Х.—белый блестящий металл. Твердость весьма значительна—режет стекло; содержание углерода (1,5 ÷ 3%) повышает твердость до 9 (по Мосу). Кристаллизуется Х. в кубич. системе (пространственно-центрированный куб, радиус атома 1,25 Å). Уд. в. 6,9÷7,2. Вследствие затруднительного получения абсолютно чистого Х. данные о $t°_{пл.}$ колеблются в пределах 1 520 ÷ 1 765°; $t°_{кип.}$ ~2 200°. В отношении химич. свойств Х. характеризуется большой стойкостью. В сухом и влажном воздухе он не окисляется заметно. С кислородом соединяется непосредственно (сгорает) лишь при очень высокой $t°$ с образованием окиси хрома Cr_2O_3. Хром, содержащий углерод, окисляется еще труднее. При нагревании (плавлении) с богатыми кислородом веществами (нитратами, хлоратами) или при очень продолжительном плавлении со щелочами в присутствии кислорода Х. окисляется до шестивалентного с образованием хроматов. При нагревании соединяется также непосредственно с галоидами, серой, азотом, углеродом, кремнием, бором и др. Разбавленная серная и соляная к-ты действуют на Х. в зависимости от его степени активности *и от $t°$ б. или м. энергично, но азотная к-та* и царская водка на него не действуют вследствие сильного *пассивирования* (см.). Обработанный азотной к-той Х. трудно реагирует поэтому с серной и соляной к-тами. В активном состоянии нормальный потенциал Х. (двувалентного иона Cr^{++}) равен 0,56 V; т. о. в ряду напряжений Х. располагается между цинком и железом и может вытеснять многие металлы (напр. медь, олово, свинец) из растворов их солей.

Распространение Х. в земной коре определяется цифрой 0,033%. Х. образует ряд специфических минералов, из которых технич. значение имеет почти исключительно *хромит* (см.) и встречающийся на Урале и в Бразилии крокоит (красная свинцовая руда) $PbCrO_4$, хромат свинца. Последний является одним из весьма немногочисленных минералов, в к-рых Х. шестивалентен; в большинстве же минералов Х., как и в хромите, трехвалентен и часто изоморфно замещает алюминий, напр. в шпинелях, турмалинах, гранатах, слюдах и т. п. Во всех этих случаях он придает минералам характерную зеленую окраску, что особо ценится в *изумруде* (см.). Небольшие количества хрома (до 0,7%) встречаются в метеоритах обычно в виде *сульфидного минерала добреелита* $FeS \cdot Cr_2S_3$, отличающегося от хромита наличием серы взамен кислорода. Для технич. добычи Х. имеет значение исключительно хромит. Путем восстановления его углем при высокой $t°$ м. б. получен сплав Х. с железом—феррохром (см. *Железосплавы*); полученный этим путем феррохром содержит однако значительные количества углерода, что затрудняет применение его в производстве малоуглеродистых хромистых сталей. Чистый безуглеродистый Х. получают в настоящее время путем восстановления окиси хрома, полученной мокрым путем из хромита, мелкозернистым алюминием (см. *Алюминотермия*) по экзотермич. реакции:

$$Cr_2O_3 + 2Al = Al_2O_3 + 2Cr + 409 \text{ cal.}$$

Реакция протекает успешно только в присутствии небольших количеств хроматов или хромового ангидрида. В виду того что $t°$ поднимается до 3 000°, необходимо применение тиглей, футерованных высокоогнеупорными материалами (напр. магнезитом). Полученный этим путем металл содержит 99—99,5% Cr (остальное—железо и кремний) и легко сплавляется со сталью и другими сплавами, не внося в них углерода. Другие способы получения Х., напр. восстановление окиси Х. углеродом или карбидом кальция, электролиз растворов солей, в настоящее время практич. значения не имеют.

В силу большой хрупкости Х. применяется в чистом виде только для электролитич. покрытия металлич. предметов, подвергающихся сильному износу (см. *Хромирование*). Большое применение имеет Х. в многочисленных сплавах, к-рым он сообщает значительную твердость и химич. стойкость (см. *Спр. ТЭ*, т. II, стр. 90). Наиболее важны из них жаростойкие, нержавеющие и кислотоупорные хромистые стали (см. *Сталь*), содержащие часто и другие облагораживающие элементы (никель, вольфрам, молибден) и применяющиеся для изготовления изделий, от к-рых требуется химич. стойкость (химич. аппаратура) и большая прочность (броневые плиты, шарикоподшипники и т. д.). Особой твердостью отличаются применяющиеся в металлообработке сплавы, известные под названием *стеллита* (см.), содержащие например 50% кобальта, 30% Х., 15% вольфрама и небольшие количества железа, углерода, марганца и кремния. Вместо применявшейся в химич. пром-сти кислотоупорной нержавеющей *хромоникелевой стали в последнее время начинает* входить в употребление также химически весьма стойкая хромистая сталь (см. *Кислотоупорные изделия, металлические*). *В электротехнике* применяются благодаря малой склонности к окислению и низкому термич. коэф-ту электропроводности, в виде проволоки, ленты или полосового металла для обмоток и других нагревателей электрич. печей сопротивления, сплавы, известные под названием хромоникеля или нихрома, содержащие 60÷80% никеля, 10÷25% Х. и колеблющиеся количества железа и марганца (см. *Никель*, Никелевые сплавы). Х. применяется также в производстве магнитных сплавов. Реже Х. применяется для улучшения качеств цветных сплавов, бронз, латуней и др., в частности напр. для духовых музыкальных инструментов. О применении соединений Х.—см. *Хрома соединения, Хромит, Хромирование, Хромовые краски.*

Лит.: Le Blanc M., Darstellung des Chroms u. seiner Verbindungen mit Hilfe des elektrischen Stromes, Halle a/S., 1902; Koppel I., Chrom u. seine Verbindungen, в Abegg's Handbuch der anorg. Chemie, B. 4, Abt. 1, 2 Hälfte, Lpz., 1921. **Е. Кронман.**

ХРОМА СОЕДИНЕНИЯ производятся от двух-, трех- и шестивалентного хрома. Соединения *двувалентного хрома получаются при* взаимодействии металлич. хрома с к-тами или газообразным Cl и HCl и при энергичном восстановлении трехвалентного хрома. Они постоянны только в безводном состоянии в сухом воздухе, во влажном же мгновенно окисляются до трехвалентных; сильно напоминают двувалентные соединения железа, от к-рых отличаются значительно более сильными восстанавливающими свойствами. В виде кристаллогидратов и в растворах они синего цвета, в безводном состоянии бесцветны или окрашены в желтый, бурый или красный цвета. В виду

крайнего непостоянства соединения двувалентного хрома технич. применения не имеют.

Закись хрома CrO образуется при окислении хромовой амальгамы на воздухе. При нагревании на воздухе сгорает до Cr_2O_3. Хлористый хром $CrCl_2$ безводный, бесцветен; образует несколько кристаллогидратов. На влажном воздухе превращается в основную соль Cr_2OCl_4. Сернокислый хром $CrSO_4 \cdot 7H_2O$ изоморфен с железным купоросом. Образует легко двойные соли общей ф-лы $Me^I_2Cr(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$. Уксуснокислый хром $Cr(C_2H_3O_2)_2$ в безводном состоянии красного цвета, относительно трудно растворим, в силу чего легко получается в чистом виде и служит исходным веществом для получения других соединений двувалентного хрома.

Соединения трехвалентного хрома отличаются наибольшим постоянством, в особенности в кислой среде; встречаются в природе в силикатных минералах: к ним относится важнейший хромовый минерал—хромистый железняк, или *хромит* (см.). Окись хрома Cr_2O_3 известна в разных кристаллич. и аморфных модификациях; в измельченном виде зеленого, в кристаллах—черного цвета; $t°_{пл.}$ ~2 100°. Получается легче всего путем восстановления хроматов, напр. углем или серой. В небольших количествах получают ее иногда путем разложения бихромата аммония:

$$(NH_4)_2Cr_2O_7 \rightarrow N_2 + 4H_2O + Cr_2O_3.$$

Применяется как масляная и клеевая краска (зеленая), как краситель для стекла и керамики и вследствие большой твердости как абразионный материал (гранение изумрудов). Прокаленная при высоких $t°$ Cr_2O_3 отличается химич. стойкостью и не растворяется в к-тах. Гидроокись хрома $Cr_2O_3 \cdot H_2O$ осаждается из растворов солей хрома лучше всего аммиаком в виде студнеобразного серо-зеленого осадка непостоянного состава, растворяющегося в свежем виде в щелочах с образованием зеленых растворов, в к-рых она играет роль к-ты; в растворах содержатся ее соли, хромиты: $Me^I_2O \cdot Cr_2O_3$ и др. При разбавлении эти соединения распадаются. Способность растворяться в щелочах гидроокись хрома постепенно теряет при старении. Применяется в производстве разных Х. с.

Соли хрома известны в двух модификациях: нормальные фиолетовые дают в растворах реакции на Cr^{III}, при нагревании они превращаются в зеленые, в к-рых хром связан в комплексные трудно кристаллизующиеся соединения. Из таких растворов не удается осадить полностью обычными реактивами ни хром ни связанный с ним анион. На холоду зеленые растворы медленно превращаются обратно в фиолетовые. Склонность хрома к образованию комплексных соединений обнаруживается особенно ярко в многочисленных хорошо изученных (Вернер, Пфейффер) комплексных солях с аммиаком («хромиаках»), среди к-рых наблюдаются случаи стереоизомерии (см. *Стереохимия*). Соли хрома готовят обычно путем восстановления хроматов (см. ниже), но делаются теперь попытки получать их путем непосредственной обработки хромитов к-тами. Хлористый хром $CrCl_3$ получается в виде безводного при воздействии хлора четыреххлористого углерода на Cr или хлористой серы на окись хрома. В безводном виде—красно-фиолетовые пластинки-кристаллы. Безводная соль растворяется в воде с образованием зеленого раствора только в присутствии нек-рого количества соединений двувалентного хрома или сильных восстановителей. Из водных растворов кристаллизуется в виде разных гидратов. Азотнокислый хром $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ образуется при растворении гидроокиси хрома в азотной к-те; раствор в проходящем свете красный, в отраженном—сине-фиолетовый; при нагревании зеленеет; применяется в текстильной промышленности как протрава. Сернокислый хром $Cr_2(SO_4)_3$ в безводном виде розового цвета, растворяется в воде, образуя различные гидраты, из которых важнейший—фиолетовый $Cr_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Получается обычно путем растворения гидроокиси хрома в серной к-те. С щелочными сульфатами сернокислый хром образует *квасцы* (см.), из к-рых важнейшие калийные—$KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, уд. в. 1,828, хорошо растворяющиеся в воде (при 25°—25 ч. в 100 ч. воды). Получают их обычно путем восстановления бихромата калия в присутствии необходимого количества серной к-ты. В последнее время начинают производить хромовые квасцы, как и другие соли хрома, исходя из феррохрома. Фиолетовый раствор при нагревании зеленеет; из охлажденного раствора кристаллизуются квасцы лишь через очень продолжительное время; применяются в кожевенной и текстильной пром-сти. Аммиачнохромовые квасцы $NH_4Cr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$—лиловые кристаллы, в проходящем свете—рубиново-красные, уд. в. D^{20} 1,718; получаются смешиванием теоретич. количеств растворов сульфатов хрома и аммония.

Шестивалентные Х. с. образуются при окислении соединений хрома низших степеней валентности, особенно в щелочной среде. Трехокись хрома, хромовый ангидрид (неправильно: хромовая к-та), CrO_3 осаждается из растворов хроматов или бихроматов при добавлении крепких минеральных к-т в виде красных, весьма гигроскопичных игольчатых кристаллов, уд. в. 2,8, с $t°_{пл.}$ 180—190°, легко растворяющихся в воде (при 20°—116 ч., при 100°—206 ч. в 100 ч. воды); в настоящее время получают ее обычно путем воздействия серной к-ты на хромат кальция, последующей фильтрации от гипса и упаривания до кристаллизации. При 250° распадается на О и Cr_2O_3. Является чрезвычайно сильным окислителем (многочисленные органич. соединения реагируют с ней с воспламенением или со взрывом). На этом основано применение CrO_3 и хроматов в химич. пром-сти и в медицине. С щелочами CrO_3 образует несколько типов солей: желтые хроматы $Me^I_2CrO_4 (Me^I_2O \cdot CrO_3)$, оранжево-красные бихроматы $Me^I_2Cr_2O_7 (Me^I_2O \cdot 2\,CrO_3)$, красные трихроматы $Me^I_2Cr_3O_{10} (Me^I_2O \cdot 3\,CrO_3)$ и тетрахроматы $Me^I_2Cr_4O_{13} (Me^I_2O \cdot 4\,CrO_3)$. Соответствующие свободные к-ты известны только в растворах. Под действием к-т из хроматов получаются бихроматы, напр. $2Na_2CrO_4 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + Na_2Cr_2O_7 + H_2O$, из к-рых путем добавления щелочей можно обратно получить хроматы. Шестивалентные Х. с. являются обычно первичными продуктами переработки руд хрома, напр. хромит спекают при 1 000—1 300° с углекислыми щелочами и известняком или доломитом (гл. обр. для разрыхления смеси) в окислительной атмосфере в печах разной системы (наиболее совершенные—вращающиеся—имеются напр. на з-де «Хромпик» на Урале), в результате чего получают щелочные хроматы, к-рые м. б. выщелочены из плава водой:

$$2FeO \cdot Cr_2O_3 + 4Na_2CO_3 + 7O = Fe_2O_3 + 4Na_2CrO_4 + 4CO_2.$$

Процесс ведут обычно с содой (не с поташом,

во избежание потерь калия в печи), а соли калия получают из натриевых путем обменной реакции с хлористым калием: $Na_2CrO_4 + 2KCl = K_2CrO_4 + 2NaCl$. Хромовая к-та и ее соли очень ядовиты. Хромат натрия Na_2CrO_4 известен в виде различных гидратов (ниже 19,5°—$10H_2O$, выше до 26,6° — $6H_2O$ и т. д.); $t°_{пл.}$ (безводного) 813°. Растворимость при 20°—79 ч. (декагидрата), при 100°—126 ч. (безводного) в 100 ч. воды; служит исходным веществом для получения остальных X. с. Бихромат натрия $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ при 83° теряет кристаллизационную воду. Торговый продукт является обычно смесью Na_2CrO_4 и $Na_2Cr_2O_7$, в к-рой содержание CrO_3 (68,7—69,5%) [1] соответствует $K_2Cr_2O_7$. Хромат калия, хромовокислый калий, K_2CrO_4 изоморфен с сульфатом калия; растворимость при 0° 57,1 ч., при 105,8° 88,8 ч. в 100 ч. воды; $t°_{пл.}$ 975°. Бихромат калия, хромпик, двухромовокислый калий $K_2Cr_2O_7$—одна из важнейших солей хромовой к-ты. Растворимость при 20° 12,4 ч., при 100° 94,1 ч. в 100 ч. воды; $t°_{пл.}$ 395°. При очень высоких $t°$ распадается: $2K_2Cr_2O_7 \rightarrow 2K_2CrO_4 + Cr_2O_3 + 3O$ [2]. Бихромат аммония $(NH_4)_2Cr_2O_7$ при слабом нагревании распадается (см. выше), растворимость при 30°—47,2 ч. в 100 ч. воды. Хроматы хрома разного состава получаются при растворении гидроокиси хрома в хромовой к-те. Хромат марганца $MnCrO_4$ в чистом виде не получен. Основной хромат марганца применяется как натриевая краска (марганцевая коричневая) гл. обр. в акварельной живописи. При нагревании хроматов и бихроматов с хлоридами и серной к-той (также при взаимодействии CrO_3 с HCl) по реакции:

$$Na_2Cr_2O_7 + 4NaCl + 3H_2SO_4 = 3Na_2SO_4 + 3H_2O + 2CrO_2Cl_2$$

образуется хлористый хромил CrO_2Cl_2, красно-бурая, легко летучая ($t°_{кип.}$ 117°) жидкость. Эта реакция используется в аналитич. практике для определения Cl_2. При взаимодействии бихроматов с большим избытком HCl получаются соли хлоро-хромовой к-ты, напр. $K_2Cr_2O_7 + 2HCl = H_2O + 2KCrO_3Cl$, распадающиеся при растворении в воде на бихроматы и HCl. При воздействии перекиси водорода на хроматы образуются перхроматы состава Me^1CrO_5 и $Me^1_3CrO_8$ или соответствующие к-ты, образующие синие растворы с эфиром. Последнее обстоятельство используется в аналитич. практике.

Многочисленные соли хромовой к-ты применяются в качестве красок (см. *Хромовые краски*) и в текстильной пром-сти. Хромовая к-та и ее соли имеют многочисленные применения, основанные гл. обр. на их окислительных свойствах, в частности в производстве многочисленных органических и взрывчатых веществ (см. *Спичечное производство*); кроме того применяются для беления масел и жиров. Некоторые применения их основываются на их дубильных свойствах (кожевенное производство, фотография). Данные о ввозе и вывозе щелочных хроматов и бихроматов разных стран за 1927 г. (в *m*) приведены ниже.

	Германия	Франция	Англия	США
Ввоз . . .	640	1 610	2 660	58
Вывоз . .	6 850	400	3 000	8 600 *

Лит.: [1]) ОСТ 64; [2]) ОСТ 65; Менделеев Д., Основы химии, т. 2, М.—Л., 1928; Лукьянов П., Курс химич. технологии минеральных веществ, ч. 3, вып. 1, Москва—Ленинград, 1932 (библиогр.); Wilkop L., Die Herstellung d. Alkalibichromate, Hall. a/S., 1911.

Е. Крониман.

* Только соли натрия.

ХРОМАТИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ, см. *Аберрация света.*

ХРОМИРОВАНИЕ, процесс электролитич. покрытия хромом металлич. изделий в целях придания им твердости, значительной химич. и термич. стойкости и красивого вида. Благодаря своему блеску и большому коэф-ту отражения этот вид покрытия широко применяется при изготовлении всевозможного вида отражателей, автомобильных фар, медицинских отражателей, прожекторов и т. п. Жароустойчивость этого покрытия обусловила широкое применение его в литейном деле. Возможность наращивания слоев значительной толщины широко используется как метод исправления брака ценных изделий из стали и спецстали и для доращивания участков сношенных деталей. Электролитич. хром можно получить из растворов солей 2-, 3- и 6-валентного хрома. Техническое применение нашел лишь раствор шестивалентного хрома.

Процесс электролитич. отложения хрома сильно отличается от других гальваностегич. процессов. Электролиты для Х. состоят гл. обр. из растворов солей, имеющих хром в анионе, и только незначительная часть хрома в электролите связана в виде соединений низшей валентности, в к-рых хром является катионом. Электролиз протекает только при высоких плотностях тока и сопровождается обильным выделением газов, увлекающих за собой в виде тумана ядовитые хромовые соединения, для отвода которых совершенно необходима специальная конструкция вытяжек и приспособлений. Скорость и характер отложения хрома в сильной степени зависят от плотности тока и $t°$ электролита. Работа протекает исключительно с нерастворимыми анодами. Кроме того при Х. приходится применять особые приспособления, так называемые рамки, для подвески изделий, характер и тип которых зависят от габаритов и внешнего вида изделий.

Рецептура и режим хромовых ванн. В зависимости от добавок различают 3 типа хромовых ванн (по H. Haring'y и W. Barrows), приведенных в таблице.

Типы и состав хромовых ванн.

Тип ванны	Компоненты	Фактич. начальная концентрация в *г/л*	Степень чистоты в %
Кислая	Хромовая к-та	250	99
	Серная к-та . .	2,5	95
Нейтральная .	Хромовая к-та	250	99
	Сернокисл. хром	3,3	72
Основная . . .	Хромовая к-та	250	99
	Сернокисл. хром	3,3	72
	Углекисл. хром	5,9	84

При сравнительном изучении этих трех типов ванн выяснилась полная их идентичность. Обычно в практике Х. применяют растворы хромового ангидрида в присутствии серной к-ты, причем выбор концентрации зависит от требований, предъявляемых к покрытию. Для декоративных покрытий обычно применяют высокую концентрацию хромового ангидрида (450—500 *г/л*), а для технич. целей в пределах 250÷125 *г/л*. Очень существенную роль в работе хромового электролита играет отношение $\frac{CrO_3}{SO_4}$, а не абсо-

лютное содержание SO_4; природа применяемых сульфатов заметно не влияет. С точки зрения выхода тока по металлу, рабочего интервала, рассеивающей и кроющей способности наилучшие отношения $\frac{CrO_3}{SO_4}$ лежат в пределах от 100 до 200. Кроме того необходимо отметить, что трехвалентный хром всегда присутствует в работающей ванне, с одной стороны, как почти неизбежная примесь хромового ангидрида, а, с другой,—он появляется в результате восстановительных процессов на катоде в ходе электролиза совместно с выделяющимся водородом и металлич. хромом. Значительные количества трехвалентного хрома ухудшают отложения, делают их темными, кроме того в ванне сильно повышается напряжение; т. о. по мере накопления в электролите Cr'''его необходимо окислить. Самыми главными факторами при Х. являются $t°$ и рабочая плотность тока. Влияние $t°$ на выход тока (при плотности тока D_k=10 А/*дм*²) наглядно показывают следующие цифры: при — 6° выход тока 60%, при 0° — 40%, +8°— 30%, +60° — 7%. Необходимо отметить, что внешний вид хромового отложения в очень сильной степени зависит от рабочей $t°$ электролита: при $t°$ в 30° большинство электролитов легко дает матовые отложения, при 30—55°— блестящие и при 55—80°—молочные. Обычно рабочей $t°$ является 40—45°. Необходимо отметить, что катодная плотность тока оказывает меньшее влияние на внешний вид отложений хрома. Выход хрома по току находится в тесной связи с внешним видом отложения; обычно при более высоких выходах отложения получаются матовые, а при низких—молочные. Зависимость эту можно выразить так: понижение $t°$ и повышение D_k увеличивают выход тока для матовых отложений, при низких $t°$ м. б. достигнуты выходы 50% теоретических, а для блестящих редко выше 20%. В гальваностегии обычно стремятся получить блестящие отложения, и термин «рабочий интервал» отвечает интервалу между высшим и низшим значением катодной плотности тока, отвечающим блестящим отложениям при определенной $t°$. Рассеивающая способность хромировочных ванн (работа на глубину) очень невелика. Концентрация хромового ангидрида сильно влияет на выход тока и оказывает сильное влияние на величину рабочего интервала. Как общее правило повышение концентрации CrO_3 понижает выход тока. Что же касается рабочего интервала, то при $t°$ в 50° рабочий интервал увеличивается с понижением концентрации CrO_3; при $t°$ ниже 50° рабочий интервал возрастает с повышением концентрации CrO_3; при $t°$, близких к 50°, концентрация не оказывает заметного влияния на него. Высококонцентрированные электролиты дают возможность получить при равных плотностях тока блестящие отложения при более низких $t°$. В последнее время уделяют значительное внимание введению в хромовый электролит посторонних катионов и анионов, причем отмечают, что введение таких катионов, как Zn, Ni, Cu, Ca, или их комбинаций благоприятно влияет на качество и внешний вид отложения хрома. Присутствие анионов борфторводородной и кремнефтористоводородной к-т также улучшает отложение хрома.

Ниже приводим рецептуры применяющихся в технике Х. 1) 250 *г* CrO_3; 1,25 *г* H_2SO_4; 1 000 *г* воды, причем: $t°$ ванны 55°; напряжение 8 V; плотность тока 30 А/*дм*²; выход по току 13%. 2) 400 *г* CrO_3; 2 *г* H_2SO_4; 1 000 *г* воды; $t°$ 45°; напряжение 6 V; D_k=15 А/*дм*²; выход по току 30%; при $t°$ 35° и D_k=7—5 А/*дм*² выход по току 60%. 3) По Hedley 120—375 *г* хромовой к-ты; 6—14 *г* хромата железа; 3—6 *г* сернокислого хрома; 1 000 *г* воды или 360 *г* CrO_3; 10 *г* хромата железа; 3,8 *г* H_2SO_4; 1 000 *г* воды. 4) (Применим для большинства изделий): 350 *г* CrO_3; 4,5 *г* H_2SO_4; 1 000 *г* воды; $t°$ 40°; D_k=10 А/*дм*². 5) (Для лекал, калибров и т. п. изделий): 350 *г* CrO_3; 9 *г* H_2SO_4; 1 000 *г* воды; $t°$ 40°; D_k=15 А/*дм*². 6) 350 *г* CrO_3; 5 *г* фтористого натрия; 7 *г* углекислого хрома; 1 000 *г* воды; $t°$ 35°; D_k=7 А/*дм*². 7) (Форда) 1 000 *г* воды; 100 *г* CrO_3; 1,0 *г* кремнефтористоводородной к-ты; 0,125 *г* углекислого церия; для покрытия, напоминающего сатин: 1 000 *г* воды; 1 *г* углекислого церия; 5 *г* кремнефтористоводородной к-ты; 150 *г* CrO_3; $t°$ 52°; напряжение 6 V; D_k=9,29 А/*дм*²; для калибров: 907 *г* CrO_3; 28 *г* сернокислого хрома; 4,54 *л* воды; $t°$ 52—56°; напряжение 4—8 V; D_k=7—46 А/*дм*²; для шурупов: 454 *г* CrO_3; 2 *см*³ серной к-ты; 4,54 *л* воды; D_k=28—32 А/*дм*²; продолжительность 8 ск. На полированный никель: 1134 *г* CrO_3; 11,3 *г* серной к-ты; 4,54 *л* воды; $t°$ 48—52°; D_k=7—46 А/*дм*². В настоящее время в Европе и в СССР ведутся работы по подысканию условий Х. в так называемых холодных ваннах при возможно низких плотностях тока. Кроме того ведутся опыты по Х. из растворов 3-валентного хрома.

Лит.: Лайнер В., Хромирование металлов, М.—Л., 1932; Лапин Н. и Гольц Л., Электролитическое хромирование, М.—Л., 1933; Забываев Е., Хромирование измерительного инструмента и др. металлоизделий, М., 1931; Кузнецов Б., Электролитическое хромирование металлов, М.—Л., 1932; Schneidewind R., A Study of Chromium Plating University of Michigan, 1928; Commercial Chromium Plating University of Michigan, 1930; Liebreich E., «Ztschr. f. Elektrochemie», B., 1921, B. 27, 1923, B. 29, p. 208, 1924, B. 30, p. 86, 1927, B. 33, p. 69; Müller E., ibid., 1926, B. 32, 1927, B. 33; Haring H. a. Blum W., «Trans. of the Amer. Electrochemical Soc.», N. Y., 1923, v. 44, p. 313; «Technology Papers of the Bureau of Standards», Wsh., 1927, *346*; Sargent, «Trans. of the American Electrochemical Society», New York, 1926, v. 37, p. 479.

Д. Степанов.

ХРОМИТ, хромистый железняк, минерал кубич. системы, встречается в сплошных массах и вкрапленным. Цвет буровато-черный; блеск полуметаллический; тв. 5,5—6,0; уд. в. 4,5—4,8; химич. состав: $FeO \cdot Cr_2O_3$ (32% FeO и 68% Cr_2O_3). Является единственной рудой на хром. Хромит является довольно широко распространенным минералом. Однако месторождения высокопроцентного Х. встречаются сравнительно редко, и поэтому промышленная его добыча ведется в очень немногих странах. Первое место по добыче хромита занимает Юж. Родезия, обладающая весьма богатыми залежами Х. с содержанием окиси хрома 45÷50%. Общие запасы высокосортного Х. лишь на разрабатываемых месторождениях (в Селукве) определены в 2 000 000 *т*. Кроме Юж. Родезии Х. в значительных количествах добывается еще в Британской Индии, в Южноафриканском Союзе, Новой Каледонии, Турции, Греции, Югославии и на о-ве Кубе, в несравненно меньших размерах в США, Японии, Индо-Китае и южноамерик. странах. В СССР главные месторождения Х. сосредоточены на Урале. Х. найден также на С. Кавказе, в Закавказьи и в Сибири, но вследствие низкого качества руды и слабой разведанности эти месторождения не имеют промышленного значения. Месторождения Х. в районе Уральского хребта известны в Уральской обл., в Баш-

кирии и в Средне-Волжском крае. Генетически они связаны с основными изверженными породами—перидотитами или продуктами их изменения—змеевиками. Большинство уральских месторождений имеет неглубокое залегание—не свыше 10 *м*, но известны и более глубокие—от 40 до 80 *м*. Всего на Урале известно до 300 хромитовых месторождений, но из них разрабатываются в настоящее время очень немногие. Наибольшее значение имеют следующие месторождения.

У р а л. 1) Сарановское месторождение—наиболее крупное месторождение хромовых руд в Союзе. Расположено в 225 *км* от г. Перми у разъезда «Хром». Руда представляет собой не хрома, а пикотит—минерал из группы шпинелей, который отличается от хрома тем, что в нем часть хрома замещена алюминием, а часть железа магнием $[(Fe, Mg)O \cdot (AlCr)_2O_3]$. Руда залегает в змеевике. Общие запасы на 1933 г. по массивным рудам определяются в 13 000 000 *т*. Содержание Cr_2O_3 в руде около 35—39%. 2) Гологорское месторождение—в 45 *км* от г. Свердловска близ станции «Хромпик». Х. залегает в змеевиках. Общие запасы на 1933 г. ок. 150 000 *т*. Содержание Cr_2O_3—42—45%. 3) Месторождение горы Верблюжьей—у станции «Карталы» Троицко-Орской жел. дор.; Х. залегает в змеевиках. Общие запасы на 1933 г. ок. 200 000 *т*, с содержанием Cr_2O_3—40 — 48%. 4) Алапаевская группа месторождений—около Сусанского озера; хром залегает в змеевиках. Ориентировочные запасы около 75 000 *т*, из к-рых 45 000 *т* падает на вкрапленные руды. Содержание Cr_2O_3 колеблется от 25 до 42%. Б а ш к и р и я. 1) Месторождение Б. Башарт—в 25 *км* от Авзяно-Петровского завода; хром залегает в дунитах. Ориентировочные запасы на 1933 г. около 15 000 *т*. Содержание Cr_2O_3—40—50%. 2) Месторождение Кутаростая—в 25 *км* от Магнитогорска; хром залегает в змеевиках. Ориентировочные запасы на 1933 г. ок. 18 000 *т*. Содержание Cr_2O_3—37—40%. 3) Менжинское месторождение—в 100 *км* от Магнитогорска; хром залегает в дунитах и перидотитах. Общие неутвержденные запасы на 1933 г. ок. 195 000 *т*, с содержанием Cr_2O_3 ок. 30%. С р е д н я я В о л г а. 1) Халиловское месторождение — у станции «Халилово» Самаро-Златоустовской ж. д.; хром залегает в ультраосновных породах. Общие запасы руды около 30 000 *т* (утверждены на 1932 г.). Руды Халиловского месторождения отличаются высоким содержанием Cr_2O_3, до 48—56%. На Кавказе месторождения Х. известны в Лабинском районе и в Армении у Севанского озера.

Х. имеет большое значение в металлургии для изготовления феррохрома и хромистой стали и металлич. хрома (хромирование), а также как огнеупорный материал—в виде хромовых и хромомагнезитовых кирпичей и непосредственно в грубо отесанных кусках. В химической промышленности он применяется для изготовления хромовых солей — хромпиков (калиевых и натровых), применяемых для производства всевозможных хромовых препаратов—краски, дубители, фотопрепараты и пр. Кроме того хром широко экспортируется за пределы СССР.

Лит.: Ф е д о р о в с к и й Н., Рудо-минеральное сырье в пром-сти, т. 1, М.—Л., 1933; Д ю к а л о в Н., Пути развития хромитовой пром-сти, Москва—Ленинград, 1932; З а в а р и ц к и й А., Хром, «КЕПС», т. 4, вып. 4, Петроград, 1917; «НИ», 1927, т. 3; Материалы Сектора минеральных ресурсов Союзгеоразведки. **Н. Федоровский.**

ХРОМОВЫЕ КРАСКИ, минеральные краски, к-рые содержат хром; из них наиболее важное значение имеют следующие: 1) х р о м о в ы е ж е л т ы е, известные также под названием ж е л т ы х к р о н о в,—различные нерастворимые соли хромовой к-ты, гл. обр. свинцовые и цинковые, 2) х р о м о в ы е з е л е н и, известные также под названием з е л е н ы х к р о н о в,—смеси желтых кронов с синими красками, гл. образом с берлинской лазурью, 3) о к и с ь х р о м а—краска серо-зеленого цвета, 4) з е л е н ь Г и н ь е, гиньетова зелень,— краска, состоящая из гидроокиси хрома. Из хромовых желтых наиболее важными по количеству вырабатываемых и потребляемых красок являются с в и н ц о в ы е к р о н ы, отличающиеся красивым цветом и большим разнообразием оттенков, начиная от бледножелтого и кончая оранжево-красным (красный свинцовый крон); в зависимости от состава и оттенка они делятся на: 1) с в е т л ы е к р о н ы (палевые, лимонные, канареечные, лимонно-желтые и др.) от бледножелтого до желтого цвета с общей формулой $PbCrO_4 \cdot nPbSO_4$, 2) с р е д н и й или собственно ж е л т ы й к р о н $PbCrO_4$, 3) т е м н ы е или о р а н ж е в ы е к р о н ы от желтого до оранжево-красного цвета с общей ф-лой $PbCrO_4 \cdot nPb(OH)_2$. Сырыми материалами для получения свинцовых кронов служат: свинцовый глет, уксусная к-та или уксуснокислые, азотнокислые, хлористые, углекислые и другие соли свинца, хромпик, гл. обр. натриевый, как более дешевый и легче растворимый в воде, серная к-та, каустич. сода и другие материалы. Для получения желтого крона раствор уксуснокислого свинца осаждают хромпиком по ур-ию

$$2Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O + Na_2Cr_2O_7 = 2PbCrO_4 + 2CH_3COONa + 2CH_3COOH + 2H_2O.$$

Для осаждения употребляют большой деревянный чан, снабженный мешалкой; над этим чаном устанавливают два других чана меньшего размера для растворения сырых материалов. Готовые растворы в виде тонкой струи при постоянном перемешивании спускают в большой чан. Для получения светлых и ярких оттенков осаждение и дальнейшую обработку осадка необходимо производить при определенных условиях, напр. применять сильно разбавленные растворы, вести осаждение при низкой $t°$ и энергичном перемешивании, тщательно и по возможности быстро промывать осадок, применять при сушке последнего $t°$ не выше 70° и т. д. Для получения светлых кронов часть хромпика в вышеприведенном ур-ии заменяется эквивалентным количеством H_2SO_4, к-рая дает с свинцовой солью $PbSO_4$. Чем больше взято H_2SO_4, тем больше образуется $PbSO_4$ и тем светлее по цвету получается краска. Темные кроны б. ч. получают из различных светлых кронов путем обработки их при 80—90° раствором каустич. соды. При этом $PbSO_4$ переходит в $Pb(OH)_2$ по ур-ию:

$$PbCrO_4 \cdot nPbSO_4 + 2nNaOH = PbCrO_4 \cdot nPb(OH)_2 + nNa_2SO_4$$

По другому способу для получения темного или оранжевого крона осаждают основную уксуснокислую соль свинца хромовокислым натрием, получаемым путем обработки хромпика каустич. содой. Кроме уксуснокислых солей для получения кронов иногда применяются также хлористые, азотнокислые, углекислые и другие соли свинца. Свинцовые кроны отличаются ярким цветом и большой кроющей способностью, поэтому их нередко смешивают с тяжелым шпатом, гипсом, каолином и другими наполните-

лями. К их отрицательным свойствам относятся: растворимость в щелочах, чувствительность к свету, *ядовитость и почернение в присутствии* H_2S или других красок, содержащих сернистые соединения. Несмотря на это свинцовые кроны являются одной из наиболее часто применяемых *желтых красок. Они употребляются в* полиграфич. пром-сти, малярном деле и в различных производствах: обоев и цветной бумаги, клеенки, линолеума, искусственных масс и др. Цинковый крон $3(ZnCrO_4)\cdot K_2Cr_2O_7\cdot xZnO$ получается путем обработки цинковых белил таким количеством H_2SO_4, чтобы образовалась лишь основная сернокислая соль цинка, к-рая после этого осаждается $K_2Cr_2O_7$; ее оставляют для кристаллизации с целью образования двойной соли. Краска немного растворима в воде; по сравнению с свинцовыми кронами обладает рядом преимуществ: большой светопрочностью, неизменяемостью от H_2S и т. д., благодаря чему получает в настоящее время все более и более широкое применение. Баритовый крон $BaCrO_4$, краска светложелтого цвета, очень постоянная к различным реагентам; применяется редко в виду незначительной красящей и кроющей способности. Хромовые зелени, или зеленые кроны, известные в продаже также и под другими названиями (вагонная зелень, киноварь зеленая и др.), представляют смеси в различных пропорциях желтых кронов с берлинской лазурью. Смешивание производится в сухом или сыром виде. Последний способ дает более однородные и яркие по цвету продукты. Краски часто содержат примеси наполнителей (шпата, каолина и других); в зависимости от относительного содержания составных частей они бывают самых различных оттенков от светло- до темнозеленого. Светопрочные и чистые по цвету краски получаются при смешивании цинкового крона с берлинской лазурью (цинковая зелень); употребляются как масляные и клеевые краски для самых различных целей. Окись хрома Cr_2O_3 получается путем прокаливания в закрытых тиглях или ретортах тонко измельченной смеси хромпика с серой или древесным углем, хлористым аммонием и другими веществами, после чего измельчается, выщелачивается, отмучивается и сушится. Обладает очень ценными свойствами: нерастворимостью в к-тах и щелочах, *большой* светопрочностью, нечувствительностью к H_2S, неядовитостью и т. д. Широкому применению в качестве краски препятствуют мутный серо-зеленый цвет, дорогая цена и небольшая укрывистость. Употребляется гл. обр. для графическихцелей (банкнот, ценных бумаг и т. п.), для живописи по фарфору, для окраски подвергаемых нагреванию поверхностей (напр. у локомотивов, паровых котлов и т. д.). Зелень Гинье (*см. Гиньетова зелень*) по сравнению с окисью хрома имеет более живой темнозеленый цвет; по свойствам напоминает последнюю; употребляется в производстве обоев, в хромолитографии и живописи. Оловяннокислые окиси хрома, станниты хрома, дают розовые краски, применяемые в живописи по фарфору; получают их прокаливанием смеси хромата олова или окиси олова и окиси хрома. При красном калении получают оттенки от розово-красного до фиолетового. **П. Черенин.**

Лит. см. Краски минеральные.

ХРОМОГЕНЫ, химич. соединения, получаемые в результате взаимодействия ароматич. радикалов с ненасыщенными группами, *хромофорами* (см.), типа $>C=O$, $-CH:CH-$, $>C=S$, $-N=O$ и др. Сами по себе Х. могут быть телами окрашенными или бесцветными, но при внедрении в их молекулу так называемых солеобразующих групп — ауксохромов: — OH, $-NH_2$, $-N<^{R_1}_{R_2}$, цвет вещества углубляется, и оно становится красителем. См. *Красящие вещества* синтетические, Теория цветности.

ХРОМОТРОПЫ, общее наименование азокрасителей, содержащих в виде азосоставляющей хромотроповую к-ту, 1,8-диоксинафталин-3,6-дисульфокислоту (*см. Промежуточные продукты для синтеза красителей*). В зависимости от строения диазосоставляющей получаются Х. различных марок, отличающиеся по цвету. Все Х. являются хромировочными красителями (см. *Крашение*), так как дают при последующей обработке хромовой к-той значительно более глубокие по цвету и более прочные окраски. Вероятно при этом происходит и *окисление остатка* хромотроповой к-ты в остаток юглоновой кислоты (1,4-нафтохинон-8-окси-3,6-дисульфокислоты).

ХРОМОФОРЫ, хромофорные группы, по хромофорной теории цветности и строения красителей ненасыщенные группы, как $-CH:CH-$, $>C=O$ и др., к-рые в соединении с ароматич. радикалами дают *хромогены* (см.); при введении в последние групп — OH, $-NH_2$ или $-N<^{R}_{R_2}$ цветность углубляется, и данное химическое соединение становится красителем. См. *Красящие вещества* синтетические, Теория цветности и строения красителей.

ХРОНОГРАФ, часовой механизм, служащий для измерения вполне определенного, ограниченного промежутка времени с большой точностью—до сотых или тысячных долей секунды. Слово хронограф происходит от греческого χρόνος—время и γράφω—пишу, т. е. обозначает прибор, записывающий время или во всяком случае фиксирующий его. Фиксация начала и конца измеряемого *промежутка времени может производиться* или посредством включаемого при начале и выключаемого в конце стрелочного механизма, который показывает непосредственно секунды и доли их, или путем отметки на двигающейся бумажной ленте начала и конца процесса, параллельно с секундными отметками нормальных часов.

Фиг. 1.

Кроме того возможно использовать и иные процессы, зависимость к-рых от времени хорошо изучена и наперед известна, например свободное падение тел. Остановимся сначала на этом последнем типе приборов. Представителем их является *классический Х. для измерения скорости артиллерийских снарядов*, предложенный в 1864 г. бельг. артиллеристом Ле-Буланже и усовершенствованный Бреже. Он основан на измере-

нии высоты свободного падения тел и определении времени этого падения. Время свободного падения $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, где h—высота, с к-рой падает тело, и g—ускорение силы тяжести. Х. сист. Ле-Буланже состоит из двух укрепленных на специальном штативе электромагнитов *а* и *б* (фиг. 1), к сердечникам к-рых подвешены два жезла *в* и *г*, удерживаемых магнитами только до тех пор, пока по обмоткам их течет ток. Короткий жезл *в* при разрыве цепи электромагнита *б* падает вниз и ударяет своею тяжестью о правое плечо рычага *д*, к-рый, поворачиваясь против часовой стрелки, освобождает нож *е*. Нож под действием пружины соскакивает и делает на цинковой оболочке стержня длинного жезла *г* метку *1*. Если цепи обоих электромагнитов разомкнуть одновременно, то на жезле *г* получится т. н. метка размыкания *2*. Если же цепь электромагнита *а* будет разомкнута позже, чем цепь *б*, то на жезле *г* получится окончательная метка *3*, к-рая и даст возможность определить искомое время. Если перед дульным срезом орудия поставить рамку из проволоки, включенной в цепь *а*, и на расстоянии 50 *м* от нее по направлению траектории снаряда—другую рамку, включенную в цепь *б*, то при выстреле будет сперва разорвана цепь *а*, а затем, после того как снаряд пролетит 50 *м*, цепь *б*. Обозначая длину стержня жезла *г* от метки *1* до метки *3* через l_{1-3} и длину стержня жезла от *1* до *2* через l_{1-2}, получим время полета снаряда между решетками:

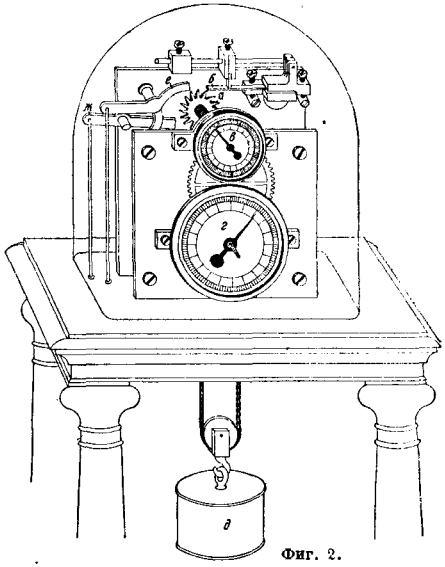
$$t = \sqrt{\frac{2l_{1-3}}{g}} - \sqrt{\frac{2l_{1-2}}{g}}.$$

Обыкновенно величину l_{1-2} подбирают таким образом (путем поднимания и опускания электромагнита *б* относительно рычага *д*), чтобы она была равна 110,37 *мм*; тогда второй член вышеприведенного равенства будет равен 0,150 ск. В этом случае время полета будет:

$$t = \sqrt{\frac{2l_{1-3}}{g}} - 0{,}150 \text{ ск.}$$

На масштабной линейке, прилагаемой к прибору, кроме миллиметровой шкалы имеется еще другая шкала, к-рая при $l_{1-3} = 110{,}37$ *мм* и расстоянии между решетками в 50 *м* дает непосредственно значения $v_{25} = \frac{50}{t}$, т. е. средней скорости снаряда на участке в 50 *м*. Х. этот м. б. использован и для других целей, когда необходимо точно измерить время в пределах от 0,001—0,16 ск.; он очень прост по устройству и регулировке, почему и пользуется всеобщим распространением.

Наряду с Х., основанными на принципе свободного падения тел (Le-Boulenger, Siebert—Bianchi, Watkin), маятника (Navez), камертона (Siebert—Beetz), принципах струнного гальванометра и осциллографа (Edelmann, Duda), искры (W. Siemens, Noble, Caspersen, de Brettes, Hans Boas), пружины (Schmidt), разряда конденсатора (Sabine und Radakovič), а в последние годы электронных ламп (C. Cranz und Th. Rossmann) вошли в практику измерительной техники Х., устроенные по принципу механич. часов с электромагнитным или ручным управлением. Среди них первое место занимает Х. сист. Гиппа-Уитстона, изображенный на фиг. 2. *В этом хронографе использован своеобразный* ход Гиппа, к-рый состоит из ходового колеса *а*, имеющего 100 зубцов, и колеблющейся пластинки *б*. Ходовое колесо поддерживает колебания упругой пластинки, которая в свою очередь при каждом полуколебании вверх пропускает, а при полуколебании вниз задерживает ближайший зубец ходового колеса. Пластинка отрегулирована т. о., что число собственных колебаний ее в секунду (частота) равно 1 000, тогда ходовое колесо будет делать полный оборот в 0,1 секунды. Стрелка верхнего циферблата *в*, разделенного на 100 частей, насажена на оси легкого колеса, сцепляющегося

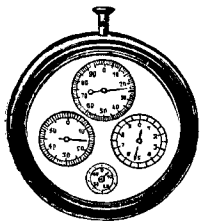


Фиг. 2.

при помощи осевого перемещения то с ходовым колесом то с неподвижным колесом, укрепленным на платине механизма. Перемещение это осуществляется рычагом, управляемым двумя электромагнитами, включенными в измеряемые цепи. Разрыв цепи первого электромагнита пускает стрелку, разрыв цепи второго электромагнита останавливает ее. Т. о. верхняя стрелка будет делать полный оборот в 0,1 ск. и одно деление верхнего циферблата будет равно 0,001 ск. Стрелка нижнего циферблата *г*, разделенного также на 100 частей, делает полный оборот в 10 ск., и следовательно одно деление нижнего циферблата будет равно 0,1 ск. Прибор может измерять промежутки времени 0,001—10 ск. с точностью до 0,001 ск. Механизм работает при помощи гири *д*, а ходовое колесо *а* пускается и останавливается посредством двух рычажков *е* и *ж*, приводимых в движение шнурками. Х. сист. Гиппа нуждаются в регулировке для того, чтобы периоды времени, в течение к-рого происходят сцепления стрелочного колеса с ходовым и неподвижным, были друг другу равны, т. к. в противном случае Х. может дать ошибку, далеко превосходящую его номинальную точность. Регулировке подлежит натяжение пружин, возвращающих якорь электромагнитов в положение равновесия. Поверяются часы Гиппа при помощи Х. сист. Ле-Буланже или маятника Гельмгольц-Вольфа.

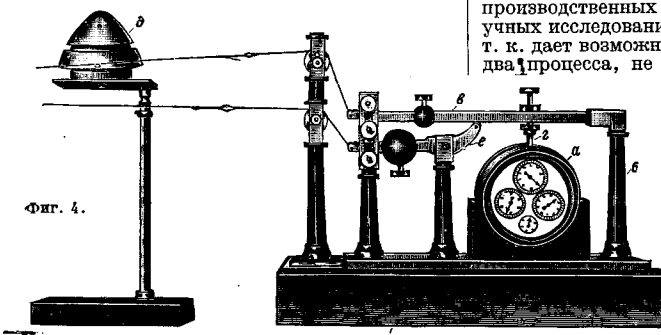
Вопрос об измерении малых промежутков времени с большой точностью в области мелкой хронометрии был разрешен до 0,01 ск. в том

смысле, что вместо обыкновенных секундомеров с балансом, дающим 18 000 колебаний в час, были построены часы, баланс которых делает 180 000 и даже 360 000 колебаний в час. Это дало возможность увеличить предельную точность показаний Х. с $^1/_5$ ск. до $^1/_{50}$ или $^1/_{100}$ ск. пропорционально числу колебаний. Следует однако иметь в виду, что в громадном большинстве случаев точность в $^1/_5$ ск. является более чем достаточной, и только в специальных случаях, при исследовании скорости фотографических затворов, исследовании дистанционных трубок и аналогичных работах требуется бо́льшая точность. Конструктивное выполнение баланса, пружины и хода со столь легкими частями представляет довольно большие затруднения. Представителем часов этого рода являются терцийные часы Лёбнера (фиг. 3), баланс которых делает 100 колебаний в 1 секунду. Верхний циферблат показывает сотые доли ск., правый циферблат—минуты и левый—секунды. Нижний циферблат показывает имеющееся в распоряжении время хода часов, предположительность завода к-рых равна 45 м. Часы снабжены двумя кнопками, из к-рых задняя пускает и останавливает баланс, а передняя служит для установки стрелок на нуль. Диам. циферблата этих часов равен 75 *мм*.



Фиг. 3.

На фиг. 4 показано применение терцийных часов *а* для измерения времени горения дистанционных трубок. На колонке *б* укреплена ось вращения рычага *в* с винтом и контргайкой для нажима на пусковую кнопку *г* часов. Рычаг этот оттягивается вверх шелковой ниткой, проходящей мимо бокового отверстия трубки *д* (через к-рое в этом опыте производится зажигание пороховой мякоти). Другой рычаг *е* под действием тяжелого груза стремится своим коротким плечом поднять вверх первый рычаг и остановить т. о. часы. Но он так же, как и первый рычаг, оттянут шелковой ниткой, проходящей мимо запального отверстия трубки. Трубка в этом опыте зажигается при помощи стопина с бокового отверстия, причем перегорает верхняя шелковая нить, верхний рычаг опускается, нажимает кнопку Х., и механизм часов начинает работать. После того как выгорит пороховая мякоть в канале обеих тарелей, огонь передается в хвост трубки, пережжет нижнюю нить, и рычаг *е* поднимет рычаг *в*, остановив т. о. Х. При спортивных состязаниях в беге, авто-, мото- и велогонках состязающиеся при старте разрывают первую нить, соединенную путем системы блоков с пусковой кнопкой, а при финише разрывается вторая нить, останавливающая часы. Очень удобно использовать электромагнит для обслуживания пусковой кнопки; применение электричества делает всю систему очень гибкой и удобоприменяемой в самых различных условиях науки, техники и спорта. Х. с балансом, делающим в час 180 000 и 360 000 колебаний, изготовляются также в виде карманных часов под различными названиями: «Micrograph», «Semicrosplit» и т. п.



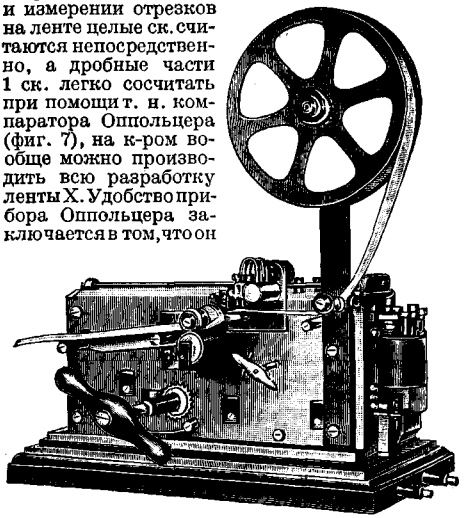
Фиг. 4.

На фиг. 5 показан такой двухстрелочный Х. с периодом баланса, равным $^1/_{100}$ ск. Большая стрелка обегает циферблат в 6 ск.; пуск в ход и остановка обеих стрелок одновременно, начиная с нуля (цифра 6), производятся нажатием ремонтуарной головки, к-рая также используется и по прямому назначению для заводки часов. При нажатии боковой кнопки добавочная стрелка останавливается, а главная продолжает итти, при вторичном нажатии ее добавочная стрелка мгновенно нагоняет главную стрелку, сливается с ней, и обе стрелки снова движутся вместе. При следующем нажатии ремонтуарной головки обе стрелки останавливаются и при третьем нажатии одновременно становятся на нуль. Маленькая стрелка указывает целые кратные 6 ск. и минуты и передвигается скачками при переходе главной стрелки через нуль. Х. с двумя стрелками (франц. avec aiguille ratrappente — с нагоняющей стрелкой) очень удобен при наблюдении различного рода производственных процессов, хронометраже, научных исследованиях и лабораторных работах, т. к. дает возможность наблюдать параллельно два процесса, не затрудняя наблюдателя обслуживанием двух Х. Все перечисленные до сих пор приборы нельзя назвать в полном смысле слова Х., т. к. они, хотя и фиксируют продолжительность какого-нибудь явления, но не записывают его на бумаге.

Фиг. 5.

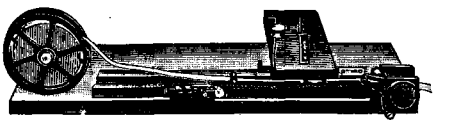
Приборы, к-рые производят подобную запись, правильнее было бы назвать компараторами времени, т. к. при помощи этих приборов в действительности производится сравнение продолжительности наблюдаемого явления с продолжительностью секундных отметок на бумажной ленте. Представителем приборов этого рода является электрический Х. систо Гиппа-Фаварже (фиг. 6). В нем бумажная лента двигается с равной скоростью посредством механизма, управляемого таким же ходом, какой применяется в хронографе сист. Гиппа-Уитстона, и перья, соединенные системой рычагов—каждое со своим электромагнитом,—чертят на бумажной ленте чернилами прямые линии. Один из электромагнитов получает секундные кратковременные

импульсы от нормальных контактных часов с электрич. контактом или от контактного Х. Другое перо включено в цепь, замыкаемую и размыкаемую (или наоборот) в начале и конце исследуемого явления от руки или автоматически. Длина отрезка, отвечающего 1 ск., получается равной ~ 40 *мм*. При обработке результатов и измерении отрезков на ленте целые ск. считаются непосредственно, а дробные части 1 ск. легко сосчитать при помощи т. н. компаратора Оппольцера (фиг. 7), на к-ром вообще можно производить всю разработку ленты Х. Удобство прибора Оппольцера заключается в том, что он



Фиг. 6.

дает возможность сильно увеличить величину ск. чисто геометрич. приемом и сразу же отсчитать дроби ск. по шкале с указателем. При поверке нормальных (звездных) часов при помощи астрономич. наблюдений в пассажном инструменте применяется т. н. окулярный микрометр Репсольда, включаемый в цепь электромагнита одного из перьев Х. сист. Гиппа-Фаварже. Устроен он т. о., что если наблюдатель будет держать крест нитей микрометрич. окуляра трубы в совпадении с наблюдаемым светилом, начиная с момента появления его в поле зрения трубы, посредством поворачивания головки микрометренного винта, передвигающего крест нитей, то в момент прохождения светила через меридиан данного места барабан из агата с платиновым сектором, укрепленный на микрометрич. винте,

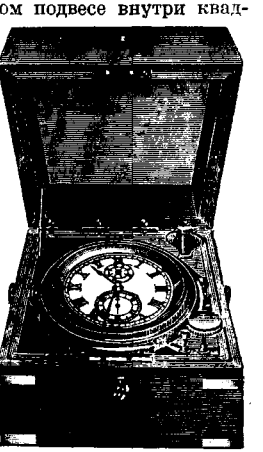


Фиг. 7.

замкнет цепь Х., и на бумажной ленте появится отметка, указывающая точно время прохождения светила через меридиан. Сравнивая эту точку с прерывистой линией от пера нормальных часов посредством компаратора Оппольцера, определяют точно состояние нормальных часов в момент прохождения звезды через меридиан, после чего определяют поправку нормальных часов. Для удобства отсчетов в контактном колесе нормальных часов зубец, отвечающий 60-й (или нулевой) ск., выпилен, поэтому более длинный интервал между секундными отметками соответствует началу каждой минуты, и зигзаг черты, следующий за длинным промежутком, будет первая секунда. Микрометр Репсольда удобен тем, что не отвлекает внимания наблюдателя и исключает личное уравнение ошибки наблюдения.

Лит.: Chaponnière H., Le chronographe et ses applications, Vienne, 1924; Loeske M., Die Chronographen u. Stoppuhren, B., 1921; Cranz C., Lehrbuch d. Ballistik, B. 3, B., 1927; Niesiolowsky-Gawin V., Handbuch d. Physik, hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, B. 2, B., 1926. **Л. Шишелов.**

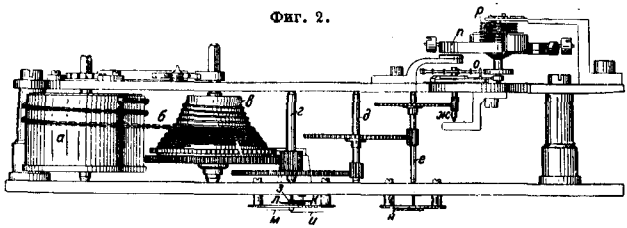
ХРОНОМЕТР судовой, хорошего качества пружинные часы, употребляемые на судах для определения в море времени того начального меридиана, от к-рого ведется счет долгот. За такой меридиан в настоящее время большинство мореплавателей принимает Гринический меридиан. Х. судовые бывают столовые и карманные. Столовый судовой Х. (фиг. 1) представляет собою часы, помещенные на карданном подвесе внутри квадратного ящика из красного или черного дерева: вверху ящик закрыт двойной крышкой—внутренней стеклянной и наружной глухой деревянной. Такое устройство крышки предохраняет судовой Х. от действия на него колебаний темп-ры, вредно отражающихся на его работе. Механизм судового Х. (фиг. 2) представляет собой не что иное как особо точные *часы* (см.), отличающиеся от обыкновенного часового механизма следующими особенностями. Для сохранения постоянства вращающего момента пружины завода, заключающейся в пружинном барабане *а*, передача усилия совершается через посредство цепочки *б*, намотанной одним концом на барабан, а другим на т. н. улитку (фузею) *в*—конич. барабан, у к-рого изменение радиуса намотки цепи подобрано т. о., чтобы момент на оси улитки оставался возможно более постоянным и не зависящим от уменьшения вращающего момента барабана к концу завода пружины. Передаточный механизм состоит из среднего *г*, промежуточного *д*, секундного *е* и ходового *жс* колес с соответственными трибками. На оси среднего колеса сидит минутная трибка *з*, несущая на выступающем из циферблата конце минутную стрелку *и* и приводящая в движение через вексельные колесо и трибку *к* часовое колесо *л* с часовой стрелкой *м*. На оси секундного колеса *е* насажена секундная стрелка *н*. В качестве хода в судовом Х. применяется так наз. хронометрический спуск *о* (см. *Часовое производство*). Баланс *п* для достижения изохронности его колебаний всегда делается компенсированным (баланс Гильома, Дитисгейма, Воле) и снабжается винтовой пружиной *р* (т. н. спиралью). На циферблате судового Х. имеется четвертая стрелка



Фиг. 1.

показывающая, сколько времени прошло с момента последней заводки часов. Когда судовой Х. заведен, он может итти, не останавливаясь, в течение 56 часов, но обычно для большей равномерности хода его заводят каждый день. Судовой Х. хранится на корабле в специальном помещении, где поддерживается по возможности постоянная температура и не ощущаются сотрясения корабля на ходу, при

Фиг. 2.



стрельбе и т. п. При астрономич. наблюдениях Х. *на палубу не выносят*, а *пользуются с л и ч и т е л ь н ы м и ч а с а м и*, хорошими карманными часами, сличаемыми с судовым Х. до и после наблюдений. Для определения времени начального меридиана по показаниям судового Х. необходимо исправить отчет на величину неизбежной ошибки, присущей каждому судовому Х. Исправление ошибки складывается из двух частей—*п о п р а в к и и х о д а* судового Х. Поправка Δ представляет собой алгебраич. разность показаний судового Х. и среднего времени начального меридиана в определенный момент времени, напр. при последнем сличении судового Х. с сигналом времени. Ход δ представляет собой то количество секунд, на к-рое судовой Х. уходит вперед (отрицательный ход) или отстает (положительный ход) за сутки. Т. о. среднее время T определяется из показания судового Х. T_1 по ф-ле

$$T = T_1 + \Delta + \delta t,$$

где t—время, протекшее с момента последней проверки судового Х. Обычно Δ, δ и время последней проверки отмечены на карточке, приколотой в крышке судового Х. Достоинство судового Х. определяется гл. обр. постоянством хода и его неизменностью от влияния темп-ры, барометрич. давления, качки и сотрясений судна.

ХРОНОМЕТРАЖ, измерение времени, затрачиваемого на отдельные повторяющиеся производственные операции. Х. является в настоящее время основным методом изучения во времени трудовых процессов для целей технич. нормирования и лучшей организации труда. Х. впервые введен в практику Ф. В. Тейлором и в значительной степени благодаря его усилиям и настойчивости завоевал в настоящее время положение почти единственного научного метода изучения рабочих процессов для целей нормирования. Хронометрирование заключается в измерении времени, требуемого для совершения отдельных частей производственного процесса, и установлении в результате *ряда таких измерений нормы выработки* в определенный отрезок времени. Хронометрирование производится специальным наблюдателем, к-рый должен тщательно изучить самый процесс работы, условия, в к-рых он протекает, инструменты, к-рыми пользуется рабочий, и наконец наблюдаемого рабочего. При производстве Х. наблюдатель должен разбить весь процесс работы на более мелкие части: на циклы или комплексы операций, затем на отдельные операции, к-рые в свою очередь разбиваются на рабочие приемы и на отдельные элементы.

Область Х. ограничивается обычно отдельными операциями, оставляя изучение всего рабочего процесса в целом, а также отдельных комплексов операций на долю фотографирования рабочего времени. Наблюдаемый рабочий должен находиться в нормальных условиях, бесперебойность его работы д. б. обеспечена своевременной доставкой материалов, станок д. б. исправен, инструмент соответствующего качества и т. д. Очень важным моментом при организации Х. является выбор объекта для хронометрирования; Совет по технич. нормированию ВСНХ СССР на IV сессии постановил брать для хронометрирования с целью установления норм выработки «хорошего» рабочего. Т. к. целью хронометрирования является установление научно-обоснованных норм выработки, то в условиях соцсоревнования и ударничества выбор для наблюдения рабочего не ударника не может дать удовлетворительных норм, а поэтому нельзя ориентироваться просто на хорошего рабочего, и Всесоюзная конференция по техническому нормированию ВСНХ СССР и ВЦСПС фиксировала внимание нормировщиков на рабочем ударнике. Чрезвычайно важно при хронометрировании, чтобы рабочие не относились враждебно к наблюдениям и не искажали сознательно хронометрируемых операций. Поэтому хронометрированию должна предшествовать разъяснительная беседа. Рабочий должен вполне сознательно и доброжелательно относиться к хронометрированию, к-рое должно вопреки практике капиталистич. стран производиться открыто, а не скрытым от наблюдаемого порядком. Хронометражист должен все свои наблюдения записывать в специальную карточку на месте и в момент наблюдения. Запись, сделанная через значительное время после наблюдения, уже по памяти, неизбежно оказывается ошибочной и не может служить материалом для необходимых выводов. Для большей точности наблюдения хронометрирование часто производится одновременно двумя хронометражистами независимо друг от друга. Одна и та же операция хронометрируется несколько раз и таким путем выводится среднее время.

Инструментами для хронометрирования являются различного типа *хронометры* (см.). Наиболее распространенными для целей Х. являются беговые секундомеры, по внешнему виду похожие на карманные часы. Циферблат такого секундомера разделен на 60 больших делений, каждое из к-рых разделено на 5 делений. Стрелка обегает циферблат в течение одной минуты. Благодаря такому делению можно отсчитывать время 0,2 сек. Стрелка пускается и застопоривается нажатием головки. Нажатием *боковой кнопки стрелка возвращается к нулевому положению*. Для большей точности замеров употребляются секундомеры с двумя стрелками. Первым нажатием головки пускаются обе стрелки, к-рые двигаются вместе и одновременно. Первым нажатием боковой кнопки одна стрелка стопорится. Вторым нажатием боковой

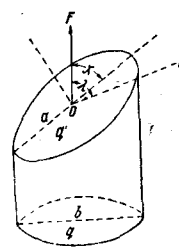
кнопки застопоренная стрелка подскакивает под движущуюся и обе продолжают совместное движение; операция эта м. б. повторена любое количество раз и позволяет хронометражисту фиксировать продолжительность отдельных фаз процесса, не прерывая наблюдения его течения в целом. Вторым нажатием головки обе стрелки останавливаются сразу. Третьим нажатием головки обе стрелки возвращаются в нулевое положение. Более удобным является десятичноминутный хронометр, в к-ром циферблат разделен на 100 частей, т. е. на сотые доли минуты с числовым обозначением десятых долей. За границей употребляются десятично-часовые хронометры. Циферблат этого хронометра разделен на 100 частей, каждое деление равно 0,0001 ч., полный оборот стрелки равен 0,01 ч. Благодаря большой быстроте движения стрелки обеспечивается бо́льшая точность хронометрирования. В последнее время сконструированы механич. хронометражные приборы, отмечающие на непрерывно движущейся бумажной ленте сигналы, даваемые хронометражистом. Преимущества механич. приспособлений заключаются в том, что наблюдателю не приходится отвлекаться от наблюдения для чтения показания часов.

Лит.: Лихтер В., Хронометраж и нормирование труда, М., 1931; Лори, Мейпарт, Стегемертен, Изучение и нормирование рабочего времени, 2 изд., Москва, 1931; Сегаль Л., Хронометраж—орудие рационализации, Москва, 1931; Шахназаров М., Обработка результатов хронометражных наблюдений, Москва, 1932; Бурас Л., Основы технического нормирования в текстильной промышленности, Иваново-Вознесенск, 1930.

Н. Рабинович.

ХРУПКОСТЬ МЕТАЛЛОВ, свойство металла при статической нагрузке рваться, ломаться или разрушаться без заметной остаточной деформации. Если металл перед разрывом обнаруживает пластич. деформации (см. *Деформация пластическая*), а остаточных деформаций не получается только при ударной нагрузке, то это свойство называется ударной хрупкостью. Х. м. при низких и обыкновенных $t°$ иногда называется холодноломкостью, а Х. м. в раскаленном состоянии—красноломкостью. Хрупкость зависит от целого ряда факторов: от структуры металла, ориентации кристаллитов, от примесей, от самого метода испытания и т. д. Один и тот же слиток металла в одном направлении м. б. хрупким, а в другом пластичным. Начиная приблизительно с 1920 года, металловедение сделало большие успехи благодаря тому, что был открыт ряд способов получения металлич. монокристаллов, т. е. одиночных кристаллов, в виде стержней. Детальные исследования механических свойств этих монокристаллов, произведенные нем. физиками (Полани, Э. Шмид, Закс и их сотрудники) и англ. металловедами (Тейлор, Карпентер, мисс Элам и др.), дали весьма ценные результаты для понимания механизма хрупкости и *пластичности* (см.). Эти исследования показали, что в металлич. монокристаллах существуют вполне определенные кристаллографич. плоскости—плоскости с наиболее плотной упаковкой атомов, по к-рым начинается трансляция, или скольжение, одних слоев относительно других. Это явление начинается тогда, когда сдвигающее, или скалывающее, напряжение в данной плоскости и по вполне определенному направлению достигает некоторого критич. значения S. Кристаллографич. направление в плоскости скольжения, по которому атомы расположены наиболее близко друг к другу, является направлением скольжения. При такой деформации происходит повышение критич. скалывающего напряжения, к-рое иногда, по мере роста пластич. деформации, увеличивается в десятки раз. Эти же плоскости скольжения б. ч. являются плоскостями спайности или скола. Когда нормальное напряжение в такой плоскости достигает критического значения N, то монокристалл разрывается по этой плоскости, давая в месте разрыва иногда зеркальногладкие поверхности.

Для металлич. монокристаллов предел текучести не является постоянной величиной, а зависит от ориентации плоскостей скольжения относительно направления растягивающей силы (см. *Деформация металлов*). Константами монокристалла являются: критич. скалывающее напряжение S и критич. нормальное напряжение N. Различные монокристаллы одного и того же металла могут быть в зависимости от ориентации плоскостей скольжения или абсолютно хрупкими или же настолько пластичными, что при растяжении превращаются в тонкую ленту, длина которой иногда в 10 раз больше первоначальной длины монокристалла. Пусть (фиг. 1) плоскость скольжения q' наклонена к оси монокристалла, по к-рой действует растягивающая сила F, под углом x и пусть скольжение в плоскости q' происходит по направлению OD, к-рое образует угол λ с OF. Обозначив через b диам. поперечного сечения цилиндрич. монокристалла, через a—длину наибольшей оси эллипса плоскости q', имеем



Фиг. 1.

$$b = a \sin x,$$

или

$$\frac{\pi b^2}{4} = \frac{\pi ab}{4} \sin x,$$

т. е.

$$q = q' \sin x,$$

где q—площадь сечения стержня перпендикулярно его длине. Стержень растягивается силой F, следовательно напряжение на площадь q равно

$$K = \frac{F}{q}$$

и на площадь q':

$$K' = \frac{F}{q'} = \frac{F}{q} \sin x = K \sin x.$$

Проектируя K' на нормаль к плоскости скольжения q', получаем нормальное напряжение

$$N = K' \sin x = K \sin^2 x;$$

проектируя K' на направление скольжения OD, получаем скалывающее напряжение

$$S = K' \cos \lambda = K \sin x \cos \lambda,$$

под действием к-рого происходит скольжение. Из последнего равенства получаем выражение для предела упругости или текучести

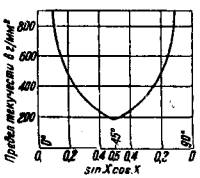
$$K = \frac{S}{\sin x \cos \lambda}.$$

Практически углы x и λ мало отличаются друг от друга, т. ч.

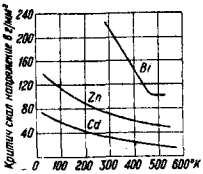
$$K = \frac{S}{\sin x \cos x}.$$

Если изменять x от 0° до 90°, то при изменении от 0° до 45° произведение $\sin x \cos x$ будет возрастать от нуля до нек-рого максимума, а затем от 45° до 90°—снова уменьшаться до нуля.

Считая S=Const, получим ход зависимости предела упругости K от x, подобный изображенному на фиг. 2. Опыты с металлич. монокристаллами показали, что критич. нормальное напряжение N почти не зависит от $t°$ (для висмута при 20° $N = 329$ г/мм² и при −80° $N = 327$ г/мм²), тогда как критич. скалывающее напряжение S уменьшается с повышением $t°$ (фиг. 3). Если при



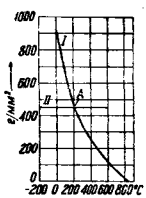
Фиг. 2.



Фиг. 3.

данной $t°$ угол x таков, что при растяжении сначала достигается критич. нормальное напряжение N, то монокристалл разрывается без остаточных деформаций, т. е. является хрупким. С повышением $t°$ вследствие постоянства N и уменьшения S тот же кристалл может сделаться пластичным.

Хрупкость поликристаллических металлов, т. е. металлов, представляющих собой совокупность кристаллитов, зависит от ориентации плоскостей скольжения кристаллитов. Если эти плоскости перпендикулярны растягивающей силе, то образец разрывается без остаточных деформаций. Конечно явления в поликристаллич. металлах значительно сложнее, чем в монокристаллах, т. к. отдельные кристаллиты не имеют свободы перемещения при пластич. деформациях. А. Иоффе, М. Кирпичева и М. Левитская на кристаллах каменной соли показали, что хрупкость и пластичность зависят от взаимоотношения двух механич. характеристик: предела прочности и предела текучести. Они показали, что предел текучести, определяемый тем напряжением, при к-ром начинается расплывание пятен рентгенограммы Лауе, понижается при повышении $t°$ и доходит до нуля при точке плавления (фиг. 4, кривая I); предел же прочности не зависит от $t°$ в интервале от −185° до +650° (прямая II). Точка A, соответствующая +200°, в к-рой предел текучести равняется пределу прочности, есть точка перехода из хрупкого в пластичное состояние. Ниже +200° каменная соль разрывается без остаточных деформаций, а выше +200° кристалл сначала течет, а затем разрывается. Часть кривой I, влево от точки A, была получена путем растяжения кристаллов под водой, которая все время растворяла поверхность и уничтожала поверхностные трещины, вследствие чего кристаллы можно было деформировать выше предела нормальной прочности. Часть прямой II, вправо от точки A, была получена быстрым разрывом образцов, чтобы избежать упрочнения при пластич. деформации. Таким образом из этих опытов вытекает, что каменная соль может вести себя и как хрупкое и как пластичное тело в зависимости от того, какая из двух механич. характеристик—предел текучести или предел прочности—лежит выше. Однако, как показали В. Кузнецов и Н. Большанина, при ударной нагрузке (при падении стального шарика) даже при $t°$ 400÷500° каменная соль проявляет хрупкость, давая трещины. Все факторы, к-рые повышают предел текучести в большей степени, чем предел прочности, способствуют увеличению хрупкости. Так, хрупкость повышается при ударном методе испытания, при понижении $t°$ и некоторых примесях (напр. фосфор в железе). Некоторые металлы почти одинаково пластичны как при статич., так и при динамич. методе испытаний, другие, называемые у д а р н о-х р у п к и м и, оказываются пластичными при статич. нагрузке и хрупкими при динамической нагрузке. К последним относится железо с избыточным содержанием фосфора, как это показал Брейль. Ударная хрупкость вызывается повышением предела текучести; чем больше скорость удара, тем выше предел текучести. Возникает вопрос: нельзя ли любой металл сделать хрупким при соответствующей скорости удара? Результаты опытов дают отрицательный ответ на этот вопрос. Оказывается, что при очень больших скоростях разрыва металлич. образец ведет себя более пластично, чем даже при статич. испытании. Возможно, что при таких скоростях в нем развивается сильное нагревание, к-рое увеличивает пластичность. Хорошую углеродистую сталь не удалось путем увеличения скорости нагрузки довести до хрупкого состояния. Комте разрывал стальной образец на статич. машине, на копре Шарпи и путем выстрела; он получил для удлинения образца стали: в первом случае 29,9%, во втором 22,1% и в третьем 25,7%; для другой стали удлинение оказалось еще больше: в первом случае 33,2% и в третьем 46,7%.



Фиг. 4.

Х. м. весьма сильно возрастает, если при испытаниях ударной нагрузкой на образце делать надрез; металлы, не обнаруживающие хрупкости при испытании без надреза, оказываются иногда очень хрупкими при испытании с надрезом. Из всего этого вытекает, что понятие х р у п к о с т ь является относительным и разделение металлов на хрупкие и пластичные—чисто условным. При ударном испытании образцов с надрезом напряжения в нек-рых местах образца достигают очень большого значения. Поэтому если с повышением скорости динамич. испытания возрастает предел текучести, а прочность, или истинное сопротивление разрыву, мало изменяется, то хрупкость увеличивается; надрез, создавая большие местные напряжения, как бы увеличивает скорость возрастания нагрузки и действует на предел упругости так же, как повышение скорости. Следовательно надрез является фактором, усиливающим хрупкость в большей мере, чем это делает повышение скорости, и поэтому представляет бо́льшую опасность. Кунце произвел опыты с разрывом железных и медных образцов с выточками одинаковой формы, но различной глубины. Он показал, что временное сопротивление разрыву возрастает пропорционально степени уменьшения площади поперечного сечения; быстрота возрастания тем больше, чем жестче материал; это возрастание временного сопротивления разрыву продолжается до определенного предела выточки, после к-рого оно резко падает и приближается к сопротивлению материала в его первоначальном, исходном, состоянии. Эти опыты дают ряд моментов для выяснения механизма ударной хрупкости. Опыты Кербера и Закса, к-рые подвергали ударному разрыву цилиндрич. образцы без надреза и с надрезом, показали, что

повышение предела текучести от надреза есть специфич. свойство каждого материала. Людвик сравнительными статич. и динамич. испытаниями установил связь между ударной хрупкостью и сближением предела текучести с пределом прочности или с истинным сопротивлением разрыву. Возможно, что кроме повышения предела текучести при ударной нагрузке происходит еще уменьшение истинного сопротивления разрыву, однако этот вопрос пока не разрешен. Все упомянутые исследования, а также ряд других приводят к заключению, что причиной ударной хрупкости является повышение местных напряжений вообще и предела текучести в особенности, без повышения прочности. Если предел текучести превышает истинное сопротивление, то получается хрупкий разрыв; если же он, повышаясь при возрастании скорости нагрузки, остается все же ниже прочности, то происходит только уменьшение пластичности; все факторы, повышающие предел текучести и напряжения наклепа или производящие упрочнения, увеличивают хрупкость.

Большое влияние на Х. м. оказывает $t°$. Своеобразное влияние оказывает изменение $t°$ на металлы, подверженные старению, которое заключается в понижении пластичности и повышении прочности после наклепа и последующего за ним отжига при невысоких $t°$; к таким металлам относятся железо и сталь. Если определять удельную вязкость, т. е. работу на единицу площади, необходимую для излома образца при различных $t°$, то получается зависимость, изображенная на фиг. 5, где пунктирная кривая—динамич. нагрузка, а сплошная—статич. нагрузка. Уд. вязкость резко падает при $t°$ между 0° и —100° и затем при более низких $t°$ остается почти постоянной; при повышении $t°$ (до 600°) наблюдается ее минимум. Повышенная хрупкость при низких $t°$ называется холодноломкостью, при высоких $t°$—тепловой хрупкостью. При статич. нагрузке получается смещение критич. точки A в A' в сторону более низких $t°$ на несколько градусов и сильное смещение минимума B в B' в сторону более низких $t°$ (кривая II, фиг. 5). Геренс и Майендер исследовали свойства различных углеродистых сталей и нек-рых металлов в интервале от —180° до +600°. Оказалось, что для всех сталей с понижением $t°$ предел текучести непрерывно возрастает и при том особенно сильно, начиная от —70° или —80, тогда как истинное сопротивление возрастает при понижении $t°$ значительно медленнее. Сближение предела текучести и прочности вызывает хрупкость при низких $t°$. Медь, никель и алюминий ни при каком понижении $t°$ не дают хрупкого разрыва, если образцы не имеют надреза. Ряд работ Зауервальда и Б. Шмида посвящен вопросу хрупкости железа. Зауервальд и Поле поставили цель выяснить вопрос о том, происходит ли при низких $t°$ излом по межкристаллич. прослойке или по кристаллитам. Для этого они крупповское мягкое железо с содержанием 0,067% углерода предварительно обезуглероживали в потоке влажного водорода при 950° в течение 50 час., затем давали растяжение на 5,5—5,9% и отжигали образцы в течение 100 ч. при 870° в потоке водорода; при этом вырастали большие кристаллиты. Образцы разрывались на маятниковом копре Шарпи при $t°$ от —10° до —170°. Во всех случаях хрупкий излом при —170° происходил по кристаллитам. Другие исследователи установили, что при высоких $t°$ излом железа происходит по межкристаллической прослойке. Зауервальд, Б. Шмид и Кремер установили, что удлинение мягкого железа с 0,067% С при статич. разрыве падает до нуля при понижении $t°$ до —155°; при этой же $t°$ происходит резкое понижение прочности образца. Те же авторы произвели опыты с разрывом системы, состоящей из одного или двух кристаллов железа. Для этого они выращивали большие кристаллиты путем рекристаллизации (предварительный отжиг при 950° в течение 48 ч. во влажном водороде, растяжение на 3,5% и рекристаллизация при 870° в течение 70 ч.). Оказалось, что в области между —98° и —185° наступал хрупкий разрыв, причем в узкой области $t°$ (между —144° и —154°) разрыв происходил частично или полностью по границам зерен; в остальной области разрыв происходил по плоскостям куба кристаллитов. Зауервальд и Зосинка (1933 г.) показали, что у монокристаллов чистого железа хрупкий и пластич. изломы перекрывают друг друга в интервале от —98° до —136°: хрупкий излом наблюдается от самых низких $t°$ до —98° и пластичный излом—от высоких $t°$ до —136°.

Фиг. 5.

Лит.: Давиденков Н., Динамические испытания металлов, М.—Л., 1929; Давиденков Н. и Зайцев Г., Механический анализ ударной хрупкости, «Журн. техн. физики», М., 1932; Добровидов А. и Кузнецов В., Хрупкость рельсов при низких темп-рах и способы ее уменьшения, «Сталь», 1932, *3—4*, «Труды Сиб. физико-технич. ин-та», 1932, т. 1, вып. 2; Иоффе А., Кирпичева М. и Левитская М., Деформации и прочность кристаллов, «Ж», т. 56, стр. 489; «Труды Ленинградской физ.-техн. лабор.», 1925, вып. 1; Иоффе А. и Левитская М., Прочность и предел упругости естественной каменной соли, там же, 1926, вып. 2; Кузнецов В., Физика твердого тела, Томск, 1932; Ляпзин П., Борьба с хрупкостью стали при низких темп-рах, «Изв. Сиб. ин-та металлов», 1931, т. 4, вып. 1; Одинг И., Прочность металлов, М.—Л., 1932; Штейнберг С., Лекции по металловедению, М.—Л., 1931; Breuil P., Nouveaux mécanismes et nouvelles méthodes pour l'essai des métaux, P., 1910; Comtet M., «Mémorial d'Artill.», P., 1928; Fahrenhorst W. u. Schmid E., «Ztschr. f. Phys.», 1932 (плоскости скольжения в кристаллах железа); Goerens P. u. Mailänder R., «Forschungsarbeiten», B., 1927, *285* (хрупкость сталей в зависимости от $t°$); Gough Z. B., «Proc. of the Roy. Soc.», L. (A), v. 118, p. 498, 1928 (плоскости скольжения в кристаллах железа); Hachnel O., Die interkristalline Brüchigkeit des Bleies, «Ztschr. f. Metallkunde», B., 1927, p. 492—495; Humfrey J., Interkristalliner Bruch von Eisen u. Stahl, «Ferrum», 1914, H. 7; Ioffe A., Kirpitschew M. u. Lewitzky M., Deformation u. Festigkeit d. Kristalle, «Z. f. Phys.», Lpz., 1924; Ioffe A. u. Lewitzky M., Ueber die Festigkeit u. Elastizitätsgrenze des natürlichen Steinsalzes, ibid., 1925; Körber F. u. Sack R., Mitteil. Kaiser Wilhelm Instit. f. Eisenforschung, B., 1922; Kuntze W., «Mitt. Materialprüf.», B.—Dahlem, 1926 u. «Z. d. VDI», 1928, B. 72, p. 1488; Ludwik P., «Z. d. VDI», 1924, B. 68, p. 212, 1926, B. 70, p. 379; Müggc O., Jahrb. d. Mineralogie, 1889 (хрупкость и пластичность мягкого железа при комнатной температуре); Sauerwald F., Lehrbuch d. Metallkunde, B., 1929; Sauerwald F. u. Elsner G., «Ztschr. f. Phys.», B., 1927; Sauerwald F. u. Pohle K., Ueber den Bruchvergang in Eisen bei tiefen Temperaturen, ibid., 1929; Sauerwald F., Schmid B. u. Dienentahl H., ibid., 1930; Sauerwald F., Schmid B. u. Krämer G., Ueber den Sprödigkeitsbereich von Eisen bei tiefen Temperaturen, ibid., 1930; Sauerwald F. u. Sossinka H., Ueber Sprödigkeit, Plastizität u. die Gleitelemente des α-Eisens, ibid., 1933; Sauerwald F. u. Wieland H., «Ztschr. f. Metallkunde», B., 1925; Sossinka H., Schmid B. u. Sauerwald F., «Metallwirtschaft», B., 1931 (плоскости скольжения в железе); Taylor C. a. Elam C., «Proc. of the Royal Society», L., 1926 (A), v. 112, p. 337 (элементы скольжения в кристаллах железа).

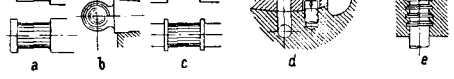
Вл. Кузнецов.

ХРУСТАЛЬ, см. *Стекло.*

Ц

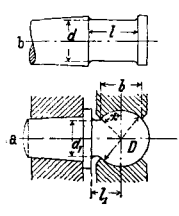
ЦАПОНЛАКИ, см. *Целлюлозные лаки*.

ЦАПФЫ И ШИПЫ, части машин, представляющие собой тела вращения, охватываемые подшипниками (см. *Подшипники*) или втулками и образующие с последними вращательную пару. Цапфы и охватывающие их подшипники оказывают давление друг на друга. В зависимости от направления давления на цапфу она носит название собственно цапфы или пяты. В первых давление направлено перпендикулярно к оси цапфы, во вторых—по направлению оси; в соответствии с этим и для частей, охватывающих цапфу, обычно применяют название подшипника или подпятника. Иногда давление на цапфу направлено под углом



Фиг. 1.

к оси ее и дает как составляющую, перпендикулярную к оси, так и параллельную оси; в таком случае название цапфы или пяты применяют в зависимости от направления главной составляющей давления. Цапфы называются ш е й к а м и, если они расположены не на конце вала, а в какой-либо его части, удаленной от конца. Примеры цапф показаны на фиг. 1 (*a*—цилиндрич. цапфа, *b*—шаровая цапфа, *c*—шейка, *d*—пята, *e*—гребенчатая пята). Цапфы и пяты бывают исполнены за одно целое с валом или делаются вставными из другого материала, напр. железные цапфы в деревянных валах. К вставным цапфам применялось преимущественно название ш и п ы.



Фиг. 2.

Р а с ч е т ц а п ф. Расчет цапф производится на прочность, на удельное давление между цапфой и подшипником и на удаление теплоты, которая возникает вследствие работы трения. Удельное давление не должно доходить до того предела, при котором происходит выдавливание слоя смазочного материала между цапфой и подшипником и возникает сухое трение. Температура цапфы и подшипника не должна превосходить известного предела.

Ц и л и н д р и ч е с к а я ц а п ф а (фиг. 2,b). Обозначения: P—усилие, передаваемое на цапфу в *кг*, d—диам. цапфы в *см*, l—длина цапфы в *см*, k_b—допускаемое напряжение материала цапфы на изгиб в *кг/см²* и k—допустимое удельное давление на опорной поверхности в *кг/см²*. При равномерном распределении давления по длине цапфы имеем условие прочности на изгиб цапфы:

$$P \cdot 0{,}5 \cdot l = 0{,}1\, k_b\, d^3. \qquad (1)$$

Условие предельного давления будет

$$P = k l d. \qquad (2)$$

Соединение этих ур-ий дает:

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\frac{0{,}2\, k_b}{k}}. \qquad (3)$$

Это отношение $\frac{l}{d}$ берется для цапф валов от 1,5 до 2; для цапф кривошипов берут $\frac{l}{d}$ от 0,9 до 1,3. Величины k_b для различных материалов берутся следующие: литая сталь 400—600 *кг/см²*, литое железо 300—500 *кг/см²*, чугун 150—250 *кг/см²*, стальное литье 250—400 *кг/см²*. Величины k (*кг/см²*) по Баху для различных случаев устройства цапф даны в таблице.

Наименование машин	Цапфы коренных подшипников	Цапфы кривошипов	Цапфы крейцкопфов
Двигатели внутреннего сгорания . .	от 30	от 90	до 150
Одноцилиндровые паровые машины . .	20	70	90
Многоцилиндр. пар. маш.	13	60	80
Насосы	10	45	60
Компрессоры и воздуходувки	14	50	60

В паровозах берут k до 150 *кг/см²* для цапф кривошипов и до 350 *кг/см²* для крейцкопфных пальцев. Гарбе дает для цапф кривошипов значения 115—170 *кг/см²*, а для крейцкопфных цапф—310—387 *кг/см²*. Для наружных подшипников паровых машин рекомендуется брать значения коэфициента k значительно меньшие, чем для коренных подшипников, а в тех случаях, где усилия действуют с перерывами (напр. в дыропробивных прессах),—бо́льшие, чем в непрерывном действии.

Мощность трения A в *кгм/сек* м. б. выражена следующей ф-лой

$$A = P\mu v, \qquad (4)$$

где v—окружная скорость на поверхности цапфы в *м/сек*, а μ—коэф. трения.

Мощность трения, приходящаяся на единицу площади сечения цапфы A_z в *кгм/см² сек*, будет

$$A_z = \frac{A}{ld} = \frac{P\mu v}{ld}, \qquad (5)$$

где l и d выражены в *см*. Имеем

$$v = \frac{d\pi n}{6\,000},$$

где d в *см*. Поэтому будет

$$A_z = \frac{P\mu\pi n}{6\,000\,l}.$$

Эта мощность не должна превышать известного предела; следовательно

$$\frac{P\mu\pi n}{6\,000\,l} \leqslant A',$$

или

$$l \geqslant \frac{P\mu\pi n}{6\,000\,A'}.$$

Полагая $\frac{6\,000\,A'}{\mu\pi} = w$, получим

$$l \geqslant \frac{Pn}{w}. \qquad (6)$$

Это уравнение при соответственном выборе величины w является третьим условием для расчета цапф.

Имеем еще зависимость

$$kv = \frac{A_z}{\mu} \leqslant \frac{\pi}{6\,000} w = \frac{w}{1\,910}. \qquad (7)$$

Эта зависимость дает связь между величиной произведения kv и величиной w. Величина w колеблется в очень широких пределах в зависимости от характера работы машины, конструкции и исполнения цапф. Бах дает следующие средние значения для w и kv: 1) Цапфы кривошипов паровых машин: нормально $kv = 35 \div 40$, $w \cong 70\,000$; наибольшее значение $kv = 50$, $w = 95\,000$. 2) Цапфы коренных валов без охлаждения воздухом: $kv = 8$, $w = 15\,000$; при применении белого металла и тщательной конструкции допускают $kv = 21$; $w = 40\,000$. 3) Для выносного подшипника берут $kv = 15$, $w = 28\,000$; при искусственном охлаждении допускаются бо́льшие значения. 4) В двигателях внутреннего сгорания берут (по Гюльднеру): для вкладышей красного литья $kv = 25$, $w = 48\,000$; для вкладышей бронзовых $kv \leqslant 28$, $w = 53\,000$; для вкладышей с заливкой из белого металла $kv \leqslant 30$, $w = 57\,000$; для цапф коренного вала $kv \leqslant 15$, $w = 29\,000$. У машин с большим числом оборотов автомобильных и авиационных двигателей (Клименко [6]), паровых турбин (Цитеман [7]) берут kv до 150 и даже до 200; $w = 286\,000$ (при этом предполагается непрерывное охлаждение циркулирующим маслом). Также велики значения kv и w для ж.-д. механизмов; для ж.-д. вагонов kv до 100; w до 190 000; для паровозов w до 250 000. Последовательность расчета цапф следующая: по ур-ию (3) при выбранных значениях k_b и k находят значение $\frac{l}{d}$. Затем по уравнению (2) определяют величину диаметра d и по найденному раньше значению $\frac{l}{d}$ находят величину l. Эту величину проверяют затем по ур-ию (6) при выбранном значении w. Если проверка даст неудовлетворительный результат, то задаются величиной l по ур-ию (6) и находят d по ур-ию (1). Для полых цапф (d—внешний диам., d_1—внутренний; $d_1 = \alpha d$) расчетные ф-лы принимают вид:

$$\frac{Pl}{2} = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{32\,d} k_b, \qquad (8)$$

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\frac{\pi(1-\alpha^4)}{16\,k}\, k_b}. \qquad (9)$$

Ш а р о в а я ц а п ф а. Размеры шаровой цапфы (фиг. 2,а), соответствующей цилиндрической, показанной на фиг. 2,b, определяются следующими соотношениями:

$$\alpha = 45°;\ D = 1{,}4\,d;\ d_1 = 0{,}63\,D;$$
$$l_1 = 0{,}5\,D;\ b = 0{,}7\,D,$$

где d—эквивалентный диам. цилиндрич. цапфы. Расчеты на прочность ведутся для наименьшего диаметра шейки. Назвав этот диам. d_1, получим

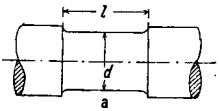
$$M_b = Pl_1\ кгсм;\ k_b = \frac{M_b}{W};\ W = 0{,}1\,d_1^3\ см^3;$$

k_b берется для литой стали до 650 *кг/см²* (P—полное давление на цапфу). Условие удаления тепла дает

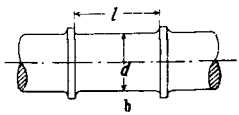
$$d \geqslant \frac{P_n}{w},$$

где w можно принимать по Баху равным 30 000 и выше, смотря по достоинству выполнения цапфы. Шаровые цапфы являются формами не конструктивными и не м. б. применяемы при значительных нагрузках.

Ш е й к и имеют обыкновенно диам. меньше, чем вал (фиг. 3а), но иногда они берутся одинакового диаметра (фиг. 3б). Расчет шейки на



Фиг. 3а.



Фиг. 3б.

прочность производится, как и других частей вала (см. *Вал*), на кручение и изгиб по сложному моменту.

К о н и ч е с к и е ц а п ф ы в виду малой конусности $\left(\frac{1}{15} - \frac{1}{30}\right)$ м. б. рассчитываемы как цилиндрические, относя нагрузку к среднему диаметру [2].

В с т а в н ы е ц а п ф ы. В случае, если цапфа делается из другого материала, чем вал, ее приходится делать вставной; также вставными делаются цапфы кривошипа. Расчет хвостовых вставных цапф—см. [2].

Ц а п ф ы к р и в о ш и п о в делают стальными. Укрепление цапф кривошипа см. *Коленчатые валы*, фиг. 2. Цапфа, соединенная с контркривошипом, см. *Паровоз*, фиг. 125. Расчет цапф кривошипа производится на изгиб по ф-лам

$$M_b = P\frac{l}{2},$$
$$W = 0{,}1\,d^3\ см^3,$$
$$k_b = \frac{M_b}{W}\ кг/см^2,$$

где P—нагрузка на цапфу, l—длина цапфы, d—диаметр цапфы. Допустимое напряжение на изгиб k_b берут 500—700 *кг/см²*. Давление на единицу площади цапфы $k = \frac{P}{dl}$ берется в пределах, указанных выше. Для предупреждения нагревания цапф исходят из величин k и w, указанных выше.

Пяты. Для плоской кольцевой пяты получается выражение для среднего давления:

$$k_0 = \frac{4P}{\pi(d^2 - d_1^2)} \text{ кг/см}^2,$$

где P—нагрузка на пяту, d—внешний диам. пяты, d_1—внутренний диам. пяты. Для выяснения возможности удаления тепла пользуются величиной произведения $k_0 v_0$, причем принимают [2]

$$k_0 v_0 = \frac{P n}{3000(d - d_1)},$$

где

$$v_0 = \omega \frac{d_0}{2} \text{ и } d_0 = \frac{d + d_1}{2}.$$

Для величины k_0 даются следующие значения [2] в *кг/см²*:

Сталь на бронзе	50—75
Сталь по стали	до 100
Железо по бронзе	30—40
» » чугуну	20—25
» » бакауту	20—25

Значения $k_0 v_0$ по тому же источнику в *кгм/см²сек*:

Среднего размера пяты	до 20
При хорошей смазке	40—80
В специальных конструкциях	до 150
Гребенчатые опоры пароходных валов	5—10

Гребенчатые пяты применяются в тех случаях, когда вдоль вала передается значительное усилие, так что размеры простой пяты оказались бы слишком значительными. В этом случае на валу образуют ряд кольцевых выступов, каждый из к-рых упирается в соответствующую часть подпятника. Назовем внешний диам. кольца d, диам. впадины—d_0, ширину кольца—δ; размеры их определяются следующими соотношениями:

$$d = (1{,}2 \div 1{,}6)\, d_0,$$
$$\delta = (0{,}1 \div 0{,}19)\, d.$$

При числе колец z и действующем вдоль вала усилии P получим для сопротивления на выжимание смазки

$$P = z\pi \frac{d^2 - d_0^2}{4} q_0.$$

Величину q_0 принимают равной при малом числе оборотов 10—20 *кг/см²*, при большом числе оборотов 3—10 *кг/см²*. При значительном числе оборотов размеры гребенчатой пяты проверяются на отвод тепла. Последний является затрудненным, почему приходится прибегать к воздушному или водяному охлаждению. Гребенчатые пяты судовых машин—см. [5]. Пяты и подшипники Митчеля—см. *Турбины паровые*, см. также *Пята*.

Лит.: [1]Бах К., Детали машин, пер. с нем., т. 2, стр. 3—64, Л.—М., 1930; [2]Бобарыков И., Детали машин, ч. 1—2, М.—Л., 1926—27; [3]Конструирование и расчеты (пер. с нем. H. Haeder, Konstruieren u. Rechnen), т. 2, Л., 1929; [4]Гюльднер Г., Двигатели внутреннего сгорания, пер. с нем., М., 1928; [5]Бауэр Б., Судовые паровые машины, М.—Л., 1932; [6]Клименко Л., Проектирование быстроходных двигателей, Л., 1930; [7]Цитеман, Паровые турбины, Л., 1933; [8] Hütte, Справочная книга для инженеров, 25 изд., Берлин, 1926; [9] Rötscher F., Die Maschinenelemente, B. 1—2, B., 1927—28.

А. Радциг.

ЦАРСКАЯ ВОДКА, смесь 1 ч. азотной к-ты с 2—3 ч. соляной к-ты; жидкость красно-коричневого цвета и характерного запаха; она растворяет металлы, нерастворимые в каждой из этих к-т в отдельности: золото, платину. Это объясняется тем, что при смешении этих к-т между ними происходит реакция, в результате к-рой выделяется свободный хлор, переводящий in statu nascendi металл в растворимое хлористое соединение; так. обр. Ц. в. действует освобождающимся хлором. Реакцию взаимодействия к-т можно выразить следующим ур-ием:

$$2HNO_3 + 4HCl = NO_2Cl + NOCl + 3H_2O + Cl_2;$$

NO_2Cl и $NOCl$—хлорангидриды азотной и азотистой к-т (хлористый нитроил и хлористый нитрозил), к-рые образуются при распадении при этой реакции HNO_3 на окислы NO и NO_2, непосредственно соединяющиеся с выделяющимся хлором. Применяется Ц. в. в количественном анализе для аналитич. определения платины, а также при добывании платины для отделения ее от других металлов. Приготовляют Ц. в. смешением 1 ч. конц. HNO_3 с 2—3 ч. конц. HCl.

ЦВЕТНАЯ ДРЕВЕСИНА, древесина различных древесных и кустарниковых пород, окрашенная в различные цвета содержащимися в ней красящими веществами или путем обработки искусственными красящими веществами, по преимуществу анилиновыми красками. Ц. д. как естественного, так и искусственного происхождения находит себе широкое применение в столярно-мебельном производстве, в изготовлении ценных инкрустационных изделий; нек-рые виды Ц. д. являются сырьем для производства красок растительного происхождения. Цвет древесины зависит от разнообразных красящих веществ, в ней встречающихся, напр. бразелин—в древесине красного дерева, гематеин—в древесине кампешевого дерева, санталин—в красном санталовом дереве, морин—в желтом дереве и т. п. Весьма часто в самом дереве встречаются органич. соединения, к-рые сами по себе не окрашивают, но при окислении их или воздействии на них щелочами или к-тами они образуют окраску того или иного вида; такого рода соединения носят название хромогенов. Само окрашивание древесины в этих случаях следует рассматривать как реакцию между коллоидными частицами древесных волокон (гель), абсорбирующими из высокомолекулярных органич. растворов красящего вещества (золь) краску. Для усиления процесса абсорбции при искусственной окраске производится предварительная протрава древесины, способствующая усилению процесса и прочности окраски. Естественные окраски древесины весьма разнообразны и охватывают все части спектра и переходы между ними. Об этом разнообразии можно судить по классификации древесины различных пород по цвету таковой, предлагаемой Бовери (J. Beauverie): 1) желтая окраска древесины: самшит, барбарис, скумпия, лимонное и апельсинное деревья, гранат, маклюра, белый сантал, бузина и атласное дерево (Ferolia guianensis); 2) светлокоричневая: дуб, айлант, каркас, гикори, каштан, тернослива, вяз, иудино дерево (Cercis siliquastrum), оливка, можжевельники (красноплодный и финикийский); 3) светлокрасновато-коричневая: тисс, лиственница, красное дерево, вестиндский кедр (Cedrela odorata), терн, гренадил (Anthyllis sp.), обыкновенная сосна и кедр; 4) темно-красно-коричневая: шелковица, кладрастис, различные таксодиумы; 5) серо-коричневая: тик, грецкий орех, палисандр (Jacaranda brasiliana), туя гигантская, обыкновенный можжевельник (Taxodium distichum, Catalpa); 6) светлосерая—у деревьев, погребенных много веков, особенно в вулканич. областях; 7) темносерая: Diospirus с опадающей листвой (серый эбен), железное дерево (Siderodendron, Cu-

pania); 8) черная—вечнозеленые Diospiros'ы (черный эбен); 9) розовая: виргинский можжевельник, розовая древесина Rhodorhiza, Chamaecyparis obtusa, Picea sitkaensis и Picea hondoënsis; 10) красно-желтая: гледичия, гимнокладус, ракитник, Quercus cerris, магакони (Dalbergia sp., свежая древесина), веймутова сосна; 11) вишнево-красная: секвойя (свежая древесина) и Pterocarpus santalinus; 12) синевато-красная: черный орех, Haematoxylon campechianum (кампешевая древесина), Catalpa speciosa; 13) кроваво-красная: Pterocarpus indica; 14) зеленоватая: Laurus chloroxylon, Cocus; 15) зеленовато-желтая: белая акация; 16) светлооливковая: магнолия, тюльпанное дерево; 17) темнооливковая: гваяковое дерево, Aspalatus ebenus (зеленый эбен); 18) перламутрово-белая: ясень; 19) белая: клены, ивы, березы, лещина, граб.

У одного и того же дерева окраска древесины м. б. различна: в центральной части (ядро) древесина бывает более темно окрашенной и в наружной части заболони более светло окрашенной. Неравномерно бывают окрашены также весенние и летние части годичного кольца, причем последние чаще всего бывают окрашены в более темные тона. Благодаря этому древесина в тангенциальных разрезах имеет красивый рисунок. С возрастом окраска усиливается и становится более темной. Окраска древесины в свежесрубленном состоянии после воздействия на нее высушивания, кислорода воздуха и других внешних факторов меняется и приобретает или более тусклый цвет или изменяет цвет совершенно. Древесина только что срубленной черной ольхи—яркокрасного цвета и скумпии — яркозолотистого цвета, после высыхания и та и другая тускнеют; у ясеня обыкновенно коричневато-желтая окраска на торце приобретает с течением времени светлофиолетовый оттенок, свежесрубленное тропич. красное дерево—желтоватого цвета, но после долгого хранения оно приобретает густую красную окраску; то же наблюдается у амарантового дерева, древесина к-рого после срубки напоминает по цвету ореховую древесину, а затем после воздействия света, воздуха и высыхания становится прекрасного фиолетового цвета. У одних и тех же видов древесных пород, но у различных мелких форм наблюдается различие в окраске древесины, напр. у обыкновенного ясеня наблюдается древесина темной и светлой окраски. На окраску древесины оказывает влияние и степень здоровья древесной породы: при повреждении деревьев грибными заболеваниями наблюдается резкое изменение обычного цвета, образование синей древесины (синева), зеленой древесины, розоватой древесины и т. п. Чистая равномерная окраска, присущая данной породе, свидетельствует о доброкачественности древесины. Замечено, что древесина, получаемая от деревьев, произрастающих в южных и тропич. странах, отличается бо́льшим разнообразием окраски, чем древесина у деревьев, произрастающих в прохладных и северных зонах. В СССР наилучшие образцы Ц. д. доставляют леса Крыма, Кавказа, Среднеазиатских республик и Дальнего Востока.

В недавнем прошлом Ц. д. тропич. стран являлась весьма важным источником экспорта. По преимуществу экспортировалась древесина следующих пород: красное дерево, Swietenia mahagoni, из Центр. Америки и Антильских о-вов, а также древесина различных видов Cedrela из Индии, Бразилии, Австралии и Центр. Америки, древесина Khaya senegalensis из Африки, древесина Fraseranum из Австралии и др. Атласное дерево, или сатиновое дерево, представляющее древесину Chloroxylon swietenia и Zantoxylon sp. из Вест-Индии. Розовая древесина—Dalbergia latifolia и D. sissoe из Индии и Явы, а также из Центр. Америки Dalbergia sp. и африканское розовое дерево Pterocarpus erinaceus. Палисандровая древесина от дерева Dalbergia nigra доставляется из Бразилии и Вест-Индии. Черное дерево—Diospyros ebenus, D. melanoxylon, D. tesularia—дает черную древесину, доставляемую из Вест-Индии, а из Центр. Африки и Мадагаскара получают под этим названием древесину Diospyros dendro и Diospyros sp. Кокосовое дерево доставляется из тропич. Америки и Вест-Индии под названием вестиндского эбенового дерева, Brya ebenus. Тюльпанное или Канарское белое дерево—древесина Liriodendron tulipifera из Сев. Америки. Бакаутовое, или гваяковое, дерево доставляет чрезвычайно вязкую и тяжелую древесину черного цвета от деревьев Guaiacum officinale, G. arboreum, G. sanctum, произрастающих в тропич. зоне Америки и Вест-Индии. Вестиндский кедр (красное дерево), Cedrela odorata, родом из Вест-Индии и C. australis из Австралии и с о-вов Малайского архипелага доставляют красную древесину для мебели и ящиков. Змеиное дерево (Brosimum Aubletti), дающее древесину буроватого цвета с черными пятнами высокой твердости,—родом из Гвианы. Красно-желтую древесину (ароматическую) дает белый сандал (Santalum album L.) из южной Индии, Малабара и с Зондских островов. Кроме этого имеется и еще не мало различных видов Ц. д. естественного происхождения, ввозимых из тропич. стран на европейские рынки.

За последнее время сильно развилась искусственная окраска и протравливание древесины наших обыкновенных древесных пород с помощью анилиновых красок. Введение в практику протравливания древесины отразилось очень сильно на ввозе вышеуказанных ценных Ц. д. из тропич. стран. Окрашивание древесины при желании придать ему бо́льшую прочность производят еще на корню, заставляя раствор анилиновых красок вместе с водными растворами самого дерева подниматься в крону и постепенно окрашивать весь ствол. У срубленных деревьев окраску производят путем импрегнации под небольшим давлением красящих растворов в древесину (метод Бушери).

Для добывания красящих веществ употребляют целый ряд древесин по преимуществу тропич. происхождения: 1) голубую древесину (кампеш)—ядровую древесину Haematoxylon campechianum, дерева родом из Мексики, Гондураса и с Антильских о-вов. В ней содержится бесцветный хромоген гематоксилин ($C_{16}H_{14}O_6 \cdot 3H_2O$), при воздействии воздуха в щелочном растворе переходящий в красящее вещество гематеин ($C_{16}H_{12}O_6$), употребляется для окраски в синие, фиолетовые и черные цвета; 2) красную древесину или бразильскую, происходящую от различных видов Caesalpinia (C. crista, brasiliensis, echinata, sappon, bijuga, tinctoria), произрастающих в Бразилии, Гвиане, Вест-

Индии, Чили и в тропич. Азии. Древесина цезальпиний содержит желтоокрашенное вещество б р а з и л и н ($C_{16}H_{14}O_5$), к-рый очень легко окисляется воздухом в щелочных растворах и образует красящее вещество б р а з и л е и н; 3) к р а с н у ю с а н д а л о в у ю д р е в е с и н у получают от дерева Pterocarpus santalinus родом из Ост-Индии и тропической Азии; оно содержит красное, в щелочном растворе фиолетовое, красящее вещество с а н т а л и н ($C_{15}H_{14}O_5$), применяемое с оловянными и алюминиевыми солями для окраски в красный цвет и с железистыми дающее коричнево-красный лак; 4) ж е л т у ю д р е в е с и н у получают от Maclura tinctoria или Chlorophora tinctoria родом из Ю. Америки; содержит желтое красящее вещество м о р и н ($C_{15}H_{10}O_7 \cdot 2H_2O$), применяется с глиноземной протравой для окраски в интенсивно желтый цвет; 5) ф и з е т о в у ю д р е в е с и н у—ядровую древесину скумпии (Rhus cotinus L.),—содержащую ф у с т и н, ($C_{58}H_{56}O_{13}$); при подогревании с разведенной H_2SO_4 фустин дает желтое красящее вещество ф и з е т и н ($C_{15}H_{10}O_6 \cdot 4H_2O$).

Для получения красителей вышеуказанные древесины размельчают и затем экстрагируют. Для приготовления искусственно окрашенной древесины, имитирующей высокоценную импортную древесину тропич. пород, употребляют по преимуществу местные породы, древесина к-рых не расчленяется на ядро и заболонь и к-рые по своей структуре схожи с тропич. породами. К таковым относится древесина клена, груши, яблони, осины, тополя, липы, березы, ольхи, бука и др. После протравы и окраски древесина клена может дать имитацию розового и палисандрового дерева; из грушевой и яблоневой древесины получают имитацию черного эбена и красного дерева. В качестве красящих веществ употребляют краски естественного происхождения и различные анилиновые краски.

Лит.: Н е с т е р о в Н., Дерево как строительный и поделочный материал, М., 1915; L e u n i s J., Synopsis der drei Naturreiche, T. 2, 3 Aufl., Hannover, 1886; G r o s s m a n n J., Gewerbekunde d. Holzbearbeitung, B. 1, Das Holz als Rohstoff, Lpz., 1922; B e a u v e r i e J., Les bois industriels, P., 1910; W i e s n e r J., Die Rohstoffe des Pflanzenreiches, B. 2, 4 Aufl., Lpz., 1928; V o s s F., Das Beizen u. Färben des Holzes in modernen Farben, Düsseldorf, 1904. **Н. Кобранов.**

ЦВЕТНАЯ ФОТОГРАФИЯ, см. *Фотография.*

ЦВЕТОЧНЫЕ МАСЛА, см. *Эфирные масла.*

ЦЕВКА УТОЧНАЯ, катушка, на к-рую наматывается уток и к-рая при ткачестве вкладывается в челнок. Название «цевка» относится чаще всего к катушке из дерева и употребляется преимущественно в льняном ткачестве, где и машина, служащая для размотки утка с мотков, получила название «цевочная машина» (см. *Ткацкие станки*).

ЦЕЗИЙ, Cs, химич. элемент подгруппы щелочных металлов I группы периодич. системы. Ат. вес 132,81, порядковый номер 55 (изотопы его неизвестны). Свободный Ц.—мягкий, как воск, золотисто-желтый металл, уд. в. в твердом виде 1,87, $t°_{пл.}$ 28,45° и $t°_{кип.}$ 670°. По своим химическим и физическим свойствам Ц. очень мало отличается от *рубидия* (см.). Важнейшими отличиями являются более высокая реакционная способность Ц. (Ц. является наиболее электроположительным элементом), более низкая растворимость большинства его солей и отсутствие радиоактивных свойств. По характеру распространения Ц. также очень напоминает рубидий: оба элемента почти всегда встречаются в природе совместно, причем рубидий количественно преобладает. Содержание Ц. в земной коре равно по последним данным $7 \cdot 10^{-5}$% (рубидий—$3 \cdot 10^{-3}$%). Специфическими минералами Ц. (не имеющими промышленного значения вследствие их редкости) являются п о л л у к с, водный алюмосиликат цезия $H_2Cs_4Al_4Si_9O_{27}$, и в о р о б ь е в и т—розовая разновидность *берилла* (см.). Технически Ц. добывается вместе с рубидием из отходов от переработки литиевых и калийных минералов. Для открытия Ц. пользуются обычно характерными линиями оптич. спектра: 697,3, 672,3, 621,3, 455,5, 459,3 А (Ц. окрашивает пламя в фиолетовый цвет).

Ц. и его соединения применяются в крайне незначительных количествах в качестве реактивов при микрохимич. анализе, а также в производстве электронных ламп и фотоэлементов.

Лит.: Е ф р е м о в Н. и В е с е л о в с к и й А., Цезий и рубидий в соликамских карналлитах, «Изв. ин-та физ.-хим. анализа», 1930, т. 4,2, стр. 454; Б у р к с е р и др., Опыты получения солей рубидия и цезия из советских лепидолитов, «Редкие металлы», 1932. См. также *Рубидий.* **Е. Кроткан.**

ЦЕЛЛОН, пластическая масса, известная также под названием неогнеопасного целлоида, получается путем обработки гидроацетата целлюлозы (ц е л л и т а) смесью спирта и бензола, после чего желатинированную массу хорошо перемешивают с пластификатором (напр. трифенилфосфатом и другими, но не камфорой), вальцуют и отпрессовывают в большие глыбы (т. н. блоки), к-рые разрезают затем на листы толщиною от 0,1 до 10 *мм* или придают им другую форму, напр. стержней, труб и т. д. В зависимости от цели применения Ц. может иметь различную твердость. В продаже различают бесцветные, как стекло, и окрашенные, напр. белый, черный и другие сорта Ц. Уд. в. Ц. равен 1,3—1,35. Амилацетат, смесь эфира и спирта и другие типичные для целлюлоида растворители, а также масла, керосин, бензин и другие на него не действуют. При нагревании до $t°$ ок. 80° Ц. становится гибким, при более высокой $t°$—мягким; после охлаждения затвердевает снова без видимых изменений. Ц. почти не горюч и отличается высокой электроизолирующей способностью. Область применения Ц. чрезвычайно разнообразна. Он употребляется как небьющееся стекло для автомобилей, аэропланов, очков, циферблатов и т. д., в электротехнике — как изоляционный материал. для изготовления различных изделий: гребней, кукол, шаров и т. д., в качестве огнезащитного средства и для других целей. **П. Черенин.**

Лит.: см. *Целлофан.*

ЦЕЛЛОФАН, одна из разновидностей вискозной пленки, имеющей также ряд других названий, как: транспарит, гелиоцел, сидак, сидак-идоль (водоупорная пленка), богофан, целлглас, целлофуаль, цетафан, эсслингеровское целлюлозное стекло, кларифуаль, сильфран, нимфран (водоупорная пленка), виско, вискоцелле, витроцелле, толгофан, полофан, райофан, солюкс и др. фирменные названия. Ц.—тонкая, прозрачная, глянцевитая, гибкая, воздухо- и жиронепроницаемая масса из гидратцеллюлозы. По составу Ц.—чистая регенерированная целлюлоза, химически более активная, чем натуральная. Ц. подвержен тем же реакциям, что и целлюлоза (нитрованию, этерификации, набуханию). В воздухе Ц. горит, как бумага. Для изготовления Ц. требуется хорошо отбеленная древесная (сульфитная)

или хлопковая целлюлоза. Ц. получают из раствора целлюлозы в аммиачномедной соли или путем вискозного процесса. Последовательный процесс изготовления Ц. из вискозы заключается в следующем. Отбеленная целлюлоза с содержанием 80—90% α-целлюлозы подвергается вымачиванию (мерсеризации) в растворе 18—20%-ного едкого натра NaOH при постоянной $t°$. При этой обработке волокна набухают и образуют нестойкие соединения щелочной целлюлозы, алкалицеллюлозу, а гемицеллюлоза растворяется в щелочи. Излишек раствора едкого натра, содержащий гемицеллюлозу, отжимают до тех пор, пока вес прессуемых листов щелочной целлюлозы не будет примерно в три раза больше веса сухой массы. Подготовленную т. о. алкалицеллюлозу размельчают в пушистую аморфную массу и выдерживают нек-рое время в закрытых ящиках при тщательно проверяемой $t°$, так как вязкость вискозы зависит от времени предсозревания алкалицеллюлозы. Выстоявшуюся алкалицеллюлозу обрабатывают сероуглеродом, причем целлюлоза превращается в ксантогенат целлюлозы. Обработку производят во вращающихся, плотно закрытых барабанах с двойными стенками (баратах). Свежеизготовленный ксантогенат смешивают с разбавленным раствором едкого натра до тех пор, пока не образуется коллоидный раствор—вискоза. Прежде чем целлюлоза достаточно сгустится, ей дают созреть. Во время этого созревания, проводимого при постоянной $t°$ (~20°), происходит ряд весьма сложных, еще недостаточно хорошо изученных процессов. Степень созревания устанавливают определением солевого числа (salt number) методом Хотенрота, т. е. определением количества $см^3$ 10%-ного раствора хлористого аммония, необходимого для коагуляции небольшого количества раствора вискозы. По получении необходимой степени зрелости вискозу отливают, причем для обеспечения однородности будущей пленки перед подачей вискозы в отливочные машины ее обезвоздушивают. Процесс получения бесконечной пленки по целлофановому способу состоит в следующем: вискоза из специальной фильеры в виде воронки с узкой, но длинной (до 2 $м$) щелью продавливается в раствор $(NH_4)_2SO_4$, нагретый до 45°. Здесь происходит коагуляция ксантогената целлюлозы. Затем ксантатная пленка проводится через раствор серной к-ты, где и происходит образование пленки из гидрат-целлюлозы. По нек-рым патентам обе эти операции совмещаются в одну путем применения кислых ванн. После сернокислотной ванны пленка основательно промывается в воде и идет на десульфурацию в горячем растворе NaOH, Na_2S или Na_2SO_3. Десульфурированная пленка вновь хорошо промывается в воде и затем отбеливается в растворе гипохлорита, после чего проходит ванну с глицерином (эластификация), к-рый придает пленке мягкость и гибкость. После этого Ц. высушивают, пропуская по нагретым роликам при определенной $t°$, и наматывают в катушки любого веса или нарезают на листы определенного размера. Ц. легко окрашивается в любой цвет; для этого пленку в виде еще влажной ленты пропускают до обработки глицерином через красильную ванну, или же красят пленку после высушивания ее. От степени концентрации ванны и $t°$ зависит густота окраски. При употреблении протравных красителей можно получить любые оттенки. Ц. также легко поддается обработке под сафьян, шелк и допускает тиснения или гофрировку. Вследствие водонепроницаемости Ц. является прекрасным упаковочным материалом для пищевых и др. продуктов. Обычно вырабатывают несколько видов Ц. по весу 10÷60 $г/м^2$. Толщина Ц. приблизительно 0,01÷0,06 $мм$. Химический состав Ц. следующий: α-целлюлозы 77—88%, глицерина 10—14%, воды 7—10%, золы около 0,5%. Коэфициент кислотности составляет около 6 (для бумаги—в среднем около 300). Механич. свойства Ц. приведены в следующей таблице:

Характеристика	В продольном направлении	В поперечном направлении
Прочность на разрыв в $кг/мм^2$	4—7,6	3—4,5
Растяжение в %	8—15,5	16—27
Двойные изгибы	5—8 000	7—10 000

Прозрачность Ц. является одним из главных его свойств для применения в упаковочном деле, в особенности там, где необходимо или желательно показать находящийся внутри упаковки товар. Установлено, что целлофан пропускает ультрафиолетовые лучи, что позволяет использовать его для оконных рам и для гелиотерапии; такое «стекло» пропускает до 70% коротких волн, причем прозрачность Ц. после года пользования им очень мало уменьшается, в то время как специальные стекла, пропускающие ультрафиолетовые лучи, утрачивают в значительной мере свою прозрачность. Ц. проявляет анизотропные свойства целлюлозы. Ц. пропускает легко растворимые в воде газы (аммиак, углекислоту и др.). С другой стороны, плохо растворяющиеся в воде газы (водород и др.) диффундируют через Ц. весьма медленно. Это свойство позволяет применять Ц. как полупроницаемую перегородку для выделения газов из смеси. Хорошо высушенный и свободный от солей, глицерина и др. примесей Ц. обладает превосходными диэлектрич. свойствами. Но так как без обработки глицерином Ц. недостаточно эластичен, то его не применяют для электрич. приборов. Время почти не изменяет качеств и свойств Ц. за исключением влажности и содержания глицерина, к-рые по истечении нескольких лет уменьшаются; также замечается нек-рое уменьшение растяжимости.

Применение Ц. в различных отраслях промышленности с каждым годом увеличивается.

Лит.: Ан. П. 3929; Cellophane, «Chemiker Ztg», Cöthen, 1913, p. 404; «Ztschr. f. angew. Chemie», Lpz., 1914, *29*; Margosches B., Die Viskose, Lpz., 1906; Hottenroth V., Die Kunstseide, Lpz., 1926; Avram M., The Rayon Industry, N. Y., 1927; Houser E., Textbook of Cellulose Chemistry, N. Y., 1924; Hotteroth V., Die Kunstseide, «Chemiker Ztg», Cöthen, 1915, B. 39, p. 119; Pfund, «Johns Hopkins Hospital Bull.», Baltimore, 1927, v. 40, Apr., p. 228; «Bur. Standards», Techn. News Bull., Wsh., 1927, Okt.; Birdsey, «J. Eng. Chem.», 1928, v. 21, *5*.

В. Гессен.

ЦЕЛЛЮЛОЗА, клетчатка, основное вещество всякой растительной ткани, составляющее 30—60% ее веса. Оболочки единичных клеток, как напр. волокна хлопка, содержат даже 85—90% Ц., представляя т. о. наиболее чистые объекты как для изучения химич. состава и структуры Ц. (см. *Клетчатка*), так и для технич. ее использования.

С помощью технич. обработки заключающаяся в растительной ткани Ц. может быть полу-

чена в форме содержащих ее клеточек, т. е. в виде пустотелых оболочек многогранной, круглой или удлиненной, лентовидной или веретенообразной волокнистой формы. В зависимости от формы клеточек определяется и применение содержащих их растений в различных отраслях пром-сти. Так, для текстильной пром-сти, для которой в процессе прядения важна длина отдельных волоконец, соединяемых путем скручивания в одну длинную нить, имеют наибольшее значение лубяные клетки льна (длина 10—100 *мм*), рами (25—300 *мм*), кендыря (10—75 *мм*) или же заключающиеся в семенных коробочках единичные волокна хлопка (16—40 *мм*); все остальные неволокнистые или коротковолокнистые клетки растительной ткани непригодны для текстильной пром-сти и д. б. удалены. Для бумажной пром-сти абсолютная длина волокон не имеет особого значения, но существенным условием является соотношение между длиною и диам. клеточки, облегчающее свойлачивание волокон между собой при образовании бумажного листа на сетке бумажной машины. Если для текстильной пром-сти длина волокнистых клеток д. б. в 1 100—1 300 раз больше толщины, то для бумаги применимы волокна с длиной, превышающей всего в 50—200 раз их толщину. Находящиеся в растительной ткани клетки другой, не волокнистой, формы не являются вредными, т. к., распределяясь между свойлачивающимися волоконцами бумажной массы, они не мешают формированию бумажного листа и иногда даже помогают получению более ровной и гладкой поверхности листа. Наконец для химич. переработки Ц. (искусственное волокно, бездымные пороха, целлюлозные лаки, пластич. массы и др.) форма Ц., получаемой из растительной ткани, имеет меньшее значение, но главным условием является ее химич. чистота, т. е. отсутствие в ней посторонних «нецеллюлозных» элементов. В оболочке клеточных стенок Ц. является не в виде химически чистого полисахарида, но б. или м. тесно связанной с другими веществами, как лигнин, пектины и гемицеллюлозы, кроме других сопутствующих веществ, как жиры, смолы, дубильные и красящие, белковые и зольные вещества, совсем свободные или слабо связанные с Ц. (см. *Клетчатка* и *Древесина*). Для применения Ц. в пром-сти она д. б. освобождена от этих спутников, причем степень ее освобождения от них обусловливается ее целевым назначением. Связь Ц. с лигнином и гемицеллюлозами так крепка, что полное отделение их от Ц. невозможно без частичного разрушения самой Ц. Поэтому в тех случаях, когда требуется особо крепкая Ц., с крепостью, близкой к той, какую она имеет в естественном состоянии в растении, необходимо оставлять при ней наиболее крепко связанную с ней часть ее спутников. Освобождая при их удалении те химич. связи, к-рыми она с ними связана, мы тем самым даем доступ применяемым для выделения реагентам действовать на самую Ц.

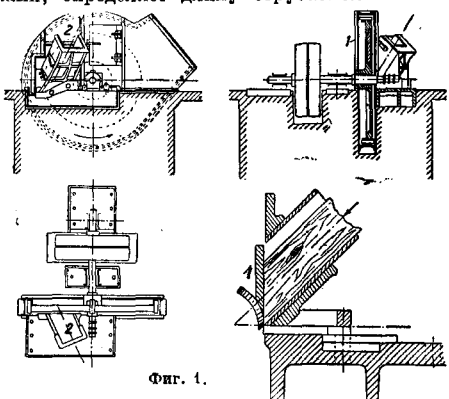
По современным воззрениям молекула Ц. состоит из молекул ангидрида глюкозы, глюкозидной связью цепеобразно связанных между собой, причем число отдельных звеньев в этой цепи ≧60—100. Такие цепочки из звеньев, связанных между собою основными валентностями, побочными валентностями ассоциированы в пучки из нескольких десятков таких цепочек. Такого рода строение Ц. объясняет между прочим способность клеточной стенки распадаться на тончайшие волокна—фибриллы, способствующие увеличению коллоидной поверхности волокна, лучшему его свойлачиванию на сетке бумажной машины и тем увеличивающие крепость и лучший вид бумажного листа (см. *Бумажное производство*). Связанные в древесине с Ц. гемицеллюлозы (пентозаны—ксилан $C_5H_8O_4$) и лигнин, участвуя в общей цепеобразной структуре молекулы Ц., также вероятно имеют двойные связи. Можно считать доказанным (Шмидт, Рункель и Лингс), что при изолировании Ц. из буковой древесины действием ClO_2 получается Ц., в к-рой с каждыми тремя частицами $C_6H_{10}O_5$ химически связана одна молекула ксилозы, один из гидроксилов к-рой ацетилирован. Т. о., если предположить полимеризованную молекулу Ц. в 60 членов, то можно предположить связанную с нею цепь в 20 остатков ксилозы $C_5H_8O_4$. Помимо гемицеллюлоз и лигнин также связан с Ц., и следовательно его размещение в молекуле древесины должно следовать параллельно цепочке Ц. Отщепляемый от Ц. при гидролизе еловой древесины лигнин содержит ок. 6% ксилана (Хеглунд); нельзя сказать, был ли этот ксилан до выделения лигнина связан только с ним или он находился в общей связи с остальными элементами древесины. Констатировано, что при гидролизе соломы удаление лигнина влечет за собой более прочную связь остающегося ксилана с Ц. и, наоборот, удаляя предварительно ксилан, получаем более прочную связь Ц. с остающимся лигнином, что заставляет думать, что лигнин также частично связан с Ц. основными и побочными валентностями.

Удаление лигнина и гемицеллюлоз производится действием различных реагентов кислогного или щелочного характера, а также галоидов—хлора или брома—с применением слабой щелочи для растворения хлорированного или бромированного лигнина. Помимо выбора того или иного реагента для проведения этого процесса основными являются три фактора: концентрация реагента, $t°$ и время реакции. Эти факторы определяют весь ход реакции и качество получаемой Ц. В зависимости от требуемых физических и химических свойств надлежит усиливать или ослаблять влияние того или иного фактора. Для получения одного и того же эффекта можно регулировать до некоторой степени процесс, усиливая или ослабляя действие одного фактора за счет соответственного изменения другого фактора, напр. увеличивая концентрацию действующего реагента за счет понижения $t°$ или сокращения времени реакции; повышение $t°$ может итти за счет сокращения времени реакции.

Фабричное производство древесной Ц. производится в настоящее время двумя методами: кислотным и щелочным. В первом случае гидролиз производится действием так наз. в а р о ч н о й к и с л о т ы, состоящей из раствора двусернистокислой извести с некоторым количеством свободной сернистой к-ты. Щелочной способ существует в двух видоизменениях: натронный и сульфатный, различающихся тем, что в первом случае действующим агентом является едкий натр, а во втором—смесь едкого натра ($\sim {}^2/_3$) и сернистого натрия ($\sim {}^1/_3$ всей щелочи). Наименование «сульфатный» этот способ получил потому, что в виду большой стоимости щелочей все отработанные щелока регенерируются; щелочь, теряющаяся во время варки Ц. и регенерации щелоков, заменяется добавкою сульфата, т. е. сернокислого натрия, который в процессе регенерации переходит в сернистый натрий. Соответственно этому и получаемый окончательный фабрикат носит наименование сульфитной, натронной и сульфатной Ц. В качестве сырья для получения сульфитной Ц. употребляют различные виды ели, для производства щелочной—различные виды сосны (значительное содержание смолы в этой древесине препятствует переработке ее по сульфатному методу), а также отчасти (в Америке по натронному методу) лиственные породы.

С у л ь ф и т н а я Ц. составляет ~ 70% всего мирового производства Ц. Предварительная подготовка баланса производится тем же путем, как и для получения древесной массы (см. *Древесная масса*). Очищенный от коры баланс

поступает на рубильную машину (фиг. 1), главная часть к-рой состоит из чугунного крепкого и тяжелого диска ⌀ 2 100÷2 800 *мм*, насаженного на горизонтальный вал и вращающегося со скоростью 150÷225 об/мин. В диске имеется 3—4 радиально идущие прорези с закрепленными в них ножами *1*, выступ к-рых за поверхность диска, регулируемый особыми прокладками, определяет длину отрубаемой ножами



Фиг. 1.

щепы. Перед диском прочно устанавливается чугунный жолоб *2* на таком расстоянии от него, чтобы ножи могли проходить, не задевая за край жолоба; жолоб устанавливается под углом к поверхности диска, чтобы баланс под влиянием собственного веса мог скользить по жолобу и прижиматься к диску. По окружности диска закреплены шесть угольников, работающих как крылья вентилятора и выносящих нарубаемую щепу из кожуха машины через имеющееся в нем отверстие на сортировочные машины для удаления крупных кусков. Нож машины, клином вдвигающийся в древесину баланса, тем самым производит сдвиг годичных колец древесины, облегчая этим проникание раствора внутрь древесины. Нарубленная щепа, очищенная от грубых кусков и крупных сучков на сортировках, пропущенная через т. н. дезинтеграторы — особые машины с билами, предназначенными для большего измельчения щепы и отделения ее от сучков и крупных кусков древесины, — и отсортированная от них, поступает в котлы, куда затем заливается варочная к-та или щелок, и подвергается т. н. варке.

Варочная к-та получается пропусканием сернистого газа (SO_2) в резервуары с известковым молоком или же в башни, заполненные известняком, орошаемые сверху струей воды. И в том и в другом случае образуется сначала почти нерастворимая средняя соль $CaSO_3$, мало-по-малу переходящая в растворимую кислую соль $Ca(HSO_3)_2$. Одновременно в растворе средней соли образуется и нек-рое количество свободной сернистой к-ты H_2SO_3 (0,5—1,0%) при общем содержании соли 3,5—5,0%. Сернистый газ получается сжиганием серного колчедана или серы. Измельченный специальными дробилками колчедан поступает в верхний этаж круглой многоэтажной печи (см. *Серная кислота*, фиг. 5). Очистка газа от пыли необходима, т. к. она содержит вредные для варки Ц. примеси: серный ангидрид SO_3, селен и др. SO_3 образует на известняке башни гипс, препятствующий действию H_2SO_3, а колчеданная пыль и особенно селен способствуют переходу H_2SO_3 в H_2SO_4 уже во время самой варки Ц., сильно влияя на качество и выход Ц.; содержание их в количестве 0,0001 *г/л* варочной к-ты уже портит варку. Удаление этих примесей производится в пылеуловителях, где при пониженной, благодаря большому сечению пыльной камеры, скорости газа пыль, встречая ряд отражательных поверхностей, механически осаждается в электрофильтрах, например системы Котрелля (см. *Электрофильтры* и *Пылеуловители*), удерживающих свыше 90% пыли (механич. пылеуловители удерживают всего 60—80%). Устанавливают также водяные промывалки, где газ проходит пузырьками или тонкими струйками через слой воды или сквозь душ вбрызгиваемой воды. Кроме того, чтобы SO_2 мог раствориться в воде поглотительных аппаратов, он д. б. предварительно охлажден. Чем ниже *t°* газа и поглощающей его воды, тем крепче получается варочная к-та, и потому летом работа целлюлозных з-дов труднее, чем зимой. Газ от колчеданных печей просасывается через всю систему холодильников, пыльную камеру и промывалки вентилятором и нагнетается в деревянные или бетонные башни (турмы) ок. 30 *м* высотой и 2 *м* диам., заполненные известняком или доломитом. Башни (фиг. 2) обычно делают круглыми, слегка расширяющимися книзу, с деревянными колосниками в нижней части, на которых и лежит известковый камень, сверху по возможности равномерно орошаемый водой. Газ входит под колосниками, поднимаясь кверху, насыщает струящуюся по камню воду, переводит образующийся первоначально сульфит кальция в бисульфит и выходит вверху башни по возможности лишенный SO_2; сквозь колосники стекает готовая варочная к-та. Сжигание серы значительно проще; из различных конструкций серных печей укажем распространенную в настоящее время вращающуюся печь (см. *Серная кислота*, фиг. 3). Получающийся

Фиг. 2.

с содержанием 12—16% SO_2 газ, свободный от селена и других вредных примесей, содержащий только несторевшие пары серы, поступает в кирпичную камеру т. н. «дополнительного сгорания», где увлеченная сера догорает; выходящий из камеры газ перед поступлением в поглотительные аппараты нуждается только в охлаждении и промывке для удаления SO_2.

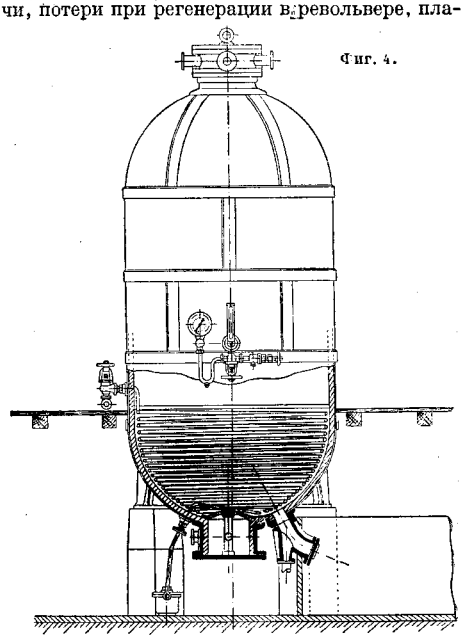
Нек-рые фабрики применяют другой способ получения варочной к-ты, отличающийся от башенного тем, что SO_2 поступает не в башни, но в «аппараты», состоящие из двух или трех расположенных рядом или ступенеобразно деревянных чанов (фиг. 3), заполненных известковым молоком и соединенных трубами т. о., что газ поступает в нижний резервуар, проходит в нем через слой известкового молока.

поступает так же в средний и из него в верхний, теряя по пути весь содержащийся в нем SO_2. Трубы в каждом резервуаре заканчиваются спиралью с большим количеством отверстий, чтобы газ мог поступать в известковое молоко тонкими струйками для лучшего поглощения. По переходе всего известкового молока в нижнем резервуаре в раствор бисульфита кальция варочная к-та спускается в запасный бак; раствор из среднего резервуара спускается в нижний, из верхнего—в средний, верхний заполняется свежим известковым молоком, и впуск газа в батарею возобновляется. Аппаратная система обслуживается исключительно газами серных печей, тогда как башни могут работать как на колчеданном газе, так и на газе серных печей. Варка Ц. производится в железных котлах большой емкости, футерованных внутри кислотоупорными плитками; на ф-ках СССР имеются котлы 45÷270 *м*³ емкости; после революции построены и строятся ф-ки с котлами в 170÷280 *м*³ (Балахна, Сясь, Вишхимз, Кама). В Германии имеются фабрики с котлами в 350—400 *м*³. Варка производится прямым паром (способ Риттер-Келльнера) при 140—150° и давлении 5—6 *atm* или глухим паром (способ Мичерлиха) при 125—130° и давлении 3,0—3,5 *atm* (фиг. 4). Время варки определяется качеством получаемой Ц. и крепостью применяемой к-ты: при варке прямым паром 8—18 час. и при глухом паре 24—48 час. По окончании варки Ц. вымывается из котла водой или выдувается из него под давлением остающегося в нем пара в 2—3 *atm* в т. н. с ц е ж и, т. е. разной формы резервуары с дырчатым ложным дном, где освобождается от образовавшегося при варке щелока и промывается для окончательного его удаления чистой водой. Промытая Ц. подается затем на т. н. «сучкоуловители», а затем на «песочницу» для удаления непроварившихся частей древесины и минеральных примесей (песка и пр.). Ц. для низких сортов бумаги (газетные, низкие печатные, оберточные) непосредственно поступает на сортировки—машины, служащие для удаления грубых, непроваренных пучков волокон; если же Ц. предназначена для более высоких сортов бумаги или для ее дальнейшей химич. переработки, то предварительно поступает на отбелку.

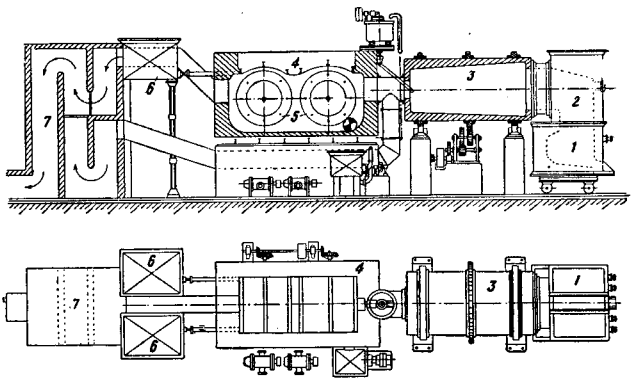
Фиг. 3.

С у л ь ф а т н а я Ц. Характерной особенностью производства сульфатной, а также и натронной Ц. является применение в качестве реагента уже отработанных варочных щелоков. Отделенные от сваренной Ц. щелока вместе с водами, получаемыми при отмывке их от Ц., предварительно сгущаются на выпарных многокорпусных аппаратах (см. *Выпаривание*) до уд. в. 1,32—1,35 и затем, пройдя т. н. выпарные печи (сист. Эндерлейна и др.), где густой уже щелок еще дополнительно сгущается, испаряясь под действием горячих отходящих от плавильной печи газов на вращающихся дисках или другой формы поверхностях в 200—400 *м*², поступают для окончательного удаления воды во вращающиеся, т. н. револьверные, печи (фиг. 5: *1* и *2*—плавильная печь, *3*—револьверная печь, *4*, *5*—дисковые выпариватели Эндерлейна, *6*—резервуары для густого щелока, *7*—пыльная камера). Остающийся в этих печах плотный остаток щелока, содержащий отделенные от Ц. остальные органические вещества из поступившей в котел древесины и взятую на варку щелочь, обугливается, загорается на поверхности образующихся кусков и автоматически вываливается из «револьвера» (благодаря его несколько конич. форме), поступая затем в плавильную печь. Перед поступлением в плавильную печь его предварительно смешивают с сульфатом, добавляемым в количестве, соответствующем неизбежной в процессе потере щелочи. Эта потеря состоит из щелочи, остающейся на целлюлозе, щелочи, уходящей с последними промывными водами, выпаривание которых является уже экономически невыгодным благодаря слабой концентрации щелочи, потери при регенерации в револьвере, плавильной печи и при дальнейшей каустизации получаемого щелока. При правильном ведении производства количество тепла, какое содержится в плотном остатке регенерируемого щелока, не только достаточно для выпаривания щелока, но может дать нек-рый остаток еще для других операций производства, напр. подогрева воды для промывки Ц. или для высушивания ее, если она должна транспортироваться на другие бумажные ф-ки. В плавильных печах заканчивается процесс, начавшийся в револьвере. Натронные органич. соединения щелока обращаются в соду, прибавленный в печь сульфат восстановляется углеродом сгорающих

Фиг. 4.



органич. веществ в сульфид натрия $Na_2SO_4 + 2C = Na_2S + 2CO_2$ и отчасти в сульфит; углекислый натрий в местах наиболее высокой $t°$ печи диссоциируется на едкий натр и углекислоту: $Na_2CO_3 = Na_2O + CO_2$; другим источником едкого натра является (по Мюллеру) образовавшийся сульфид: $5Na_2S + 2O_2 = Na_2S_5 + 4Na_2O$. Образовавшийся едкий натр с содержащейся в печи в большом количестве углекислотою образует соду; часть его, растворившаяся в образовавшейся расплавленной смеси минеральных солей, в т. н. «плаве», и тем самым защищенная от действия CO_2, вытекает в составе плава из печи; в плаве содержится также значительное количество непрореагировавшего сульфата. Таким образом в плавильной печи происходит целый ряд разнообразных и еще недостаточно изученных реакций, течение которых зависит от состава поступающего на регенерацию щелока, от правильной работы револьвера, от регулярной засыпки в печь огарка, от правильного смешения его с сульфатом, от конструкции печи и от поступления в нее воздуха. Изменение одного из этих условий сейчас же отражается и на составе плава, который является, как показывает табл. 1, очень разнообразным.



Фиг. 5.

Табл. 1.—Составы плава.

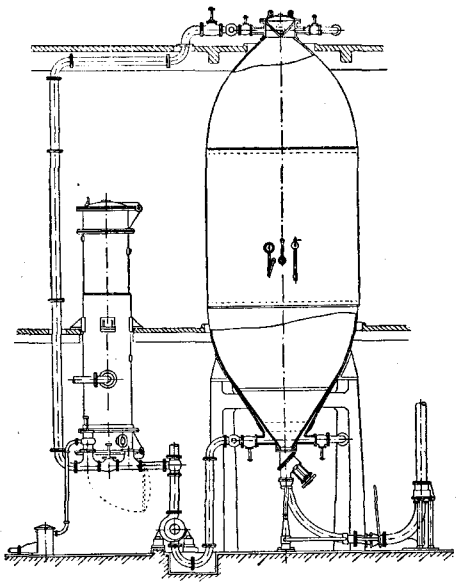
Добавка сульфата на 100 кг плава в %	Состав плава в %					Нерастворимых веществ	Авторы
	Na_2CO_3	NaOH	Na_2S	Na_2SO_3	Na_2SO_4		
23,2	56,60	0,40	22,60	2,80	12,70	—	М. Мюллер
11,0	71,40	0,50	11,60	1,40	9,80	—	
10,22	62,02	2,20	17,75	—	8,04	1,89	В. Шахт
8—10	80,26	1,04	7,15	—	5,36	3,65	
—	61,73	3,50	21,50	7,33	2,78	1,90	Класон и Зегерфельд

Из печи плав вытекает струей в расположенный ниже железный резервуар, снабженный мешалкой, наполненный водой, в к-рой и растворяется. Приведенный состав плава показывает, что он состоит гл. обр. из недействующей на древесину соды Na_2CO_3, почему полученные его растворы подвергаются обработке известью при нагревании в различного типа каустизаторах, причем ок. 90% соды обращаются в едкий натр: $Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2NaOH + CaCO_3$, а получающийся в виде осадка мел затем отфильтровывается, и чистый «белый» щелок возвращается в производство. Потери сульфата в производстве значительно колеблются отчасти в зависимости от качества древесины, но гл. обр. от системы регенерации и качества оборудования ф-ки; они составляют 16—19% от веса Ц. (по Зиберу), а иногда значительно выше.

Натронная Ц. Производство натронной Ц. в основе отличается от производства сульфатной Ц. тем, что вместо сульфата в плавильную печь добавляется сода. Варка сульфатной и натронной Ц. производится в отличие от сульфитной в нефутерованных железных котлах и значительно меньших размеров. Применявшиеся ранее шаровые и цилиндрич. вращающиеся котлы емкостью до 28 $м^3$ в настоящее время заменены стационарными котлами большего размера, причем перемешивание сырья со щелоком производится взамен вращения котла циркуляцией щелока, поступающего через ложное дырчатое днище котла (фиг. 6) к насосу, нагнетающему его в верхнюю часть котла. Нагревание щелока и поддерживание определенной $t°$ во время варки производится при помощи особого трубчатого подогревателя, через к-рый проходит нагнетаемый насосом щелок. Более высокое давление сульфатной варки и отсутствие внутренней футеровки побудили конструировать котлы меньшего диам., но более удлиненной формы, чем для сульфитной варки. Щелочная варка требует более высокой $t°$ 165—175°, давления 8—10 *atm*, но меньшего времени, т. к. при этой температуре щелочь действует на самую Ц. и сильно понижает ее выходы.

Выходы Ц. зависят от способа варки, природы и качества сырья и требуемого качества Ц. Для сульфитной Ц. существует два основных сорта — жесткая и мягкая, для сульфатной также два — крафт (или крепкая) (см. *Крафт-целлюлоза*) и белящаяся Ц. Жесткая и крафт-Ц. отличаются от мягкой и белящейся тем, что во время варки удаляются не все спутники Ц.—часть лигнина и гемицеллюлоз остается связанной с Ц. и предохраняет ее от сильного действия реагентов во время варки, больше сохраняет природные свойства Ц. Для получения беленой Ц., наоборот, эти примеси д. б. возможно полнее удалены, т. к. остающийся лигнин потребовал бы много хлора при отбелке, что повлекло бы помимо еще большего понижения физич. качеств Ц. значительное ее удорожание. Жесткая Ц. употребляется для выработки газетных и других пониженных сортов бумаги, крафт-Ц.—для оберточных, упаковочных бумаг и бумажной тары. Для белых высокосортных бумаг, также для химич. переработки применяется мягкая или белящаяся Ц. Количество лигнина в сульфатной Ц. для оберточных бумаг 1,8÷3,2%, в крафт-Ц. для бумажной тары 7,5÷8,0%. Содержание

лигнина в сульфитной Ц.: в мягкой для отбелки 1% и в жесткой не для отбелки 2—3%. В беленых Ц. лигнин почти отсутствует, но содержание α-Ц., т. е. неподвергающейся действию NaOH, благодаря самому процессу отбелки несколько понижается по сравнению с небеле-



Фиг. 6.

ными. Для химич. переработки, напр. для производства искусственного шелка, Ц. после отбелки часто подвергается т. н. облагораживанию, состоящему б. ч. в осторожной обработке целлюлозы щелочью слабой концентрации при низкой $t°$ для повышения содержания α-целлюлозы. Состав таких «облагороженных» Ц. приведен в табл. 2.

Табл. 2. — Состав облагороженной Ц. (в %).

Сорта Ц.	Зола	Смола	Пентозаны	α-целлюлоза
Американская	0,17	—	5,00	86,0
Немецкая	0,30	0,63	5,18	86,0
Шведская	0,20	0,78	3,50	87,6
Финляндская	0,20	0,59	4,50	83,0

О количестве вырабатываемой Ц. (сульфитной и сульфатной) см. табл. 3.

Соломенная Ц. получается обычно только по натронному или сульфатному способу. Как система варочных котлов, так и остальное оборудование такое, как и для древесной Ц. Благодаря большему содержанию пентозанов в сырье получаемая Ц. также содержит их в большом количестве (~ 28—30%), что делает ее непригодной для химич. переработки. Такое содержание пентозанов делает соломенную бумажную массу очень «жирной» (см. *Бумажное производство*), что позволяет перерабатывать ее в бумагу на сетке бумажной машины только со скоростью ок. 80 *м* в мин. и тем ограничивает ее применение только высокими сортами бумаги, не допуская выработки средних и низких

Табл. 3. — Мировое производство целлюлозы в 1913—28 гг.

Годы	Канада	Германия	Швеция	Норвегия	Финляндия	Австрия	США	Чехо-Словакия	Эстония	Итого
	Целлюлоза сульфитная									
1913	77	116	558	210	47	—	—	—	—	1 008
1923	352	193	556	200	111	—	—	60	—	1 508
1925	308	212	728	218	217	83	—	72	—	1 838
1928	412	241	712	235	319	86	30	92	26	2 183
	Целлюлоза сульфатная									
1913	—	—	98	—	30	—	—	—	—	128
1923	133	—	170	23	54	—	—	—	—	380
1925	158	—	248	19	78	—	—	—	—	503
1928	178	—	335	21	121	—	—	—	—	655
	Всего целлюлозы									
1913	77	116	656	210	77	—	—	—	—	1 136
1923	485	196	726	223	198	—	—	60	—	1 888
1925	466	212	976	237	295	83	—	72	—	2 341
1928	590	241	1 047	256	470	86	30	92	26	2 838

печатных сортов, требующих массового производства с большими скоростями на машине.

Лит.: Жеребов Л., Химическая сторона сульфитцеллюлозного производства, М., 1894; «Облагораживание целлюлозы», сборник работ, проведенных в лабораториях Л. Т. И. и Л. Т. А. под руководством проф. Фотиева С. и Никитина Н. Л., 1931; Мюллер Ф., Производство бумаги и его оборудование, пер. с нем., М., 1931 — 32; «Новые проблемы в целлюлозном производстве», Стенограммы докладов на областном съезде НИТО, Л., 1933; Хейзер Э., Руководство по химии целлюлозы, пер. с нем., М.—Л., 1933; Мейер К. и Марк Г., Строение высокополимерных органических естественных соединений, пер. с нем., Л., 1932; Сутермейстер Э., Химия в производстве бумаги и ее полуфабрикатов, М.—Л., 1933; Гесс К., Химия целлюлозы и ее спутников, пер. с нем. (печат.); Жеребов Л., Целлюлоза ржаной соломы и ее получение щелочным методом (печат.); Kircher E., Das Papier, B. 3, Zellstoff, Bieberach, 1907; Schwalbe C., Die Chemie der Cellulose, B., 1911; Tollens B., Kurzes Handbuch der Kohlenhydrate, Lpz., 1914; Pringsheim H., Die Polysaccharide, B., 1923; Henger E., Lehrbuch der Cellulosechemie, B., 1923; Dieckmann R., Sulfitzellstoff, B., 1923; Possanner v. Ehrenthal B., Lehrbuch d. chem. Technologie d. Papiers, Lpz., 1923; Karrer P., Polymere Kohlenhydrate, Lpz., 1925; Hägglung E., Natronzellstoff, B., 1926; Müller Fr., Die Papierfabrikation u. deren Maschinen, B. 1, Bieberach (Würtemberg), 1926; Hess K., Die Chemie der Cellulose und ihrer Begleiter, Lpz., 1928; Cross C. and Bevan E., Cellulose, L., 1918; Cross C. and Bevan E., Researches on Cellulose, 2 ed., L., 1913; Hall A., Cotton-Cellulose, L., 1924.

ЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ЛАКИ, летучие лаки (см. *Покровные лаки*), у к-рых в качестве пленкообразователей служат эфиры целлюлозы. Ц. л. делятся на: 1) нитроцеллюлозные, 2) ацетилцеллюлозные и 3) Ц. л. из других эфиров целлюлозы (формилцеллюлозы, этилцеллюлозы, бензилцеллюлозы и др.). 1. Нитроцеллюлозные лаки (нитролаки, цапон-лаки) представляют растворы *нитроцеллюлозы* (см.) *б. ч. в смеси с другими веществами (пластификаторами* и т. д.) в летучих органич. растворителях. По цвету различают бесцветные и окрашенные нитролаки. Последние в свою очередь м. б. прозрачными цветными лаками, если применяются растворимые в лаке красители, и кроющими лаками (нитрокраски, пигментированные нитролаки, эмалевые нитроцеллюлозные краски), если применяются кроющие пигменты. Сырьем в производстве нитролаков являются: нитроцеллюлоза, растворители и разбавители, смягчители и пластификаторы, смолы и другие вещества. Состав и свойства нитроцеллюлозы оказывают сильное влияние на свойства и возможность применения лака для

тех или других целей. В большинстве случаев употребляются нитроцеллюлозы с содержанием азота в пределах 11,5÷12,4%. Однако при одинаковом или довольно близком содержании азота нитроцеллюлозы могут сильно отличаться между собой по растворимости в летучих растворителях и по вязкости образуемых ими растворов. Вязкость нитроцеллюлоз, применяемых для получения различных нитролаков, колеблется в границах $^1/_2$÷80″Э. и более. Вместо нитроцеллюлозы иногда употребляют также обрезки целлюлоида, целлюлоидных изделий, кинопленки и т. п. материалов. В качестве *растворителей* (см.) применяются гл. обр. смеси кетонов (ацетона, ацетонового масла и других) с сложными эфирами уксусной и других к-т: этилацетатом, амилацетатом и др. Кроме растворителей для удешевления смеси летучих компонентов вводят разбавители: бензол, толуол, этиловый спирт, а также другие спирты с более высокой $t°_{кип.}$, напр. бутиловый, амиловый, способствующие получению более гладких и чистых пленок. Для смягчения, эластичности и получения более плотной пленки к лаку прибавляются смягчители и *пластификаторы* (см.): касторово́е масло, триацетин, трикрезил- и трифенилфосфат, эфиры фталевой, адипиновой, абиетиновой и других к-т, камфора и др. Из смол чаще применяются эфиры канифоли и других смол, даммар, некоторые сорта шеллака и искусственных смол. Кроющие лаки содержат также различные минеральные краски: *цинковые белила, хромовые* краски, берлинскую лазурь, сажу и др. В зависимости от состава, свойств и цели применения нитролаки м. б. классифицированы на следующие классы (типы): а) собственно цапоновые лаки, б) автомобильные лаки, в) лаки для кожи и тканей, г) комбинированные лаки.

а) Цапоновые лаки (металлич. лаки) отличаются сравнительно незначительным содержанием (приблизительно 4—10%) высоковязкой нитроцеллюлозы (60÷80″Э. и более). Смолы или совершенно отсутствуют или добавляются только в небольшом количестве, приблизительно до $^1/_6$ от веса нитроцеллюлозы. Смягчители и пластификаторы прибавляются в зависимости от требуемой твердости или гибкости пленки ($^1/_4$—$^2/_3$ по отношению к нитроцеллюлозе). Лак обычно наносится на поверхность в виде очень тонкого слоя, к-рый после высыхания должен давать стойкую, твердую, но в то же время и достаточно эластичную пленку. Цапон-лаки употребляются гл. обр. для покрытия цветных металлов (серебра, бронзы, латуни), чтобы предохранить их от окисления а также для защиты от разрушения документов, картин, географич. карт и т. п., также в качестве декоративных лаков для целлюлоида, галалита, фарфора, бумаги, стекла.

б) Автомобильные лаки готовятся из низковязкой нитроцеллюлозы (с вязкостью ок. $^1/_2$″Э.) с значительным содержанием смол и пластификаторов, б. ч. в виде кроющих нитрокрасок. К автомобильным лакам предъявляются очень высокие требования: они должны давать прочную и стойкую пленку по отношению к свету, нагреванию, холоду, действию воды, льда, песка, мыла, слабых к-т и других реагентов. По Keyes хороший лак должен иметь примерно состав, указанный в таблице.

в) Лаки для кожи и тканей содержат значительное количество нитроцеллюлозы (до 15% и более) средней или низкой вязкости

Состав автомобильных лаков (в %).

Части	Состав частей
15—25 нелетучих веществ (от веса лака)	40—60 низковязкой (0,5″Э.) нитроцеллюлозы
	20—30 смолы (смоляного эфира)
	5—10 (*от веса нитро-*Ц.) смягчителей и пластификаторов
	5—25 краски
85—75 жидких летучих веществ (от веса лака)	10—25 низкокипящих растворителей (абсолютного этилового спирта и безводного этилацетата)
	20—45 среднекипящих растворителей (диэтилкарбоната)
	4—10 высококипящих растворителей (этиллактата)
	35—45 разбавителя (толуола)

(приблизительно от 30″Э. и ниже); смолы (в отличие от автомобильных лаков) отсутствуют или содержатся в очень небольшом количестве. Содержание смягчителей (гл. обр. касторового масла) и пластификаторов (трифенилфосфата, камфоры и др.) довольно высокое. Лаки этого типа при достаточно толстой пленке д. б. очень эластичными, стойкими и прочными по отношению как к атмосферным, так и механич. влияниям. Применяются в виде прозрачных или кроющих лаков. Употребляются для полученая лаковой и искусственной кожи, для пропитки тканей и других работ.

г) Комбинированные лаки характеризуются содержанием в лаках помимо нитроцеллюлозы б. или м. значительного количества высыхающих масел. Цель изготовления этих лаков заключается в использовании положительных свойств масляных лаков (хорошую стойкость к атмосферным воздействиям, в частности к свету и нагреванию, хорошую эластичность и т. д.) и нитроцеллюлозных лаков (быструю высыхаемость, легкость нанесения и т. д.). Однако вполне удовлетворительных результатов в этом отношении до настоящего времени достигнуть не удалось. Нитроцеллюлозные лаки применяются также как политуры (мебельные лаки), клей, замазки и как сырье в производстве кинопленки, коллодия, пластич. масс и других продуктов.

2. Ацетилцеллюлозные (целлоновые) лаки состоят из растворов *ацетилцеллюлозы* (см.) и пластификаторов в органич. растворителях. Пластификаторы и смягчители употребляются в большинстве случаев те же, что и для нитролаков, но в отношении растворителей выбор значительно уже; в качестве последних служат гл. обр. ацетон, метиалацетат, метилгликоль и другие; как разбавители—бензол, толуол и т. п. Смолы в этих лаках в большинстве случаев отсутствуют, т. к. получаемые после высыхания ацетилцеллюлозных лаков пленки менее гибки, чем у нитролаков. Зато они обладают другими ценными свойствами: невоспламеняемостью, твердостью и большой электролизирующей способностью. Ацетилцеллюлозные лаки применяются главн. образом в авиации (см. *Аэролаки*), как изоляционные лаки в электротехнике, для пропитывания тканей; более широкому применению препятствует сравнительно высокая цена ацетилцеллюлозы.

3. Из Ц. л. других эфиров целлюлозы наибольшее значение должны получить в ближайшем будущем лаки из этил- и бензилцеллюлозы. Они дают прочную, пластичную и невоспламеняющуюся пленку, недороги по цене и хорошо растворяются в большинстве обычных растворителей. Напр. бензилцеллюлоза растворяется в бензине, толуоле и кси-

лоле при незначительной добавке к ним спирта и в других дешевых смесях растворителей и разбавителей. Оба эфира обладают высокой электролизующей способностью (изоляционные лаки), а также вполне пригодны для изготовления различных искусственных масс: суррогатов рога, слоновой кости, для замены целлюлоида, галалита и т. п. продуктов.

Лит.: Архангельский Б., Нитролаки и нитрокраски, Л., 1932; Гарднер Г., Физико-химич. исследование лаков и красок, Л., 1931; Bianchi C. u. Weihe A., Celluloseesterlacke, B., 1931; Wilson S., Pyroxylin-Emaillen u. Lacke, B., 1927; Zimmer F., Nitrocelluloseesterlacke u. Zaponlacke, Lpz., 1931; Sproxton F., Celluloseesterlacke, B., 1927; Seeligmann F. u. Zieke E., Handbuch der Lack- und Firnisindustrie, 4 Aufl., B., 1930; Taschenbuch für die Farben- u. Lackindustrie, hrsg. v. H. Wolff, W. Schick u. H. Wagner, 6 Aufl., B., 1930; Stark Ch., Die Kolloidumwolle, B., 1931. **П. Черенин.**

ЦЕЛЛЮЛОИД, см. Дополнительный том.

ЦЕЛОСТАТ, астрономический инструмент, назначение которого—отражать лучи, идущие от участка неба по определенному неизменному направлению. Состоит из зеркала, установленного так, что оно может вращаться около оси, параллельной оси мира, причем плоскость зеркала параллельна оси вращения. При вращении часовым механизмом со скоростью одного оборота в 48 ч. отраженные от зеркала лучи, идущие от небесного объекта, дают стационарное изображение, к-рое м. б. удобно зафиксировано неподвижной фотографич. установкой или исследовано тоже неподвижным спектрографом. Однако для того, чтобы придать отраженным лучам желаемое направление (обычно горизонтальное или вертикальное) независимо от склонения наблюдаемого объекта, необходимо включить в ход лучей второе неподвижное зеркало, положение к-рого относительно первого зеркала приходится менять соответственно склонению объекта. Ц. употребляются гл. обр. в башенных телескопах, где они дают лучам вертикальное направление, а также для наблюдения солнечных затмений. В последних случаях второго зеркала не требуется, т. к. установка производится применительно к направлению отраженных лучей, и сам Ц. служит для фотографирования солнечной короны длиннофокусными объектами или для спектральных исследований. Один из самых больших Ц. построен з-дом Цейса для башни Эйнштейна в Потсдаме. Зеркала его, посеребренные с внешней поверхности, имеют ⌀ 90 *см* и толщину 20 *см*.

Лит.: Pahlen E., Der Zölostat des Turmteleskops, «Ztschr. f. Instrumentenkunde», B., 1926. **А. Михайлов.**

ЦЕЛЬНОТЯНУТЫЕ ТРУБЫ, *см. Трубы.*

ЦЕМЕНТ, искусственный порошкообразный материал, к-рый, будучи замешан с определенным количеством воды, образует тесто, превращающееся через некоторое время на воздухе или в воде в твердое камневидное тело. В зависимости от твердения Ц. на воздухе или на воздухе и в воде они подразделяются на воздушные и гидравлич. Ц. Первым по времени был изобретен в Англии роман-Ц., затем портланд-Ц., который вначале готовился только в Англии и вывозился в соседние страны, а со второй половины 19 в. его изготовление перешло и в другие страны. Впоследствии или на базе портланд-Ц. и извести или без примеси их были изобретены другие виды Ц.: высокосортный портланд-Ц., пуццолановый и трассовый портланд-Ц., шлаковый портланд-Ц., рудный Ц., белый Ц., баритовый Ц., ангидритовый Ц., известково-пуццолановый Ц., глинит-Ц., известково-зольный Ц., известково-шлаковый Ц., бесклинкерный шлаковый Ц. и глиноземистый Ц.

Роман-цемент в настоящее время совершенно почти заменен новейшими, более высокими и совершенными видами вяжущих веществ; он применяется еще в некоторых странах, имеющих соответствующее сырье, при возведении малоответственных сооружений. Приготовляется роман-цемент путем умеренного обжига (не до спекания) естественных известковых или магнезиальных глинистых мергелей или искусственных смесей соответствующего состава и последующего затем перемола полученного клинкера в порошок. Магнезиальные мергели, например подмосковного района (подольский, щуровский и др.), содержат до 35% $MgCO_3$, не менее 20% глины, остальное $CaCO_3$; чистые (в отношении магнезии) известковые мергели (например новороссийского района) содержат 55÷75% $CaCO_3$, до 1% $MgCO_3$ и остальное—глины. Обжиг мергелей (обычно в шахтных печах) производится до $t°$ 900°. Уд. в. роман-Ц. 2,60÷3,00, цвет от светложелтого до красно-бурого; обладает сравнительно невысокой механич. прочностью; быстрое схватывание его в отличие от портланд-Ц. нельзя регулировать добавкой гипса. В табл. 1 приведен химич. состав различных роман-Ц.

Табл. 1.—Химический состав различных роман-цементов (в %).

Состав	*1	*2	*3	*4	*5	*6
SiO_2	14,72	24,29	17,76	21,59	25,28	27,30
Al_2O_3	8,56	6,53	5,17	10,38	7,85	7,14
Fe_2O_3	2,70	5,80	2,43	4,75	1,43	1,80
CaO	33,74	41,01	34,40	49,38	44,65	35,98
MgO	23,26	10,15	21,80	1,37	9,50	18,00
SO_3	0,05	—	1,21	1,65	—	—
Щелочи	1,27	4,29	—	—	—	—
Потери при прокалив.	10,70	4,51	16,00	4,39	7,04	2,98

*1 З-да под Москвой, б. Шмидта. *2 Там же, з-да б. Черкасова. *3 З-да в Риге, б. Шмидта. *4 Porta westphalica, Германия. *5 З-ды США.

Портланд-Ц. (см. *Спр. ТЭ*, т. IV, стр. 7—22). 1. Состав. Портланд-Ц. получается равномерным и сильным обжигом до спекания тщательно дозированных смесей материалов, содержащих углекислый кальций и глину, или естественных мергелей надлежащего состава и последующим тонким перемолом полученного клинкера. Колебания химич. состава портланд-Ц. не должны выходить из допускаемых пределов т. н. гидравлического модуля—отношения процентного содержания (по весу) окиси кальция к сумме процентного содержания (по весу) кремнезема, глинозема и окиси железа

$$\frac{\%\ CaO}{\%\ (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)};$$

это отношение должно заключаться в пределах 1,70÷2,40. Содержание серного ангидрида не должно превышать 2,50% и магнезии 4,5%. Для регулирования преимущественно скорости схватывания портланд-Ц. допускается добавка соответствующих веществ (преимущественно гипса) не более 3%.

2. Сырьем для приготовления портланд-Ц. служат следующие материалы: а) природные мергели, содержащие 75÷82,5% $CaCO_3$ (напр. натуральные мергели новороссийского района) или содержащие несколько меньше

$CaCO_3$ (напр. натуральные мергели Амвросиевки). Эти мергели отличаются отсутствием SO_3, незначительным содержанием $MgCO_3$ и щелочей; б) искусственная смесь твердых или мягких известняков, а также и мела и соответствующего состава глин, свободных от SO_3 и $MgCO_3$ (вольский, центральный и другие районы); в) искусственная смесь мергельных известняков, содержащих 83 ÷ 94% $CaCO_3$, и глинистых мергелей, содержащих 55 ÷ 75% $CaCO_3$, или мергелей (трескунов), содержащих 12,5 ÷ 55% $CaCO_3$; г) искусственная смесь известняка или мела и гранулированного основного доменного шлака.

3. Механизм химических реакций, происходящих при образовании портланд-цементного клинкера. Соответственно подобранная сырая смесь вводится в цементно-обжигательную печь той или другой системы, работающей по тому или другому способу (см. *Цементное производство*), где и подвергается действию постепенно возрастающей $t°$. По мере того как идет нагревание, сырые материалы сначала высушиваются, затем теряют гидратную воду из глины, и только при 820° начинается реакция разложения $CaCO_3$ известняка или мела на CaO и CO_2. Эта реакция заканчивается при 907°; в пределах 800° происходит образование из CaO (известняка) и SiO_2 и Al_2O_3 (глины) одноизвестковых алюминатов и силикатов, т. е. $CaO \cdot Al_2O_3$ и $CaO \cdot SiO_2$. Но $CaO \cdot SiO_2$ уже при 900° начинает обогащаться известью и постепенно переходит в двухизвестковый силикат $2CaO \cdot SiO_2$; при 1 150° $CaO \cdot SiO_2$ уже не обнаруживается. Одновременно $CaO \cdot Al_2O_3$ при тех же температурных условиях переходит в $2CaO \cdot Al_2O_3$. При 1 250° и выше образуется двухизвестковый феррит $2CaO \cdot Fe_2O_3$, который способствует появлению жидкой фазы, растворяющей твердые составные части шихты, еще не вступившие в соединения, и в результате происходящих реакций при более высокой $t°$, доходящей до 1 500°, происходит пересыщение и выкристаллизовывание более богатых известью соединений, а именно трехизвесткового силиката $3CaO \cdot SiO_2$, являющегося главным искусственным минералом, входящим в состав портланд-цементного клинкера. В результате полученный окончательный продукт спекания, клинкер, содержит $3CaO \cdot SiO_2$, $2CaO \cdot SiO_2$, $3CaO \cdot Al_2O_3$ (а по Кюлю $2CaO \cdot Al_2O_3$) и $2CaO \cdot Fe_2O_3$, а также вследствие неоконченных реакций промежуточные продукты и различного рода примеси недеятельных балластных веществ. В табл. 2 приведено изменение состава обжигаемых масс для важнейших температурных ступеней.

Табл. 2.—Изменение состава обжигаемых масс в % (по Кюлю и Лоренцу).

CaO содержится в виде	Максимум, %	При температуре						
		800°	900°	1 000°	1 150°	1 250°	1 350°	1 500°
$CaCO_3$	67,62	47,14	20,80	—	—	—	—	—
Своб. CaO		7,22	18,32	29,71	23,12	17,03	10,31	—
CaO в получен. соед.	67,62	13,26	28,50	37,91	44,50	50,59	57,31	67,62
$CaO \cdot Al_2O_3$	1,89	1,89	1,89	1,89	—	—	—	—
$CaO \cdot SiO_2$	20,67	11,37	11,73	5,32	—	—	—	—
$2CaO \cdot SiO_2$	41,34	—	11,88	30,70	41,34	33,66	21,48	0,86
$5CaO \cdot 3Al_2O_3$	3,15	—	—	—	3,15	3,15	—	—
$2CaO \cdot Fe_2O_3$	2,26	—	—	—	—	2,23	2,26	2,26
$3CaO \cdot SiO_2$	62,01	—	—	—	—	11,53	29,79	60,73
$2CaO \cdot Al_2O_3$	3,78	—	—	—	—	—	3,78	3,78

4. Строение портланд-цементного клинкера. Изучением строения клинкера занимались: Ле-Шателье (1887 г.), Тернебом (1897 г.), Глазенап (1912 г.), Гутманн и Гилле (1928 г.) и другие. Главнейшей составной частью хорошо обожженного клинкера является минерал алит—бесцветный, с отрицательным двойным преломлением, кристаллизующийся в моноклинной или ромбич. системе и имеющий состав $3CaO \cdot SiO_2$ и самую незначительную примесь $2CaO \cdot Al_2O_3$. Следующей составной частью клинкера (более бедного CaO) является белит—минерал коричневатого цвета с положительным двойным преломлением, ромбич. (частью моноклинной) системы и состава $2CaO \cdot SiO_2$ (в модификации α или β). Затем идет целит—темнокоричневый искусственный минерал состава (по Ганзену и Браунмиллеру) $4CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot Al_2O_3$. Кроме того в клинкере могут присутствовать: 1) свободная CaO в виде бесцветных кристаллов правильной системы (преимущественно в клинкерах, недожженных или имеющих избыток CaO, не вошедшей в реакции с компонентами глины) и 2) бесцветные кристаллы $2CaO \cdot SiO_2$ (в модификации γ)—минерала белита (моноклинной системы), представляющие продукт распадающегося в порошок клинкера (результат долгого пребывания клинкера при температуре красного каления, не подвергнутого быстрому охлаждению после законченного обжига). Магнезия, входя в состав жидкой фазы, при затвердевании выделяется в свободном состоянии.

5. Теории твердения портланд-Ц. Портланд-цементный клинкер, будучи перемолот в порошок—портланд-цемент, дает с водой тесто, которое сначала схватывается, а затем твердеет, превращаясь в камневидное тело. Для объяснения причин, определяющих этот процесс твердения портланд-цемента, до недавнего времени существовало две теории: первая, принадлежащая французскому ученому Ле-Шателье и сводящая процесс твердения к явлениям перекристаллизации, и вторая, принадлежащая немецким ученым Михаэлису и другим, представляющая процесс твердения как образование студня—геля—путем набухания частиц Ц. и последующего прорастания этого студня кристаллами. Обе эти теории, заключая в себе много верного, не м. б. признаны совершенно правильными, т. к. не охватывают всех явлений, происходящих при процессе схватывания и твердения Ц. В 1927 г. проф. А. А. Байковым была опубликована и изложена новая теория, более полно охватывающая процессы твердения. Согласно этой теории частицы портланд-Ц. при затворении водой вступают на своей поверхности в химическую реакцию с водой и выделяют полученные продукты этой реакции, к-рые насыщают окружающий эти частицы раствор, что и характеризует первый период твердения или период растворения. В результате этой реакции выделяется такое количество продуктов реакции, что они переходят в состояние мельчайшего раздробления или студня (геля); это явление сопровождается повышением $t°$, обусловливающей в свою очередь ускорение самой реакции. В те-

чение третьего периода происходит преобразование студня в кристаллич. сросток путем прорастания его кристаллами $Ca(OH)_2$. Этот период перекристаллизации продолжается очень значительное время.

6. Химический состав портланд-Ц. Хотя химич. состав портланд-Ц. и находится в зависимости от состава сырья, идущего для его производства, однако отдельные компоненты его состава всегда должны находиться в таком соотношении, чтобы гидравлич. модуль не выходил из пределов 1,70÷2,20, а для портланд-Ц. из натуральных мергелей высший предел его допускается до 2,40. Силикатный модуль (по Кюлю отношение SiO_2 к сумме $Al_2O_3+Fe_2O_3$) должен также иметь определенные, хотя и более широкие пределы, так как установлено, что портланд-Ц. с одним и тем же гидромодулем может иметь неодинаковые свойства, что вызывается количественными соотношениями между компонентами, входящими в знаменатель выражения гидромодуля. Силикатный модуль для большинства портланд-Ц., изготовляемых из искусственной смеси известняка (мела) и глины, находится в пределах 1,7÷3,00 и только для портланд-цементов, обжигаемых из высокосиликатного сырья новороссийских мергелей, этот модуль не менее 3,30, но всегда более и достигает 4,50÷5,00 и даже выше. Помимо силикатного модуля проф. Кюлем установлено третье соотношение между содержаниями Al_2O_3 и Fe_2O_3, названное им железистым модулем. Железистый модуль д. б. не менее 1,00. Для лучшей оценки качества портланд-Ц. Кюль предложил коэф. «степень насыщения известью» (СН), имеющий выражение

$$CH=\frac{100\,CaO}{2{,}8\,SiO_2+1{,}65\,Al_2O_3+0{,}7\,Fe_2O_3}$$

и показывающий, что вся CaO должна распределиться между главными компонентами портланд-Ц. и образовать основные соединения, насытив их полностью. СН = 82 ÷ 96 для нормально приготовленных портланд-Ц. В табл. 3 приведен химич. состав портланд-Ц. нек-рых известных цементных з-дов СССР, Германии, США и Японии.

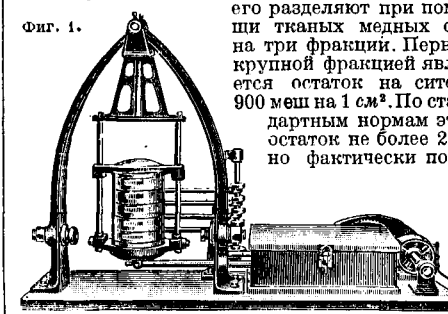
Табл. 3.—Состав портланд-цемента (в %).

Состав и свойства	Анализы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO_2	21,48	21,09	20,81	24,20	25,75	21,23	22,80	20,26	22,09
Al_2O_3	5,67	9,88	6,90	7,20	3,77	6,59	7,79	8,62	5,63
Fe_2O_3	4,41		2,49		1,69	2,93	1,27	2,71	3,13
CaO	63,80	63,80	63,35	64,47	63,80	64,58	65,80	63,22	64,79
MgO	0,34	3,49	1,85	0,61	0,59	1,57	0,59	2,34	1,26
SO_3	1,03	0,77	0,70	1,63	1,20	1,71	—	0,76	1,23
Потери при прокаливании	2,68	1,10	3,20	1,32	2,97	3,15	1,58	—	1,09
Гидромодуль	2,00	2,03	2,07	2,05	2,05	2,06	2,07	2,00	2,07
Силикат. модуль	2,13	2,13	2,23	3,36	4,72	2,23	2,51	1,78	2,50
Желез. модуль	1,28	—	2,87	—	2,20	2,24	6,13	3,19	1,79

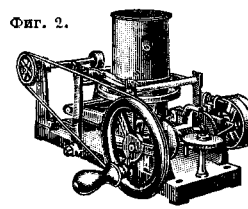
Анализы 1—5 представляют данные заводских лабораторий СССР: 1—цем. з-да «Спартак», 2—Подольского цем. з-да, 3—Ленинградского цем. з-да им. Воровского, 4—цем. з-да в Амвросиевке, 5—цем. з-да «Пролетарий» в Новороссийске; 6—цем. з-да в Германии, 7 и 8—цем. з-дов в США, 9—цем. з-дов в Японии.

7. Физико-механические свойства портланд-Ц. и методы их определения. Готовый портланд-Ц. должен обладать определенными свойствами, проверяемыми установленными методами в заводских и специальных лабораториях. а) Тонкость помола портланд-Ц. есть одно из важных его свойств, т. к. все реакции, связанные с процессом твердения, протекают тем полнее, чем тоньше измолот портланд-цемент. Для определения тонкости помола портланд-Ц. его разделяют при помощи тканых медных сит на три фракции. Первой крупной фракцией является остаток на сите в 900 меш на 1 $см^2$. По стандартным нормам этот остаток не более 2%, но фактически портланд-Ц. всех цем. з-дов СССР дают значительно менее 2% и только в редких случаях он бывает выше этой величины. Этот остаток состоит из крупных частиц, к-рые по своей величине не в состоянии вступать в реакцию с водой во время процесса схватывания и твердения, и потому является подобно частицам песка инертным элементом II. Вторая фракция представляет остаток на сите в 4 900 меш на 1 $см^2$ и согласно нормам д. б. не более 25%. Остаток этот уже содержит большую долю частиц, активных и принимающих участие в реакциях процесса схватывания и твердения. Третья фракция (по нормам не менее 70%) представляет материал, проходящий через сито в 4 900 меш на 1 $см^2$, в виде активных мельчайших частиц, хотя и засоренных мельчайшей пылью продуктов распада ($\gamma \cdot 2CaO \cdot SiO_2$), недожога, пережога, золы топлива и других инертных частиц. Установленная практикой формула—чем тоньше портланд-Ц. измолот, тем он лучше—справедлива с поправкой, что высокая тонкость помола в настоящее время ограничивается теми результатами, к-рые получаются на современных наиболее совершенных измалывающих мельничных установках. Но некоторые из стран (напр. Япония) в отношении контроля за тонкостью помола портланд-Ц. пошли значительно дальше и отменили сито в 900 меш на 1 $см^2$, контролируя только на втором сите в 4 900 меш на

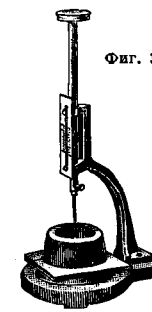
Фиг. 1.



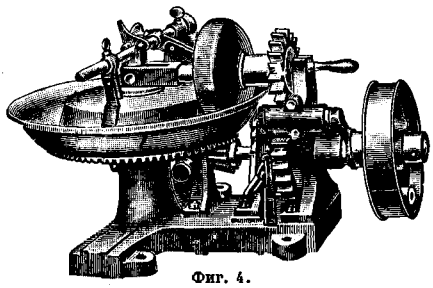
Фиг. 2.



Фиг. 3.

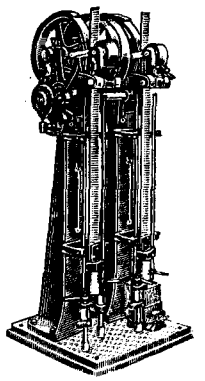


1 *см*². Тонкость помола испытывается на особых приборах (фиг. 1, 2). б) Схватывание портланд-Ц. зависит от $t°$ (15—20°) и количества воды, взятой для затворения. При измерении схватывания различают начало и конец его (обычно прибором Вика-Тетмайера, фиг. 3), отмечаемые в часах и минутах с момента прилития воды, необходимой для образования теста. в) Равномерность изменения объема схватившегося портланд-Ц. имеет большое значение, в особенности при возведении ответственных сооружений. Причиной появления неравномерности изменения объема в портланд-Ц. служат или нарушения в составе сырья, идущего на производство, или неправильности в процессе обжига, в результате чего в клинкере содержится свободная известь CaO или большой избыток гипса.

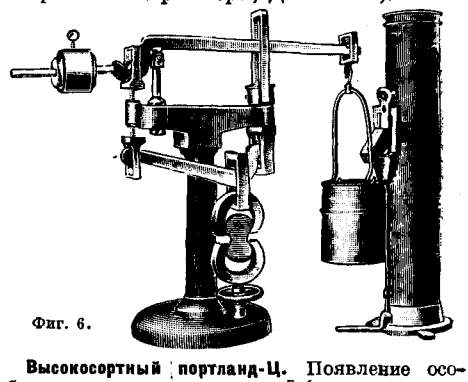


Фиг. 4.

Испытание на равномерность изменения объема производят над лепешками из цементного теста через сутки после затворения путем нагревания при кипячении и под действием пара в течение 4 часов, а также погружением в пресную воду комнатной $t°$ на 27 суток. Лепешки после этих испытаний не должны давать ни радиальных трещин, ни искривлений, ни других деформаций. г) Механическое сопротивление на растяжение и сжатие как чистого цементного теста, так и раствора портланд-Ц. с песком представляет одну из важных характеристик портланд-Ц. Для испытания на растяжение приготовляют как из чистого теста, так и из раствора с нормальным песком (в пропорции 1 : 3) восьмерки определенных размеров, установленных требованиями испытаний; для испытания на сжатие заготовляют из такого же раствора с песком (1 : 3) кубики размером ребра 7,07 *см*. Замес нормального теста производится вручную, а раствора с песком предпочтительнее в мешалках типа Вернера и Пфлейдерера, Штейнбрюка (фиг. 4) и др., причем образцы с песком утрамбовываются на аппаратах Клебе-Тетмайера (фиг. 5) или проф. Н. К. Лахтина с работой трамбования 1 *кгм* на 10 *г* сухой смеси. После заделки кубики и восьмерки помещаются на сутки во влажную атмосферу, а затем в ванны с пресной водой комнатной $t°$ и подвергаются испытаниям через 4, 7 и 28 суток с момента затворения на приборе Михаэлиса (фиг. 6) на растяжение и на гидравлич. масляных прессах Амслера-Лафона (фиг. 7) или Мартенса на сжатие. В табл. 4 помещены результаты механич. испытаний портланд-Ц. цем. з-дов СССР. Остальные испытания портланд-Ц. носят факультативный характер и необязательны по ОСТ, напр. уд. в. портланд-Ц. (д. б. не менее 3,05, определяется в приборе Ле-Шателье-Кандло), объемный вес портланд-Ц. в рыхлом состоянии, выход теста портланд-Ц., его цвет и др. Портланд-Ц. путем смешения с гидравлич. добавками образует пуццолановые и шлакопортланд-Ц. (см. *Гидравлические растворы*, Добавки).



Фиг. 5.



Фиг. 6.

Высокосортный портланд-Ц. Появление особо ответственных сооружений (метрополитены, крепостные постройки и пр.), где необходима была быстрая эксплоатация их после возведения, заставило технич. мысль искать путей к изготовлению портланд-Ц., приобретающих

Табл. 4.—Результаты механических испытаний портланд-цемента.

№	Схватывание		% воды	Помол		Уд. вес.	Врем. сопротивление на растяжение в *кг/см*²						Врем. сопротивление на сжатие в *кг/см*²		
							Чистые (1 : 0)			С песком (1 : 3)			С песком (1 : 5)		
	начало, ч. м.	конец, ч. м.		остается % (сито 900 меш)	проходит, % (сито 4 900 меш)		4 дн.	7 дн.	28 дн.	4 дн.	7 дн.	28 дн.	4 дн.	7 дн.	28 дн.
1	2—30	4—57	22,5	0,8	79,1	—	40,8	55,1	63,0	16,6	18,5	22,3	183	230	315
2	2—25	4—20	—	1,1	85,1	—	35,1	41,7	51,1	14,6	16,8	23,5	128	181	272
3	1—38	3—51	23,5	0,7	88,9	—	38,5	46,5	50,3	18,5	19,8	21,2	—	199	315
4	1—50	3—19	—	0,3	90,3	—	49,7	53,8	58,8	23,8	25,9	25,2	267	305	298
5	2—33	4—08	26,7	1,17	83,6	3,07	41,5	48,0	50,1	14,8	16,4	21,6	178	218	300
ОСТ	30—00	12—00	—	2	75	—	20	25	35	10	12	16	70	100	160

№ 1—цем. з-д в Ленинграде, № 2—цем. з-д «Спартак», № 3—Подольский цем. з-д, № 4—цем. з-д «Комсомолец» в Вольске, № 5—цем. з-д «Пролетарий» в Новороссийске (последний за годовой период, остальные за месячный)

высокую прочность уже после коротких сроков твердения. Впервые такой портланд-Ц. под маркой Frühhochfest Z. был выпущен в конце 1913 г. в Австрии. Этот портланд-цемент уже через 2—3 суток твердения достигал прочности нормального портланд-Ц. после 28-дневного твердения. В 1924 г. его стали готовить в Германии (под маркой Hochwertiger Z.), а затем и в других странах. В Дании начали изготовлять высокосортный портланд-Ц. под маркой «вело-цемент» с искусственно поднятым силикатным модулем 3—4 при гидравлич. модуле ок. 2.40.

Фиг. 7.

В последние годы в Германии выпущен высокосортный портланд-Ц. под маркой Nowo-Zement, значительно более прочный, чем Hochwertiger Z. У нас в конце 1909 г. на цем. з-де в Новороссийске с момента установки первых двух вращающихся печей получен был путем перемола вырабатываемого клинкера портланд-Ц. (типа «вело-цемент») высокой механич. прочности в первые сроки твердения, благодаря высокосиликатной искусственной смеси природных новороссийских мергелей. Этот специальный портланд-Ц. сперва нашел применение при тампонаже нефтяных скважин в Баку и Грозном и стал известен с тех пор под маркой «тампонажный», а в 1924 г. под маркой «высокодействующий портланд-Ц.» был применен при сооружении ответственной Волховской гидроэлектрич. станции и ее плотины. В табл. 5 приведен химич. состав этого

Табл. 5.—Состав «высокодействующего портланд-Ц.» и некоторых германских портланд-Ц. (в %).

Состав и свойства	«Высокодейств. портланд-Ц.»	Hochwertiger Zement	Nowo-Zement
SiO_2	23,21	21,22	20,26
Al_2O_3	3,94	5,84	4,94
Fe_2O_3	2,00	2,56	2,75
CaO	67,33	65,48	66,16
MgO	0,67	1,54	1,76
SO_3	1,64	1,30	1,51
Потери при прокалив.	0,99	2,02	2,52
Гидравлич. модуль	2,31	2,18	2,32
Силикатный модуль	3,90	2,52	2,34
Железистый модуль	1,97	2,28	1,79

«высокодействующего портланд-Ц.» и германских—марки Hochwertiger и Nowo-Zement. Механич. свойства высокосортных портланд-Ц. приведены в табл. 6. По химич. составу «высокодействующий портланд-Ц.» з-да «Пролетарий» и Nowo-Zement из Германии весьма близки к алиту, средний состав которого следующий: 22,18% SiO_2, 7,61% Al_2O_3, 70,21% CaO; гидромодуль 2,36, силикатный модуль 2,96. Шлифы микроструктуры клинкера «высокодействующего портланд-Ц.» также полностью подтверждают, что главным минералом, входящим в состав такого клинкера, является алит, что и обусловливает высокую механич. прочность такого портланд-Ц., т. к. алит обладает высокими гидравлич. свойствами.

Пуццолановые и трассовые портланд-Ц.—продукты, получаемые путем совместного тщательного тонкого перемола на заводских мельницах портланд-цементного клинкера с высушенными кислыми гидравлическими добавками в соответствующей пропорции. Количество кислых гидравлических добавок зависит от степени их активности; оптимальное количество трепела и диатомита 30—40%, вулканического пепла 30%, сиштоффа 30% и трасса 50%. Первые пуццолановые портланд-цементы в СССР стали готовить с 1927 г. на цем. з-де «Пролетарий» в Новороссийске с применением трасса (50% трасса и 50% клинкера) из месторождений Кара-Даг (в Крыму) в качестве гидравлич. добавки. В 1925/26 г. на Брянском цем. заводе началось изготовление пуццоланового портланд-Ц. с применением в качестве гидравлич. добавки трепела карьеров того же з-да (в пропорции 15 и 30% трепела и 85 и 70% клинкера). В табл. 7 приведены химич. составы трасса и брянского трепела и полученных из них с портланд-цементными клинкерами трассового и пуццоланового портланд-Ц.

Табл. 7.—Составы трасса, трепела, клинкера, пуццоланового и трассового портланд-Ц. (в %).

Состав	*1	*2	*3	*4	*5
SiO_2	69,96	22,56	45,63	82,02	40,50
Al_2O_3	12,51	6,37	7,16	10,19	8,75
Fe_2O_3	1,45		1,75	2,40	
CaO	2,02	67,59	36,15	1,73	45,50
MgO	0,51	0,72	0,56	1,38	1,00
SO_3	0,69	1,57	1,73	0,15	1,75
Щелочи	3,52	0,36	1,09	0,13	0,75
Акт. SiO_2	33,00	—	—	—	—
Потери при прокаливании	9,27	0,83	5,57	7,73	4,00

*1 Карадагский трасс. *2 «Высокодействующий портланд-цементный клинкер» завода «Пролетарий». *3 Трассовый портланд-Ц. того же з-да. *4 Трепел Брянского цем. з-да. *5 Пуццолановый портланд-Ц. того же з-да.

Механич. прочность пуццоланового портланд-Ц., низкая в первые сроки твердения, в дальнейшем растет значительно быстрее, чем прочность портланд-Ц. Характерная особенность

Табл. 6.—Механические свойства высокосортных портланд-цементов.

№	Схватывание: начало, ч. мин.	Схватывание: конец, ч. мин.	% воды	Помол: остается, % (сито 900 м.)	Помол: проходит, % (сито 4900 м.)	Врем. сопротивление на растяжение в кг/см²: Чистые (1 : 0) 4 дн.	7 дн.	28 дн.	С песком (1 : 3) 4 дн.	7 дн.	28 дн.	Врем. сопротивление на сжатие в кг/см²: С песком (1 : 3) 4 дн.	7 дн.	28 дн.
1	2—29	4—08	25,1	0,38	89,1	61,7	64,3	68,6	26,8	29,1	32,8	401	446	542
2	2—15	5—00	—	0,14	95,4	—	—	—	29,7 (3 дн.)	32,6	36,3	345 (3 дн.)	453	556

№ 1—«высокодействующий портланд-Ц.» цем. з-да «Пролетарий» в Новороссийске (годовые данные заводской лаборатории), № 2—Hochwertiger Zement.

первых—их устойчивость в отвердевшем состоянии против разрушительного действия минерализованных и морских вод, объясняемая тем, что содержащаяся в пуццолановом портланд-Ц. активная SiO_2 поглощает всю свободную CaO, образуя гидросиликат извести; соединение же $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 12H_2O$ не может образовывать с $CaSO_4$ и водой сложного соединения, в результате чего опасность образования сульфоалюмината извести отпадает. Механические свойства пуццоланового и трассового портланд-цементов приведены в табл. 8.

Б е л ы й Ц. также относится к портланд-Ц., но в противоположность рудному цементу почти не содержит в своем составе Fe_2O_3, в силу чего и получается его белый цвет. Сырьем для его изготовления служат материалы, бедные Fe_2O_3, вследствие чего при обжиге такой смеси затрудняется ее спекание. Обладает прочностью лучших портланд-Ц. и имеет химический состав: 25,10% SiO_2; 5,50% Al_2O_3; 0,43% Fe_2O_3; 65,63% CaO; 1,54% MgO; 0,96% SO_3. Потери при прокаливании 1,24%; гидромодуль 2,14; силикатный модуль 4,2; уд. вес 3,08.

Табл. 8.—Механические свойства пуццоланового и трассового портланд-Ц.

№	Схватывание. нач., ч. мин.	Схватывание. кон., ч. мин.	% воды	Помол остается, % (сито 900 м.)	Помол проходит, % (сито 4900 м.)	Уд. вес	Врем. сопротивление на растяжение в кг/см² Чистые (1 : 0) 4 дн.	7 дн.	28 дн.	Врем. сопротивление на растяжение в кг/см² С песком (1 : 3) 4 дн.	7 дн.	28 дн.	Врем. сопротивление на сжатие в кг/см² С песком (1 : 3) 4 дн.	7 дн.	28 дн.
1	4—20	7—10	36,5	1,6	84,0	2,85	19,6	28,3	38,3	9,6	12,8	16,3	—	—	363
2	2—00	4—00	35,6	0,47	92,4	2,63	26,5	30,6	35,4	19,6	23,9	31,8	221	290	433
ОСТ	—	—	—	2	80	—	—	—	—	9	10	14	—	—	140

№ 1—пуццол. портланд-Ц. Брянского з-да, № 2—трас. портланд-Ц. з-да «Пролетарий» в Новороссийске.

Шлаковые портланд-Ц. представляют продукты, получаемые путем тонкого перемола портланд-цементного клинкера, смешанного с высушенными гранулированными основными доменными шлаками в количестве 30÷70%. В СССР производят шлаковые портланд-Ц.: Днепропетровский металлургический з-д, Краматорский цем. з-д и Судаковский з-д (ок. Тулы); в настоящее время строится ряд новых цем. з-дов для приготовления этого вида портланд-Ц. В табл. 9 приведены химич. составы различных шлаковых портланд-Ц.

Табл. 9.—Химические составы шлаковых портланд-Ц. СССР и Германии (в %).

Состав	*1	*2	*3	*4	*5	*6	*7
SiO_2	27,3	24,9	28,6	29,4	30,5	22,3	25,1
Al_2O_3	10,8	10,50	11,7	11,6	12,1	11,6	15,0
Mn_3O_4	0,4	0,50	0,4	0,5	—	—	—
CaO	57,6	59,20	53,9	52,7	59,6	53,5	55,5
MgO	1,0	0,80	1,0	0,9	2,0	4,5	2,6
SO_3	2,1	3,00	3,6	4,9	—	2,3	0,9
S	0,6	—	—	—	2,4	1,6	0,4
Гидромодуль	1,51	—	1,34	1,28	1,40	1,67	1,38

*1 Судаковский завод (шлака 30%). *2 Днепропетровский завод (30%). *3 То же (70%). *4 То же (85÷88%). *5 Английский Wishew (30%). *6 Германский Kraft (30%). *7 Германский (70%).

Шлаковый портланд-Ц. в начальной стадии медленно схватывается и твердеет лишь по прошествии нескольких месяцев твердения; прочность его на сжатие превышает прочность чистого портланд-Ц.; этот Ц. устойчив в морской и минерализованной воде.

О с т а л ь н ы е в и д ы п о р т л а н д-Ц.: Р у д н ы й цемент (Erzzement) готовится в Германии и представляет портланд-Ц. с увеличенным содержанием Fe_2O_3, получаемого за счет уменьшения количества Al_2O_3 путем добавки в сырую смесь железной руды. Уд. в. его 3,16÷3,28; химич. состав: 20,18% SiO_2; 3,47% Al_2O_3; 8,03% Fe_2O_3; 65,06% CaO; 0,48% MgO; гидравлический модуль 1,81 и силикатный модуль 2,71. По прочности этот Ц. не уступает портланд-цементу. Изготовляется как цемент устойчивый против разрушительных влияний минерализованных вод. Применяется исключительно для декоративных украшений. Готовится в США, а в Европе—в Германии и Бельгии.

Другие виды Ц. 1) Б а р и т о в ы й Ц. получался в Германии аналогично портланд-Ц., в сырье к-рого $CaCO_3$ заменялся $BaCO_3$. Барневые силикаты и алюминаты, входящие в состав баритового Ц., отличаются способностью необыкновенно быстро соединяться с водой, подвергаясь полному гидролизу. В результате баритовый цемент водонеустойчив; все попытки найти химич. средство, замедляющее гидролиз, до сих пор не увенчались успехом. В противоположность портланд-Ц. баритовый цемент является устойчивым в растворах серной к-ты, образуя на своей отвердевшей поверхности защитный слой $BaSO_4$, который препятствует дальнейшему проникновению серной к-ты в толщу отвердевшего цемента. Баритовый цемент требует дополнительного изучения.

2) А н г и д р и т о в ы й Ц.—продукт, получаемый обжигом природного двуводного гипса при 500—700° и последующим перемолом его совместно с различными добавками. Вместо обожженного двуводного гипса может быть применен природный ангидрит, непосредственно перемалываемый с соответственными добавками. Различают три вида ангидритовых Ц.: 1) строительный ангидритовый Ц., состоящий из 99% обожженного при 600—750° гипса и 1% бисульфата натрия; 2) строительный ангидритодоломитовый Ц., состоящий из 95—97% обожженного при той же $t°$ гипса и 5—3% обожженного при 800—900° доломита; 3) ангидритовый Ц. для поделочных и др. работ, состоящий из 98,5% обожженного при 600—750° гипса, 0,7% бисульфата натрия и 0,8% медного купороса. Гигроскопичность ангидритового Ц. незначительна. Механические свойства этого Ц. приведены в табл. 10.

3) И з в е с т к о в о-с м е ш а н н ы е Ц. а) И з в е с т к о в о-п у ц ц о л а н о в ы й Ц. есть продукт смешения порошка гашеной извести $Ca(OH)_2$ с тонким порошком кислых гидравлич. добавок. Количество гидравлич. добавок колеблется 70÷90%, что зависит от степени их активности, и соответственно гашеной извести 30÷10%. В качестве гидравлич. добавки слу-

Табл. 10.—Механические свойства ангидритового Ц.

Виды ангидритового цемента	Врем. сопрот. на растяжение в кг/см²			Врем. сопрот. на сжатие в кг/см²		
	4 дн.	7 дн.	28 дн.	4 дн.	7 дн.	28 дн.
Без добавок (1 : 0) .	20	28	40	—	—	—
С добавк. $NaHSO_4$ + $CaSO_4$ (1 : 3) . .	18	25	30	80	90	100
С добавкой доломита (1 : 3)	12	18	20	80	90	100

жат преимущественно естественные кислые добавки как вулканич., так и осадочного происхождения. Эти цементы являются медленно схватывающимися и медленно твердеющими. Обладая сравнительно небольшой механич. прочностью, они дают значительное нарастание ее при условии твердения во влажной атмосфере, а в случае воздушного хранения замедляют или даже прекращают его. В табл. 11 показаны состав и временное сопротивление на сжатие наиболее характерных известково-пуццолановых цементов.

Табл. 11.—Состав и временное сопротивление на сжатие (в кг/см²) известково-пуццолановых Ц.

Состав	Через 7 дней	Через 28 дней	Через 3 месяца
30 % $Ca(OH)_2$, 70% трепела	6	22	89
20% $Ca(OH)_2$, 80% трепела	7	47	102
30% $Ca(OH)_2$, 70% сиштоффа	46	129	150
20% $Ca(OH)_2$, 80% сиштоффа	21	28	26
20% $Ca(OH)_2$, 80% трасса	10	16	22
15% $Ca(OH)_2$, 85% трасса	6	17	24

Растворы известково-пуццолановых цементов неморозостойки, не выдерживают 15-кратного замораживания до —17° С.

б) Глинит-Ц. представляет разновидность известково-пуццоланового Ц., в к-ром в качестве гидравлической добавки служит умеренно обожженная и тонко перемолотая глина. Темп-ра обжига глин определена в 700—800°. Количество обожженной глины колеблется от 70 до 85% и соответственно извести от 30 до 15%. Наиболее пригодны глины каолинитовые, но допускаются железистые, кремнеземистые с содержанием Al_2O_3 не менее 14%. Для ускорения твердения и лучшей воздухоустойчивости прибавляют 2÷5% нек-рых веществ (двуводный или полуводный гипс, хлористый натрий и др.). Скорость схватывания глинит-Ц. приближается к портланд-Ц., но м. б. и замедленной, что зависит от свойств примененной обожженной глины. Глинит-Ц. твердеет на воздухе; при твердении во влажной среде он приобретает большую прочность. Показатели, характеризующие глинит-Ц., таковы: схватывание—не позже, чем через 24 ч.; тонкость помола—остаток 2% на сите в 900 меш на 1 дм.², прошло 75% через сито в 4 900 меш на 1 дм.²; временное сопротивление на растяжение — 6 и 10 кг/см² соответственно через 7 и 28 дней; временное сопротивление на сжатие — 35 и 70 кг/см² через те же промежутки времени; пропорция цемента и песка — 1 : 3; равномерность изменения объема, как у портланд-Ц.

в) Известково-зольный Ц. представляет продукт теснейшего смешения порошка гашеной извести с тонким порошком сухой золы каменного угля или горючих сланцев, полученной при сжигании их на колосниковых решетках. Количество золы в качестве гидравлической добавки колеблется 50÷80% и соответственно извести 50÷20%. Подобно известково-пуццолановым Ц. рассматриваемый известково-зольный Ц. относится также к медленно твердеющим. Механич. свойства известково-зольных Ц. см. ОСТ 4739.

г) Известково-шлаковый Ц. есть продукт теснейшего смешения порошка гашеной извести с тонким порошком сухого гранулированного основного доменного шлака. Количество шлака колеблется 70 ÷ 90% и соответственно извести 30 ÷ 10%. Эти цементы подобно известково-пуццолановым обладают медленным схватыванием и являются медленно твердеющими, в особенности на воздухе; они дают значительную прочность при твердении во влажных условиях, при твердении же на воздухе не являются достаточно стойкими. Известково-шлаковые Ц. дают временное сопротивление на сжатие растворов (1 : 3), указанное в табл. 12.

Табл. 12.—Врем. сопротивление (в кг/см²) на сжатие известково-шлаковых Ц.

Состав	Через 7 дней	Через 28 дней	Через 3 месяца
20% $Ca(OH)_2$, 80% основн. гранулиров. шлака . . .	48	96	140
15% $Ca(OH)_2$, 85% основн. гранулиров. шлака . . .	50	124	202
10% Ca $(OH)_2$, 9% основн. гранулиров. шлака . . .	22	44	63

Твердение известково-смешанных Ц. основано на взаимодействии между гидратом окиси кальция $Ca(OH)_2$ и аморфной кремнекислотой SiO_2 гидравлич. добавок в присутствии воды, по преимуществу по ур-ию:

$$Ca(OH)_2+SiO_2+1{,}5H_2O=CaO\cdot SiO_2\cdot 2{,}5H_2O.$$

В общем виде состав продукта твердения можно выразить ф-лой:

$$CaO\cdot SiO_2\cdot nH_2O.$$

Скорость этой реакции очень небольшая, причем образующийся водный силикат извести аморфен и очень медленно переходит в кристаллич. состояние, что и обусловливает медленное нарастание прочности растворов известково-смешанных Ц. Пропарка или запарка таких растворов ускоряет твердение их и сообщает более повышенную прочность. Отвердевшие растворы известково-смешанных Ц. на воздухе подвергаются действию CO_2, к-рое вызывает разложение водного силиката извести. Это разложение тем больше, чем проницаемее раствор и тем меньше, чем плотнее раствор.

4) Бесклинкерный шлаковый цемент. В последнее время проф. Будниковым получен т. н. бесклинкерный шлаковый Ц. Этот продукт получается из гранулированных основных доменных шлаков или из этих же шлаков, но обогащенных окисью кальция, подвергнутых в высушенном состоянии (без добавки портланд-цементного клинкера) совместному перемолу с ускоряющими твердение шлака мине-

ральными веществами (сбожженный при 800—900° доломит, ангидрит, природный и обожженный при 600—750° гипс, доломитовая пыль, колошниковая пыль и др.). Весовое содержание основных доменных шлаков в готовом продукте д. б. не менее 85%. Эти шлаки не должны содержать более 5% закиси марганца (MnO). Ангидрит, вводимый при помоле основных шлаков или образовавшийся при добавке гипса в расплавленные шлаки, в комбинации с обожженным доломитом способствует ускорению процесса схватывания и твердения основных гранулированных шлаков доменных печей. При затворении бесклинкерного Ц. водой образовавшийся в процессе гидратации обожженного доломита $Mg(OH)_2$ повидимому реагирует с SiO_2 шлаков согласно следующему ур-ию:

$$SiO_2+Mg(OH)_2+1{,}5\,H_2O=MgO\cdot SiO_2\cdot 2{,}5\,H_2O.$$

С другой стороны, ангидрит под влиянием $Mg(OH)_2$ и $Ca(OH)_2$ приобретает способность гидратизироваться. Не исключена возможность образования двойного соединения $CaSO_4\cdot nSiO_2$, которое с водой образует $mCaSO_4\cdot nSiO_2\cdot pH_2O$, что и обусловливает увеличение механической прочности бесклинкерного цемента. Добавка к основным шлакам повышенного количества сернокислого кальция допустима, так как для образования двойной «соли Деваля», сопровождающегося значительным увеличением объема, свободной извести недостает в шлаковых цементах. Углекислый кальций в виде мела, добавленный к Ц. и остающийся неразложенным в обожженном доломите, не только не уменьшает механич. прочность Ц., но, напротив, повышает ее. Здесь можно предположить, что при достаточном количестве воды образовавшийся при гидратации цемента золь коагулирует в гель, и вся масса уплотняется. Внедренные же и распределенные тончайшие частички $CaCO_3$ в коллоидной массе геля обволакиваются ею и не только не нарушают механической прочности цемента, но при известном проценте добавки даже повышают его. Если сульфидная сера в шлаках находится в виде CaS, то при затворении водой CaS гидратизируется по реакции

$$2\,CaS+2\,H_2O=Ca(SH)_2+Ca(OH)_2;$$

при этом образуется сероводород, обусловливающий запах шлаковых Ц.:

$$Ca(SH)_2+CO_2+H_2O=CaCO_3+2\,H_2S.$$

Следует отметить, что добавка мела не только играет роль уплотнителя Ц., но она еще и абсорбирует сероводород; при этом запах бесклинкерного Ц. значительно уменьшается. Образовавшийся $Ca(OH)_2$ под влиянием гидролиза CaS действует, так же как и $Mg(OH)_2$, в качестве возбудителя, и стеклообразное вещество шлаков приобретает способность гидратизироваться. При введении $CaSO_4$ в расплавленные шлаки протекает ряд сложных процессов. Сульфат кальция под влиянием высокой температуры шлаков частично разлагается с выделением SO_2; образовавшийся CaO растворяется в метасиликате шлака. CaS шлаков реагирует с $CaSO_4$ и $CaSiO_3$ согласно ур-ию:

$$CaS+3\,CaSO_4+4\,CaSiO_3=4\,Ca_2SiO_4+4\,SO_2.$$

Ангидрит, оставшийся неразложенным, играет роль возбудителя шлаков.

Максимальные, минимальные и средние величины физического и механического испытания бесклинкерного Ц. приведены в табл. 13.

Табл. 13.—Физические и механические свойства бесклинкерного шлакового Ц.

Показатели	Максимум	Минимум	Среднее
Удельный вес	3,00	2,91	2,89
Вес 1 *л* Ц. в рыхлом состоянии в *г*	1 090	930	—
Вес 1 л уплотненного Ц. в г	1 670	1 510	—
Тонкость помола:			
Остаток на сите 900 меш	2,10	0,0	0,3
» » » 4 900 меш	12,2	2,6	8,5
Сопротивление разрыву (1 : 3) в *кг/см²*:			
Через 7 дней хранения в воде	28,1	12,0	18,5
» 28 » » » »	33,2	16,0	25,3
» 28 » при комбинированном хранении	39,7	21,0	25,8
Сопротивление раздавливанию в *кг/см²*:			
Через 7 дней хранения в воде	242	100,5	140
» 28 » » » »	359	180	200
» 28 » при комбинированном хранении	342	193	280

Бесклинкерный шлаковый Ц. применяется в тех же случаях, что и портланд-Ц., кроме железобетонных работ и подводных сооружений, где применение шлакового бесклинкерного Ц. не допускается.

Бесклинкерный шлаковый цемент по способу акад. Е. И. Орлова изготовляется путем совместного перемола гранулированного основного доменного шлака с 2% поваренной соли, 2% двуводного гипса и 2% растворимого стекла (в виде глыбы). В качестве сырья пригодными являются шлаки, получаемые при выплавке литейного чугуна, и в самой незначительной мере шлаки бессемеровского чугуна при условии, если они не загрязнены и не стылые. Шлаки, получаемые при выплавке мартеновского чугуна, как имеющие наименьшую гидравличность совершенно непригодны. Упакованный (в мешках) Ц. при хранении теряет сравнительно быстро механич. прочность. По свойствам удовлетворяет нормам ОСТ на портланд-Ц. Для железобетона и подводных работ недопустим. Требует дальнейших исследований.

5) **Глиноземистый Ц.** Глиноземистый, или бокситовый, Ц. по способу приготовления и по составу и свойствам отличается существенным образом от портланд-Ц. Сырьем для его изготовления служат *бокситы* (см.) и известняк (или известь), смесь к-рых в соответствующей пропорции подвергается обжигу, преимущественно в электрич. печах до расплавленного состояния; затвердевшая масса перемалывается в тонкий порошок готового Ц. Этот Ц. начали изготовлять во Франции, а затем и в других странах преимущественно в послевоенное время. В отличие от портланд-Ц. глиноземистый Ц. в силу природных исходных материалов имеет в своем составе в качестве главной, преобладающей части алюминаты извести. Этот Ц. содержит до 70% алюмината извести, до 30% двухизвесткового силиката $2\,CaO\cdot SiO_2$ и незначительное количество других соединений, как то: $5\,CaO\cdot 3Al_2O_3$, $3CaO\cdot 5Al_2O_3$ и др. В табл. 14 приведен химич. состав глиноземистого Ц.

Гидромодуль глиноземистого Ц. 0,50 ÷ 0,65, силикатный модуль 0,05 ÷ 0,20, железистый модуль 2,50 ÷ 6,00. Главные свойства и особенности глиноземистого Ц. выражаются в чрезвычайно быстром твердении при нормальном схватывании, достижении высоких величин механич. прочности в короткие сроки твердения

Табл. 14.—Химический состав глиноземистого Ц. (в %).

Наименование	*1	*2	*3
SiO_2	10,25	5,00	5,80
Al_2O_3	43,81	39,00	46,15
Fe_2O_3	—	15,10	—
CaO	43,30	34,80	39,15
MgO	0,31	0,20	0,54
SO_3	0,06	0,10	0,09
S	0,07	Следы	0,10
Fe (металлич.)	0,56	2,60	1,78
TiO_2	—	2,20	—
Потери при прокаливании	0,15	1,00	0,19
Нерастворн. в HCl остаток	1,17	0,20	5,48

*1 Французский le ciment fondu (électrique). *2 Германский Elektrozement. *3 Германский глиноземистый Ц. под маркой ALCA.

и почти полной устойчивости отвердевшего его раствора в минеральных водах, а также в абсолютно равномерном изменении объема. Твердение глиноземистого Ц., совершаясь по схеме проф. А. А. Байкова, дает продукты отвердевания совершенно иные, чем портланд-Ц., причем главная химич. реакция представляет гидратацию одноизвесткового алюмината по ур-ию:

$$2(CaO\cdot Al_2O_3)+m\cdot H_2O=2CaO\cdot Al_2O_3\cdot 7H_2O+$$
$$+Al_2O_3\cdot(m-7)H_2O.$$

Эта реакция идет очень быстро, причем сначала происходит растворение продуктов реакции, затем их коллоидация, или схватывание, и наконец твердение, или кристаллизация, семиводного двухизвесткового алюмината $2CaO\cdot Al_2O_3\cdot 7H_2O$, к-рый и дает кристаллич. сросток. Нерастворимый гидрат Al_2O_3 выпадает. Двухизвестковый силикат дает с водой реакцию по ур-ию:

$$2CaO\cdot SiO_2+3{,}5H_2O=CaO\cdot SiO_2\cdot 2{,}5H_2O+Ca(OH)_2,$$

причем выделившийся гидрат извести $Ca(OH)_2$ вступает в свою очередь в реакцию с продуктом первой реакции по ур-ию:

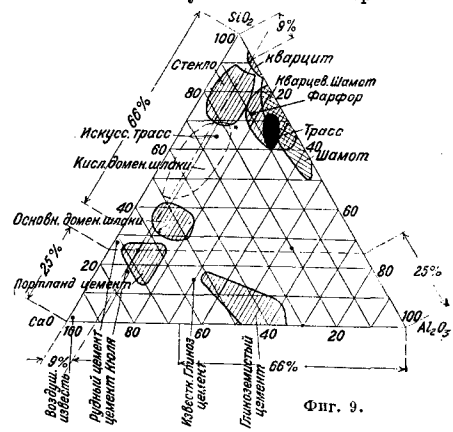
$$Al_2O_3\cdot nH_2O+2Ca(OH)_2=2CaO\cdot Al_2O_3\cdot 7H_2O+pH_2O.$$

В результате отвердевший глиноземистый Ц. совершенно не содержит $Ca(OH)_2$ в противоположность портланд-Ц. Получая высокую механическую прочность в самые короткие сроки твердения, глиноземистый Ц. нашел применение там, где требуется быстрая эксплоатация сооружения после его возведения (метрополитен, ответственные мостовые сооружения, крепостные сооружения и др.). В табл. 15 приведены результаты механич. испытаний глиноземистого Ц. (состав 1 : 3).

Диаграммы плавкости. При производстве Ц. большое значение имеет изучение диаграммы плавкости веществ, представляющих основные компоненты Ц. Из этих диаграмм особо важное значение имеет диаграмма плавкости тройной системы CaO-SiO_2-Al_2O_3 (фиг. 8). Построение этих диаграмм см. *Спр. ТЭ*, т. VII, стр. 186. Состав любого из возможных сочетаний трех веществ будет выражаться точкой в плоскости равностороннего тр-ка; состав двух веществ будет изображаться точкой, лежащей на стороне тр-ка. На перпендикулярах, восстановленных в точке данного состава к плоскости тр-ка, откладывают $t°_{пл.}$. Если мы соединим

Фиг. 8.

вершины перпендикуляров сплошной поверхностью, то получим поверхность плавкости, вполне аналогичную земной поверхности с



Фиг. 9.

горами и долинами. Высшие из точек соответствуют определенным химич. соединениям и трем исходным веществам, а низшие—эвтектич.

Табл. 15.—Механические свойства глиноземистого Ц.

Время схватывания		Врем. сопрот. на растяж. в кг/см² (1 : 3)						Врем. сопрот. на сжатие в кг/см² (1 : 3)					
начало	конец	12 ч.	18 ч.	1 сут.	2 сут.	7 сут.	28 сут.	12 ч.	18 ч.	1 сут.	2 сут.	7 сут.	28 сут.
1 ч. 20 мин.	3 ч. 40 мин.	24,5	30,1	34,8	34,6	36,0	35,5	537	512	580	625	636	773
2 ч.	3 ч. 15 мин.	30,5	28,7	30,0	32,8	32,7	33,0	540	548	535	574	649	740
2 ч. 10 мин.	4 ч. 25 мин.	25,6	29,2	32,2	33,3	33,3	39,7	523	535	495	501	649	714

Коррозия цементных растворов. Отвердевший цементный раствор под действием водных растворов к-т, щелочей, солей, а также атмосферных смесям. На фиг. 9 изображена та же диаграмма CaO-SiO_2-Al_2O_3, но с нанесением полей и областей искусственных силикатов, как то: портланд-Ц., глиноземистого Ц., других Ц., основных и кислых доменных шлаков, стекла, шамота, фарфора и других важных технич. продуктов силикатной пром-сти.

ферных агентов в той или другой степени подвержен разрушению. Систематические работы, изучающие это явление, установили, что это разрушение зависит от целого ряда факторов, а именно: состава Ц., свойств добавок, плотности и пористости раствора и бетона, с одной стороны, и состава, концентрации и t^0 агрессивных (разрушающих) растворов,—с другой. Кислоты образуют с компонентами отвердевших цементных растворов (CaO) растворимые соли этих кислот. Так действуют не только сильные минеральные, но даже и органич. кислоты. Схема реакции такова: $2CaO \cdot SiO_2 + 2H_2SO_4 = 2CaSO_4 + SiO_2 + 2H_2O$. Углекислота, будучи растворенной в водах рек, озер и морей, при атмосферном давлении вступает в реакцию с $Ca(OH)_2$ бетона по ур-ию:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$

и образует тонкий слой оболочки из $CaCO_3$ на поверхности отвердевшего цементного раствора. Образовавшийся $CaCO_3$, будучи омываем водами, богатыми CO_2, вступает с ней во взаимодействие, давая растворимую соль—кислый углекислый кальций $Ca(HCO_3)_2$, к-рый и обусловит разрушение бетона или цементного раствора. Действие оснований и их растворов на отвердевший цементный раствор зависит от наличия в нем соединений, способных образовывать со щелочами и основаниями растворимые соли. Действие 10%-ных растворов щелочей снижает прочность на 50—60% при хранении более 1 года. Наиболее агрессивны с о л и серной кислоты и наименее—хлористые. Для своего действия соли серной кислоты требуют наличия в отвердевшем растворе $Ca(OH)_2$ и алюминатов извести. Жиры животные и растительные действуют разрушительно во всех тех случаях, когда с компонентами (CaO, щелочи) отвердевшего цементного раствора дают растворимые соли жирных к-т или мыла. Минеральные масла и нефтяные дистилляты как химически индифферентные вещества не разрушают отвердевший цементный раствор. Растворы водные сахара разрушают отвердевший цементный раствор, т. к. дают растворимые соли с $Ca(OH)_2$ (сахараты извести).

Мерами борьбы с коррозией служат: а) введение в цементный раствор гидравлич. добавок, содержащих активную SiO_2, с целью связывания ею свободной $Ca(OH)_2$ в растворе; б) применение таких гидравлич. вяжущих веществ, к-рые при твердении не дают свободной $Ca(OH)_2$; в) защита поверхности отвердевшего раствора стойкими пленками или пропитка битуминозными веществами.

Лит.: Кюль Г., Химия цемента в теории и практике, пер. с нем., Л., 1931; Bogue R., Состав портландцементного клинкера, перевод с англ., Ташкент, 1927; Пуццолановые цементы, «Научно-технич. комитет НКПС», М., 1927, вып. 71; Кияд В., Специальные цементы, М.—Л., 1931; Дементьев К., Технология строительных материалов, ч. 1—2, 3 изд., Баку, 1930; Строительные материалы, Сборник статей, Л., 1931; Строительные материалы, сборник 13 ВНИИМ НКПС, М., 1931; Информационный сборник ВИСМ'а, вып. 2—Глинитцемент, М., 1932, Будников П., Гипс и его исследование, П., 1923; его же, Шлаковые цементы, «Строительные материалы», 1930, *32*; Будников П. и Лежоев В., Бесклинкерный шлако-цемент, там же, 1930, *10*; Грюн Р., Химическая стойкость бетона, перевод с нем., М.—Л., 1931; Schoch K., Die Mörtelbindestoffe, 4 Aufl., B., 1928; Eckel E., Cements, Limes and Plasters, 3 ed., N. Y., 1928; Kühl H. und Knothe W., Die Chemie der hydraulischen Bindemittel, Leipzig, 1915; Dorsch K., Chemie der Zemente, B., 1932; Dorsch K., Erhärtung und Korrosion der Zemente, B., 1932; журналы: «Строительные материалы»; «Цемент», М.; «Zement», B.; «Tonindustrie-Zeitung», B.; Le Ciment», P.; «Revue de matériaux de construction et de travaux publics», P.; «Cement and Cement Manufacture», L.; «Rock Products», Chicago.

В. Тарарин.

ЦЕМЕНТАЦИЯ, один из видов термич. обработки металлов—путем изменения химич. состава поверхностного слоя изделий с целью увеличения их сопротивляемости изнашиванию. Такое общее определение охватывает не только обычные виды Ц., но также цианирование, нитрирование и пр. В результате Ц. поверхностный слой изделий в большинстве случаев приобретает большую твердость, в то время как внутренние части их остаются мягкими и следовательно хорошо сопротивляющимися ударам. Ц. широко применяется в различных областях машиностроения (напр. при изготовлении трансмиссий, шестерен, поршневых пальцев, отвалов плугов и пр.), авто-тракторостроении и в инструментальном деле. Сущность Ц. науглероживанием заключается в получении из цементационной смеси при высоких t^0 окиси углерода и иногда соединений углерода с азотом, затем в образовании активных атомов углерода и наконец в диффузии последнего в решетку γ-железа. При Ц. изделия упаковываются в ящик с угольным порошком и добавками; последние обычно являются углекислыми солями натрия, бария, кальция, калия и пр. При нагреве в присутствии угля углекислые соли распадаются по следующей ф-ле:

$$XCO_3 + C = XO + 2CO.$$

Получившаяся окись углерода разлагается на углекислоту и углерод:

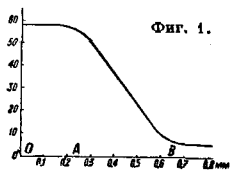
$$2CO = CO_2 + C.$$

Образовавшиеся активные атомы углерода, находящиеся in statu nascendi, проникают в решетку γ-железа, которое, как известно, может растворять до 1,7% углерода. Науглероживание поверхности обычно происходит только до 1% C или немного выше. При газовой или жидкой Ц. активные атомы углерода могут получиться или из газа или из жидкости непосредственно. Исследование микроструктуры цементированной, но еще не закаленной стали показывает, что в результате Ц. мягкая сталь на поверхности становится очень богатой углеродом: структура ее у поверхности состоит из перлита и сетки цементита в надэвтектоидном слое.

Более детальное исследование самого края поверхности науглероженной, но еще не закаленной стали обнаруживает два весьма важных и характерных типа ее микроструктуры (вкл. л., *1* и *2*). Разница между ними заключается в форме выделений и в расположении избыточного цементита. В большинстве случаев цементит располагается в виде тонкой сетки вокруг крупных зерен перлита или в виде игол (вкл. л., *1*). Эта структура после закалки обладает высокой и равномерной твердостью и обычно называется нормальной. Другой тип структуры—избыточный цементит—выделяется в виде массивной сетки вокруг более мелких зерен перлита и (что очень характерно для этого случая) часто окружен полями феррита (вкл. л., *2*). Выделения цементита, входящего в состав перлита, здесь также крупные. Такая структура при закалке дает мягкие трооститные места, является неудовлетворительной и носит название абнормальной. В условиях заводского производства выработались практич. признаки, по к-рым сталь испытывается на абнормальность; для этого сталь цементируют 10—13 час. при 900—930° и измеряют размеры зерен в надэвтектоидном слое (при увеличении в 100 раз); тогда количество зерен на площади

5 *см*² будет: № 1—до 1, № 2—1÷2½, № 3—2½÷5, № 4—5÷10, № 5—10÷20, № 6—20÷40, № 7—40÷80, № 8—80÷160 и № 9—выше 160 зерен. Чем меньше зерно, тем выше абнормальность стали (при обязательном условии окружения массивной сетки цементита ферритными полями).

Лучшим методом испытания на твердость цементированной поверхности является способ Виккерса и Роквелла, а равно монотрон Шора или (для лабораторных работ) маятник Герберта. Испытание по Бринелю совсем не подходит, так как продавливается твердый слой. Большое практическое значение при испытании цементированных изделий имеет измерение толщины их твердого слоя, причем различают «общую толщину твердого слоя» (фиг. 1, *OB*) и «действительную» (фиг. 1, *OA*; на ординате отложена твердость по Роквеллу, на абсциссе—расстояние от поверхности в *мм*). Наиболее ценной частью нацементированного слоя является его «действительная толщина», где наблюдается наивысшая твердость. Измерение твердого слоя цементованных изделий производится различными способами.



Стали для цементации. Правильный выбор стали для Ц. имеет очень большое значение. В настоящее время цементируют как углеродистые, так и сложные стали. В табл. 1 приведены типичные примеры углеродистых сталей и указаны ориентировочные температуры Ц., рекомендованные стандартами разных стран.

Табл. 1.—Углеродистые стали для цементации.

Страны	Марка	Состав в % и механич. свойства стали							*t*° Ц.
		C	Mn	Si	P⩾	S⩾	*1	*2	
Германия	StC 10-31	0,06÷0,13	⩾ 0,5	0,35	0,04	0,04	38	30÷25	—
	StC 16-61	0,13÷0,20	⩾ 0,4	0,35	0,04	0,04	42	28÷23	—
Америка	SAE 1015	0,10÷0,20	0,3÷0,6	0,3	0,045	0,05	—	—	900°
	SAE 1020	0,15÷0,25	0,3÷0,6	0,3	0,045	0,05	—	—	900°
СССР (с.-х. машиностроение)	Ц I	0,08÷0,2	0,3÷0,6	0,3	0,045	0,05	—	—	—

*1 Временное сопротивление разрыву в *кг/мм*². *2 Минимальное удлинение в %.

При выборе сложных сталей для Ц. следует всегда иметь в виду следующее влияние на нее специальных элементов, к-рые м. б. разделены на две группы: элементы, образующие карбиды (Cr, Mn), и элементы, образующие с железом твердый раствор (Ni); молибден и ванадий занимают промежуточное значение, давая и карбиды и твердый раствор. Элементы, образующие карбиды, увеличивают твердость и сопротивление износу твердой поверхности и часто упрочняют мягкую середину. Никель, молибден и ванадий увеличивают прочность и вязкость мягкой середины. Никель, понижая критич. точки в цементированной стали, позволяет закалить поверхность последней при более низкой *t*°. В табл. 2 приведены сложные стали SAE для Ц. и указаны ориентировочные темп-ры для нее.

Табл. 2.—Сложные стали для цементации.

№ стали по SAE	Содержание элементов в %				*t*° цемент.
	C	Mn	Ni	Cr	
2320	0,15÷0,25	0,50÷0,80	3,25÷3,75	—	900
2315	0,10÷0,20	0,30÷0,60	3,25÷3,75	—	—
2512	0,17	0,30÷0,60	4,50÷5,25	—	885
3115	0,10÷0,20	0,30÷0,60	1,00÷1,50	0,45÷0,75	900
3120	0,15÷0,25	0,30÷0,60	1,00÷1,50	0,45÷0,75	900
3215	0,10÷0,20	0,30÷0,60	1,50÷2,00	0,90÷1,25	900
3220	0,15÷0,25	0,30÷0,60	1,50÷2,00	0,90÷1,25	900
33.2	0,17	0,30÷0,60	3,25÷3,75	1,25÷1,75	885
3325	0,20÷0,30	0,30÷0,60	3,25÷3,75	1,25÷1,75	885
34.5	0,10÷0,20	0,45÷0,75	2,75÷3,25	0,60÷0,95	885
6120	0,15÷0,25	0,50÷0,80	—	0,80÷1,10	900

Сталь 6120 содержит не менее 0,15% ванадия, желательно его иметь 0,18%. Фосфора в сложных сталях, подвергающихся Ц., д. б. не больше 0,04%, серы для сталей 2320÷3120 до 0,045%, а для сталей 3215÷6120 по 0,04%.

Типы цементации. В настоящее время применяются следующие четыре главных вида Ц.: 1) науглероживание твердыми порошками, 2) науглероживание газами, 3) цианирование (жидкостями), при к-ром кроме углерода в сталь проникает и азот, и 4) нитрование, т. е. насыщение поверхности стали азотом, причем при последнем способе окончательной закалки не требуется.

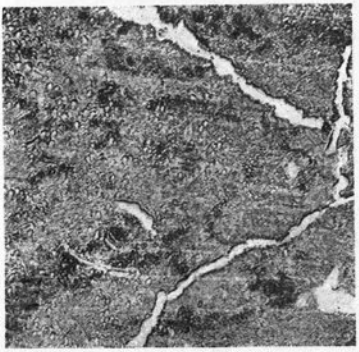
1. Ц. *твердыми порошками.* Такая Ц. в подавляющем большинстве случаев производится порошком древесного угля твердых пород (березовым или дубовым) с примесью 15÷20% углекислой соли (Na_2CO_3, K_2CO_3, $BaCO_3$ и т. д.). Для Ц. изделия укладывают в ящики, засыпают этой смесью, плотно закрывают и ставят в печь. В Америке для Ц. применяют нихромовые или калоризированные ящики, стойкие к высоким *t*°. Несмотря на высокую стоимость в сравнении с чугунными или стальными ящиками они оказываются благодаря долгой службе более выгодными. Для Ц. *t*° в печи доводят до 1 000—1 200°, в ящиках же *t*° ниже. Процесс во многих случаях длится ок. 8 ч. На фиг. 2 изображены кривые повышения *t*° в печи и ящиках при Ц. отвалов для плугов (кривая *а*—*t*° в ящике, кривая *б*—*t*° в печи; на абсциссе отложено время от начала *наблюдения*). В результате такого режима на поверхности отвалов образуется перлит с сеткой цементита, и толщина твердого, принимающего закалку слоя—1÷1,5 *мм*, середина же остается мягкой. После охлаждения с ящиками отвалы вынимают, снова нагревают и закаливают. В результате на поверхности их образуется мартенсит (вкл. л., *3*); сетка цементита должна полностью раствориться, иначе поверхностный слой будет хрупким (вкл. л., *4*). Частым дефектом цементированных изделий являются мягкие места на их поверхности после закалки благодаря образованию троостита; на вкл. л., *5* изображает такую дефектную структуру—троостит в мартенсите. Мягкие места в цементированных из-

Фиг. 2.

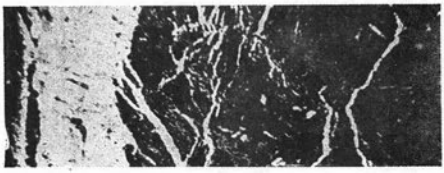
1

2

3



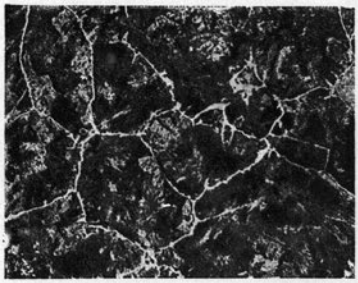
4



5

6

7



8

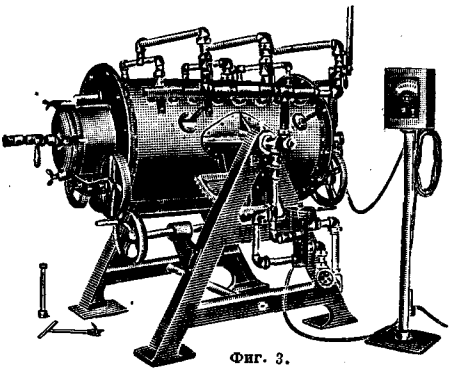
1. Цементит и перлит. 2. Цементит, перлит и феррит. 3. Мартенсит. 4. Цементит и мартенсит. 5. Троостит в мартенсите. 6. Мартенсит и феррит. 7. Нитрид. 8. Браунит.

делиях могут также быть объяснены недостаточным науглероживанием поверхности. На вкл. листе, 6 изображена микроструктура закаленной поверхности такой недоцементованной стали—тонкий слой мартенсита и феррита. В общем Ц. твердыми порошками является в условиях СССР очень практичной, распространенной и недорогой операцией. В Америке для создания однородности качества при цементации применяют конвейерные печи, в которых каждый ящик, входя с одной стороны холодным и очень медленно двигаясь там, постепенно нагревается до 900° и выходит с другой. При Ц. в обычной печи крайние ящики нагреваются быстрее, а средние медленнее, при конвейерной же—все ящики находятся в одинаковых условиях, что весьма ценно. В табл. 3 приведены важнейшие ошибки Ц., указаны их причины и даны способы к их устранению.

Табл. 3.—Ошибки при цементации.

Дефект	Причина	Характер дефекта	Исправление
Толщина слоя выходит из пределов, обусловленных техническими условиями	Неправильная $t°$ цементации	Разные результаты в одной печи в разных ящиках	Переконструирование печи и изменение ее режима. Более долгий разогрев ее вначале
	Неоднородная $t°$ в разных местах печи и в разных ящиках		
	Неправильные показания пирометра	Все изделия неудовлетворительны	Проверка пирометров
	Цементационная смесь слишком бедна или богата в отношении примеси углекислых солей		Изменение цементационной смеси
Мягкие места после закалки	Неправильная, слишком низкая или неоднородная $t°$ при закалке	Низкая твердость при испытании	Повышение $t°$ закалки
	Неправильная закалка	Низкая твердость	Увеличение скорости охлаждения при закалке добавкой в ванну щелочи или закалка в разбрызгиваемой струе закалочной жидкости
	Обезуглероживание поверхности	Определяют, где произошло обезуглероживание—в закалочной или в цементационной печи	Улучшение практики цементации и нагрева перед закалкой
	Низкое содержание углерода или тонкий цементированный слой	Низкая твердость	Улучшение режима цементации Применение другой смеси Проверка пирометра
Крупнозернистый хрупкий вид излома	Слишком высокая $t°$ закалки	Неправильный вид излома (макро- и микроструктуры)	Понижение $t°$ закалки
	Слишком высокое содержание углерода на поверхности изделия		Понижение $t°$ закалки Применение двойной закалки. Употребление более бедной цементационной смеси

2. Ц. газом. При Ц. газом изделия помещаются в длинный металлич. цилиндр, обычно из нихрома или калоризированного металла, стойкого при высоких $t°$. Цилиндр помещается в специальную печь и нагревается в ней при медленном вращении. Через цилиндр пропускается струя очищенного светильного газа. Общий вид такой установки для газовой Ц. приведен на фиг. 3. Для условий СССР в большинстве случаев выгоднее употреблять газ, полученный из нефти. Америк. металлограф Гутри исследовал применение газа для Ц. и дает следующие примеры «хорошего» и «плохого» газа для Ц. (табл. 4).



Фиг. 3.

Табл. 4.—Состав газа для Ц. (в %).

Состав	Хороший газ	Плохой газ
CO_2	2,8	0,4
Светильный газ	4,2	3,2
Кислород	1,0	0,4
CO	11,0	10,5
Водород	47,2	45,4
Метан	22,4	20,1
Азот	11,4	20,0

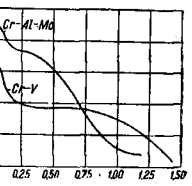
В случае «хорошего» газа науглероженный слой в 1,5 *мм* толщиной получился в течение 10 ч. при давлении в 1 *atm* и $t°$ 870°, тогда как при «плохом» газе в подобных же условиях для этого потребовалось 20 ч. Газовая Ц. при правильной ее постановке позволяет избежать многочисленных цементационных ящиков, массы грязной цементационной смеси, требующей тяжелой и неприятной работы, а также экономит топливо для подогрева ящиков.

3. Цианирование. За последнее время цианирование получило очень широкое распространение. При жидкой Ц. сталь, предварительно достаточно подогретая, погружается в ванну из расплавленных цианистых солей. Прежде применялись простые цианистые соли Na(CN), к-рые обычно прибавлялись в количестве 30% в ванну из Na_2CO_3 и NaCl, смешанных поровну. Содержание Na(CN) должно поддерживаться во время Ц. не ниже 20—25%. Обычная цианистая ванна не выдерживает нагревания до $t°$ 850° и поэтому дает хотя и очень твердый, но слишком тонкий слой (0,2÷0,4 *мм*).

Поэтому Ц. обычным цианистым натрием применима лишь там, где детали после нее не шлифуются и где износ поверхности не слишком велик. За последнее время появилось много цианистых солей, не разлагающихся при $t°$ 900—950°, напр. дурферрит и др. Все они позволяют быстро получать достаточно толстый твердый слой; благодаря этому жидкая Ц. начала применяться всюду. Вследствие большой ядовитости паров цианистых солей с последними надо обращаться очень осторожно; их нельзя добавлять в расплавленную жидкую ванну во избежание взрыва; попадание в них азотистых соединений, напр. селитры, также вызывает сильную реакцию.

Термообработка после науглероживания. Длительное пребывание стали при высокой $t°$ во время науглероживания вызывает у нее рост зерна. Особенно крупнозернистой становится науглероженная поверхность, потому что темп-ра Ц. (900°) значительно превышает ее $t°_{крит.}$ (725°). Для уничтожения крупнозернистости применяется сложная термич. обработка. Когда требуется мелкозернистая, очень прочная и вязкая сердцевина, изделия после науглероживания охлаждают вместе с ящиками или закаливают в воде. После этого их снова нагревают в печи до $t°$ немного выше критической, т. е. 870°, и закаливают. Для того чтобы получить мелкозернистую структуру на поверхности, изделия подвергают новому нагреву в печи до $t°$ ~775°; эта $t°$ на величину зерна в сердцевине влияния не оказывает. Твердая науглероженная поверхность переходит в состояние аустенита и получает мелкое зерно; последующая закалка дает на поверхности твердую структуру мелкозернистого мартенсита. После закалки твердую закаленную поверхность можно подвергнуть отпуску и еще более понизить ее хрупкость. Темп-ра отпуска определяется твердостью, к-рую желательно получить.

4. Нитрирование. При нитрировании сталь нагревается в потоке аммиака при $t°$ 510—525° в течение 10÷90 ч. Аммиак распадается на водород и азот; активные атомы последнего проникают в железо и дают с ним различные соединения, отличающиеся большой твердостью. Впервые нитрирование в токе аммиака было применено в промышленном масштабе Адольфом Фраем на з-дах фирмы Круппа в 1922 г. Исследование структуры нитрированной поверхности сталей с помощью микроскопич., термич., рентгенографич. и химич. методов обнаруживает у них следующие структурные компоненты: нитриды Fe_2N (нитрид I по Фраю), Fe_4N (нитрид II по Фраю), Fe_8N и эвтектику-браунит (название дано в честь одного из первых исследователей нитридов железа—Брауна). Нитриды образуют твердую хрупкую корку; на внешней поверхности они светлого цвета и плохо окрашиваются при травлении (вкл. л., 7). Браунит является эвтектикой нитрида Fe_4N и железа, он содержит 1,5% азота. Вид его напоминает перлит (вкл. л., 8). Из всех указанных выше компонентов он является практически самым ценным, т. к. обладает наибольшей твердостью и наименьшей хрупкостью. Браунит располагается под слоем нитрида Fe_4N (если слой нитридов присутствует). В сравнении с обычной Ц. науглероживанием нитрирование имеет много преимуществ: $t°$ нитрирования гораздо ниже $t°$ обычной Ц., отсутствует закалка,—следовательно можно полностью избежать коробления, трещин изделий. Сергерсон (Sergerson) произвел параллельное испытание нитрированной и цементированной обычным способом сталей. Хромованадиевая S. A. E. 6115 цементовалась в течение 8 часов при $t°$ 920°, затем подвергалась двойной закалке в воде и отпуску при 150°. Одновременно была взята хромо-алюмино-молибденовая сталь и подвергнута нитрированию в течение 90 часов при $t°$ 525°. Твердая поверхность обеих сталей испытывалась на приборе Виккерса, причем твердый слой постепенно сошлифовывался наждачным кругом, и твердость определялась на разном расстоянии от поверхности. Результаты испытания изображены на диаграмме фиг. 4 (где на абсциссе отложена глубина Ц. в *мм*, а на ординате—твердость по Виккерсу—Бринелю). Практич. испытания показали, что более твердый нитрированный слой сопротивляется истиранию в 5—7 раз лучше, нежели цементированный. При этом нитрированные изделия практически не изменяют своих размеров и формы, почему в противоположность цементированным они не требуют окончательной шлифовки. Твердость нитрированного слоя не изменяется при нагревах до $t°$ 500°, тогда как цементированные изделия при отпуске теряют значительную часть своей твердости. Кроме того нитрированные изделия подобно нержавеющей стали обладают повышенной сопротивляемостью коррозии на воздухе и в пресной и соленой воде. Препятствиями к широкому распространению нитрирования являются продолжительность процесса—от 10 до 90 ч.—и необходимость работать с дорогими сложными сталями—углеродистые стали непригодны для нитрирования, поверхность у них получается недостаточно твердой и очень хрупкой. Перед нитрированием сталь д. б. подвергнута закалке и отпуску при 540° для получения тонкой сорбитной структуры.



Фиг. 4.

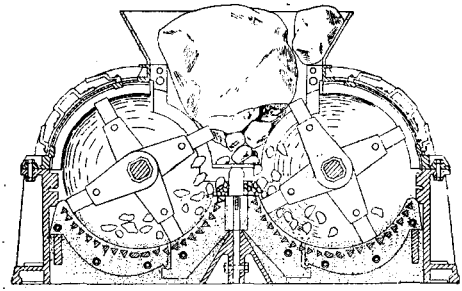
В настоящее время в Америке наблюдается широкий интерес со стороны з-дов к процессу нитрирования. Почти все фирмы, строящие печи, начали выпускать и оборудование для нитрирования. Напр. фирма Leeds & Northrup Co. выпустила печь для нитрирования (по типу известной печи для отпуска—«Homo») с принудительной сильной циркуляцией аммиака и герметич. затворами камеры для нитрирования. Появились печи для непрерывного нитрирования, где изделия движутся внутри печи по конвейеру. Эти печи, напр. типа Surface Combustion Co., работая дуплекс-процессом, сокращают время нитрирования до 16 ч. и позволяют экономить на аммиаке. В обыкновенных печах диссоциация аммиака не д. б. выше 30—40%, иначе получаются плохие результаты, тогда как конвейерные печи позволяют доводить эту диссоциацию до 90%.

Лит.: Ассонов, Термическая обработка автомобильных деталей, М., 1930; Бабошин А., Термическая обработка обыкновенных и специальных сортов стали, М., 1926; Болховитинов Н., Новое в нитрировании, «Вестник инж. и тех.», 1931; Минкевич Н. и Конторович И., Поверхностное насыщение стали азотом, «Вестник металлопромышленности», М., 1928, 7—10; Минкевич Н., Сталь, стальные и чугунные полуфабрикаты, М., 1930; Knowlton B.,

Heat Treatment, Properties a. Uses of Steel, Cleveland, 1929; Metals Handbook ASST, 1930; Sauveur A., The Metallography a. Heat Treatment of Steel, N. Y., 1926; Gat J., Normality of Steel, «Transactions of the American Society for Steel Treating», Cleveland, 1927, v. 12, Sept., p. 376; Guthry R. a. Wosazck O., Gas Carburizing, ibid., 1927, v. 12, Dec., p. 853; Epstein a. Rawdon, Progress in Study of Normal a. Abnormal Steel, ibid., 1927, v. 12, Sept., 337; Nitriding Symposium, ibid., 1929, v. 16, Oct.; Sisco F., The Constitution of Steel a. Cast Iron, ibid., 1929, v. 16, Sept., p. 435—451; Mc Qaid a. Ehn, Effect of Quality of Steel on Case Carburizing Results, «Transactions of the Amer. Inst. of Mining a. Metallurgical Engineers», N. Y., 1922, v. 67, p. 341.

Н. Болховитинов.

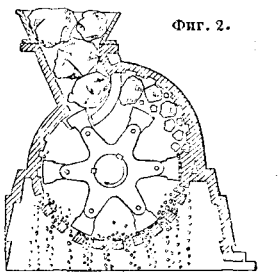
ЦЕМЕНТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, изготовление *цемента* (см.) и других гидравлич. вяжущих веществ на цементных заводах. 1. Сырье, добыча его и транспортировка. Основным сырьем для Ц. п. являются известняки или мел и глина, или мергельные известняки и глинистые мергели, или же наконец натуральные мергели. По своим физич. свойствам они



Фиг. 1.

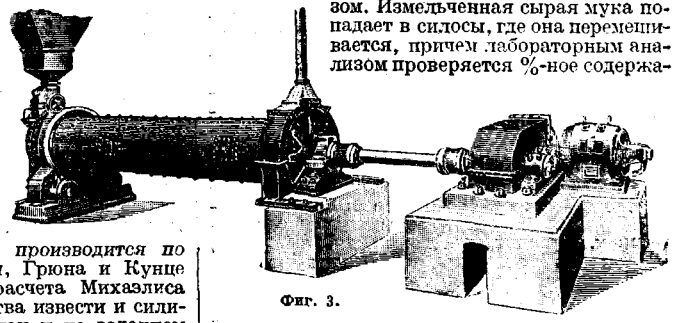
делятся на твердые, напр. твердые известняки, мергели; мягкие, напр. мел, мягкие рыхлые мергели и глины. Добыча известняков и мергелей производится открытыми работами (см. *Разработка полезных ископаемых*) вручную или посредством экскаваторов; бурение шпуров производится преимущественно перфораторами. Добытые известняк, мергель вручную или механически грузят в вагонетки, которые по бремсбергам спускают с уступов выработки к станциям наземных или воздушных канатных дорог, транспортирующих их на эстакады или вообще на склады сырых материалов на з-де.

2. Подготовка сырых материалов к обжигу. Химический состав сырых материалов, идущих в производство, установленный на основании соответствующих лабораторных анализов, дает возможность вычислить пропорцию составных частей их, что и производится по методам Михаэлиса, Гилля, Грюна и Кунце и др. Аналитич. способ расчета Михаэлиса основан на знании количества извести и силикатов в исходных материалах и на заданном гидромодуле портланд-цемента (п.-цемент). Затем начали вводить в расчет силикатный и глиноземистый модули. Графический способ Грюна и Кунце основан на допущении, что портланд-цемент представляет тройную систему из 3 Ca $OSiO_2$, 2 $CaOSiO_2$ и плавней (алюминатов и ферритов). Различают два способа производства: мокрый и сухой (промежуточный мало употребителен). Сухой отличается от мокрого лишними операциями—высушиванием сырых материалов до их смешения и измельчением в сушильных барабанах (см. *Сушка*) той или другой системы. Барабаны обогреваются или отдельными топками или теплом отходящих газов. Высушенный материал при сухом и естественный при мокром способах подвергается дроблению, производящемуся в дробилках Блека, Гетса, Саймонса (см. *Дробилки*) и на молотковых дробилках, например типа «Титан» (фиг. 1), системы Круппа (фиг. 2) и др. Раздробленный материал транспортируется лентами, элеваторами и другими приспособлениями к мельницам для дальнейшего перемола до требуемой тонины. Измельчение сырых материалов производится на *бегунах* (см.), в *шаровых и трубных мельницах* (см.). Для более тонкого помола при мокром способе между шаровой и трубной мельницами устанавливают добавочную машину «Трикс», к-рая, работая центробежной силой, гонит все мелкие частицы в трубную мельницу, а крупные, напротив, возвращает в шаровую, и в результате мельничная установка дает тончайший перемол сырых материалов. В последнее время комбинированная трубная мельница была усовершенствована путем прибавления к двум ее камерам третьей длинной камеры, загруженной стальными цилиндриками (цильпебсом) для получения тончайшего перемола, в результате чего получилась современная новейшая т. н. трехкамерная мельница, имеющая длину 12 и даже 14 *м*, диам. 1,8 и 2,2 *м*, производительность ее 100—150 бочек в 1 ч. при расходе энергии 350—600 HP (фиг. 3).



Фиг. 2.

Подготовка сырых материалов к обжигу по сухому способу производится следующим образом. Измельченная сырая мука попадает в силосы, где она перемешивается, причем лабораторным анализом проверяется %-ное содержа-

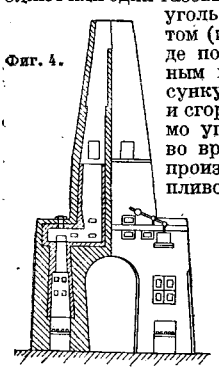


Фиг. 3.

ние $CaCO_3$; после этого сырье поступает в брикетное отделение, где перемешивается сначала насухо с требуемым количеством измолотого антрацита или кокса, а затем увлажняется (до 8—10% воды) и идет под прессы (Дорстена, столовые, штемпельные и др.) для сухой формовки в кирпичи; последние по транспортной ленте подаются в печное отделение для

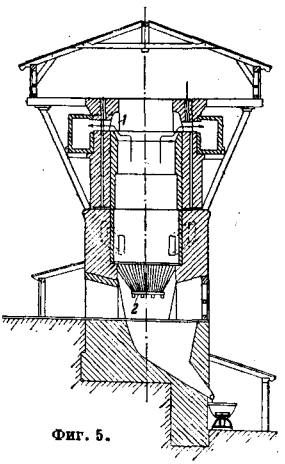
загрузки их в шахтную печь для обжига. В случае обжига по сухому способу предварительно увлажненная (до 5—8% воды), хорошо перемешанная сырая мука из силоса подается во вращающиеся печи. При мокром способе подготовки тонко измолотый сырой материал совместно с определенным количеством воды (так наз. шламм) поступает в корреционные бассейны, где проверяется %-ное содержание $CaCO_3$, после чего поступает в запасные бассейны. Транспортировка шламма производится или насосами (в последнее время центробежными) или же пневматически—сжатым воздухом. Во все время пребывания шламма в открытых бассейнах он перемешивается механич. мешалками, а в закрытых (цилиндры, баки) перемешивается пневматически сжатым воздухом, подводимым снизу. Второй, пневматический способ перемешивания дает однородный и хорошо перемешанный шламм, чего не дает перемешивание мешалками. Количество воды в шламме зависит от физических свойств сырых материалов (их пластичности, строения и др.), а также от тонкости их помола и других причин и колеблется в пределах 35—40 и даже 52%. Выверенный шламм поступает в обжиг во вращающуюся печь.

3. Топливо и его подготовка для обжига. В зависимости от характера цементно-обжигательных печей при обжиге клинкера употребляют твердое, пылевидное и жидкое топливо. При обжиге в шахтных печах с загрузкой кусков природного мергеля употребляется кусковой антрацит тех или других марок или же, как в Германии и других странах, кокс. В автоматич. шахтных печах для обжига служит также антрацит или кокс, но в виде порошка, впрессованного в брикеты. При обжиге во вращающихся печах употребляют или один газовый (пламенный) каменный уголь или в смеси с антрацитом (или с тощим углем) в виде порошка, вдуваемого сильным вентилятором через форсунку в головке печи, где он и сгорает в виде факела. Помимо угольного порошка обжиг во вращающихся печах может производиться и жидким топливом (мазутом), вдуваемым воздушным вентилятором через форсунку в печь в мелко распыленном состоянии, в смеси с воздухом. Возможен наконец обжиг во вращающихся печах на смешанном топливе — мазуте в смеси с вдуваемым угольным порошком. Антрацит или газовый каменный уголь, прежде чем их перемолоть, должны быть сначала высушены в сушилках, преимущественно в виде барабана, медленно вращаемого и обогреваемого потоком горячего воздуха, проходящего внутри его. Для перемола высушенного твердого топлива служит или комбинация шаровой и трубной мельниц, подобная применяемой для перемола сырых материалов, или же одна комбинированная трубная мельница. Высушенное и перемолотое твердое топливо транспортируется в бункер, откуда шнеком подается к вентилятору, который вдувает его в форсунку для сжигания в печи.



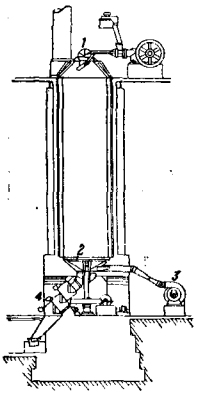
Фиг. 4.

4. Обжиг сырых материалов и получение портланд-цементного клинкера. Обжиг сырых материалов, соответственно подготовленных к этому, и получение портланд-цементного клинкера являются самым важным процессом в производстве п.-цемента. Обжиг производится или в шахтных или во вращающихся печах. а) Шахтные печи. Первыми печами для обжига были шахтные печи периодич. действия. Такие печи уже всюду оставлены. В настоящее время применяются печи непрерывного действия, и первой из них нужно считать двойную этажную шахтную печь Дитча, имевшую в дореволюционное время большое распространение на цементных заводах. Печи Дитча соединяют попарно (с одной общей дымовой трубой). Сырой материал загружают в верхнюю камеру (шахту), где он нагревается теплом отходящих газов; затем он проталкивается в нижнюю шахту, куда загружается требуемое количество антрацита. Обожженный клинкер, опускаясь ниже и охлаждаясь, выгружается внизу из очелка (фиг. 4). Производительность двойной печи Дитча — 120 бочек в сутки при расходе 17—20% антрацита от веса клинкера. В настоящее время к печам Дитча стали применять дутье, увеличившее производительность печей. Вслед за печами Дитча появился целый ряд шахтных печей непрерывного действия, но из всех них удержалась только шахтная печь Шнейдера; эта печь, усовершенствованная Новиковым, получила большое распространение при обжиге натуральных мергелей Новороссийского района (фиг. 5). В последние годы в таких шахтных печах применено дутье (80—120 *мм* вод. ст.), давшее увеличение производительности на 70—100%. Такая усовершенствованная печь имеет сверху вмазанный железный цилиндр *1*, к-рый, будучи на 15—20 *см* уже диам. шахты, образует кольцевое пространство, куда попадают отходящие газы, отводимые дымоходом в общий боров и дымовую трубу. Когда клинкер обожжен, в очелке вынимают колосники *2*, и готовый клинкер вываливается из печи, а за ним опускается все содержимое печи, и освободившееся место в цилиндре заполняют новым материалом (ряд мергеля и кольцо антрацита). Производительность такой усовершенствованной шахтной печи Шнейдера при высоте 9,5—10,0 *м* и диаметре шахты 2,7—2,9 *м*—100—120 бочек в сутки, а с дутьем—170—220 бочек при расходе 21—25 *кг* топлива на 1 бочку клинкера. Эта печь имеет общий недостаток шахтных печей: припекание клинкера к раскаленной стенке футеровки и неоднородное качество клинкера. Для устранения этих недостатков и повышения произво-



Фиг. 5.

дительности печи Шнейдера было введено сухое прессование брикетов из искусственной смеси и впрессовывание в брикеты перемолотого топлива. Последним усовершенствованием в работе шахтной печи типа Шнейдера (автоматическая шахтная печь) явилось установление полной механизации как загрузки, так и выгрузки печи при введении сильного дутья. Существует несколько систем автоматич. шахтных печей, в которых наиболее важным аппаратом являются вращающиеся колосники, которые должны дробить и выводить клинкер из печи. В настоящее время существуют три характерных типа таких печей: 1) печи с вращающимися колосниками в виде диска вокруг вертикального вала по оси печи (печь Грубера, фиг. 6, где *1*—загрузочный аппарат, *2*—вращающиеся колосники, *3*—вентилятор, *4*—разгрузочный 3-клапанный затвор) или же с диском, лежащим на роликах (печь Круппа).



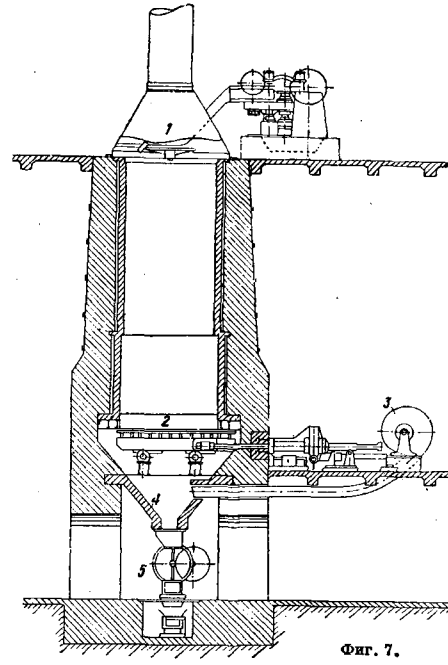
Фиг. 6.

2) Вращающиеся вальцы, дробящие и скалывающие клинкер (печь Маннштэдта). 3) Вращающиеся колосники из двух плоских горизонтальных решеток, двигающихся взад и вперед (печь Тилле, фиг. 7, где *1*—загрузочный аппарат, *2*—подвижные колосники, *3*—вентилятор, *4*—воронка, *5*—разгрузочный аппарат). Размеры автоматических шахтных печей: диам. шахты 2,50 *м*, высота печей 10—12 *м*; производительность их по мере усовершенствования возросла с 300 бочек в сутки (дутье до 400 *мм* и выше) до 600 бочек в сутки (дутье до 1 000 и более *мм* вод. ст.). Вводить под колосники все это количество воздуха нерационально, в силу чего воздух вдувают не только под колосники, но и ниже зоны спекания. В СССР выстроен новый завод с 4 автоматич. шахтными печами типа Круппа в Гайдуке близ Новороссийска, работающий на искусственной смеси мергелей с впрессовкой в брикеты антрацитового порошка. Производительность печи 325 бочек в сутки. Установлены автоматич. шахтные печи Маннштэдта в Амвросиевке и автоматич. шахтные печи Круппа в с. Подгорном.

б) Вращающаяся печь представляет собой медленно вращающийся и наклоненный к горизонту на 3—6° длинный железный цилиндр, выложенный внутри соответствующей футеровкой, причем шламм или мука вводится в верхний конец и движется навстречу горячим газам, получаемым от сгорания вдуваемой в нижнем конце угольной пыли или пульверизуемой нефти (мазут). В результате обжига во вращающейся печи получается клинкер в виде горошка, который самотеком выходит у нижнего конца и попадает или в холодильник в виде цилиндра меньшего диам., нежели печь, или же в малые барабаны, или рекуператоры, где и охлаждается воздухом, всасываемым эксгаустером. Первые вращающиеся печи были очень короткими, но с усовершенствованием их длина увеличивалась и достигла 112 *м* при сравнительно мало увеличившемся диам. Кроме увеличения длины вращающаяся печь в своем развитии получила у большинства конструкций еще и расширенную зону спекания. С увеличением длины печей росла их производительность, что видно из приведенных ниже данных:

Длина, *м*	30	40	50	60	70
Диам. печи, *м*	2,0	2,2	2,3	2,5	3,0
» расш. зоны, *м*	2,2	2,4	2,6	3,0	3,5
Суточная производ., *т*	70	85	120	160	215

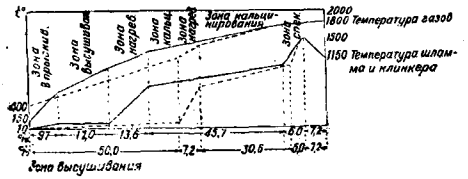
Новейшая печь длиной 93 *м*, диам. 2,6—2,9 *м* имеет производительность до 250 *т*. Корпус печи, стянутый стальными бандажами, вращается на роликах (число их зависит от размеров печи) при помощи электромотора и системы зубчатых передач. Недостатком вращающихся печей, в особенности работающих по мокрому способу, является большой расход тепла на испарение влаги шламма (30—45% тепла, получаемого от сгорания топлива). Для понижения этого расхода в США начали применять



Фиг. 7.

предварительное обезвоживание в дисковых вакуумфильтр-прессах до содержания влаги в 17—19% (шламм из известняка и глины) и 24—28% (шламм из мергелей). Вторая большая статья расхода тепла согласно данным тепловых балансов вращающихся печей—потеря тепла с отходящими газами, в особенности в печах, работающих по сухому способу (и по мокрому—в коротких печах). Для лучшей теплопередачи по мокрому способу подвешивают в холодном конце вращающихся печей железные цепи (по длине печей 10—12 *м*), которые отнимают значительную часть тепла отходящих газов и передают его шламму. Новейшие длинные вращающиеся печи, как «Унакс», имеют подвешенные для той же цели цепи. Отходящий газ вращающихся печей, работающих по сухому способу с $t°$ до 750°, используется в последнее время в США, Германии и других странах для нагрева паровых

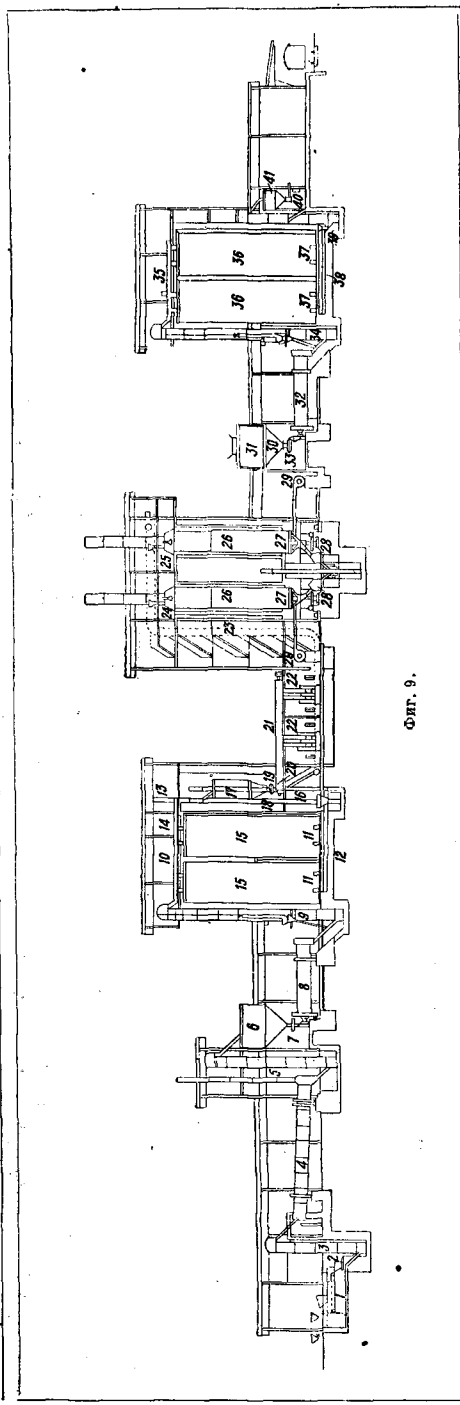
котлов. В настоящее время в Англии получил развитие способ впрыскивания шлама во вращающуюся печь по методу Ригби-Аллен, давший до 15—20% снижения расхода топлива и увеличивший производительность вращающейся печи до 20—25%. По этому способу шламм вследствие тонкого распыления и смешения его с отходящими газами значительно обезвоживается, $t°$ отходящих газов снижается



Фиг. 8.

с 400° до 150°; при этом происходит значительный рост зоны кальцинирования за счет предыдущих зон (фиг. 8: сплошные линии—способ с впрыскиванием, зона кальцинирования 45,7%; пунктирные линии—мокрый способ, зона кальцинирования 30,6%). Шахтные и вращающиеся печи футеруются шамотным кирпичом вплоть до самых высоких его сортов (динамидон, алюмидон и другие), богатых Al_2O_3; зона спекания во вращающейся печи, а также и вся печь в случае сырья с высоким силикатным и основным модулями футеруются только клинкерно-цементным бетоном, являющимся общераспространенным материалом в наст. время.

5. Хранение и перемол портланд-цементного клинкера. Клинкер из обыкновенных шахтных печей как несовершенных обжигательных аппаратов должен как правило вылеживаться некоторое время, прежде чем можно будет перемолоть его в порошок п.-цемента. Этим достигается естественная гидратация (за счет паров воды и CO_2 воздуха) недожженной части клинкера, содержащей свободную CaO. Клинкер автоматич. шахтных печей как более равномерно обожженный из искусственной однородной смеси требует недолгого хранения. Клинкер вращающихся печей из хорошо составленной смеси и хорошо обожженный совершенно не требует вылеживания и может тотчас по охлаждении итти в мельницу на перемол. Для хранения запасов клинкера, а также и вылеживания его строят клинкерные склады соответствующей емкости. Клинкер шахтных печей, представляя большие куски, часто требует до перемола раздробления, что и осуществляют в дробилках. Затем он идет на перемол в мельницах, таких же как и при перемоле сырья (шаровые, трубные или комбинированные), или же в мельницах с воздушным сепаратором, при помощи к-рого происходит отделение тяжелых частиц от легких; первые возвращаются в шаровую мельницу для перемола, а легкие и мелкие шнеком уводятся в силос. В настоящее время нашли большое распространение во всех странах Европы трехкамерные мельницы, описанные выше. В США пользуются большим распространением мельницы Гриффина, в которых тяжелый стальной вал—маятник,—быстро вращаясь, в силу центробежной силы прижимается к стальному кольцу и истирает клинкер. Их производительность 2,5—3,0 m в ч. В Германии начали строить подобные мельницы с 2 и даже с 4 маятниками.



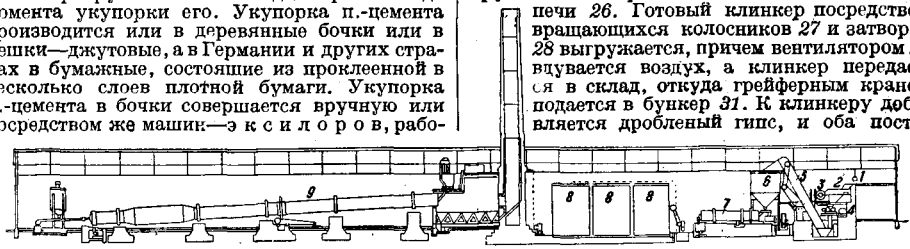
Фиг. 9.

При перемоле п.-цементного клинкера добавляют (для урегулирования времени схватывания) природный гипс в количестве 2—3%.

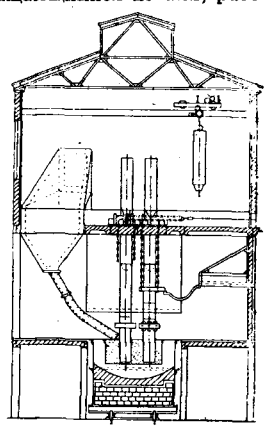
6. Хранение п.-цемента и его укупорка. Измолотый порошок п.-цемента транспортируется в силосы для хранения до момента укупорки его. Укупорка п.-цемента производится или в деревянные бочки или в мешки—джутовые, а в Германии и других странах в бумажные, состоящие из проклеенной в несколько слоев плотной бумаги. Укупорка п.-цемента в бочки совершается вручную или посредством же машин—эксилоров, работающих автоматически с помощью разрежения воздуха. Двойным эксилором укупоривают за 1 ч. до 100 бочек. Для насыпки в мешки применяют те же эксилоры или же новейшие амер. машины Бэйтса (Bates), автоматически насыпающие одновременно 2, 3 или 4 мешка. Их производительность—до 500 и более мешков в 1 ч.

7. Удаление пыли. По количеству образования пыли Ц. п. занимает одно из первых мест среди различных отраслей пром-сти. Поэтому в целях гигиенических, а также для избежания потерь в Ц. п. применяют разные способы удаления пыли, из к-рых до недавнего времени применялось три. Один, основанный на принципе уменьшения скорости движения пыльного воздуха, другой—путем фильтрования пыльного воздуха сквозь специальную ткань и третий—посредством центробежной силы. Лет 10 тому назад для удаления пыли в Ц. п. применен был способ с помощью электрич. тока высокого напряжения (Коттрель) сначала в США, а затем и в Европе, в особенности в Германии. Этот способ пылеудаления с помощью электрофильтров основан на способности электрического поля, получающегося при заряжении электрода внутри камеры электрич. током в 30 000—70 000 V, отталкивать частицы пыли к наружной стенке, где они, осаждаясь, падают книзу, лишившись заряда через наружную стенку. По германским данным (Lurgi) мощность электроустановок не превосходит 0,70—0,75 kW/м³ пыльного воздуха в 1 ск. при очистке на 98—99%.

8. Типовые схемы производства и оборудования п.-цементных з-дов. На фиг. 9 приведено расположение п.-цементного з-да, оборудованного автоматическими шахтными печами с вращающимися колосниками сист. Тилле. Сырой материал подается в соответствующей пропорции вагонетками к транспортеру *1*, затем в молоточную дробилку *2*, откуда элеватором *3* подается в сушильный барабан *4*. Высушенный материал элеватором *5* подается в бункер *6*, к-рый посредством тарелки *7* питает сырую мельницу *8*. Сырая мука элеватором *9* поднимается и с помощью шнеков *10* загружается в силосы *15* для сырой муки, причем перемешивание сырой муки производится посредством пенного устройства *11*, шнека *12*, элеватора *13* и шнека *14*. Готовая сырая мука элеватором *16* подается в бункер *17*. Антрацит, высушенный и перемолотый элеватором *18*, подается посредством тарелки *19* к сырой муке. Сырая мука с антрацитом шнеком *20* подается в смеситель *21*, где смачивается и перемешивается и идет под четырехштемпельные прессы *22*. Спрессованные брикеты подаются конвейером *23* на печи и через загрузочные аппараты *24* и *25* падают в шахту печи *26*. Готовый клинкер посредством вращающихся колосников *27* и затворов *28* выгружается, причем вентилятором *29* вдувается воздух, а клинкер передается в склад, откуда грейферным краном подается в бункер *31*. К клинкеру добавляется дробленый гипс, и оба поступают в мельницу *32* посредством тарелки *33*, вращающейся на вертикальной оси *30*. Порошок п.-цемента элеватором *34* и шнеком *35* подается в силосы *36*, откуда шнеками *37*, *38*, *39* и элеватором *40* подается в упаковочный силос *41*, из к-рого укупоривается в мешки или бочки и отгружается в вагоны ж. д. На фиг. 10 приведено расположение п.-цементного завода, оборудованного вращающимися печами, работающими по мокрому способу, системы «Соло» Полизиуса. Сырой материал подвозится по воздушной канатной дороге *1*, опрокидывается на транспортер *2*, равномерно подающий материал к дробилке *3*, затем в вальцовые мельницы *4*, из которых элеватором *5* поднимается к бункерам *6* сырых мельниц *7*. Шламм из сырых мельниц пневматически подается к бассейнам *8*, в которых перемешивается сжатым воздухом. Готовый шламм подается к вращающимся печам *9*. Обжиг ведется на твердом топливе (угле), которое сушится в барабанной сушилке, размалывается в угольной мельнице «Соло» и элеватором подается в силос, откуда шнеком и вентилятором высокого давления направляется в печь для сжигания. Клинкер транспортером и элеватором подается в склад, оттуда в цементные мельницы «Соло» вместе с гипсом. Порошок п.-цемента элеватором и шнеком подается в силосы для хранения, откуда по мере необходимости укупоривается.



Фиг. 10.



Фиг. 11.

9. Производство глиноземистого цемента. Основным сырьем для изготовления глиноземистого цемента служат бокситы и известняки. Известняки д. б. возможно чистыми, бокситы также лучшими по составу. Наиболее известны бокситы из Франции, Алжира, Далмации и других стран. Главная их составная часть Al_2O_3, затем H_2O и

SiO_2, присутствуют Fe_2O_3 и TiO_2. Могут употребляться и менее чистые бокситы, что отразится на составе готового продукта. Для производства глиноземистого цемента служат или плавильные печи с водяной рубашкой и дутьем (наподобие вагранок или домен) или же электрические электродные печи. Электродные печи в настоящее время нашли самое широкое распространение. Для получения цемента в плавильных печах сырые материалы должны быть высушены, измолоты, отпрессованы и загружены в печь вместе с коксом; при изготовлении глиноземистого цемента в электрических печах сырые материалы употребляются в природном состоянии, за исключением извести вместо известняка. В плавильных печах $t°$ достигает 1 500—1 600°, в результате чего клинкер расплавляется, собираясь внизу горна, откуда периодически выпускается. Производительность таких печей до 50 m в сутки при расходе топлива 50—60% от веса клинкера. В электрич. электродных печах (фиг. 11) $t°$ достигает 3 000°. Бокситы с избытком Fe_2O_3 и SiO_2 в условиях восстановительной плавки перерабатываются в глиноземистый цемент, давая в то же время и ферросилиций. Для получения 1 m глиноземистого цемента в электрич. электродных печах требуется в зависимости от состава 0,7—0,8 m боксита, 0,4—0,45 m обожженной извести при расходе 700—800 kWh и 7—8 *кг* угольных электродов; производительность печи до 60 m в сутки. Попытки применения для плавления клинкера глиноземистого цемента вращающейся печи, долго оставшиеся тщетными, в настоящее время увенчались успехом (Германия, Венгрия), причем футеровкой печи служит искусственный корунд, корафф ин, содержащий 95,5% Al_2O_3, 2% Fe_2O_3, 1,01% TiO_2, 1% SiO_2. Расплавленный клинкер выпускается из печей и застывает в твердую черную массу, которую подвергают тончайшему перемолу в современных многокамерных мельницах и получают глиноземистый цемент высоких свойств (см. *Цемент*).

10. Экономика цементной промышленности. Мировое производство цемента в 1927 г. по сравнению с 1913 г. удвоилось и было доведено до 67,9 млн. m. Все европ. цементные з-ды за этот период подняли выработку с 21 млн. m в 1913 г. до 30,5 млн. m в 1927 г. В 1927 г. главные государства произвели цемента (в млн. m): США 29,6, Германия 7,2, Англия 4,9, Франция 5,1, Япония 3,8, Италия 2,6. В б. России в довоенное время—ок. 2,0 млн. m, что тогда составляло 5% от мирового производства. В 1932 г. производство цемента в СССР по сравнению с довоенным производством более чем удвоилось, что видно из приведенной ниже табл., где указано также и производство цемента в США и Германии.

Производство цемента в США, Германии и СССР (в млн. m).

Страны	1913	1927	1928	1929	1930	1931	1932
США	15,3	29,6	30,09	29,03	27,45	21,26	13,3
Германия	7,5	7,2	7,6	7,00	5,51	3,72	2,8
СССР	1,6	1,8	1,9	2,36	3,11	3,33	3,50

В СССР число действующих з-дов п.-цемента всех марок, а также шлакового и пуццоланового п.-цемента достигает 42. Кроме того возводится ряд новых цементных з-дов.

Лит.: Наске К., Цементное производство, пер. с нем., М., 1928; Дементьев К., Технология строит. материалов, ч. 1—2, 3 изд., Баку, 1930; Головкин Н., Машины в цементном производстве, М.—Л., 1932; Щукин С., Новейшие автоматические шахтные печи, Ростов н/Д., 1932; Кинд В., Химич. характеристика портланд-цемента, пер. с нем., М.—Л., 1932; Schoch K., Die Mörtelbindestoffe, Zement, Kalk, Gips, 4 Aufl., B., 1928; Eckel E., Cements, Limes a. Plasters, N. Y., 1928; Salerno F., La technologia del cemento portland, Milano, 1931; Boéro J., Chaux hydrauliques et ciments, P., 1925; Meade R., Portland Cement, Easton, 1926; «Строительные материалы», М.; «Цемент», М.; «Zement»; «Tonindustrie-Ztg», B.; «Le Ciment», P.; «Cement and Cement Manufacture», L.; «Revue de matériaux de construction et de travaux publics», P. **В. Тарарин.**

ЦЕМЕНТ-ПУШКА, см. *Торкретирование.*

ЦЕНТР, см. *Конические сечения, Механика теоретическая, Триангуляция.*

ЦЕНТР ИНЕРЦИИ, центр масс, системы точек, точка приложения всех внешних сил, действующих на систему, когда она помещена в равномерном динамич. поле. Таким образом Ц. и. является центром параллельных сил, действующих на точки системы, и следовательно положение Ц. и. системы точек не зависит ни от напряжения поля ни от положения системы в этом поле. Координаты Ц. и. системы точек имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} x_c &= \frac{\Sigma mx}{M} \\ y_c &= \frac{\Sigma my}{M} \\ z_c &= \frac{\Sigma mz}{M} \end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

где M—масса всех точек системы; для однородного тела

$$\left.\begin{aligned} x_c &= \frac{\Sigma vx}{V} \\ y_c &= \frac{\Sigma vy}{V} \\ z_c &= \frac{\Sigma vz}{V} \end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

т. е. положение Ц. и. однородного тела не зависит от его плотности.

Закон движения Ц. и. Ур-ия движения точки с массой m_1 имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} m_1\frac{d^2x_1}{dt^2} &= X_1 + \xi_1 \\ m_1\frac{d^2y_1}{dt^2} &= Y_1 + \eta_1 \\ m_1\frac{d^2z_1}{dt^2} &= Z_1 + \zeta_1 \end{aligned}\right\}, \qquad (3)$$

где X_1, Y_1, Z_1—проекции на координатные оси внешней силы, приложенной к точке, ξ_1, η_1, ζ_1—проекции внутренней силы (или равнодействующей всех внутренних сил), приложенной к точке. Суммируя ур-ия движения системы точек относительно оси x-ов, имеем:

$$\Sigma m\frac{d^2x}{dt^2} = \Sigma X + \Sigma\xi \qquad (4)$$

или т. к. массы точек не зависят от времени, то

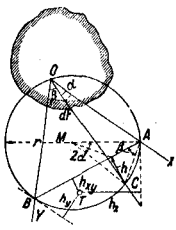
$$\frac{d}{dt^2}\Sigma mx = \Sigma X + \Sigma\xi.$$

Но из (1) $\Sigma mx = Mx_c$; кроме того $\Sigma\xi = 0$ как сумма проекций на ось x-ов всех внутренних сил системы. Аналогично $\Sigma\eta = 0$, $\Sigma\zeta = 0$. Следовательно

$$\left.\begin{aligned} M\frac{d^2x_c}{dt^2} &= \Sigma X \\ M\frac{d^2y_c}{dt^2} &= \Sigma Y \\ M\frac{d^2z_c}{dt^2} &= \Sigma Z \end{aligned}\right\}. \qquad (5)$$

Из сравнения последних ур-ий с ур-ием (4) видно, что Ц. и. системы точек движется так,

как если бы в нем была сосредоточена вся масса системы и к нему были приложены все внешние силы. Из ур-ий (5) следует, что внутренние силы не влияют на движение Ц. и., напр. давление пара как сила внутренняя по отношению к паровозу не может вызывать перемещения Ц. и. паровоза. В частном случае если $\Sigma X=\Sigma Y=\Sigma Z=0$, то, интегрируя уравнения (5), получаем



$$\left.\begin{aligned} x_c &= a_1 t + C_1 \\ y_c &= a_2 t + C_2 \\ z_c &= a_3 t + C_3 \end{aligned}\right\}. \quad (6)$$

Т. о. если нет внешних сил, то центр инерции системы движется прямолинейно и равномерно. См. *Масса* и *Механика теоретическая*.

Графическое определение Ц. и. По отношению к осям OX и OY (см. фигуру) центробежный момент инерции для элемента dF сечения будет

$$I_{xy}=\int x\cdot y\cdot dF.$$

Если через O и dF провести луч, то центробежный момент инерции можно выразить так:

$$I_{xy}=\int \varrho^2\cdot\sin\alpha\cdot\sin\beta\cdot dF,$$

где ϱ—расстояние от dF до O, α и β—углы, образуемые лучом с координатными осями. Если из произвольного центра M провести через O окружность, то перпендикуляр h, опущенный из C на хорду AB, выразится:

$$h=2r\cdot\sin\alpha\cdot\sin\beta$$

(A, B и C—точки пересечения окружности с осями координат и лучом). Т. о.

$$I_{xy}=\int\frac{\varrho^2\cdot dF}{2r}\cdot h.$$

Подинтегральное выражение можно рассматривать как статич. момент относительно оси AB элементарной силы $\frac{\varrho^2\cdot dF}{2r}$, сосредоточенной в точке C окружности. Если T—точка приложения равнодействующей всех этих сил для всего поперечного сечения F, а h_{xy}—расстояние ее до хорды AB, то

$$I_{xy}=h_{xy}\int\frac{\varrho^2\cdot dF}{2r}=h_{xy}\frac{I_0}{2r},$$

где I_0—полярный момент инерции площади F относительно точки O. Точка T приложения всех элементарных сил данной площади, перенесенных на окружность, есть Ц. и. Выведенное ур-ие справедливо при всяком положении осей, следовательно и для случаев, когда одна из них приходит к совмещению с другой, причем хорда AB переходит в касательную в точке A или B, h_{xy} переходит в h_x или h_y, I_{xy} превращается в моменты инерции I_x или I_y. Положение Ц. и. T при этом не меняется, т. к. зависит только от формы площади F, положения центра M и диаметра окружности. Т. о.

$$I_x=\int y^2\,dF=\int\varrho^2\sin^2\alpha\,dF=h_x\cdot\frac{I_0}{2r},$$

$$I_y=h_y\cdot\frac{I_0}{2r},$$

где h_x и h_y—соответственно расстояния центра инерции от обеих касательных в A и B. Если взять $2r=I_0$, то

$$I_{xy}=h_{xy},\ I_x=h_x,\ I_y=h_y.$$

Итак, при данных I_x, I_y, I_{xy} Ц. и. находят, описав из произвольного центра радиусом $r=\frac{1}{2}I_0$ окружность, проходящую через точку O. Особенное упрощение получается, когда обе оси OX и OY перпендикулярны друг к другу. Тогда $I_0=I_x+I_y$, хорда AB проходит через центр M окружности, h_x и h_y—параллельны этому диаметру. Определение положения главных осей инерции—см. *Момент*. **В. Никаноров.**

Лит.: см. *Масса*, *Момент* и *Механика теоретическая*.

ЦЕНТР КРИВИЗНЫ, см. *Дифференциальная геометрия*.

ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ системы материальных точек, точка приложения равнодействующей сил тяжести, приложенных ко всем точкам системы. Ц. т. системы точек является центром параллельных сил, пропорциональных массам материальных точек, поэтому помимо основного термина употребителен и другой—центр масс. В Ц. т. системы считается сосредоточенной вся ее масса без изменения момента системы относительно любой оси (для плоской линии и фигуры) или любой плоскости.

Если тело представляет систему конечного числа материальных точек, то вес тела выразится

$$P=\Sigma p_i,$$

где p_i—сила тяжести, приложенная к произвольной частице тела. Для определения положения Ц. т. твердого тела могут служить ф-лы для координат параллельных сил:

$$\bar{x}=\frac{\Sigma p_i x_i}{\Sigma p_i}=\frac{\Sigma p_i x_i}{P},$$

$$\bar{y}=\frac{\Sigma p_i y_i}{P},\quad \bar{z}=\frac{\Sigma p_i z_i}{P},$$

где x_i, y_i, z_i—координаты любой частицы твердого тела. Если Δv_i—бесконечно малый объем частицы тела, то плотность γ тела в данной точке выразится так:

$$\gamma=\frac{p_i}{\Delta v_i},$$

откуда $p_i=\gamma\cdot\Delta v_i$ и в случае однородного тела

$$P=\Sigma p_i=\Sigma\gamma\,\Delta v_i=\gamma\Sigma\Delta y_i=\gamma V$$

(V—объем тела). Предыдущие ф-лы преобразуются в следующие:

$$\bar{x}=\frac{\Sigma p_i x_i}{P}=\frac{\Sigma x_i\gamma\cdot\Delta v_i}{\gamma V}=\frac{\gamma\cdot\Sigma x_i\Delta v_i}{\gamma V}=\frac{\Sigma x_i\Delta v_i}{V},$$

$$\bar{y}=\frac{\Sigma y_i\Delta v_i}{V},\quad \bar{z}=\frac{\Sigma z_i\Delta v_i}{V},$$

следовательно Ц. т. однородного тела м. б. назван Ц. т. объема.

С понятием Ц. т. твердого тела связаны понятия Ц. т. поверхности и Ц. т. линии. Выделив бесконечно малый элемент Δs_i поверхности, выразим поверхностную плотность его:

$$\gamma_1=\frac{p_i}{\Delta s_i}$$

(p_i—вес элемента поверхности), откуда $p_i=\gamma_1\cdot\Delta s_i$, а вес всей однородной поверхности

$$P=\Sigma p_i=\Sigma\gamma_1\Delta s_i=\gamma_1\Sigma\Delta s_i=\gamma_1 S$$

(S—площадь всей поверхности). Для определения координат Ц. т. поверхности будут служить ф-лы:

$$\bar{x}=\frac{\Sigma p_i x_i}{P}=\frac{\Sigma\gamma_1 x_i\Delta s_i}{\gamma_1 S}=\frac{\gamma_1\Sigma x_i\Delta s_i}{\gamma_1 S}=\frac{\Sigma x_i\Delta s_i}{S},$$

$$\bar{y}=\frac{\Sigma y_i\Delta s_i}{S},\quad \bar{z}=\frac{\Sigma z_i\Delta s_i}{S}.$$

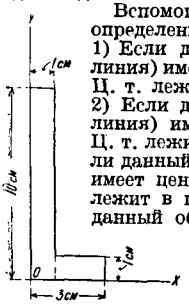
Для определения Ц. т. линии выделим элемент ее Δl_i весом p_i; линейная плотность его

$$\gamma_2=\frac{p_i}{\Delta l_i},$$

откуда после преобразований ф-лы для определения Ц. т. линии получают следующий вид:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x_i \Delta l_i}{L}, \quad \bar{y} = \frac{\Sigma y_i \Delta l_i}{L}, \quad \bar{z} = \frac{\Sigma z_i \Delta l_i}{L},$$

где L — длина линии.



Фиг. 1.

Вспомогательными теоремами при определении Ц. т. служат следующие. 1) Если данный объем (поверхность, линия) имеет плоскость симметрии, то Ц. т. лежит в плоскости симметрии. 2) Если данный объем (поверхность, линия) имеет ось симметрии, то его Ц. т. лежит на оси симметрии. 3) Если данный объем (поверхность, линия) имеет центр симметрии, то его Ц. т. лежит в центре симметрии. 4) Если данный объем (или поверхность) состоит из нескольких частей, то Ц. т. может быть определен как Ц. т. нескольких материальных точек, получаемых, если сосредоточить вес каждой отдельной части в ее Ц. т., напр. Ц. т. уголка (фиг. 1) определится сл. обр.:

$$\bar{x} = \frac{8 \cdot 0{,}5 + 2 \cdot 2}{8+2} = 0{,}8 \text{ см},$$

$$\bar{y} = \frac{8 \cdot 4 + 2 \cdot 0{,}5}{8+2} = 3{,}3 \text{ см}.$$

Применим методы интегрального исчисления к нахождению сумм $\Sigma p_i x_i$, $\Sigma x_i \Delta v_i$. Пример 1. Найти Ц. т. дуги, составляющей четверть окружности (фиг. 2). Если $x^2 + y^2 = a^2$ есть ур-ие окружности, то

$$dl = \sqrt{dx^2 + dy^2} = \frac{a}{y}\,dx$$

и

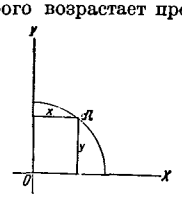
$$\int_0^a y\,dl = \int_0^a y \cdot \frac{a}{y}\,dx = a^2,$$

отсюда

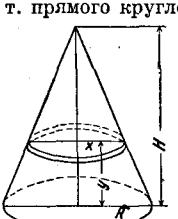
$$\bar{y} = \frac{\int_0^a y\,dl}{l} = \frac{a^2}{\frac{\pi a}{2}} = \frac{2a}{\pi}.$$

То же значение имеет $\bar{x}$ (в виду симметрии). Пример 2. Найти Ц. т. прямого круглого конуса, плотность которого возрастает пропорционально расстоянию слоя от основания (H — высота конуса, R — радиус основания). Разделив конус на слои, параллельные основанию, рассмотрим слой на расстоянии y от основания (фиг. 3). Отбрасывая бесконечно малые высших порядков, примем объем слоя равным $\pi x^2 dy$, а плотность его равной ky, где k = Const. Т. о. масса слоя

$$dm = k\pi x^2 y\,dy.$$



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Так как

$$x = \frac{R}{H}(H - y),$$

то

$$\int y\,dm = \int_0^H \frac{k\pi R^2}{H^2}(H-y)^2 y^2\,dy = \frac{k\pi R^2 H^3}{30};$$

$$M = \int dm = \int_0^H \frac{k\pi R^2}{H^2}(H-y)^2 y\,dy = \frac{k\pi R^2 H^2}{12}.$$

Следовательно

$$\bar{y} = \frac{\int y\,dm}{M} = \frac{2}{5}H.$$

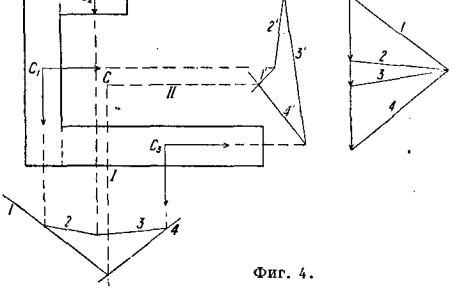
В нек-рых случаях Ц. т. площадей и линий очень просто определяются на основании двух теорем Паппа (Гульдена). 1) Если плоская линия вращается вокруг оси, лежащей в плоскости этой линии, но не пересекающей ее, то образующаяся поверхность численно равна произведению длины вращающейся линии на длину пути, описанного Ц. т. этой линии. 2) Если плоская фигура вращается вокруг оси, лежащей в ее плоскости, но этой фигуры не пересекающей, то объем получающегося тела вращения численно равен произведению площади вращающейся фигуры на длину пути, описанного ее Ц. т. Приложим последнюю теорему к нахождению Ц. т. полукруга. Если полукруг вращается около своего диаметра, то

$$\frac{4}{3}\pi a^3 = 2\pi\bar{y} \cdot \frac{1}{2}\pi a^2,$$

откуда

$$\bar{y} = \frac{\frac{4}{3}\pi a^3}{\pi^2 a^2} = \frac{4a}{3\pi}.$$

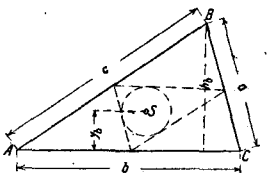
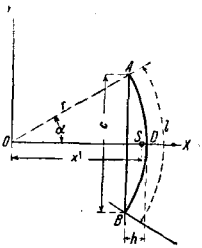
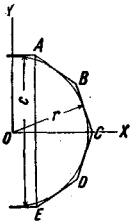
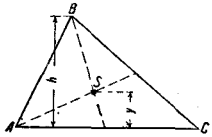
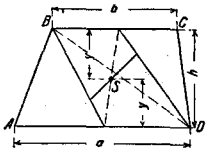
Применение веревочного многоугольника к определению Ц. т. площадей. Разбивают площадь мн-ка (фиг. 4)



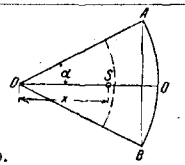
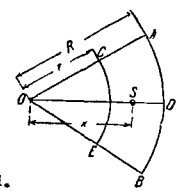
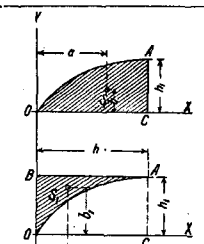
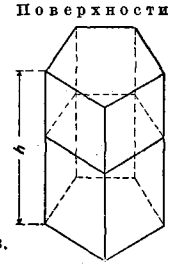
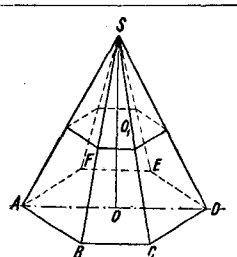
Фиг. 4.

на части, положение Ц. т. к-рых известно, и прикладывают в Ц. т. вертикальные силы, пропорциональные площадям. Построив веревочный мн-к, продолжают крайние стороны его и через точку пересечения их проводят прямую I, параллельную силам; она и будет линией действия равнодействующей. Повернув силы вокруг точек их приложения на нек-рый угол, строят снова линию действия II равнодействующей. Искомый Ц. т. находится в точке пересечения C обеих линий действия равнодействующей. Если мн-к имеет ось симметрии, построение второго веревочного мн-ка излишне. На фиг. 4 силы повернуты вокруг C_1, C_2 и C_3 на 90°, и потому веревочный мн-к $1'$, $2'$, $3'$, $4'$

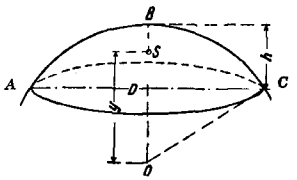
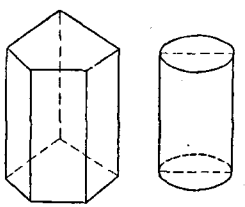
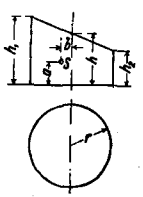
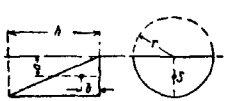
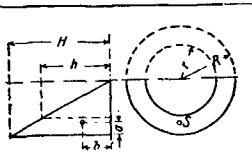
Центры тяжести наиболее употребительных фигур.

Название фигуры	Вид фигуры	Координаты Ц. т. фигуры
	Линии	
Периметр треугольника ABC $a+b+c=2p$	 Фиг. 5.	Ц. т. в центре круга, вписанного в тр-к, вершины к-рого лежат на серединах сторон данного тр-ка: $y_b=\frac{1}{2}h_b\cdot\frac{a+c}{a+b+c}$
Дуга ADB круга $l=\frac{r\cdot\alpha\cdot\pi}{90}\cong 0{,}0349\,r\alpha$	 Фиг. 6.	$\bar{x}=\frac{r\cdot c}{l}=\frac{c(c^2+4h^2)}{8lh}=r\cdot\frac{\sin\alpha}{\alpha}$. Для полуокружности $\alpha=\frac{\pi}{2}$ и $\bar{x}=\frac{2r}{\pi}\cong 0{,}6363r$; для $^1/_4$ окружности $\bar{x}=\frac{2r\sqrt{2}}{\pi}\cong 0{,}9003r$; для произвольных плоских дуг $DS\cong\frac{h}{3}$
Часть периметра правильного мн-ка $ABCDE$	 Фиг. 7.	$\bar{x}=\frac{r\cdot c}{L}$, где r—радиус вписанного круга, L—длина ломаной линии $ABCDE$
	Площади	
Тр-к ABC $s=\frac{bh}{2}=\frac{b}{2}\sqrt{a^2-\left(\frac{a^2+b^2-c^2}{2b}\right)^2}$; $s=\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$	 Фиг. 8.	$\bar{y}=\frac{h}{3}$. Ц. т. лежит на линии, соединяющей вершину с серединой противоположной стороны, на $^1/_3$ высоты, считая от основания. Координаты S составляют среднее арифметическое координат вершин тр-ка, напр. $\bar{x}=\frac{x_1+x_2+x_3}{3}$
Трапеция $ABCD$ $s=\frac{(a+b)h}{2}$	 Фиг. 9.	$y=\frac{h}{3}\cdot\frac{a+2b}{a+b}$; $y'=\frac{h}{3}\cdot\frac{2a+b}{a+b}$

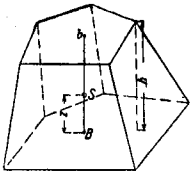
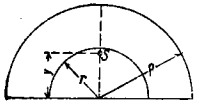
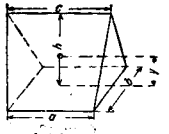
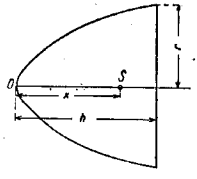
(Продолжение)

Название фигуры	Вид фигуры	Координаты Ц. т. фигуры
Круговой сектор $OADB$ $s = \frac{1}{2} rl \cong 0{,}01745\ \alpha r^2$ (см. фиг. 6)	 Фиг. 10.	$\bar{x} = \frac{2}{3} r \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha}$. Для полукруга $\bar{x} = \frac{4r}{3\pi} \cong 0{,}4244\ r$; для четверти круга $\bar{x} = \frac{4\sqrt{2} \cdot r}{3\pi} \cong 0{,}6002\ r$
Круговой сегмент ADB $s = \frac{1}{2} [rl - c(r-h)]$	См. фиг. 6.	$\bar{x} = \frac{c^3}{12s} = \frac{2}{3} \cdot \frac{r^3 \sin^3 \alpha}{s}$; $\bar{x} = \frac{2}{3} r \cdot \frac{\sin^3 \alpha}{\alpha - \sin \alpha \cos \alpha}$
Часть кругового кольца $ABEC$ $s = \pi(R^2 - r^2)$	 Фиг. 11.	$\bar{x} = \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha}$
Парабола $s = \frac{2}{3} xy$	 Фиг. 12.	$a = \frac{3h}{5}$, $b = \frac{3h_1}{8}$; $a_1 = 0{,}2h$, $b_1 = 0{,}75h_1$
	Поверхности	
Боковая поверхность прямой призмы $2p \cdot h$ ($2p$—периметр основания)	 Фиг. 13.	Ц. т. совпадает с Ц. т. периметра среднего перпендикулярного сечения
Боковая поверхность правильной пирамиды и прямого кругового конуса $s_{пир.} = ph_1$ (p—полупериметр основания; h_1—апофема пирамиды); $s_{кон.} = \pi rl$ (l—образующая)	 Фиг. 14.	Ц. т. совпадает с Ц. т. периметра сечения, проведенного перпендикулярно к высоте, на расстоянии $^1/_3$ высоты, считая от основания

(Продолжение)

Название фигуры	Вид фигуры	Координаты Ц. т. фигуры
Поверхность шарового сегмента и шарового пояса $s = 2\pi rh$	 Фиг. 15.	$y = OB - BS = r - \frac{h}{2}$. Для $h = r$ $y = r - \frac{r}{2} = \frac{r}{2}$. В случае шарового пояса Ц. т. будет лежать также на середине стрелки
	Объемы	
Призма и цилиндр $V = b \cdot h$ (b—площадь основания, h—высота); $V = \pi r^2 h$ (r—радиус основания; h—высота)	 Фиг. 16.	Ц. т.—на середине прямой, соединяющей Ц. т. площадей оснований
Наклонно усеченный круглый цилиндр $s = \pi r(h_1 + h_2)$; $V = \frac{1}{2} \pi r^2 (h_1 + h_2)$	 Фиг. 17.	$a = \frac{h}{2} + \frac{1}{8} \cdot \frac{r^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{h}$; $b = \frac{1}{4} \cdot \frac{r^2 \operatorname{tg} \alpha}{h}$ (α—угол наклона сечения к плоскости основания)
Цилиндрическая подкова $s = 2rh_1$ $V = \frac{2}{3} r^2 h$	 Фиг. 18.	$a = \frac{3}{16} \pi r$; $b = \frac{3}{32} \pi h$; для цилиндрической поверхности подковы $a = \frac{1}{4} \pi r$; $b = \frac{1}{8} \pi h$
Цилиндрическая полая подкова	 Фиг. 19.	$R - a = \frac{3}{16} \pi \frac{R^4 - r^4}{R^3 - r^3}$; $b = \frac{3}{32} \pi \frac{H^4 - h^4}{H^4 - h^4}$
Пирамида, конус $V = \frac{1}{3} b \cdot h$; $V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$	См. фиг. 14.	Ц. т.—на оси на расстоянии $^1/_4$ высоты, считая от основания

(Продолжение)

Название фигуры	Вид фигуры	Координаты Ц. т. фигуры
Усеченная пирамида и усеченный конус $V=\frac{h}{3}\cdot(B+b+\sqrt{Bb})$; $V=\frac{h}{3}\cdot\pi(R^2+r^2+Rr)$	 Фиг. 20.	$z=\frac{h(B+2\sqrt{Bb}+3b)}{4(B+\sqrt{Bb}+b)}$; $z=\frac{h(R^2+2Rr+3r)}{4(R^2+Rr+r^2)}$. Ц. т. — на прямой, соединяющей Ц. т. оснований
Шаровой сектор $V=\frac{2}{3}\pi r^2h=2{,}0944r^2h$	См. фиг. 10 и 15.	$y=\frac{3}{8}(1+\cos\alpha)r=\frac{3}{8}(2r-h)$. Для полушара $y=\frac{3}{8}r$
Шаровой сегмент $V=\pi h^2\left(r-\frac{h}{3}\right)$	См. фиг. 15.	$y=\frac{\pi l^4}{61V}$, где $l=AC$, или $y=\frac{3(2r-h)^2}{4(3r-h)}$, $y_1=DS=\frac{h(4r-h)}{4(3r-h)}$. Для полушара $y=y_1=\frac{3}{8}r$
Полый полушар $\frac{2}{3}\pi(R^3-r^3)$	 Фиг. 21.	$y=\frac{3}{8}\cdot\frac{R^4-r^4}{R^3-r^3}$
Клин $V=\frac{(2a+c)bh}{6}$	 Фиг. 22.	$y=\frac{h(a+c)}{2(2a+c)}$. Ц. т. — на прямой, соединяющей Ц. т. основания с серединой острия клина
Параболоид вращения $V=\frac{1}{2}\pi r^2h$	 Фиг. 23.	$x=\frac{2}{3}h$

построен непосредственно (без построения нового мн-ка сил), т. к. стороны его д. б. перпендикулярны к соответствующим лучам мн-ка *сил 1, 2, 3, 4*.

Выше в таблице приведены координаты Ц. т. наиболее часто встречающихся фигур.

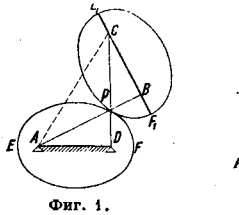
Лит.: см. *Механика теоретическая*. **В. Никаноров.**

ЦЕНТРИФУГА, машина или прибор, служащие для разделения путем использования центробежной силы сыпучих тел и жидкостей разного уд. в. и для отделения жидкостей от твердых тел.

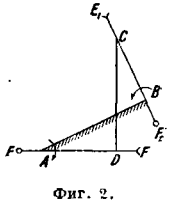
Ц. находят широкое применение в разных отраслях пром-сти: 1) в с. х-ве—при обработке молока для отделения сливок (см. *Сепаратор*), для выделения меда из сотов (см. *Мед*), при очистке хлебного зерна (см. *Очистка зерна*, Ш в ы р я л к а); 2) в горном деле машины, построенные по типу Ц., применяют при *обогащении полезных ископаемых* (см.); 3) при лабораторных исследованиях, напр. при анализах жира в молоке (см. *Бутирометр*); 4) в крахмало-паточном производстве для выделения из крахмального молока *крахмала* (см.) при помощи т р е н ш л е й д е р о в или для сушки крахмала на о с у ш а ю щ и х Ц.; 5) в пищевкусовой пром-сти, напр. на *кухнях-фабриках* (см.) для очистки клубнеплодов от кожуры; 6) в коммунальном х-ве, напр. в *прачечных* (см.) для отжима воды из белья. Этого типа Ц. применяются также и в текстильной пром-сти при обработке шерсти, при выработке *искусственного шелка* (см.); 7) в химич. технологии (напр. при обработке крови на альбумин, см. *Крови переработка*, К р о в я н ы е с е п а р а т о р ы); 8) в дрожжевой пром-сти для отделения *дрожжей* (см.) из сусла применяют д р о ж ж е в ы е с е п а р а т о р ы; 9) в мукомольной пром-сти, напр. д и с к о в ы е а с п и р а т о р ы (см. *Сепаратор*).

ЦЕНТРОИДА, п о л о и д а, геометрич. место мгновенных центров (полюсов) скоростей при всяком непоступательном движении плоской фигуры. Мгновенным центром вращения для данного положения отрезка, движущегося в плоскости, является точка пересечения нормалей к траекториям, описываемым концами отрезка. Мгновенный центр, меняя свое положение, образует траекторию как в неподвижной, так и в движущейся плоскости. Геометрич. место мгновенных центров на неподвижной плоскости называется н е п о д в и ж н о й Ц. (полоидой), на самой фигуре—п о д в и ж н о й Ц. По теореме Пуансо непрерывное движение плоской фигуры в ее плоскости м. б. получено, если, построив две Ц. и соединив одну из них неизменяемо с плоской фигурой, катить без скольжения первую Ц. по второй (неподвижной). Меняя роли Ц., т. е. делая подвижную Ц. неподвижной и неподвижную подвижной, получают движение, называемое о б р а щ е н н ы м по отношению к первоначальному (см. *Аксоиды. Механика теоретическая*). При каждом повороте подвижной системы одна определенная точка ее совпадает с полюсом, лежащим в неподвижной плоскости. Точка эта называется подвижным полюсом или подвижным центром вращения.

С понятием Ц. связан ряд вопросов прикладной кинематики (профилирование зубчатых колес, выбор очертаний в механизме катящихся рычагов и пр.). Изучение Ц. позволяет глубже исследовать движение: нередко выясняется, что движения, производимые совершенно различными с внешней стороны способами, оказываются кинематически вполне эквивалентными; выясняется смысл обращенного движения механизма и пр. (см. *Механика прикладная*). П р и м е р. Рассмотрим механизм а н т и п а р а л л е л о г р а м а (частный случай двухкривошипного механизма), противолежащие звенья которого $AB = CD = 2a$; $BC = AD = 2c$ (фиг. 1), причем $a > c$. В плоском движении, совершаемом звеном BC относительно звена AD, называемого с т о й к о й, траектории его точек B и C — окружности радиусов AB и DC. Мгновенный центр лежит на пересечении нормалей к этим окружностям (или перпендикуляров к скоростям точек B и C), т. е. в точке P. Из равенства тр-ков ABC и ADC следует, что $\angle ABC = \angle ADC$; т. о. $\Delta APD = \Delta CPB$, откуда $AP = PC$; $BP = PD$ и потому



Фиг. 1.



Фиг. 2.

$$AP + BP = AP + PD = 2a.$$

Точно так же

$$CP + PD = CP + PB = 2a.$$

Итак, сумма расстояний мгновенного центра P от двух неподвижных точек A и D есть величина постоянная. Неподвижная Ц.—эллипс с фокусами в точках A и D, с большой полуосью a и малой полуосью $b = \sqrt{a^2 - c^2}$. Аналогично подвижная Ц.—также эллипс с полуосями той же величины и с фокусами C и B. Т. о. движение, при котором второй эллипс катится без скольжения по неподвижному эллипсу, кинематически эквивалентно движению звена BC антипараллелограма относительно звена AD. Движение этих звеньев друг относительно друга м. б. осуществлено напр. при помощи двух эллиптических зубчатых колес EF и E_1F_1, из которых первое будет вращаться около оси, проходящей через фокус A, а второе—около оси, проходящей через фокус B. Подобным образом если закрепить звено AB и освободить звено AD (фиг. 2), то движение звена CD (противоположного стойке) будет кинематически эквивалентно движению двух Ц., представляющих собою гиперболы. **В. Никаноров.**

Лит.: см. *Механика прикладная* и *Механика теоретическая*.

ЦЕНТРЫ РАДИОТЕЛЕГРАФНЫЕ, см. Дополнительный том.

ЦЕОЛИТЫ, обширная группа минералов, представляющих собой водные алюмосиликаты гл. обр. кальция и натрия. Нек-рые минералы этой группы не содержат глинозема (апофилит, инезит), в других присутствуют барий, стронций, марганец, калий, фтор. Кристаллы различных Ц. принадлежат ко всем кристаллич. системам. Ц. являются минералами вторичного происхождения как продукт разложения (при обилии водных растворов) различных силикатовых, гл. обр. вулканических, горных пород (базальтов, трахитов, мелафиров, фонолитов и др.). Часто Ц. образуются при выветривании

полевых шпатов, нефелина, лейцита, скаполита, содалита и др. Ц. встречаются гл. образом в пустотах и трещинах выветривающихся горных пород; как новейшие образования Ц. встречаются на стенах древних зданий, выстроенных из вулканич. пород, и в отложениях теплых источников. Ц.—бесцветны, часто белые или окрашены посторонними примесями в красноватые, желтые, бурые и другие цвета; блеск свежедобытых Ц.—стеклянный, перламутровый, но быстро тускнеющий; твердость 3,5—5,0; уд. в. 2,2—2,3. Ц. обладают важным свойством обменного замещения их щелочных и щелочноземельных оснований при действии друг на друга растворов их солей. Для Ц. характерно содержание воды, **цеолитной воды**, к-рая легко выделяется даже при слабо повышенной $t°$, а при сухом воздухе даже при обыкновенной $t°$; нек-рые Ц. теряют воду только при сильном нагревании; во влажном воздухе кристаллизационная вода, выделившаяся при невысоких $t°$, вновь возмещается. Крепкие кислоты разлагают Ц. с выделением студенистого, порошковатого, хлопьевидного кремнезема. Все Ц. плавятся легко, причем перед паяльной трубкой вспучиваются, вскипают, почему и получили такое название [цео (дзео)—вскипать, литос—камень]; в воде легко растворяются, легко вступают в различные реакции, давая различные растворимые в воде соли; поэтому Ц., находясь в почве, являются ценным питательным веществом для растений. Наиболее распространенные Ц. следующие: кубической системы — анальцим, алюмосиликат Na и второстепенных (Ca, K), файязит, Ca, Na; квадратной системы—апофилит, Ca, (K, F); гексагональной системы—шабазит, Ca, (K, Na), гмелинит, Na, Ca, (K); ромбич. системы—натролит, Na, томсонит, Ca, Na, (K); моноклинной системы—десмин, Ca, (Na), брюстерит, Sr, Ba, (Ca), эпистильбит, Ca, (Na), гармотом, Ba, (K), гейландит, Ca, (Sr, K), ломонтит, Ca, мезолит, Ca, Na, сколецит, Ca; триклинной системы—инецит, Mn, Ca.

Месторождения Ц.: в базальтах и фонолитах—в Исландии, Тироле, Силезии и пр.; в гранитах—в Силезии, Южной Норвегии; в диабазах—близ Биденкопфа в Гессене, близ Bergen Hill в штате Нью Йорк; в гнейсах—во многих местах Альп. В СССР: в Забайкалии по рекам Кулинде и Чикою (натролит); горы: Благодать на Урале, Ацхур на Кавказе, Карадаг в Крыму (анальцим); окрестности Боржома на Кавказе (десмин); на Кольском полуострове (в Хибинах) и в других местах.

Применение Ц.:—ограниченное; обычно применяются в фильтрах для очищения загрязненной воды; нек-рые Ц. шлифуются для украшений. В последнее время широко стали применяться искусственные цеолиты под названием ***пермутитов*** (см.).

Лит.: Ферсман А., Материалы к исследованию цеолитов России, «IV общий обзор Тр. ГММ, 1916», П., 1922, т. 2, выпуск 7; Потресов М., Цеолитовый способ исправления жестких вод, Москва, 1912; Федоровский Н., Курс минералогии, Москва—Ленинград—Новосибирск, 1932; Нечаев А., Минералогия, Москва—Ленинград, 1931; Лебедев Г., Учебник минералогии, Петербург, 1907; Gans R., Zeolithe u. ähnliche Verbindungen u. s. w., «Jahrb. d. Königl. Geol. Landesanstalt u. Bergakademie», B., 1905; Gans R., Konstitution d. Zeolithe, ihre Herstellung u. techn. Verwendung, ibid., 1906. **И. Мушенко.**

ЦЕПИ, см. Дополнительный том.

ЦЕПНАЯ ЛИНИЯ, трансцендентная кривая, форму к-рой принимает упругая нерастяжимая нить, подвешенная в двух точках и несущая равномерно распределенную по ее длине нагрузку. Ур-ие Ц. л.:

$$y=\frac{a}{2}\left(e^{\frac{x}{a}}+e^{-\frac{x}{a}}\right)=a\operatorname{ch}\frac{x}{a},$$

откуда видно, что Ц. л. симметрична по отношению к оси y-ов; ее вершина (низшая точка) имеет ординату a (фигура).

Уравнение касательной в точке $P_0(x_0, y_0)$:

$$\frac{y-y_0}{x-x_0}=\operatorname{tg}\alpha=\frac{dy}{dx}=\frac{\sqrt{y_0^2-a^2}}{a}=$$
$$=\frac{1}{2}\left(e^{\frac{x_0}{a}}-e^{-\frac{x_0}{a}}\right)=\operatorname{sh}\frac{x_0}{a}.$$

Построение касательной. Строят на PP' полуокружность, откладывают от P' хорду $P'T$, равную a; PT—касательная (T—точка эвольвенты Ц. л.).

Радиус кривизны (равен нормали цепной линии)

$$\varrho=\frac{y^2}{a}.$$

Длина дуги:

$$s=\frac{a}{2}\left(e^{\frac{x}{a}}-e^{-\frac{x}{a}}\right)=a\operatorname{sh}\frac{x}{a}=\sqrt{y^2-a^2}=PT.$$

Площадь $OAPP'$ (пропорциональна длине дуги AP)

$$F=\frac{1}{2}a^2\left(e^{\frac{x}{a}}-e^{-\frac{x}{a}}\right)=a^2\operatorname{sh}\frac{x}{a}=$$
$$=a\cdot\sqrt{y^2-a^2}=2\,\Delta\,PP'T=a\cdot s.$$

Параметрические уравнения. Если ввести в качестве параметра угол α наклона касательной к оси x-ов, то предыдущие ур-ия примут вид:

$$x=a\operatorname{Ar\,sh}(\operatorname{tg}\alpha),\quad y=\frac{a}{\cos\alpha};\quad \varrho=\frac{a}{\cos^2\alpha}=\frac{y}{\cos\alpha};$$
$$\operatorname{tg}\alpha=\operatorname{sh}\frac{x}{a};\quad F=a^2\operatorname{tg}\alpha;\quad s=a\cdot\operatorname{tg}\alpha.$$

Построение Ц. л. 1) Параметр a дан; наносят линию с помощью таблиц гиперболич. ф-ий. 2) Даны длина $2L$ Ц. л. и расстояние $2l$ между двумя симметричными точками; на основании предыдущего

$$L=a\operatorname{tg}\alpha;\quad x-l=a\operatorname{Ar\,sh}(\operatorname{tg}\alpha)$$

и если $\operatorname{tg}\alpha=\operatorname{sh}\nu$, то

$$\frac{L}{l}=\frac{\operatorname{sh}\nu}{\nu}.$$

Из таблиц подбирают соответствующее значение ν и отсюда $\operatorname{tg}\alpha$ и α. Тогда:

$$a=\frac{L}{\operatorname{tg}\alpha}=\frac{L}{\operatorname{sh}\nu}=\frac{l}{\nu};\quad y=\frac{L}{\sin\alpha}.$$

Если даны расстояние $2l$ симметрично расположенных точек и стрелка провеса f, то

$$x=l=a\operatorname{Ar\,sh}(\operatorname{tg}\alpha)=a\nu,\quad \frac{f}{l}=\frac{\operatorname{ch}\nu-1}{\nu};$$
$$f=\frac{a}{\cos\alpha}-a=a\,(\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha}-1)=$$
$$=a\,(\sqrt{1+\operatorname{sh}^2\nu}-1)=a\,(\operatorname{ch}\nu-1);$$

ν, как и выше, определяют из таблиц; отсюда

$$a=\frac{l}{\nu},\quad L=l\cdot\frac{\operatorname{sh}\nu}{\nu}.$$

Ц. л. как веревочная кривая—см. *Веревочный многоугольник*.

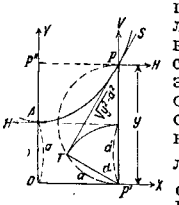
Если нагрузка равномерно распределена не по пролету, а по длине цепи (собственный вес и т. п.) и величина нагрузки на единицу длины составляет q *кг/м*, то натяжение S в произ-

вольной точке цепи, горизонтальная и вертикальная составляющие его H и V выразятся:

$$H = q \cdot a = q\sqrt{y^2 - s^2};\quad V = q \cdot s;\quad S = q \cdot y,$$

где s—длина дуги Ц. л. (фигура); следовательно параметр $a = \frac{H}{q}$.

Теория Ц. л. применяется при расчете силы натяжения и величины провеса в случае упругих опор (разгрузочные и угловые мачты воздушных проводов для сильных токов; висячие мосты и пр.). Коэф. a зависит от силы натяжения и от веса провода. В известных случаях (например подвесные дороги) он настолько велик, что дробь $\frac{x}{a}$ мала и при очень больших значениях x. В этих случаях очень выгодно, разложив показательные ф-ии в ряд, взять только несколько первых членов ряда. Т. о. (см. *Дифференциальное исчисление*):



$$e^{\frac{x}{a}} = 1 + \frac{x}{a} + \frac{x^2}{2\,a^2} + \frac{x^3}{6\,a^3} + \ldots$$

$$e^{-\frac{x}{a}} = 1 - \frac{x}{a} + \frac{x^2}{2\,a^2} - \frac{x^3}{6\,a^3} + \ldots$$

и ур-ие Ц. л. примет вид:

$$y = \frac{a}{2}\left(e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}}\right) = a + \frac{x^2}{2a} + \frac{x^4}{24\,a^3} + \ldots$$

Для малых значений $\frac{x}{a}$ наиболее простой формой Ц. л. является

$$y = a + \frac{x^2}{2a},$$

т. е. парабола (известно, что Галилей отождествлял Ц. л. с параболой).

Пример. Определить форму провода, если расстояние между его опорами 80 *м* и длина стрелки 1 *м*.—Перенеся начало координат в низшую точку провода, получаем уравнение провода в виде

$$y = \frac{x^2}{2a}.$$

Т. к. $y = 1$ *м* при $x = 40$ *м*, то $1 = \frac{40^2}{2a}$ и $a = 800$, следовательно ур-ие провода будет:

$$y = \frac{x^2}{1\,600}.$$

Ур-ие же Ц. л. при тех же условиях имеет вид

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot 800} + \frac{x^4}{24 \cdot 800^3} + \frac{x^6}{720 \cdot 800^5} + \ldots$$

Разница между ординатами обеих кривых

$$\frac{x^4}{24 \cdot 800^3} + \frac{x^6}{720 \cdot 800^5} + \ldots$$

В виду быстрого убывания членов ряда она м. б. принята равной приблизительно первому члену

$$\frac{40^4}{24 \cdot 800^3} = \frac{40}{24} \cdot \left(\frac{40}{800}\right)^3 = \frac{5}{24\,000}\ м = \frac{5}{24}\ мм.$$

Цепная линия может характеризовать функцию изменения расчетной нагрузки арочных мостов в зависимости от формы свода. См. *Кривые*, *Металлические мосты*, Висячие мосты, *Транспорт подвесной*, *Гиперболические функции*. **В. Никаморов.**

ЦЕПНОЕ СУДОХОДСТВО (туерное судоходство), способ передвижения судов путем перетягивания судна по неподвижной цепи, лежащей на дне канала или реки. Ц. с. применяется для буксировки барж по быстрым или порожистым рекам вверх по течению, в случае непригодности этих рек для движения обычных паровых судов. Применяется также на небольших каналах во избежание размыва их берегов струями воды, отбрасываемыми винтами или колесами пароходов. У нас имеется на р. Шексне. Цепь для движения судна укладывают вдоль канала по его дну на протяжении всей длины участка реки или канала. Суда специальной конструкции, имеющие в обеих оконечностях кормовые обводы с рулями, снабжены в днище двумя *отверстиями*, через которые цепь входит внутрь судна и выходит из него. Цепь протягивается через судно с одного конца, проходя через горизонтальный барабан брашпиля, приводимый во вращательное движение вручную или же паровой машиной. При вращении брашпиля цепь наматывается на барабан, благодаря чему судно начинает двигаться, причем конец цепи сходит с барабана и, проходя через второе отверстие в днище, укладывается под действием своего веса на дно реки. Перебиранием цепи во всю длину можно сообщить судну движение по всему участку с желаемой скоростью, вообще небольшой. Как видно, цепные суда (туеры) применяют принцип движения парома с той разницей, что благодаря весу цепи концы последней не нуждаются в закреплении, и длина обслуживаемого участка м. б. произвольной. В настоящее время обычно в указанных случаях используется принцип бечевы—буксировки судов с берега специальными вагонами, движущимися по рельсам и приводимыми в движение электромотором или же двигателем автомобильного типа. **Р. Тишбейн.**

ЦЕПНОЙ БАРАБАН, см. Дополнительный том.

ЦЕПНЫЕ ПЕРЕДАЧИ, см. Дополнительный том.

ЦЕПНЫЕ РЕАКЦИИ, химические реакции, характеризующиеся тем, что в результате элементарного химич. процесса снова получаются активированные молекулы (см. *Кинетика химическая*), вследствие чего элементарная химич. реакция повторяется много раз. Примером Ц. р. может служить реакция образования хлористого водорода из элементов, которая согласно Нернсту идет сл. образом: вследствие теплового движения или в результате поглощения света молекула Cl_2 распадается на атомы, к-рые являются начальными центрами реакции. При столкновении атомов Cl с молекулами H_2 происходит реакция: $Cl + H_2 = HCl + H$; получающиеся при этом атомы H реагируют с молекулами Cl_2 согласно ур-ию: $H + Cl_2 = HCl + Cl$. В результате реакции возрождается атом хлора, к-рый реагирует дальше с водородом. В газовой смеси происходит т. о. целый ряд связанных друг с другом элементарных процессов. Каждая Ц. р. может быть разбита на ряд тождественных звеньев, причем потребляющиеся активные центры при завершении звена возрождаются и дают начало возникновению следующего звена.

Принято различать материальные и энергетич. Ц. р. В первом случае активными центрами являются атомы или радикалы, к-рые непосредственно возрождаются в результате реакций (атомы H и Cl в реакции образования HCl); во втором случае энергия, освободившаяся в результате реакций и локализованная в молекуле конечного продукта, путем столкновений передается молекуле начального продукта, причем последняя активируется. В качестве при-

мера энергетич. цепи приводим гипотетич. механизм окисления метана (штрихом обозначены активные молекулы):

$$O_2' + CH_4 = H_2O + CH_3O',$$
$$CH_3O' + O_2 = CH_2O + O_2',$$
$$O_2' + CH_4 = H_2O + CH_2O' \text{ и т. д.}$$

Если активная молекула дезактивируется, рассеяв свою энергию путем столкновений с другими молекулами или со стенкой сосуда, то цепь реакций обрывается. Число звеньев в реакции, начиная с первичного активного центра и кончая обрывом цепи, называется д л и н о й ц е п и. Если скорость реакции w, число начальных центров, реагирующих в одну ск., n_0, средняя длина цепи ν, вероятность обрыва цепи на данном звене β, а вероятность продолжения цепи α, то легко получить следующие приближенные ф-лы:

$$\alpha + \beta = 1,$$
$$\nu = \frac{1}{\beta},$$
$$w = n_0\nu = \frac{n_0}{\beta} = \frac{n_0}{1-\alpha}.$$

Вероятность продолжения цепи α зависит от $t°$, состава смеси, концентрации реагирующих веществ, размеров сосуда и других факторов. При очень малых n_0 скорость реакции практически равна нулю, если $\alpha < 1$. Изменяя какой-нибудь параметр, напр. давление реагирующей смеси, можно увеличивать α. Когда α сделается равной 1, скорость реакции внезапно делается равной бесконечности, т. е. мы переходим из области почти полного отсутствия реакции в область взрыва. Давление, выше к-рого смесь самовоспламеняется при данной $t°$, называется к р и т и ч е с к и м. При повышении $t°$ критич. давление обычно уменьшается согласно ф-ле: $\lg p = \frac{A}{T} + B$ (где A и B постоянные). Эта ф-ла экспериментально подтверждена на примере большого количества взрывных реакций. Однако этот факт не может являться доказательством их ценной природы, т. к. совершенно такая же зависимость должна существовать и в случае чисто теплового механизма взрыва, когда единственной причиной последнего является саморазогрев газа теплом, выделяющимся вследствие реакции. Взрывные реакции часто связаны не с простыми, а с разветвляющимися цепями. В этом случае во время развития цепи иногда активируются за счет энергии реакции не одна, а две молекулы начальных продуктов. Если вероятность разветвления δ меньше вероятности обрыва цепи β, то можно считать, что скорость реакции $w = \frac{n_0}{\beta - \delta}$, т. к. каждое разветвление компенсирует один обрыв. При повышении $t°$ β уменьшается, а δ увеличивается, и при нек-рой $t°$, когда $\beta = \delta$, скорость становится бесконечно большой и происходит взрыв. При этом между моментом, когда газ примет критич. $t°$, и моментом взрыва всегда проходит нек-рое время, необходимое для развития цепи. Это время τ, называемое п е р и о д о м и н д у к ц и и, для разных реакций может колебаться от малой доли ск. до нескольких часов. В последнем случае в развитии цепи принимают участие сравнительно устойчивые промежуточные продукты, продолжительность жизни к-рых сравнительно велика. Такие медленно ускоряющиеся со временем процессы имеют место напр. при воспламенении углеводородов в двигателях внутреннего сгорания, при самоокислении масел и при высыхании олифы. Умение влиять на период индукции этих процессов является одной из важных технич. проблем. Первый шаг в этом направлении—установление зависимости между величиной периода индукции τ, темп-рой T и давлением p—был сделан на базе цепной теории (Ленинградский институт химической физики). Найденная зависимость имеет вид:

$$p^n \cdot e^{-\frac{\gamma}{T}} \cdot \tau = \text{Const},$$

где n и γ—константы, характеризующие данную взрывную реакцию.

Главнейшие методы, позволяющие установить цепной характер реакции, следующие. 1) Согласно закону эквивалентности Эйнштейна в случае фотохимич. реакции на каждый поглощенный квант света приходится 1 реагирующая молекула; в случае Ц. р. на каждый поглощенный квант света реагирует ν молекул. Число ν, называемое к в а н т о в ы м в ы х о д о м фотохимич. реакции, определяет собой длину цепи. Этим методом определена длина цепи следующих реакций:

Реакции	H_2+Cl_2	$C_6H_5\cdot COH+O_2$	$Na_2SO_3+O_2$
ν	10^5	~10^4	~10^4
Реакции	$CO+O_2$	$CH_3\cdot COH+O_2$	$COCl_2+H_2$
ν	~300	10^3	2

Обычно рассматриваемые в классич. кинетике реакции можно считать частным случаем Ц. р., когда $\nu=1$. С повышением $t°$ ν растет, и обычные реакции могут становиться цепными. Так, по Габеру длина цепи реакции окисления H_2, приблизительно равная 1 при низких $t°$, начинает быстро расти по мере приближения к $t°$ воспламенения. При 405° длина цепи этой реакции ν равна 380. 2) Начальные центры реакции могут получаться при бомбардировке электронами или α-частицами. Совершенно аналогично квантовому выходу фотохимич. реакции в этих случаях м. б. определен выход на один ион или α-частицу. Этим методом исследовано большое количество реакций соединения, разложения и полимеризации [1]. 3) Третий метод применим к реакциям, цепи к-рых обрываются на стенке сосуда. В этом случае уменьшение размеров сосуда сильно уменьшает скорость реакции. Прибавление инертного газа затрудняет диффузию активных центров к стенке и действует аналогично увеличению диам. сосуда. Установлена (Н. Семенов) количественная зависимость между минимальными давлениями p_1 воспламенения реагирующих газов и давлением p_2 инертного газа X и диам. сосуда d:

$$p_1 \cdot p_2 \left(1 + \frac{DX}{p_1+p_2}\right) d^2 = \text{Const}.$$

Здесь D—константа, связанная с диффузионным коэф-том активных центров в смеси. Эта ф-ла проверена для ряда реакций (окисление фосфора, фосфина, CO, CS_2, COS, CH_4, H_2S, образование HCl, разложение ClO_2, O_3 и др.). 4) Чрезвычайно сильное влияние ничтожных количеств примеси на скорость реакции является надежным доказательством ценного характера последней. Особенно хорошо исследован ряд случаев отрицательного катализа. Сюда

относится замедление самоокисления и полимеризации непредельных углеводородов, содержащихся в крекинг-бензине, углеводородов минеральных масел, каучука, к-т растительных жиров, бензойного, эйнантового и уксусного альдегидов, Na_2SO_3 и др. Вещества, замедляющие окисление этих продуктов, широко применяются в технике и называются ингибиторами, или *антиокситенами* (см.). Ингибиторы обычно оказывают достаточно сильное действие в концентрациях порядка 0,01%; их действие сводится к обрыву цепей реакции и связано с увеличением вероятности обрыва β *на величину* β_1 (*вероятность обрыва цепи молекулами ингибитора, пропорциональная концентрации с последнего*). Поэтому скорость реакции в присутствии ингибитора $w = \frac{n_0}{\beta+\beta_1} = \frac{n_0}{\beta+kc}$. Если β_1 очень мало (длинные цепи), то ничтожные концентрации ингибитора могут сильно затормозить реакцию. Механизм действия антидетонаторов, к-рые в концентрациях ок. 0,3% уменьшают склонность к детонации газовой смеси в двигателях легкого топлива, *также повидимому* сводится к обрыву Ц. р. окисления. Ц. р. очень широко распространены в природе и повидимому играют большую роль в биологич. процессах, к-рые идут с большой скоростью при сравнительно низких $t°$.

Впервые представление о цепи реакций ввел в науку Боденштейн в 1913 г. для объяснения большого квантового выхода при фотохимич. образовании HCl. В 1923—1924 гг. Христиансен и Крамерс развили цепную теорию мономолекулярных реакций и отрицательного катализа. Бурное развитие и современный расцвет цепной теории связаны с начавшимися в 1927 г. работами Н. Семенова. Идеи, выдвинутые и математически оформленные Н. Семеновым, экспериментально разрабатываются в руководимом им *Ленинградском ин-те химич. физики, в лаборатории* Гиншельвуда (Оксфорд) и в ряде других америк., английских и немецких лабораторий.

Лит.: [1]) Lind S., The Chemical Effects of Alpha-Particles and Electrons, N. Y., 1921.—Семенов Н., Цепные реакции, Л., 1933; Гиншельвуд Ч., Кинетика газовых реакций, пер. с англ., М.—Л., 1933; Нейман М. и Тодес О., Введение в химич. кинетику, статья в сборнике «Сгорание и детонация». Материалы I конференции по сгоранию и детонации, под ред. Е. Бугрова и др., М., 1932; Семенов Н., «Журн. физ. химии», М., 1930, т. 1, 3; Kassel L., The Kinetics of Homogeneous Gas Reactions, N. Y., 1932 (библиогр.); Bodenstein, «Ztschr. f. phys. Chemie», B., 1913, B. 85, p. 329; Christiansen u. Kramers, ibid., 1923, B. 104, p. 451; Christiansen, «The Journal of Phys. Chem.», N. Y., 1924, v. 28, p. 145; Semenoff N., «Ztschr. f. Physik», Brschw.—B., 1927, B. 46, p. 109, 1928, B. 48, p. 571; Farkas, Haber u. Harteck, «Ztschr. f. Elektrochemie», Lpz. 1930, B. 36, p. 711; Lind a. Livingston, «Am. Soc.», 1930, v. 52, p. 593.

М. Нейман.

ЦЕРЕЗИН, продукт, получаемый из *озокерита* (см.) после рафинирования его конц. серной кислотой. Для получения Ц. применяются гл. обр. чистые сорта озокерита. Последний нагревают сначала при $t°$ 115—120° в железных котлах для удаления из него воды, после чего прибавляют тонкой струей при размешивании конц. серную к-ту и медленно поднимают $t°$ до 175°. Расход серной к-ты колеблется в пределах 15÷25% в зависимости от качества озокерита. При обработке серной к-той содержащиеся в озокерите ненасыщенные соединения и примеси выделяются на поверхность в виде черной асфальтообразной массы, называемой «асфальтом». После удаления серной к-ты Ц. отделяется от примесей на *фильтр-прессах*. Полученный т. о. продукт имеет желтый цвет и называется желтым Ц. Для получения белого Ц. его отбеливают, обрабатывая еще раз серной к-той или отбельными землями. Ц.— аморфная масса без запаха и вкуса, по внешнему виду напоминающая воск. Константы его колеблются в зависимости от качества озокерита и степени его очистки (уд. в. 0,91÷0,94, $t°_{пл.}$ 50÷85°). Ц. состоит гл. обр. из изопарафинов (см. *Парафины*), отличающихся от нормальных парафинов более выраженной реакционной способностью и дающих после расплавления массу с более высоким показателем преломления (>1,425 при 90°) и более высокой вязкостью. Кислотное число, иодное число и число *омыления у хорошо очищенного* Ц. равны нулю. Различные сорта Ц. расцениваются по цвету и $t°_{пл.}$. Ц. часто фальсифицируется *парафином и т. п. продуктами. Применяется* для аппретуры льняных и хлопчатобумажных тканей, в производстве свечей, в парфюмерии, для приготовления мастик, сапожных кремов и других целей.

П. Черенин.

Лит.: см. *Парафин.*

ЦЕРЕЗИТ, строительный материал, применяемый при оштукатуривании разного рода сооружений для защиты их от влияния грунтовых вод, проникающих *через стены сооружений*. Ц. представляет собою сметанообразную жидкость светлокремового цвета, нерастворимую в воде. Будучи размешан с водой в определенной пропорции, Ц. образует эмульсию (церезитовое молоко). Исходными материалами для изготовления Ц. являются олеиновая кислота, аммиак, известь, водный раствор сернокислого алюминия и охра (в качестве подкраски). На нек-рых заводах олеиновую к-ту заменяют некоторыми нафтеновыми к-тами, кроме того были попытки применить продукты перегонки сланцев и отходы некоторых растительных масел, получаемых из черных бескожурных семян после определенной обработки. Аммиак играет роль эмульгатора (получается аммиачное мыло), известь образует кальциевое мыло, а сернокислый глинозем создает определенную консистенцию массы и повидимому образует кальций-алюминиевое мыло. Ниже приведен *примерный состав* Ц. (в %):

Извести	20,0	Охры сухой	0,2
Олеиновой кислоты	7,8	Сернокисл. глинозема	5,0
Нашатырного спирта	0,5	Воды	66,5

В последнее время на рынке появился другой вид Ц. под названием цементзит, в виде сметанообразной массы и сухого порошка. Он представляет собой в основе тот же Ц., но с добавкой к нему пуццолановых веществ (вулканические туфы, трассы, трепел, диатомовая земля, сиштоф и др.).

Ц. и цементзит применяют для изоляции от грунтовых и напорных вод и от сырости фундаментов, полов и стен в подвальных помещениях, внутренних стен сырых помещений, полов под линолеум, наружных поверхностей от действия атмосферных осадков (плоских крыш, террас, балконов), водохранилищ, ледников, ванн, выгребных ям, снеготаялок, различных гидротехнич. сооружений (турбинных колодцев, всасывающих труб, водосливов, каналов, акведуков, канализационных и портовых сооружений, плотин, шлюзов), инженерных сооружений (мостов, туннелей, шахт, галлерей и пр.), промышленных сооружений (засолочных, бродильных, дубильных чанов, нефтяных подземных цистерн и пр.), *отстойников*, фильтров и бетонных канализационных труб, железобетонных барж и судов и пр. Церезитоцементный *раствор наносится* в указанных сооружениях в виде слоя толщиною 2 *см*, а при сильном давлении воды—в 3—4 *см*; штукатур-

ка при этом производится обычно, как при цементе. Перед нанесением церезитовой штукатурки изолируемые поверхности д. б. тщательно очищены от грязи, пыли, брызг бетона и пр. Для приготовления церезитового раствора сухую смесь портланд-цемента с песком (1 : 2 или 1 : 3) затворяют церезитовым молоком (1 ч. Ц. на 10 ч. чистой воды по объему) до влажности нормального штукатурного раствора. Свежеоштукатуренные поверхности следует покрывать рогожами или слоем песка в 3—5 *см* при смачивании водой. На 1 $м^2$ церезито-цементной штукатурки при составе церезитовой эмульсии 1 : 10 по объему идет 0,5 *кг* Ц. при толщине штукатурки в 2 *см*, 0,75 *кг*—при толщине в 3 *см* и 1 *кг*—при толщине в 4 *см*. В СССР Ц. вырабатывается на церезитовом з-де в Харькове и в Ленинграде; в Харькове вырабатывается также и цементит на цементитовом з-де Спецпромминералсоюза.

Лит.: Леховицер А., Цеменаит, Харьков, 1930—33; Кинд А. и др., Специальные свойства строительных растворов, Л., 1933; Церолит, Москва, 1930; Эвальд В., Придание цементному бетону водонепроницаемости, «Строительная пром-сть», 1925, *9*, стр. 614; Фридман В., Технические условия на материалы, понижающие водонепроницаемость цементных растворов, там же, 1928, *8*, стр. 520; Глебов С., Церезит как изоляционный материал, там же, 1927, *3*, стр. 160; его же, там же, 1927, *8*, стр. 409; Леховицер А., Изоляционный состав для придания водонепроницаемости штукатурному раствору, Авторское свид. № 188445; Saliger R., Der Eisen-Beton, seine Berechnung u. Gestaltung, 5 Aufl., Lpz., 1925. **П. Будников.**

ЦЕРИЙ, см. *Редкие земли*.

ЦЕРУЛЕИН, $C_{20}H_{10}O_6$, антраценовый зеленый, антрахинонный краситель, получаемый из *галлеина* (см.) нагреванием последнего с 20 ч. конц. серной к-ты, причем отщепляется вода. В продаже известно несколько марок Ц. См. *Красящие вещества* синтетические.

ЦИАН. 1) Ц., или дициан, C_2N_2, простейшее соединение углерода и азота. 2) Ц., или цианг руппа, атомная группировка—CN.

1) Ц., дициан, открыт Гей-Люссаком в 1815 г. Его структура, изображаемая ф-лой N : C · C : N, показывает, что это вещество есть нитрил щавелевой к-ты. Ц.—бесцветный газ с своеобразным острым запахом, очень ядовитый; плотность его по отношению к воздуху Δ 1,804, $t°_{кип.}$ −20,7°; $t°_{пл.}$ −34,4°; уд. в. жидкого C_2N_2 D^0 0,866; диэлектрич. постоянная ε 2,5; теплота горения 262,5 Cal/*г*-моль, теплота образования −67,4 Cal/*г*-моль. Ц. растворим в воде (4,5 : 1 по объему при 20°), спирте, эфире и уксусной к-те.

Ц. образуется при пиролизе азотсодержащих органич. соединений, поэтому он содержится в каменноугольном и доменном газе. При действии паров CS_2 на цианамид кальция при $t°$ 700÷850° образуется Ц. по ур-ию: $CaCN_2 + CS_2 = CaS + S + C_2N_2$. Лабораторные способы получения Ц.: 1) дегидратация оксалата аммония $(CO \cdot ONH_4)_2$ или оксамида $(CO \cdot NH_2)_2$ под действием водоотнимающих веществ, напр. P_2O_5; 2) накаливание сухой цианистой ртути $Hg(CN)_2$ (лучше в смеси с $HgCl_2$); 3) приливание раствора $CuSO_4$ к нагретому конц. раствору KCN:

$$4KCN + 2CuSO_4 = 2K_2SO_4 + 2CuCN + C_2N_2.$$

Будучи эндотермич. соединением, Ц. устойчив только при высоких $t°$ (выше 800°); при обыкновенной $t°$ он находится в метастабильном состоянии и при известных условиях способен разлагаться со взрывом. При $t°$ 350÷800° Ц. превращается (частично) в полимер—п а р а ц и а н $(CN)_x$, темнобурое твердое вещество, которое при 860° полностью переходит в C_2N_2. В химич. отношении Ц. имеет сходство с галоидами: он непосредственно соединяется с металлами, образуя цианиды; при восстановлении Ц. получается, смотря по условиям, синильная к-та, HCN или этилендиамин $(CH_2 \cdot NH_2)_2$; с растворами едких щелочей Ц. дает смесь цианида и цианата:

$$C_2N_2 + 2NaOH = NaCN + NaO \cdot CN + H_2O.$$

Путем гидратации Ц. переводится последовательно в амид цианугольной к-ты $CN \cdot CO \cdot NH_2$, оксамид $(CO \cdot NH_2)_2$ и щавелевую к-ту $(COOH)_2$. При действии H_2S он образует тиоамиды цианугольной и щавелевой кислот $CN \cdot CS \cdot NH_2$ и $(CS \cdot NH_2)_2$. Взаимодействие Ц. с известью при высокой $t°$ приводит к образованию цианамида кальция: $CaO + C_2N_2 = CaCN_2 + CO$. В водных растворах Ц. быстро изменяется, образуя целый ряд продуктов. При поджигании Ц. горит синеватым пламенем с пурпуровой каймой; продукты горения—CO_2 и N_2.

Технич. применения Ц. еще не получил, хотя нек-рые попытки в этом направлении предпринимались. Кроме Ц. известны соединения C с N состава C_8N_8 и $C_{24}N_{12}$; был получен также изомер Ц.—д и и з о ц и а н C : N · N : C, еще почти не изученный.

Лит.: Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 3, p. 469 (приведена основная лит. по 1927 г.); «Ind. Eng. Chem.», News Edition, 1929, v. 7, p. 9; Heimann H., «Z. ang. Ch.», 1931, B. 44, p. 378; Perret A. et Krawtchinsky A., «Bull. de la Soc. chim. de France», P., 1932, série 4, t. 51, p. 622; О других соединениях C и N см. Лидов А., О существовании других, кроме циана, азотоуглеродистых газов, Харьков, 1909; Thiele J., «B», 1893, B. 26, p. 2645; Nef J., «Ann. d. Chemie», Lpz., 1895, B. 287, p. 265; Ott E., «B», 1919, B. 52, p. 656; 1921, B. 54, p. 179.

2) Ц., или цианг руппа, CN, характерна для всех *цианистых соединений* (см.) и способна при химич. реакциях переходить из одного соединения в другое. При восстановлении соединений, содержащих CN-группу, получаются первичные амины (—CN→—$CH_2 \cdot NH_2$); гидратация с последующим омылением приводит в конечном счете к образованию карбоновых к-т (—CN→—$CONH_2$→$CO \cdot ONH_4$→—$CO \cdot OH$). Этими и другими реакциями доказывается так наз. «нормальное», или «нитрильное», строение CN-группы:—C≡N. Другое возможное строение CN-группы, а именно—N = C (с двувалентным углеродом), т. н. и з о ц и а н г р у п п а, имеет место в изонитрилах R · NC. Ей иногда приписывают строение (мало вероятное) —N≡C, или —N≡C. Согласно октетной теории Льюиса-Лангмюира изоцианг руппа имеет структуру : N : : : C, или иначе —N⇉C (стрелкой обозначена координационная связь).

Ц и а н и о н, одновалентный анион CN', содержится в растворах синильной кислоты и ее солей и в ионной решетке кристаллов этих солей. Он обнаруживает большое химич. сходство с ионами галоидов (F', Cl', Br', J'): реакции обменного разложения для цианистых солей в растворах таковы же, как и для галоидных солей; свойства самих солей также обнаруживают аналогию (напр. AgCN вполне сходно с AgCl по кристаллич. форме, нерастворимости в воде и растворимости в NH_4OH). Электронное строение CN-иона имеет много общего со строением молекул окиси углерода CO и азота (изостеризм): они содержат не только одинаковое число атомов, но и одинаковое общее число валентных электронов

$$:\ddot{N}:\ddot{N}: \quad :\ddot{C}:\ddot{O}: \quad [:\ddot{C}:\ddot{N}:]'.$$

О методах аналитич. определения CN-иона

см. *Синильная кислота* и *Цианистые соединения*. **В. Янковский.**

ЦИАНАМИД, $NH_2 \cdot CN$, кристаллич. вещество с $t°_{пл.}$ 46°; получается при действии галоидных соединений циана на аммиак: $CNCl + +NH_3 = CN \cdot NH_2 + HCl$, а также из его натриевого производного—цианамида натрия—действием на последний серной к-той; растворяется в воде (с нейтральной реакцией), спирте и эфире, мало растворяется в хлороформе, сероуглероде; при нагревании выше $t°_{пл.}$ полимеризуется в дициандиамид $(CN \cdot NH_2)_2$—кристаллич. вещество с $t°_{пл.}$ 205°. Ц. дает металлич. производные (с Li, Na, K, Mg, Sr, Ba, Ca, Pb, Cu, Ag). Ц. натрия получают пропусканием CO_2 через нагретый амид натрия $NaNH_2$, а также нагреванием дициандиамида с натрием или едким натром:

$$4Na + (CN_2H_2)_2 = 2Na_2N_2C + 2H_2;$$
$$4NaOH + (CN_2H_2)_2 = 2Na_2N_2C + 4H_2O.$$

Ц. щелочноземельных металлов получают пропусканием азота через карбиды щелочноземельных металлов. Наибольшее значение среди них имеет *цианамид кальция* (см.).

ЦИАНАМИД КАЛЬЦИЯ, кальций-цианамид, $CaCN_2$ — кальциевая соль *цианамида* (см.) $CN \cdot NH_2$; обладает структурой $Ca = N - C \equiv N$. Чистый Ц. к. представляет бесцветные кристаллы, уд. в. 2,3, возгоняющиеся при $t°$ 1 090°; он умеренно растворим в воде (2,5 : 100 при 25°) и нерастворим в спирте. В водных растворах Ц. к. быстро гидролизуется, переходя в более растворимую кислую соль состава $(CN \cdot NH)_2Ca$; последняя тоже непрочна и в дальнейшем распадается, образуя мочевину $CO(NH_2)_2$, дициандиамид $(CN_2H_2)_2$ и другие продукты. Аналогичные процессы идут под действием на Ц. к. углекислоты и влаги воздуха: сначала образуется кристаллич. соединение $CaCN_2 \cdot CO_2 \cdot 5H_2O$, затем (через свободный цианамид) продукты гидролиза—мочевина и др., вплоть до угольной к-ты и аммиака. Такая же цепь реакций имеет место при внесении Ц. к. в почву в качестве удобрения. При взаимодействии $CaCN_2$ с сернокислым алюминием, а также при пропускании CO_2 в раствор $(CN \cdot NH)_2Ca$ (на холоду) получается свободный цианамид. Ц. к. устойчив при $t°$ до 1 350°; выше 1 400° наступает диссоциация $(CaCN_2 = = Ca + C + N_2)$, к-рая при 1 600° делается полной. Технич. Ц. к.—порошок или зерна темносерого цвета с содержанием $CaCN_2$ 49÷66%; темный цвет продукта обусловлен присутствием мелко раздробленного графита.

Получение. Чистый $CaCN_2$ м. б. получен по способу Франка—действием паров синильной к-ты на известь при $t°$ 800—850°:

$$CaO + 2HCN = CaCN_2 + CO + H_2 \quad (1)$$

или по способу Камеяма—взаимодействием извести с дициандиамидом при 900—1 000°:

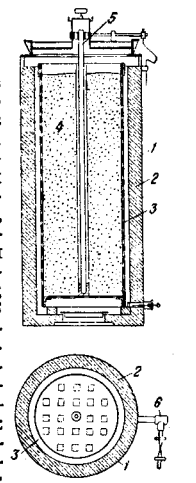
$$2CaO + (CN_2H_2)_2 = 2CaCN_2 + 2H_2O. \quad (2)$$

Для промышленных целей Ц. к. получают исключительно по способу Франка и Каро—путем азотирования карбида кальция свободным азотом при $t°$ 1 000—1 100°. Реакция

$$CaC_2 + N_2 = CaCN_2 + C \quad (3)$$

экзотермична; ее тепловой эффект ~68 000 cal. Производство Ц. к., всегда сочетаемое с производством карбида, включает следующие технологич. операции: 1) размол карбида, 2) получение азота, 3) азотирование карбида, 4) охлаждение Ц. к., 5) дробление, размол и просеивание Ц. к., 6) газовыделение (часто также обработка маслом или грануляция) и 7) упаковка продукта. Размол карбида производится в закрытых мельницах в атмосфере азота или дымовых газов; в зависимости от состава карбида к нему добавляют обычно нек-рое количество извести; нередко вводят также CaF_2 (до 2%), который понижает $t°$ азотирования. Азот получают фракционировкой жидкого воздуха; он д. б. не ниже 99,7%-ной чистоты и совершенно свободен от карбидной пыли.

Процесс азотирования в настоящее время ведется почти исключительно в печах Франка-Каро (см. фигуру) периодич. действия, дающих за каждый выпуск 1÷5 *т* Ц. к. Печь состоит из железного кожуха *1* с шамотной футеровкой *2* и в нее ставится слегка коническая железная корзина *3* с дырчатыми стенками и дном, выложенная бумагой и наполненная карбидной шихтой *4*; угольный стержень *5*, защищенный бумажной гильзой, является электрическим сопротивлением и служит для предварительного разогревания шихты до начала реакции; азот вводится через трубу *6* в нижнюю часть печи, а избыток его удаляется через отверстие в верхней части. Процесс азотирования длится 24÷36 ч.; краткое описание его—см. *Аммиак*. Корзину *3* как наиболее быстро изнашиваемую часть аппаратуры в последнее время часто заменяют простой картонной гильзой такого же размера. Туннельные печи непрерывного действия, применявшиеся при производстве Ц. к. по методу Польцениуса-Крауса, в настоящее время больше не строятся. Реакция (3) является обратимой при более высоких $t°$: чем выше $t°$ печи, тем меньше % азота в получаемом продукте. Так, при $t°$ 1 200° устойчив лишь продукт, содержащий не более 21% N, а при $t°$ 1 120°—продукт с 26% N; поэтому при азотировании крайне важно не допускать излишнего перегрева. Готовые блоки Ц. к. извлекают из печей и охлаждают в отдельном помещении на вагонетках; охлажденные блоки разбивают на куски, пропускают через дробилки и затем размалывают в тонкий порошок на шаровых мельницах. Полученный т. о. продукт содержит до 20% свободной CaO и 2—3% непрореагировавшего карбида; при хранении он представляет опасность вследствие образования ацетилена за счет CaC_2 и влаги воздуха. Поэтому до выпуска с з-да цианамид кальция подвергают операции «газовыделения», обрабатывая его во вращающихся «гидромиксерах» водяной пылью; количество воды дозируется таким образом, чтобы разложить остаточный карбид и погасить всю известь. Чтобы продукт при его употреблении для удобрительных целей не пылил, к нему добавляют обычно ок. 2% минерального масла или каменноугольной смолы; эту операцию можно производить одновременно с газовыделением. Иногда вместо отяжеления маслом готовят гранулированный продукт, для чего вводят при процессе газовыделения большее количество воды.



Готовый рыночный Ц. к. имеет следующий примерный состав (продукция American Cyanamid Co., 1917 г.): 57% $CaCN_2$, 20% $Ca(OH)_2$, 12% углерода свободного, 3% $CaCO_3$, 2% $Fe_2O_3+Al_2O_3$, 2% SiO_2, 2% связанной H_2O, 1% влаги и 1% CaS. Содержание общего азота в продажном Ц. к. колеблется 17÷23%. Расход энергии на 1 *т* Ц. к. (для наиболее крупных установок) равен ~3 000 kWh. Если же учитывать и производство карбида, то для получения 1 *кг* связанного азота в форме $CaCN_2$ требуется: 2,8 *кг* кокса, 0,8 *кг* угля (на производство извести для CaC_2), ок. 8 *кг* известняка и до 16 kWh энергии. Тара для Ц. к.—двойные мешки (наружный матерчатый, внутренний—из плотной бумаги).

За последнее время разработаны нек-рые новые способы получения Ц. к., представляющие большой технич. интерес. Сюда относится реакция углекислого кальция с аммиаком при *t*° 600÷800° (Reitzine):

$$CaCO_3+4NH_3+CO_2=2H_2O+(NH_4)_2CO_3+CaCN_2$$

и в особенности взаимодействие тех же веществ в присутствии окиси углерода (Франк и Гейман), идущее по ур-иям:

$$CaCO_3=CaO+CO_2,$$
$$CO+NH_3=HCN+H_2O,$$
$$CaO+2HCN=CaCN_2+CO+H_2$$

при высокой *t*° и в присутствии CaF_2 как катализатора. Получаемый продукт содержит 35% N, т. е. представляет почти чистый $CaCN_2$; он получил название б е л о г о Ц. к. Указанные методы уже проверялись в полузаводском масштабе и возможно будут внедрены в пром-сть.

Заводское производство Ц. к. существует с начала 20 в. На 1932 г. имелось по всем странам 38 з-дов с общей производственной мощностью свыше 1 млн. *т* $CaCN_2$. Нек-рые из этих з-дов законсервированы, остальные работают с неполной нагрузкой. Мировая продукция Ц. к. (в пересчете на чистый азот) равнялась в 1926 г. 193 000 *т*, в 1929 г.—254 000 *т*, в 1930 г.—263 000 *т*, в 1931 г.—201 000 *т*, имея тенденцию к дальнейшему снижению. Производственная мощность з-дов Ц. к. на 1931 г. распределялась между главными производящими странами след. образом (в тыс. *т* азота): Германия—125, США и Канада—115, Франция—48, Япония—45, Норвегия—45, Польша—36, Италия—25, Югославия—22.

П р и м е н е н и е. Ок. 75% всей продукции Ц. к. используется непосредственно как азотистое удобрение, годное под культуры табака, кукурузы, пшеницы, сахарного тростника, свекловицы, хлопчатника, крестоцветных и бобовых, преимущественно на подзолистых почвах. Другой важной областью применения Ц. к. является переработка его на *мочевину* (см.). Производство аммиака из Ц. к., основанное на реакции

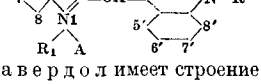
$$CaCN_2+3H_2O=CaCO_3+2NH_3 \quad +23\,000\ cal$$

(в автоклавах при *t*° не ниже 160° и щелочной среде), практиковавшееся в значительных размерах на з-дах З. Европы и Америки в 1915—1919 гг., в настоящее время почти целиком прекращено и не может иметь крупного промышленного значения. Напротив, разрабатываемые сейчас методы получения из Ц. к. цианидов (см. *Цианистые соединения*) имеют все данные к развитию в ближайшем будущем. В небольших размерах Ц. к. перерабатывается на комбинированные удобрения (аммофос, фосфазот), оксалаты, тиомочевину, дициандиамид и гуанидин (используемый в производстве взрывчатых веществ). В США Ц. к. был предложен как средство борьбы с нематодами.

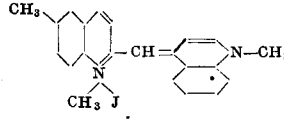
Лит.: Ф о к и н Л., Химия цианамида и его производных, «Труды комиссии по связанному азоту», П., 1920, вып. 4; А н д р е е в И., Исследования в области азотных соединений, там же, П., 1921—1922, вып. 7; К у з н е ц о в Л., Производство карбида и цианамида кальция, М.—Л., 1932; Я н к е Ф., «Химич. пром-сть и торговля», Берлин, 1923, стр. 20; Ц ы т о в и ч Е., «Химич. пром-сть», Берлин—М., 1926, стр. 51 и 186. И п а т ь е в В., «ЖХПи», 1930, т. 7, стр. 454; Ш в а р ц И. и С о л ю с С., «Химстрой», М., 1931, стр. 866; Р а т н е р Е., «Удобрение и урожай», 1929, стр. 73; А х р о м е й к о А., там же, 1931, стр. 728; е г о ж е, «ЖХПи», 1933, 2, стр. 48; Р а б о в с к и й Г. и Ш и л о в а М., там же, 1932, 4, стр. 50 (анализ цианамида кальция); M ü n z i n g e r A., Stickstoffkalk, B., 1906; F r a n k e E., Cyanamid, Easton, Pa., 1913; W a e s e r B., Die Luftstickstoffindustrie, Lpz., 1922; V o g e l J. u. S c h u l z e - A l t e n b u r g A., Karbid u. Azetylen als Ausgangsmaterial für Produkte d. chemischen Industrie, Lpz., 1924; W a e s e r B., Stickstoffindustrie, Dresden—Lpz., 1924; E r n s t F., Fixation of Atmospheric Nitrogen, L., 1928 (др. изд. N. Y., 1928); C a r o N., Die neueren Grundlagen d. Kalkstickstoffindustrie, B., 1928; F r a n k H., M a k k u s W. u. Y a n k e F., Der Kalkstickstoff in Wissenschaft, Technik u. Wirtschaft, Stg., 1931; Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 3, p. 1; R e m e l é A. u. R a s s o w B., «Z. ang. Ch.», 1920, B. 33, p. 139; «Metallbörse», B., 1928, Jg. 18, p. 2637, 1929, Jg. 19, p. 117; F r a n k H. u. H e i m a n n K., «Z. ang. Ch.», 1931, B. 44, p. 372; C o c h e t A., ibid., p. 367; Новейшие патенты: Г. П. 514253, 516445; Ан. П. 338023, 346463, 364225; Швейц. П. 142733.

В. Яновский.

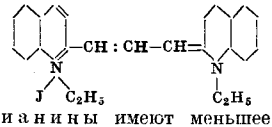
ЦИАНИНЫ, красящие вещества, содержащие полиметинаммониевые группировки и находящие исключительное применение в фотографии в качестве сенсибилизаторов. В зависимости от характера гетероцикла Ц. могут быть разбиты на две основные группы: х и н о ц и а н и н ы, содержащие хиноливые ядра, и и н д о ц и а н и н ы, содержащие индольные ядра. В состав первых входят два хинолиновых гетероцикла, соединенных одной или несколькими метиновыми группами; получаются они в виде солей, чаще галоидных. Рациональное название простейшего хиноцианина определяется следующей нумерацией атомов, входящих в состав его хинолиновых ядер:



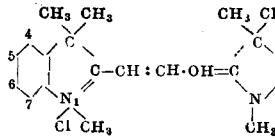
Так, п и н а в е р д о л имеет строение:



п и н а ц и а н о л имеет строение:



И н д о ц и а н и н ы имеют меньшее применение; их рациональная номенклатура ясна из строения а с т р а ф л о к с и н а:



Хиноцианины получаются при взаимодействии галоидалкильных производных хинолина и хинальдина или лепидина в присутствии щелочи. Хиноцианины и индоцианины, содержащие две лишние метиновые группы, получаются при конденсации соответствующих галоидалкильных производных хинальдина или

лепидина с формальдегидом или хлороформом в присутствии щелочей.

Ц. конкурируют с эритрозином и бенгальской розой (см. *Красящие вещества*), причем в начале развития применения Ц., когда применялись преимущественно их метильные (при азоте) производные, преимущество было за эритрозином и другими флуоресцеиновыми производными, т. к. Ц. вызывали быстрое вуалирование пластинок. Применение Ц. с более тяжелыми при азоте остатками частично уничтожило этот недостаток. Развитие химии Ц. продолжается. Постепенно дорого стоящий иод заменяется в них бромом и даже хлором, а также и анионами азотной к-ты, а иногда и *n*-толуолсульфокислоты. Большое обилие Ц., обладающих избирательной сенсибилизирующей способностью в различных участках спектра, значительно облегчает технику фотографирования, особенно окрашенных предметов.

Лит.: Hewitt J., Synthetic Colouring Matters, Dyestuffsderived from Pyridin, Quinoline, Acridin a. Xanthen, L., 1922. **И. Иоффе.**

ЦИАНИРОВАНИЕ, процесс извлечения золота и серебра из руд путем растворения этих металлов в растворах цианистых щелочей. *Растворение золота (или серебра)* рассматривается как результат действия электрич. пары, образованной частицей золота и тем минералом, в который она вкраплена (пирит, лимонит и др.), или примесями других металлов, входящих в состав зерен самородного золота, к-рое образует анодные участки пары. Пленка водорода поляризует катод, и дальнейший процесс растворения золота может успешно итти лишь при условии введения кислорода, к-рый, связывая и удаляя водород, является деполяризатором. Для ускорения процесса Ц. иногда пользуются другими окислителями (BrCN, BaO_2, Na_2O_2, PbO_2 и др.).

Влияние концентрации цианистого раствора на скорость растворения золота было установлено в первые годы практич. применения цианистого процесса. Мак Лорен нашел, что в чистых цианистых растворах скорость растворения растет не в прямом отношении к концентрации; кривая, выражающая этот закон, после быстрого подъема (при концентрации до 0,25% KCN) практически достигает максимума и при более высоких концентрациях растет весьма медленно. Причина логарифмич. зависимости растворения золота от концентрации м. б. установлена на основании электротехнических свойств золота. Исходя из ф-лы Нернста (см. *Потенциал электродный*) $e=0{,}058/n \cdot \ln P/p$ (где e—электродный потенциал в V, n—валентность иона, P—электролитич. упругость растворения металла, p—осмотич. давление ионов данного металла в растворе), можно показать, что упругость растворения золота в цианистых растворах м. б. выражена при помощи электрохимич. потенциала золота сл. обр.: $\varepsilon = \varepsilon_0 + 2 \cdot 0{,}058 \ln [KCN] - -0{,}058 \ln [KAu(CN)_2]$, причем выражения в скобках выражают степень концентрации солей в %. Из последнего ясно, что потенциал золота по отношению к своим ионам растет [при приблизительно постоянной концентрации цианистого калия (натрия)] с логарифмом концентрации цианида. На скорость растворения влияет также ряд других причин и прежде всего наличие в руде минеральных составляющих с более низким потенциалом. Низший предел защитной щелочи в цианистых растворах м. б. установлен из ур-ия равновесия для условий гидролиза цианистой щелочи

$$[HCN] = \frac{2{,}54 \cdot 10^{-5} \cdot [KCN]}{[KOH + a]},$$

где a—концентрация защитной щелочи. Концентрация a, равная 0,008%, ограничивает гидролиз до 1,2%; 0,0035%—до 2%. Обычно применяемые более высокие концентрации (*защитной*) *щелочи вызываются необходимостью:* 1) нейтрализовать к-ты, содержащиеся в руде или образующиеся во время обработки; 2) коагулировать коллоидный ил для облегчения условий отстаивания и фильтрации. В настоящее время в практике Ц. цианистый калий (KCN) не употребляется в качестве растворителя; его заменил цианистый натрий (NaCN).

Взаимодействие цианистых растворов с составными частями руды. Свободная сера, получающаяся от частичного окисления пирита, или сера из тиосульфатов, образующихся при действии извести или едкого натра на руду, содержащую сульфиды, реагирует с образованием цианида:

$$S + NaCN = NaCNS.$$

В случае марказита (на пирит цианистый раствор действует очень слабо) возможна реакция:

$$FeS_2 + NaCN = FeS + NaCNS.$$

Теллуриды золота и серебра (если только они не измельчены исключительно тонко—300 меш) слабо растворяются в цианистых растворах; действие последних на селениды серебра происходит весьма медленно. На основании химич. эквивалентов можно вычислить, что 1 *кг* NaCN оказывается достаточным для растворения 1,1 *кг* Ag или 2 *кг* Au; 1 *кг* Zn—для осаждения 3,3 *кг* Ag или 6 *кг* Au; грамм металлич. серебра требует в 1,8 раза больше каждого реагента, чем *г* золота, а на единицу стоимости (рубль) серебра (при обычной оценке содержания) расходуется в 40—60 раз больше, чем на рубль золота. На практике разница даже больше, т. к. серебро часто встречается в виде сульфида, для к-рого необходим более крепкий цианистый раствор. Но хлорид серебра растворяется быстро и с небольшим расходом цианистого натра. В одинаковых условиях металлическое серебро растворяется приблизительно вдвое медленнее золота. *Золото, не содержащее серебра,* растворяется труднее, чем золото в сплаве с серебром. При данном %-ном содержании NaCN золото растворяется медленнее в плотной иловой пульпе, чем в разбавленной; то же самое относится к серебру, к кислороду и к таким солям, как NaCN.

Причины *химического характера,* обусловливающие расход цианистого натрия, следующие. 1) Гидролиз $NaCN + H_2O = NaOH + +HCN$ (в ясно щелочных растворах это явление незаметно). 2) Разложение NaCN к-тами, образующимися вследствие окисления колчеданов, и углекислотой, содержащейся в воздухе, продуваемом при агитации растворов,

$$2NaCN + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2HCN,$$
$$2NaCN + CO_2 + H_2O = Na_2CO_3 + 2HCN.$$

3) Окисление кислородом воздуха с образованием цианистых и других соединений, неспособных растворять металлы,

$$NaCN + O = NaCNO.$$

Образующиеся соли циановой к-ты легко разлагаются водой:

$$2NaCNO + 4H_2O = Na_2CO_3 + (NH_4)_2CO_3.$$

Таким же образом действуют на цианистый рас-

твор все окислители. 4) Образование целого ряда соединений при действии цианистого раствора на нек-рые составные части руды (соли закисного железа, соединения меди и серы). В целях уменьшения расхода цианистого натра, происходящего от химич. причин, производят предварительную промывку рудного материала водой, к-той или аммиаком.

Разновидностью Ц. является бромоцианирование, где в процессе Ц. употребляется смесь цианистой щелочи и бромциана (как сильного окислителя). Бромоцианирование применяется в случае извлечения золота из теллуристых и сульфотеллуристых руд, при к-рых Ц. дает низкое извлечение. В случае многократного употребления цианистых растворов в последних происходит накопление примесей, что ведет к понижению их активности в отношении извлечения золота и серебра. Это явление названо нами утомлением цианистых растворов. Явление утомления особенно заметно в случае накопления в растворе меди и цинка. Это явление повидимому связано с поверхностным изменением частиц золота и серебра, приводящим к понижению упругости растворения данных металлов в цианистых растворах. Об осаждении золота и серебра из цианистых растворов см. *Золото*, Металлургия золота.

Лит.: Плаксин И., Обработка золотых руд, М.—Л., 1932; Мостович В., Цианирование, Томск, 1923; его же, Цианирование теллуридов золота, Томск, 1923; Гамильтон Э., Руководство по цианированию золотых и серебряных руд, пер. с англ., М.—Л., 1932; Rose F., The Metallurgy of Gold, 6 ed., L., 1915; Sharwood W., Hydrometallurgy of Gold a. Silver, в книге: Liddell D., Handbook of Non-Ferrous Metallurgy, N. Y., 1926; A Textbook of Rand Metallurgical Practice, v. 1, 3 ed., L., 1926, v. 2, 2 ed., 1919; Hamilton E., Manual of Cyanidation, N. Y., 1920; Julian H., Smart E., Allen A., Cyaniding Gold a. Silver Ores, 3 ed., L., 1921; Clennel J., Chemistry of Cyanide Solution, N. Y., 1910; Leaver E. a. Woolf J., Effect of Copper a. Zinc in Cyanidation with Sulphide Acid Precipitation, «American Institute of Mining a. Metallurgical Engineers», Techn. Publ., 1929, *250*; Halferdahl A., Treating Cupriferous Precious Metal Ores by the Cyanide Process, «Engineering a. Mining Journal», N. Y., 1929, v. 182; Meyer H., Über die Wirksamkeit d. Arbeitslösungen im Cyanidprozess, «Metall u. Erz», Halle a/S., 1931, *11*.

И. Плаксин.

ЦИАНИСТОВОДОРОДНАЯ КИСЛОТА, см. *Синильная кислота.*

ЦИАНИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, химич. соединения, характеризуемые наличием циангруппы—CN или изоциангруппы—NC (см. *Циан*). В молекулах Ц. с. CN-группа м. б. связана с углеродом (нитрилы RCN, где R—углеводородный радикал), с кислородом (циановая к-та HOCN и ее производные—цианаты), с серой (тиоциановая к-та HSCN и ее производные—роданиды), с азотом (цианамид H_2NCN и его производные), а также с водородом (синильная к-та HCN), галоидами (галоидные цианы, напр. ClCN) и с другими элементами. Наибольшее технич. значение среди Ц. с. имеют цианистые соли (простые цианиды щелочных и щелочноземельных металлов и комплексные цианиды, содержащие тяжелый металл), *цианамид кальция* (см.) и *синильная к-та* (см.). О неметаллич. Ц. с.—см. *Нитрилы*. По товарной номенклатуре к Ц. с. причисляются и *родановые соединения* (см.). Ц. с. весьма многочисленны и разнообразны по составу (в особенности комплексные). Из простых цианидов в воде растворимы только соли щелочных, щелочноземельных металлов и ртути; все эти соли сильно ядовиты. Производство Ц. с. составляет крупную и важную отрасль химич. пром-сти.

Методы технич. получения Ц. с. разрабатываются, стремясь к снижению себестоимости продуктов и к вовлечению в производство различных сырьевых ресурсов.

I. Из готовой синильной кислоты HCN цианиды получаются нейтрализацией ее щелочами (растворами едких щелочей или твердыми щелочными карбонатами). Из раствора цианид выделяют либо кристаллизацией путем упаривания в вакууме, либо высаливанием, либо прибавлением спирта; нередко продукт подвергают сплавлению или горячему прессованию, получая его в форме плиток. О способах получения HCN—см. *Синильная кислота.*

II. Из животного сырья (кровь, кожа, рог, копыта и т. п.) в наст. время вырабатывается лишь на мелких полукустарных установках желтая *кровяная соль* (см.) $K_4Fe(CN)_6$.

III. Из растительного сырья (паточной барды и мелассы—отходов винокуренного, крахмально-паточного и свеклосахарного производств) цианиды получаются через свободную синильную к-ту как промежуточный продукт. Способ применяется в Германии и Франции.

IV. Из продуктов пиролиза каменного угля. В настоящее время для этой цели используется лишь каменноугольный газ, содержащий Ц. с. в форме C_2N_2, HCN и NH_4CN, к-рые отделяются в процессе очистки газа. Аммиачная вода газовых з-дов, отработанная газоочистная масса и «циановый ил» из промывателей перерабатываются в ряде случаев на кровяную соль или берлинскую лазурь. За последнее время разрабатываются методы извлечения Ц. с. из коксового и доменного газов для производства комплексных цианистых солей и красок. Гораздо большее промышленное значение имеют описанные ниже синтетич. методы.

V. Из амида щелочного металла и угля (способ Кастнера). Для этого амид накаливают в смеси с измельченным древесным углем в вертикальных футерованных ретортах из хромоникелевой стали. Реакция протекает в 2 фазы:

$$2NaNH_2+C=2H_2+CN\cdot NNa_2 \text{ (при } t^\circ \text{ 550—660°)},$$

$$CN\cdot NNa_2+C=2NaCN \text{ (при } t^\circ \text{ 750—800°)};$$

уголь м. б. заменен углеводородами; амид натрия или калия получают в отдельном аппарате из расплавленного металла и газообразного аммиака:

$$2Na+2NH_3=H_2+2NaNH_2$$

при t° 380—400° и под небольшим давлением. Получаемый после цианирования плав содержит ок. 90% NaCN; его фильтруют расплавленным и получают готовый продукт с 97—98% NaCN. Выход (по азоту) достигает 98%. Способ Кастнера применяется на з-дах Германии.

VI. Из щелочных карбонатов и аммиака в присутствии восстановителя. 1) Действием аммиака на смесь щелочного карбоната и угля при $t^\circ \sim 800°$ (способ Зиперманна); вероятный механизм реакции:

$$Na_2CO_3+NH_3=H_2O+NaOH+CN\cdot ONa;$$

$$2CN\cdot ONa=CO_2+CN\cdot NNa_2;$$

$$CN\cdot NNa_2+C=2NaCN.$$

Цианид из полученного плава выщелачивают водой, выход 60÷70% теоретич. Способ этот применяется сейчас лишь в небольших размерах. 2) В последнее время был разработан также способ получения цианида действием смеси NH_3 и CO на соду при t° 600—650° (Хенглейн,

1930). Этот синтез представляет случай очень сложного равновесия; суммарно весь процесс м. б. выражен ур-ием:

$$Na_2CO_3+2NH_3+3CO \rightleftarrows 2H_2O+2CO_2+ +H_2+2NaCN \quad -29\ 000\ cal.$$

VII. Из карбонатов и элементарного азота. 1) Нагреванием смеси Na_2CO_3 или K_2CO_3 с углем, *в присутствии железа как* катализатора, в токе азота при температуре 950 ÷ 1 000° и увеличенном давлении [способ Бечера (Bucher)]:

$$Na_2CO_3+4C+N_2=3CO+2NaCN.$$

Шихта для азотирования составляется в соотношении $Na_2CO_3 : C : Fe \cong 2 : 2 : 1$ и брикетируется. Цианид из плава выщелачивается водой (при 35—40°) или жидким аммиаком. Производство по этому способу было поставлено в США и Голландии. 2) Нагреванием карбоната бария $BaCO_3$ с углем в токе азота при $t°$ 1 000 ÷ 1 400° (*способ Маргерита*). Основная реакция:

$$BaCO_3 + 4C + N_2 = 3CO + Ba(CN)_2;$$

одновременно с нею всегда имеет место реакция

$$BaCO_3 + 3C + N_2 = 3CO + BaCN_2,$$

т. ч. получается смесь цианида и цианамида бария. Шихта приготовляется в соотношении $BaCO_3 : C \cong 2{,}5 : 1$ и *прессуется* в мелкие брикеты (*⌀ 1—2 см*). Уголь берется древесный малозольный; азот д. б. почти чистым (генераторный газ не пригоден) и вводится в 5—7-кратном количестве против теоретич.; повышенное давление благоприятствует реакции азотирования, к-рая длится ок. 1 часа. Аппаратура для этого, а также и для (1) процесса—трубчатые печи с наружным электрич. или огневым обогревом либо горизонтальные реторты. Швейцер в Германии применял шахтную печь, обогреваемую электрич. током, в к-рую сверху загружались брикеты, а снизу подводился азот. Аппаратура корродируется чрезвычайно сильно; *материалом для нее могут служить* сплавы Fe-Cr или лучше Ni-Cr. Расход энергии на 1 *кг* N_2 равен 14 ÷ 19 kWh; в крупных установках он может быть снижен предположительно до ~ 8 kWh. Получаемый $Ba(CN)_2$ не является конечным продуктом: он должен перерабатываться на месте в HCN, NaCN или KCN (с регенерацией $BaCO_3$). *Производство* цианидов по описанному методу в крупном размере еще не осуществлено, но имеет повидимому значительные перспективы в будущем.

VIII. Из карбида кальция и элементарного азота. Франк получил лабораторным путем цианид кальция по ур-ию

$$CaC_2 + N_2 \rightleftarrows Ca(CN)_2,$$

подвергая карбид Ca азотированию при $t°$ 1 200°, после чего продукт реакции быстро охлаждался до 400° («закаливание»). Способ этот представляет большой технический интерес, *но о промышленном его использовании* сведений не имеется.

IX. Из цианамида кальция $CaCN_2$. 1) Сплавлением технич. (содержащего уголь) цианамида кальция с содой, поташом или едкими щелочами в присутствии NaCl (Эрльвейн); способ не применяется. 2) Сплавлением $CaCN_2$ с карбидом кальция и содой при $t°$ 500—600°:

$$Na_2CO_3 + 2CaC_2 = Na_2O + 2CaO + 5C,$$
$$CaCN_2 + Na_2O + C = CaO + 2NaCN.$$

Этот процесс требует незначительной затраты энергии и потому представляет промышленный интерес, *но не вошел еще в практику*. 3) Прокаливанием $CaCN_2$ с углем в присутствии NaCl (служащего флюсом) при $t°$ 1 200 ÷ 1 500° (способ Лендиса). Основная реакция:

$$CaCN_2 + C \rightleftarrows Ca(CN)_2,$$

но благодаря одновременно имеющей место вторичной реакции

$$Ca(CN)_2 + 2NaCl \rightleftarrows CaCl_2 + 2NaCN$$

образуется также NaCN, составляющий до 25% общего выхода цианида. *Во избежание* обратного течения основной реакции продукт необходимо подвергать быстрой «закалке». Выход по азоту превышает 90%. Способ Лендиса достаточно рентабелен и за последние годы широко развивается. В Америке по этому способу работает American Cyanamid Co., ведя *плавку в тигельной электрич. печи*, причем одним электродом служит сам тигель, выложенный угольными плитками, а другим—угольный стержень; нагревание применяется комбинированное—током и дугой (однофазный ток). В тигель вносят непрерывно смесь из 2 ч. $Ca(CN)_2$ и 1 ч. NaCl с небольшой добавкой CaC_2 (*для связывания выделяющегося азота*, дающего пену); $t°$ реакционной зоны ок. 1 200°. Реакция проходит быстро; готовый плав непрерывно выпускают из тигля на холодные металлич. плиты (для закалки). Продукт в виде темносерых чешуек содержит $Ca(CN)_2$, NaCN, NaCl, CaO и ~1% CaC_2+CaCN_2; частью он идет в *переработку, частью же выпускается* на рынок и используется в золотопромышленности.

X. Синтезы цианидов через нитриды магния (Mg_3N_2) или титана (Ti_2N_2), напр. по реакции

$$Mg_3N_2 + Na_2CO_3 + C = 3MgO + 2NaCN,$$

многократно изучавшиеся, в производственную практику не вошли.

XI. Получение простых цианидов из комплексных — прокаливанием *последних с металлич. натрием или калием*— в настоящее время промышленного значения почти не имеет.

Общая продукция цианистых соединений по всем странам составляет 40—45 тыс. *т* в год (точному учету она не поддается); производственная мощность существующих заводов значительно *выше этой цифры*. *Мировое потребление* Ц. с. (в пересчете на чистый NaCN) в 1931 г.: в форме NaCN и KCN—22 000 *т*, в форме $Ca(CN)_2$—15 000 *т*. Главными производителями Ц. с. являются: США, Англия, Франция, Германия, Голландия, Дания, Швеция, Япония и Польша.

Свойства и применение Ц. с. Цианистый калий KCN—бесцветные кристаллы правильной системы (из водного раствора кристаллизуется в октаэдрах, из расплавленной массы—в кубах), гигроскопичные, очень легко растворимые в воде и несколько растворимые в спирте (1 : 80 при $t°_{кип.}$); уд. в. 1,52; $t°_{пл.}$ 634,5°. *При белокалильном жаре* соль испаряется без разложения, под действием атмосферной влаги и CO_2 она быстро изменяется, выделяя HCN и переходя в K_2CO_3. Цианистый натрий NaCN—соль, во всех отношениях подобная KCN; $t°_{пл.}$ 563,7°; из воды кристаллизуется в гидратной форме $NaCN \cdot 2H_2O$. *Цианиды* Na и K *применяются* для извлечения золота (реже серебра) из бедных россыпей, вводятся в состав электролитич. ванн для золочения и серебрения, отчасти идут для цементации стали, для получения берлинской лазури и в фотографии. Значительные количества NaCN и KCN перераба-

тываются на свободную синильную кислоту, а также используются в органич. синтезе для получения нитрилов. С помощью этих солей изготовляются нек-рые средства борьбы с вредителями (цианугольные эфиры и сама синильная к-та); в военно-химич. деле они могут служить сырьем для получения ряда боевых О. В. (бромбензилцианид, дифенилцианарсин, хлористый циан).

Цианистый аммоний NH_4CN; летучее, весьма непрочное кристаллич. соединение, растворимое в воде и спирте. Диссоциирует на NH_3+HCN уже при температуре 36°. Содержится в неочищенном светильном, коксовом и доменном газе. Цианистый кальций $Ca(CN)_2$ и соответствующая кислая соль $Ca(CN)_2 \cdot 2HCN$ — *см. Кальция соединения*. В относительно чистом виде на рынок выпускается лишь соль $Ca(CN)_2 \cdot 2HCN$, применяемая как инсектисид. Технический $Ca(CN)_2$ — весьма загрязненный продукт, непрочный и не выносящий дальних перевозок. Он составляет сейчас до 40% мировой продукции Ц. с.; применяется для извлечения золота из россыпей, для цементации стали и как инсектисид; значительная часть его перерабатывается на месте производства в щелочные цианиды. Цианистый барий $Ba(CN)_2$ — устойчивая соль, хорошо растворимая в воде (80 : 100) и нерастворимая в спирте, м. б. получена в форме кристаллогидрата $Ba(CN)_2 \cdot 2H_2O$. Водяной пар при $t°$ 300° отщепляет весь азот этой соли в виде аммиака по ур-ию:

$$Ba(CN)_2 + 4H_2O = 2NH_3 + Ba(OH)_2 + 2CO.$$

$Ba(CN)_2$ изредка применяют в гальваностегии.

Комплексные цианиды $K_4Fe(CN)_6$, $Na_4Fe(CN)_6$ и $K_3Fe(CN)_6$ — см. *Кровяная соль*. Кроме этих, с технич. стороны наиболее важных комплексных Ц. с. существует огромное число аналогичных комплексных солей, в состав аниона к-рых входит тяжелый металл, преимущественно железной или платиновой группы, а катионами служат атомы любого металла. Нек-рые из этих солей имеют узко специфич. области применения. *Берлинская лазурь* (см.) $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ и *турнбуллева синь* (см.) $Fe_3[Fe(CN)_6]_2$ применяются как синие краски.

Аналитическое определение Ц. с. после перевода анализируемого вещества в раствор сводится чаще всего к определению CN-иона. Качественное определение достигается обычными методами перевода CN-группы в берлинскую лазурь (синий осадок) или в CNS'-ион, открываемый с помощью иона Fe''' (красное окрашивание); о методике—см. *Синильная кислота*. Количественное определение Ц. с. А) Для простых цианидов: 1) весовой метод — осаждение раствором $AgNO_3$ в виде AgCN; 2) объемный метод—титрование раствором $AgNO_3$ по ур-ию

$$2KCN + AgNO_3 = KAg(CN)_2 + KNO_3$$

до помутнения раствора (начало выпадения нерастворимого AgCN); 3) иодометрич. титрование на основе реакции $KCN + J_2 = KJ + JCN$ (оба продукта бесцветны); титруют в присутствии $NaHCO_3$ до желтого окрашивания. Цианиды Ca, Sr и Ba предварительно переводятся в щелочные действием Na_2CO_3 или K_2CO_3. Б) Для ферроцианидов с анионом $[Fe(CN)_6]''''$ имеются специфич. методы определения. 1) Подкисляют H_2SO_4 и титруют 0,1*N* $KMnO_4$ (окисление в феррицианид). 2) Ферроцианид окисляют иодом в феррицианид $[K_4Fe(CN)_6 + J = K_3Fe(CN)_6 + KJ]$ и титруют избыток иода гипосульфитом. 3) Титрование цинком по Кольтгоффу, основанное на реакции

$$2K_4Fe(CN)_6 + 3ZnSO_4 = 3K_2SO_4 + K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2,$$

производят в присутствии нескольких капель раствора $K_3Fe(CN)_6$ и дифениламина, подкислив серной к-той до посинения осадка. В) Для феррицианидов с анионом $[Fe(CN)_6''']$. 1) Подщелачивают раствор КОН (сильно), кипятят и приливают концентрированный раствор $FeSO_4$ для восстановления в ферроцианид, затем фильтруют, разбавляют, подкисляют H_2SO_4 и титруют $KMnO_4$. 2) Иодометрический способ: действием избытка KJ восстановляют соль в ферроцианид (выделяется J_2), подкисляют HCl, затем удаляют ион $[Fe(CN)_6]''''$ осаждением цинком, нейтрализуют содой и титруют иод гипосульфитом.

Лит.: Кретов А., «ЖХП», М., 1925—26, т. 2, *4—5*, стр. 350, и 1926, т. 2, *6*, стр. 482; его же, там же, 1933, *4*, стр. 28 (обзор методов производства и лит.); Ц-ч Е., «Химич. пром-сть», Берлин — М., 1925, *2*, стр. 53; Везер Б., там же, 1925, *9*, стр. 262, и 1926, *12*, стр. 401; Опоцкий В., «ЖХП», 1930, т. 7, стр. 1632 (анализ Ц. с.); Feuerbach F., Die Cyanverbindungen, W., 1896; Robiné et Lenglen, L'industrie des cyanures, P., 1903; Bertelsmann W., Die Technologie der Cyanverbindungen, M., 1906; Köhler H., Die Industrie der Cyanverbindungen, Brschw., 1914; Muhlert F., Die Industrie d. Ammoniak u. Cyanverbindungen, Lpz., 1915; Brun P., Cyanure industrielle, P., 1925; Chemische Technologie der Neuzeit, hrsg. v. Dammer O. u. Peters F., 2 Aufl., Stg., 1927; Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 3, p. 469 (приведен перечень патентов); Erlwein G., «Ztschr. f. Elektrochemie», Halle a/S., 1906, B. 12, p. 551; Bucher J., «Ind. Eng. Chem.», Wsh., 1917, v. 9, p. 223; Landis W., «Chem. a. Met. Engineering», New York, 1920, v. 22, p. 265; Chickering H., «Chem. a. Met. Engineering», New York, 1924, v. 31, p. 967; Askenasy P., «Ztschr. f. Elektrochemie», Halle a/S., 1922, B. 28, p. 130, u. 1926, B. 32, p. 216; Schweitzer A., «Ztschr. f. Elektrochemie», Halle a/S., 1926, B. 32, p. 98; «Ch.-Ztg», 1930, Jg. 54, p. 510.

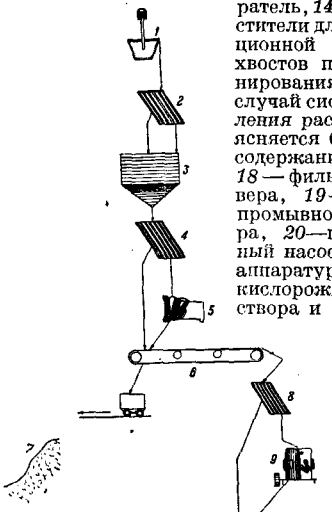
В. Янковский.

ЦИАНИСТЫЙ ПРОЦЕСС, промышленные способы *цианирования* (см.) в связи с предварительной механической обработкой золотосодержащих руд. В настоящее время в промышленной практике применяются следующие основные виды Ц. п.1) Перколяционный процесс—извлечение золота из измельченной руды в чанах раствором, просачивающимся через нее под действием собственной тяжести; он применим только к материалу (пескам), не проходящему через сито с 200 отверстиями на лин. дм. 2) Раздельная обработка материала, предварительно измельченного и разделенного на крупную фракцию (пески), обрабатываемую перколяционным процессом, и фракцию илов, обрабатываемую иловым процессом. 3) Полный иловый процесс, когда руда измельчается до такой степени (120—200 меш), что она м. б. целиком обработана в процессе агитации. 4) Комбинированный флотационно-цианистый процесс. Схему расположения з-да, обрабатывающего эти руды перколяционным процессом, см. *Золото*, Металлургия золота, фиг. 5.

На фиг. 1 изображена схема цепи аппаратов американского завода Саралинского комбината; обрабатывающего руды по второму процессу, где *1* — подвесная дорога, *2*—грохот 8'', *3*—запасной бункер, *4*—грохот 3'', *5*—дробилка Додж, *6*—конвейер для разборки руды, *7*—отвал пустой породы, *8*—грохот 0,3'', *9*—дробилка Саймонса, *10*—бункер, *11*—мельница Марси, *12*—классификатор Дорра, *13*—амальгамационные столы, *14*—мельничный чан, *15*—ординарный классификатор Дорра, *16*—столы Вильфлея, *17*—мельница Хардинжа, *18*—конус Аллена, *19*—перколяционный чан, *20*—песковый отвал, *21*—зумпф слабого раствора, *22*—зумпф крепкого раствора, *23*—бак для золотосодержащего раствора, *24*—экстрактор, *25*—осветительный чан, *26*—сгустители, *27*—американский 7-дисковый фильтр, *28*—иловый отвал, *29*—агитаторы, *30*—бак для воды, *31*—зумпф обеззолоченных растворов, *32*—чан обратного раствора.

На фиг. 2 изображена схема цепи аппаратов (развернутая) америк. з-да на Балее, работающего полным иловым процессом: *1*—грохот, *2*—бункер, *3*—дробилка Блека, *4*—бункер, *5*—ша-

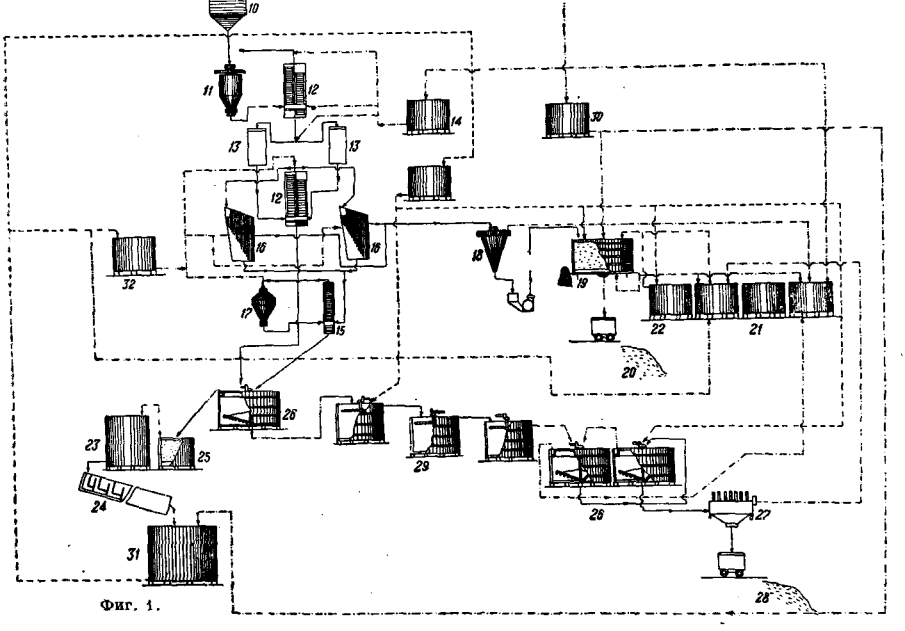
ровые мельницы Марси, *6*—зумпф, *7*—центробежный насос, *8, 9*—классификаторы Дорра, *10*—трубная мельница, *11*—центробежный насос, *12*—агитаторы Дорра, *13*—пробоотбиратель, *14—17*—сгустители для декантационной промывки хвостов после цианирования (данный случай системы отделения раствора объясняется богатой по содержанию рудой), *18* — фильтры Оливера, *19*—чан для промывного раствора, *20*—центробежный насос, *21—25*—аппаратура для обескислороживания раствора и осаждения



процессе требуют меньше места и меньших капитальных вложений. Основные виды схем их следующие: а) амальгамация, флотация и цианирование концентратов; б) флотация и цианирование хвостов; в) флотация и амальгамация концентратов; г) цианирование всей руды и извлечение упорной части из нее флотацией для специальной дальнейшей обработки; д) амальгамация и флотация.

На фиг. 3 представлена схема комбинированной флотационно-цианистой установки, где *1*—рудный ларь, *2*—грохот, *3*—щековая дробилка, *4*—грохот, *5*—дробилка Саймонса, *6*—ленточный конвейер, *7*—ленточный питатель с механич. весами, *8*—шаровая мельница Дорра, *9*—пробоотбиратель, *10*—флотационные машины Мак Интоша, *11*—вентилятор Рута, *12*—классификатор Дорра, *13* — распределитель пульпы, *14*—сгуститель, *15*—пробоотбиратель, *16*—отвалы хвостов, *17*—агитатор, *18*—чаны для раствора, *19*—чан для воды, *20*—насосы, *21*—дисковые фильтры, *22*—пульпообразователь, *23*—агитаторы Дивре, *24*—вакуум-ресивер, *25*—вакуум-насос, *26*—насос триплекс, *27*—фильтр-пресс для осветления, *28*—железный чан, *29* — фильтр-пресс, *30* — промывка осадка, *31*—нефтяная наклоняющаяся печь, *32*—ларь для флюсов.

В сравнительно недавнее время в Ц. п. возникла регенерация цианистых растворов, особенно на тех предприятиях, к-рые обрабатывают руду с содержанием соединений меди и



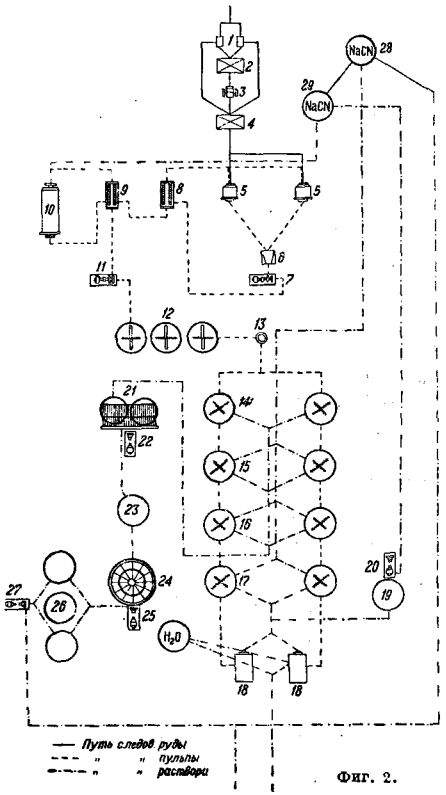
Фиг. 1.

золота по способу Мерриль-Крау, *26*—чан для раствора (обеззолоченного), *27*—центробежный насос для перекачивания раствора, *28, 29*—чан для цианистых растворов. Комбинированный флотационно-цианистый процесс сравнительно недавно вошел в практику обработки золотых и серебряных руд в большом промышленном масштабе. Установки при этом некоторых других веществ, вызывающих большой расход цианистого натра. В Канаде (на берегу Красного озера) недавно возникло интересное по своей технике золотопромышленное предприятие Хаун, обрабатывающее в полном иловом процессе золотую руду, измельченную настолько крупно, что она проходит сито только с 40 отверстиями на линейный

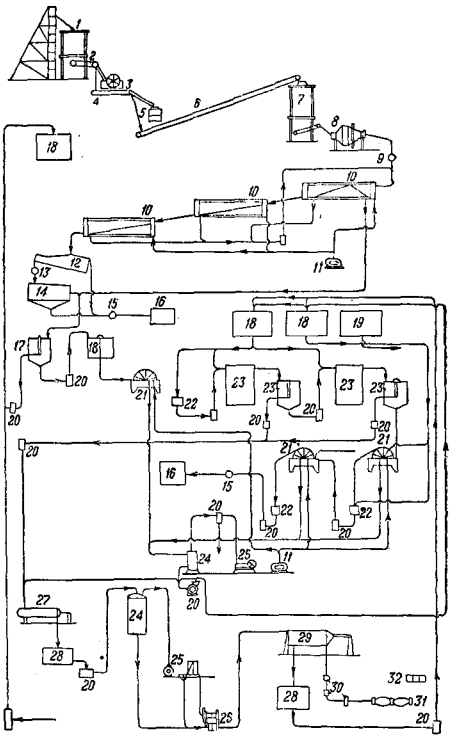
люйм. Однако стоимость добычи и обработки этим способом оказалась очень высокой.

Из полученных растворов золото осаждается цинком, применяемым в виде стружки и цинковой пыли (пуссьера цинкодистилляционного производства и специальные сорта пыли, более чистые по своему химич. составу, например марка «Меррилит»).

В настоящее время почти на всех больших цианистых з-дах принята непрерывная подача цинковой пыли в движущийся цианистый раствор (способ Мерриля). Для подачи цинковой пыли употребляются питатели различных типов, чаще ленточный конвейер, на поверхности к-рого помещается тонкий слой пыли; толщина ее слоя регулируется щелевым затвором; специальный встряхивающий механизм препятствует прилипанию и зависанию пыли. Расход пыли 25—50 г на 1 м³ бедного золотом и 100—300 г—богатого золотом раствора. Теоретич. расход по реакции замещения (ур-ие Парка)—1 г цинка на 6,03 г золота и на 1,93 г меди. В цинковой пуссьере обычно содержится 5—10% окиси цинка; другие примеси—обычно свинец и кадмий. Существенные преимущества осаждения цинковой пылью в сравнении с осаждением стружками, несмотря на большую сложность и дороговизну аппаратуры, следующие: 1) быстрота осаждения металла, 2) автоматизм и механизация в работе, 3) более низкая операционная стоимость, 4) портативность установок, 5) меньший расход цинка, 6) стоимость цинковой пыли обычно ниже, чем цинковой стружки.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Выбор метода осуществления Ц. п. производится: 1) на основании лабораторного исследования руды, сопровождаемого иногда опытами в полузаводском масштабе, и 2) на основании технэкономического исследования

Табл. 1.—Предельное содержание золота в рудах для рентабельной переработки их.

Низший предел содержания золота в руде (в г/т)	Соответствующая суточная производительность (в т)
	Коренные месторождения
1,5—2	10 000 (магазинирование); обработка с предварительной сортировкой. Механич. обогащение, флотация и амальгамация
3,5—4	500 (открытые горные работы, крупный помол, перколяция)
5—6	300—400
8—10	100—150
13—16	74—100
20—25	25—50
	Отвалы эфелей
1,5—2	100; флотация с направлением концентратов на цианистый или плавильный з-д и иногда с цианированием
2—4	100; цианирование по раздельному процессу

Табл. 2.—Стоимость добычи и обработки 1 *m* золотосодержащей руды в Шаста Каунти (Калифорния, март 1931 г.).

Категория работ	Стоимость в долл.
Горные работы:	
Рабочая сила	0,051
Материалы	0,058
Электрич. экскаватор	0,08
Энергия для ведения работ в карьере	0,034
Бурение	0,002
Общие расходы (по горным работам)	0,036
Администрация	0,018
Транспорт руды	0,136
Итого ...	0,385
Обработка руды:	
Рабочая сила	0,182
Материал	0,176
Энергия	0,031
Общие расходы	0,024
Администрация	0,015
Экстренные и случайные расходы	0,004
Итого ...	0,432
Общая стоимость добычи и обработки 1 *m*	0,817

Табл. 3.—Стоимость обработки в зависимости от принятой схемы (по Шервуду).

Метод обработки	Стоимость обработки (в долл. на 1 *m*)	Завод и район
Измельчение—0,42, трубные мельницы и классификация—0,26, цианирование—0,36, извлечение—97%	1,03	Мисор, Индия 1932 г.
Измельчение (40 нестов) в цианистом растворе, трубные мельницы, агитаторы Пачука и фильтры Мура	1,51	Уэхи, Нов. Зеландия 1910—1912 гг.
Измельчение — 0,30, классификация и цианирование—0,20 долл. (суточн. производительность—4 200 *m*), извлечение—94%	0,50	Хомстэк, Юж. Дакота
Серебряно-золотая руда, полный иловый процесс и непрерывная противоточная декантация (производительность—60 *m* в сутки)	3,02	Элко Принс, Невада 1917 г.
Суточная производительность—250 *m*	2,17	Юнайтед Истерн, Аризона 1917—18 гг.
Измельчение в растворе, амальгамация, противоточная декантация, извлечение—90% (суточная производительность—130 *m*)	1,23	Поркьюпайн, Онтарио
Измельчение—0,40, классификация и цианирование—1,0 долл.	1,40	Холлинджер, Онтарио
Измельчение—0,67, цианирование—2,08 долл., извлечение—99 и 92 %	2,75	Написсинг, Онтарио. Для з-дов, обрабатывающих богатую и бедную серебряные руды
Измельчение, концентрация, цианирование	1,57	Колорадо, 1914—15 гг.
1. Обжиг, тонкое измельчение, цианирование, фильтр-прессы, в среднем ок.	3,00	Зап. Австралия; теллуристые руды обрабатываются на з-дах 200—500 *m* суточной производительности
2. Обработка сырой необожженной руды, цианирование и бромоцианирование, в среднем ок.	3,00	

условий, в к-рых возникает данное предприятие. Т. о. основные факторы, определяющие методы обработки руды, следующие: 1) состав и свойства руды и вытекающие отсюда технич. показатели, установленные исследованием; 2) запасы руды, обусловливающие производительность возникающего предприятия и продолжительность его работы; 3) стоимость энергии на месте ее потребления; 4) совокупность остальных экономич. условий развития предприятия (водоснабжение, условия транспорта, стоимость строительных материалов и др.). Предельное содержание золота в рудах, обеспечивающее по данным америк. практики (1932 г.) рентабельную работу, приведено в табл. 1.

В зависимости от указанных факторов находится и стоимость добычи и обработки руды. Для примера в табл. 2 приведена низкая стоимость добычи и обработки руды в Шаста Каунти (Калифорния). Сравнительная стоимость обработки 1 *m* руды на различных предприятиях приведена в *табл.* 3.

Стоимость добычи и обработки 1 *m* руды на предприятиях Хауи (Канада) выразилась в 3,5 долл. (добыча—2,18, обработка 1,32 долл.).

Лит.: Бобр В., Иловые заводы на Среднем и Южном Урале, Л., 1915; Мостович В., Цианирование, Томск, 1923; Пазухин В., На приисках Кузнецкого Алатау, Томск, 1918; Гамильтон Э., Руководство по цианированию золотых и серебряных руд, пер. с англ., М.—Л., 1932; Плаксин И., Обработка золотых руд, М.—Л., 1932; его же, Извлечение золота из руд на приисках Мариинской тайги, «Минеральное сырье и цветные металлы», 1929, *10*, стр. 1235; Чечотт Г., Золотое дело, т. 1, СПБ, 1913 (с англ.); Rose F., Metallurgy of Gold, L., 1915; Sharwood W., Hydrometallurgy of Gold a. Silver (в книге Liddell Handbook of Non Ferrous Met.), N. Y., 1926; Clennell J., Cyanide Handbook, N. Y., 1915; A Textbook of Rand Metallurgical Practice, v. 1, L., 1926, v. 2, L., 1919; Bordeaux A., L'or et l'argent, P., 1926; Megraw H., Practical Data for the Cyanide Plant, S.-Fran., 1910; Allen A., Mill and Cyanide Handbook, L., 1918; Tafel V., Lehrbuch der Metallhüttenkunde, B. *1*, Lpz., 1927; Hofman N., Hydrometallurgy of Silver, N. Y., 1907; Milling Methods, 1930, «American Inst. of Min. a. Met. Eng.», N. Y., 1930: Hamilton E., Manual of Cyanidation, N. Y., 1920; Julian H., Smart E., Allen A., Cyaniding Gold a. Silver Ores, L., 1921; Mac Farren H., Cyanide Practice, N. Y., 1912; Park J., The Cyanide Process of Gold Extraction, 3 ed., L., 1913; Clennel J., Chemistry of Cyanide Solution, N. Y., 1910; Lawer C., Cyanide Regeneration or Recovery as Practised by the Compania Beneficiadora de Pachuca, Mexico, «Techn. Publ.», 1929, *208*; «Amer. Inst. of the Min. a. Metal. Eng.»; Leaver E. a. Woolf J., Effect of Copper a. Zinc in Cyanidation with Sulphide Acid Precipitation, ibid., 1929, *250*; Halferdahl A., Treating Cupriferous Precious Metal Ores by the Cyanide Process, «Eng. Min. Journal», N. Y., 1929, v. 128 (Реф. в журн. «Цветные металлы», 1931, *5*); Meyer H., Ueber die Wirksamkeit der Arbeitslösungen im Cyanidprozess, «Metall u. Erz», Halle a/S., 1931, *11*; Reports of Investigation, Ore Dressing a. Metallurgical, Division; Mines Branch, Department of Mines, Ottawa, Canada: 1) 1923, Report *195*, *196*, 2) «Canadian Mining a. Metallurgic. Bulletin», 1931, November; Megraw H., Details of Cyanide Practice, N. Y., 1914; Bernewitz M., Cyanide Practice, 1910—1913, 1913; Smith S., Металлургия (золота) в Южной Африке, «Mining Magazine», L., 1929 (Oct.—Dec.) (Рефер. в журн. «За овладение техникой», М., 1931, *3*); Parsons C., Металлургия золота в Канаде, «Canad. Min. Journ.», 1931, July (*Реф. в журн. «За овладение техникой»*, 1932, *1*—2); Blomfield A. a. Trott M., Roasting for Amalgamating a. Cyaniding Cripple Creek Sulfotelluride Gold Ors, «Trans. of the Americ. Instit. of Mining a. Metallurgical Engineers», N. Y., 1919, v. 60, p. 118; Joung G., Cyaniding Low-Grade Gold Ore, «Eng. Mining World», N. Y., 1931, *8* (August); Goodwin W., Milling at Howey Gold, ibid., 1931, *9* (Реф. в журн. «За овладение техникой», М., 1932, *2*); «Eng. Min. World», New York, 1931, *10*.

И. Плаксин.

ЦИБЕТ, выделение заднепроходных желез циветты, хищника сем. Viverra (Сев. Африка, Азия); желтоватая, мазеобразная, содержащая жир масса с резким запахом, напоминающим мускус; пахучее начало цибетона и скатол; применяется в парфюмерии. Синтез главного душистого начала — цибетона — осуществлен ученым Ружичка (*см. Мускус*). Потребность СССР в цибете приблизительно 100 *кг* в год.

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ, см. *Кривые* и *Поверхность*.

ЦИНК, Zn, химич. элемент II группы периодич. системы; ат. в. 65,37, порядковый номер 30. Ц.—тяжелый металл, синевато-серого цвета с сильным металлич. блеском; излом показывает кристаллич. строение гексагональной или ромбич. системы. По твердости Ц. находится между серебром и медью; его твердость по шкале Моса (минералогической) 2,5, по Бринелю 35. Уд. в. 6,9—7,2; плотность жидкого Ц. падает от 6,92 (при 419,4°) до 6,53 (при 918°); $t°_{пл.}$ 419,4°; $t°_{кип.}$ 930°; $t°_{крит.}$ (при 760 *мм* давления) 920°; теплота плавления 26,6 cal; уд. теплоемкость (0—300°) 0,0978 cal; теплопроводность (при 18°) 0,27 cal/*см сек* °C; коэфициент термич. расширения $0{,}283 \cdot 10^{-4}$; электропроводность (при 0°) $17{,}4 \cdot 10^{-4}$ *см*$^{-1}$·*мо*; нормальный потенциал (при 25°)0,758±0,002 V. Ц. в холодном состоянии ломок. В интервале темп-р ± 100—150° Ц. делается ковким и прокатывается в тонкие листы, при 205° делается снова хрупким, при 500° горит ярким синевато-зеленым пламенем; в сухом воздухе Ц. не изменяется, во влажном воздухе покрывается пленкой из основного карбоната. Нагретый в воздухе до 300° Ц. сгорает в ZnO. Раскаленный Ц. разлагает водяной пар, образуя также ZnO; сероводород при обыкновенной $t°$ действует на Ц., образуя на его поверхности защитную корку сульфида Ц. Галоиды действуют на Ц. только во влажном состоянии; CO_2 Ц. восстанавливает в CO. Измельченный Ц., т. н. цинковая пыль, химически очень активен, легко разлагает воду, что при хранении в сыром помещении при свободном доступе воздуха может повести к самовозгоранию; цинковой пылью широко пользуются в химич. пром-сти как восстановителем. Ц. мало растворим в кислотах, даже сильных. Присутствие примесей (Fe, Cd, As и Sb) повышает его растворимость; в щелочах Ц. мало растворяется, образуя цинкаты и выделяя свободный водород. Ц. легко сплавляется с разными металлами, как медь, серебро, алюминий, висмут, никель, ртуть. О механич. свойствах Ц. и его сплавов см. *Спр. ТЭ*, т. II, стр. 395. Способностью Ц. сплавляться с серебром пользуются при обессеребрении свинца по способу Паркеса (см. *Серебро*). Основной рудой для получения цинка является цинковая обманка, сернистый цинк, ZnS (см. *Цинковые руды*); при флотации цинковой обманки получаются цинковые концентраты, тонкость измельчения которых достигает 200 меш. В концентрате содержится в среднем 45% Zn, 30% S, 15% Fe.

Важнейшими цинковыми соединениями, с к-рыми приходится иметь дело при металлургии Ц., являются: ZnS; $ZnCO_3$; ZnO; $ZnSO_4$; $ZnCl_2$ (см. *Цинка соединения*). ZnS не плавится и при окислении образует ZnO и $ZnSO_4$. При высокой $t°$ разлагается; при нагревании летуч.

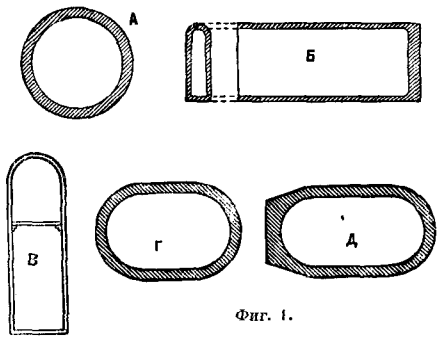
Имеется три способа получения Ц.: 1) сухой, или пирометаллургический, 2) электротермический и 3) мокрый, или гидро-электрометаллургический. По первым двум способам основная реакция сводится к восстановлению окиси Ц. углеродом и окисью углерода. По третьему способу окись Ц. переводится в сульфатный или хлорный раствор, из к-рого Ц. получается или в виде солей или в металлич. состоянии путем электролиза.

Пирометаллургия Ц. Отличительной особенностью пирометаллургии Ц. являются следующие два обстоятельства. 1) Темп-ра восстановления Ц. (1 100°) лежит выше $t°_{кип.}$ Ц.; в отличие от других металлов, которые получаются при восстановлении в жидком состоянии, Ц. получается в парообразном состоянии. 2) Пары Ц. легко окисляются воздухом, углекислотой и парами воды, поэтому дистилляция Ц. должна производиться в закрытых сосудах в восстановительной атмосфере. Исходным материалом для получения металлич. Ц. является окись Ц., для получения к-рой карбонатные и силикатные руды подвергаются кальцинированию, а цинковая обманка—обжигу. Целью кальцинирования является удаление влаги, углекислоты и разрыхление руды. Рудные минералы теряют CO_2 и H_2O при 400°, пустая порода—между 300—800°. При кальцинировании окисных руд теряется 20—30% от общего веса. Для кальцинации применяются шахтные печи для кусковой руды с содержанием мелочи не более 15—20% и отражательные печи для мелкой руды. Отражательные печи бывают: 1) с горизонтальным подом, одно- или двухподовые; 2) с наклонным подом, под углом в 18°; 3) вращающиеся цилиндрич. печи. Топки к печам: прямые колосниковые и газогенераторные. Для уменьшения стоимости перевозки руды кальцинирование обычно производится на местах добычи руды.

Обжиг цинковой обманки. Цинковые концентраты представляют собой смесь сернистого цинка с различными количествами свинцового блеска и пирита. Кроме того там содержатся кварц, карбонаты кальция и магния, в незначительном количестве сернистые соединения мышьяка, сурьмы, серебра, меди, кадмия. Очень часто цинковая обманка содержит фтор, плавиковый шпат и барит, а иногда киноварь. Основная реакция при процессе обжига $ZnS+3O=ZnO+SO_2$ (+114,5 cal). Чем мельче зерно, тем скорее обжиг. Темп-ра обжига 800—900°. При этой $t°$ полностью разлагается сульфат Ц. При обжиге окись Ц., реагируя с окислами других металлов, может образовать двойные окислы. Потеря веса при обжиге составляет 10—20%. Обжиг производится преимущественно в муфельных печах с механич. перегребанием. За последнее время широкое применение находит обжиг со спеканием на машинах сист. Дуайт Ллойд. Обжиг имеет целью перевести сернистый Ц. в окись, а получаемые сернистые газы использовать для производства серной к-ты. Из механич. печей широкое распространение в Европе нашли круглые печи сист. Спирле и *Веджа печи* (см.).

Обжиг со спеканием. Затруднения при обжиге и восстановлении флотационных концентратов, вызываемые чрезвычайной измельченностью продукта, обусловили введение обжига со спеканием. Процесс обжига со спеканием ведется трояко: а) Концентрат обжигается в механич. печах до содержания 9—10% серы, затем подвергается окончательному агломерирующему обжигу (способ Ригга). б) Предварительный обжиг в печах производится до содержания 3—4% серы, затем обожженный концентрат смешивается с 2—3% угля и подвергается окончательному обжигу со спеканием (способ Vieille-Montagne). в) Как предварительный, так и окончательный обжиг производится на спекательных машинах (см. *Спекание*). Обжиг цинковых концентратов во взвешенном состоянии заключается во вдувании флотационных концентратов в печь. Одновременно в печь подается нагретый воздух. В настоящее время этот способ начинает внедряться в промышленность.

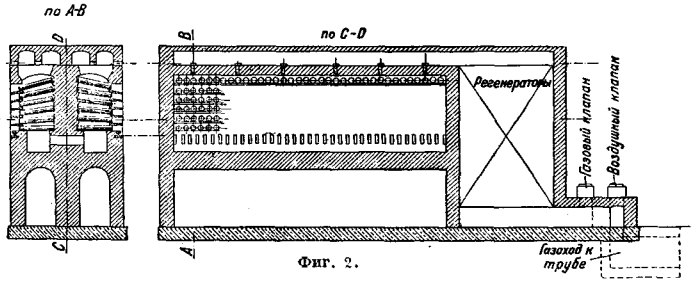
Восстановление (дистилляция). Обожженная цинковая руда имеет сложный состав. Соединения цинка в ней находятся в виде: ZnO, ZnS, $ZnSO_4$, ферритов, силикатов и алюминатов Ц. Руда смешивается с углем и подвергается действию высокой $t°$, достигающей 1 200—1 300°. Восстановление окиси Ц. углеродом начинается при 910—920° и доходит до конца лишь при $t°$ в 1 300°: $ZnO+C=Zn+CO$ (−56,43 cal); восстановление ZnO окисью углерода начинается при 600° по реакции:



Фиг. 1.

$ZnO + CO \rightleftarrows Zn + CO_2$ (−17,44 cal); восстановление этой окиси водородом начинается при 454° по реакции: $ZnO + H_2 \rightleftarrows Zn + H_2O$; феррит цинка $ZnO \cdot Fe_2O_3$ восстанавливается при 1 100°; сернистый Ц. при белом калении от 1 200° до 1 450° с углеродом разлагается по реакции: $2ZnS + C = Zn_2 + CS_2$. ZnS разлагается железом и известью при 1 250°. Сульфат цинка $ZnSO_4$ при нагревании в присутствии углерода разлагается при 528° по реакции: $2ZnSO_4 + C = 2ZnO + 2SO_2 + CO_2$. Присутствие CaO способствует разложению. Температура в печи, необходимая для процесса восстановления, колеблется в пределах от 1 400 до 1 500°.

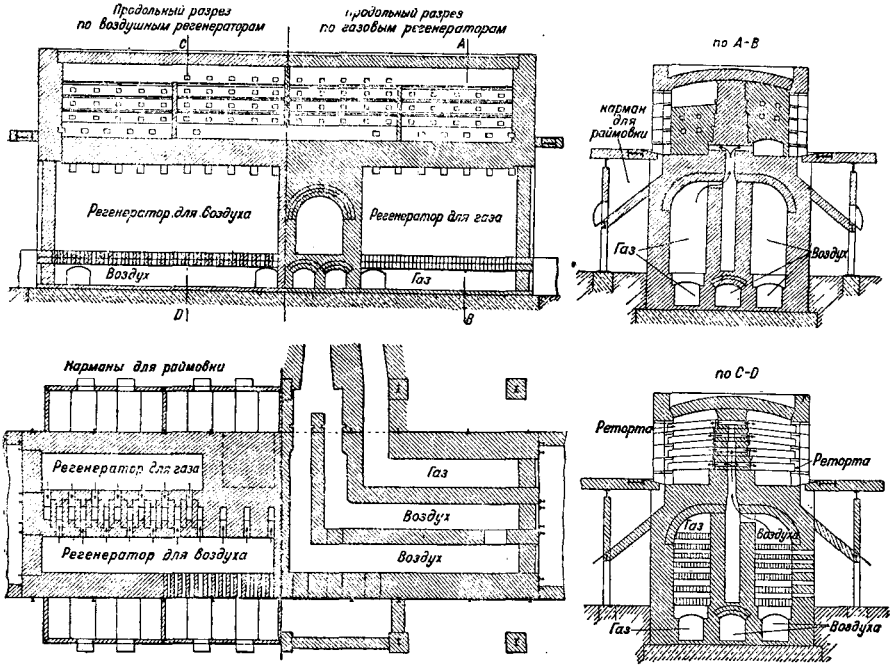
Процесс восстановления ведется в так наз. цинкодистилляционных ретортных печах. Обожженная цинковая руда в смеси с восстановителем (обычно антрацитовый штыб в количестве 40—50%), иногда с добавкой коксовой мелочи загружается в реторты (фиг. 1, где А, Б, В, Г и Д—различные формы сечений реторт для цинко-дистилляционных печей), устанавливаемые в 1 или несколько рядов по высоте в печь. В Европе распространены преимущественно трехрядные печи, в Америке—многорядные (5, 6, а иногда 8) печи с числом реторт, доходящим до 1 000. В зависимости от величины реторт и числа их рядов различают три типа печей: 1) Бельгийские печи, имеющие до 400 реторт, расположенных в 4—7 рядов (в печах Маттисена и Хегелера число реторт доходит до 1 000). Топлива расходуется 120—135% от веса руды. 2) Силезские печи с 48—72 ретортами; расход топлива для галмея составляет 140%, для цинковой обманки 180% от веса руды. 3) Рейнские печи с 120—252 ретортами, расположенными в три ряда. Расход топлива 110—135%. Печи отапливаются гл. обр. генераторным газом. По способу подачи газа и воздуха и по движению пламени цинко-дистилляционные печи можно разбить на 3 типа: 1) воздух и газ подаются через отверстия в поду печи под нижним рядом реторт через регенераторы, расположенные под печью; это наиболее распространенный тип печи (напр. печь Сименса); 2) воздух и газ подаются через свод печи (печь Дорра, фиг. 2). Регенераторы составляют продолжение печи; печь Дорра установлена на Беловском заводе (Кузбасс); 3) воздух и газ подаются в головной части печи с зигзагообразным продольным движением пламени (печь Танье, фиг. 3); эта печь установлена на Константиновском з-де (Донбасс). Цинко-дистилляционные печи служат 18—24 месяца.



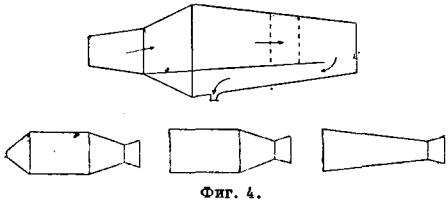
Фиг. 2.

Для конденсации паров цинка к реторте снаружи печи приставляется конденсатор—глиняная труба в виде усеченного конуса. Темп-ра в конденсаторе д. б. не ниже 450—500°. Ц. выгребается 3—4 раза в сутки. Выход Ц. составляет в среднем 86—89%. Потери Ц. (в %) распределяются так: потери на улетучивание 3,3—5,75, потери в раймовке 5,5—7,00 и потери в ретортах и конденсаторах 2,2—3,25. Шихта д. б. составлена т. о., чтобы раймовка (остатки) была сухой и легко выгружалась из реторт. Жидкая раймовка разрушает стенки реторт и уменьшает выход металла. Для перемешивания шихты применяются механич. смесители, напр. периодически действующая мешалка Рапса. Перед загрузкой в реторты шихта смачивается (до 10% влаги). Раймовки получается 50—70% от веса шихты с содержанием Ц. в 5—7%. Раймовка часто содержит свинец и серебро и подвергается переработке (по преимуществу вельц-процессом), как свинцовая руда. Раймовка загружается в вращающуюся цилиндрич. печь. При $t°$ 1 200° происходит восстановление ZnO и Pb при одновременном их окислении. Получаемые окислы металлов улавливаются в пылеуловителях. Сырой Ц. содержит 98—98,5% Zn; 1—1,5% Pb; 0,3—0,4% Fe. При дистилляции Ц. в ретортных печах в процессе конденсации часть Ц. получается в виде цинковой пыли (пуссьеры). Получение цинковой пуссьеры объясняется образованием пленки ZnO, к-рая обволакивает мельчайшие капельки Ц., препятствуя их слиянию. Влага и воздух, попадающие в реторты вместе с шихтой, способствуют окислению Ц. и образованию пуссьеры. Для улавливания пуссьеры на конденсаторы надеваются металлич. алонжи, изготовляемые из жести (фиг. 4). Количество Ц., улавливаемое в алонжах в виде пыли, составляет 2,2—2,5% от веса загружаемого цинка.

Рафинирование Ц. Сырой Ц. в том виде, в каком он выгребается из конденсаторов, содержит значительное количество примесей, гл. обр. свинец и железо. Для удаления свинца и железа Ц. переплавляется при низких $t°$ в отражательной печи емкостью 20—150 m при восстановительной атмосфере. Свинец отделяется ликвацией до содержания, определяемого растворимостью его в Ц. при данной $t°$. Отделяющийся при этой операции свинец увлекает за собой часть Ц., так что на дне ванны получаются богатые свинцовые сплавы, содержащие 5—6% Zn, до 0,12% Fe и 0,03% Cd. Железо концентрируется в виде сплава с цинком тонким слоем, покрывающим нижележащий свинец. Этот железистый продукт носит название твердого цинка и содержит 5—6% Fe. После 24- или 36-час. выдержки вычерпывается треть металла и печь догружается свежим материалом. Расход топлива составляет 8—10% от веса рафинированного Ц. Количество шлака составляет 1,25% от веса Ц.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

Редистилляция (вторичная перегонка) Ц. применяется для получения высокосортного Ц., т. к. зейгерованием удается получить Ц., годный лишь для прокатки, а иногда для торговых сортов латуни. Для редистилляции могут служить обыкновенные трех- или четырехрядные печи. Ретортам придают наклон спереди назад. Конденсаторы не отличаются от обыкновенных. Редистиллированный Ц. содержит 0,1% Pb; 0,01% Fe; 0,04% Cd; 99,85% Zn. Выход Ц. составляет 88%, остальное—полупродукты и потери. Заслуживает внимания редистилляция по способу Митке при вакууме в электротермических печах с поверхностным испарением металла.

Электротермический способ получения Ц. Цинковые концентраты обжигают, смешивают с углем и флюсами и смесь подвергают нагреву в специальных печах электрич. током. Восстановление окиси Ц. протекает очень быстро, т. ч. CO_2 не успевает полностью восстановиться в CO. Высокое содержание CO_2 в газовой смеси способствует образованию значительного количества пыли (до 50% всего Ц.). Существуют следующие способы конденсации: 1) конденсация всего Ц. в жидкий металл (прямая конденсация); 2) конденсация всего Ц. в виде пыли и дальнейшая ее переработка; 3) конденсация части Ц. в жидкий металл и другой части—в виде окиси (наиболее распространенный способ). Для процесса применяются дуговые печи и печи сопротивления. Загрузка бывает периодическая и непрерывная. Процесс ведется или насухо или с расплавлением шихты. Исходным материалом для электротермич. способа являются окисные или обожженные руды (восстановительная плавка). Можно также перерабатать и сернистые руды (реакционная плавка).

Гидрометаллургия и электроосаждение Ц. При сухом способе переработки цинковых концентратов с высоким содержанием свинца, меди и благородных металлов извлечение этих металлов (при дальнейшей обработке цинковой раймовки) не превышает 60—70%. Электролитный же процесс обеспечивает почти полный переход свинца, меди и благородных металлов в кэки (остатки). Обработка кэков и извлечение из них металлов проще и обходятся дешевле, нежели обработка раймовки. В настоящее время гидрометаллургический способ вытесняет старый способ, т. к. при первом получается Ц. высокой чистоты. Гидро-электрометаллургич. способ получения цинка состоит из нескольких операций. О б ж и г. Цель обжига—удаление серы и окисление Ц. при минимальном образовании ферритов и силикатов. Для уменьшения расхода серной к-ты желателен перевод при обжиге части Ц. в сульфатное состояние. Темп-ра обжига 550—650°С. В обожженном продукте остается 3—5% серы, из которой 0,5% сульфидной. Обжиг обыкновенно производится в стандартных многоподовых печах Веджа с подогревом. Расход топлива составляет 5—10% от веса концентратов.

В ы щ е л а ч и в а н и е. Цель выщелачивания—перевести все окислы и сульфаты Ц., содержащиеся в обожженном продукте, в сернокислый раствор. Вместе с Ц. при этом частично растворяются Fe, As, Sb, Si, Al, Cu, Cd и др. Так как Ц. более электроположителен, чем As, Sb, Cu, Cd, Co, Ni, Fe, Mn, все перечисленные элементы д. б. удалены из электролита. Бо́льшая часть примесей осаждается в процессе выщелачивания при нейтрализации раствора. Существуют два способа выщелачивания: простое и двойное выщелачивание. При первом способе обожженный материал постепенно добавляется в отработанный электролит до получения раствора, содержащего 0,3—0,5% H_2SO_4. При добавлении молотого известняка из нейтрализованного раствора осаждаются: Fe, Si, Al, As, Sb. Двойное выщелачивание состоит из двух операций: первого—нейтрального и второго—кислого выщелачивания. В осветленный раствор после кислого выщелачивания, смешанный с отработанным электролитом, добавляется обожженный продукт до полной нейтрализации кислоты. К раствору, идущему на нейтральное выщелачивание, прибавляются все фильтраты и промывные воды, кислотность которых составляет от 0,3 до 0,5% H_2SO_4. Общая кислотность раствора колеблется между 3 и 4% H_2SO_4. Выщелачивание происходит в пневматических мешалках типа Пачука, расположенных серийно, по 7 шт. в серии. При нейтрализации раствора осаждается железо, к-рое увлекает часть As и Sb и ок. 60% Cu. Нейтральная пульпа из чанов поступает в классификатор Дорра для отделения песков от мелких частиц шламов; последние поступают в уплотнитель Дорра, где происходит отделение сгущенного осадка от осветленной пульпы, идущей на очистку, а затем на электролиз. Пески поступают на кислое выщелачивание. Отношение в песках жидкого к твердому равно 3; в шламах 35—40. Осветленная пульпа после сгустителя содержит 2—3 *г* твердого на 1 *л*. Сгущенная пульпа содержит 20—25% твердого. При этом выщелачивании извлекается 50—60% Ц. Средняя температура процессов при выщелачивании 45°. Сгущенная пульпа от нейтрального выщелачивания поступает с помощью насосов Дорка на кислое выщелачивание во вторую серию чанов Пачука. Сюда же поступает отработанный электролит. Пульпа от кислого выщелачивания поступает во второй уплотнитель Дорра, где получается уплотненная пульпа, идущая на фильтр, и осветленный раствор, поступающий в нейтральное выщелачивание. Уплотненная пульпа промывается водой и поступает на второй фильтр. Твердые кэки высушиваются и поступают на свинцовый з-д. Отработанный электролит содержит 9—11,5% H_2SO_4 и 2,5% Zn; осветленный раствор кислого выщелачивания содержит 0,5% H_2SO_4 и 10,0% Zn. До нейтрального выщелачивания прибавлением MnO_2 переводят сульфат закиси железа в сульфат окиси. При добавлении обожженного материала сульфат окиси переходит в гидроокись железа, нерастворимую в нейтральном или слабощелочном растворе и образующую с As и Sb нерастворимые соли.

О ч и с т к а р а с т в о р а (п у р и ф и к а ц и я). Осветленный нейтральный раствор содержит 40—60% меди, имевшейся в обожженной руде, почти весь Cd, а также Ni, Co, As, Sb. Удаление Cu и Cd производится прибавлением в раствор цинковой пыли (2—5% от веса полученного Ц.). При перемешивании в механич. агитаторах происходит осаждение Cu и Cd. Длительность перемешивания 2,5—4 ч. Смесь из агитатора выпускается в сгуститель Дорра, где металлические шламы уплотняются. Слив и уплотненная пульпа поступают на фильтры. Слив содержит 3—4 *г* твердого на 1 *л*; сгущенная пульпа 40—50% твердого. При этом кэки перерабатываются на кадмий и медь. As, Ni и Co при прибавлении цинковой пыли полностью осаждаются из нагретого раствора (85°), содержащего достаточное количество сульфата меди. Кроме того Co м. б. осажден вместе с железом, для чего необходимо предварительно при помощи озонированного воздуха перевести $CoSO_4$ в $Co_2(SO_4)_3$. Аналогичным образом освобождается раствор от никеля. Для удаления хлоридов применяется сернокислое серебро. При выщелачивании и очистке применяются уплотнители Дорра, агитаторы Дорра, чаны Пачука (см. *Золото*, фиг. 6, 7 и 8). Для фильтрования сгущенных пульп применяют *вакуум-фильтры* (см.), для осветленных растворов — фильтр-прессы (см. *Фильтры*).

Э л е к т р о л и з. Напряжение, необходимое для разложения сернокислого раствора цинка, доходит до 3,5 V в зависимости от сопротивления электролита и электродов. Сопротивление электролита уменьшается с увеличением концентрации раствора Ц., кислотности и $t°$. С другой стороны, увеличение кислотности и $t°$ электролита вызывает повышенную коррозию катодного Ц. Анодами служат свинцовые листы, катодами—алюминиевые. Образование пленки перекиси свинца и марганца на анодах и выделение водорода на катодах увеличивают сопротивление электродов. Выделение водорода на катоде происходит в том случае, если раствор Ц. сильно разбавлен или циркуляция раствора недостаточно интенсивна. Плотность тока не превышает 270 А на 1 $м^2$ при 6—8% концентрации цинкового электролита. При электролизе цинка часто наблюдаются явления получения губчатого или ветвистого осадка и растворения катодного Ц. Получение древовидных осадков является причиной коротких замыканий. Эти ненормальные отложения являются следствием неравномерного распреде-

ления тока на катодах. Прибавление коллоида способствует образованию плотного катодного осадка. Объясняется это тем, что коллоиды, будучи плохими проводниками, препятствуют образованию ветвистых кристаллов в тех местах, где плотность тока делается преувеличенной. Присутствие элементов, даже в минимальной пропорции, более электроотрицательных, чем Ц., как то: Cu, Co, Ni, As, Sb, способствует растворению катодного цинка. Кобальт—наиболее вредная примесь. Нескольких *мг* этого элемента на 1 *л* электролита достаточно, чтобы вызвать растворение катодного цинка. Присутствие коллоидов несколько парализует его действие. Никель действует аналогично кобальту. Однако он редко встречается в значительных количествах в цинковых рудах. Мышьяк и сурьма способствуют растворению катодного Ц. и вызывают образование черного шероховатого осадка. Из этих двух элементов наиболее вредна сурьма. Содержание примесей в электролите не должно превышать следующих пределов (в *мг/л*): 350 Mn, 50 Cl, 30 Fe, 12 Cd, 10 Cu; Co, Ni, As и Sb по 1. Электролиз производится в ваннах из дерева, выложенных свинцом, или железобетонных, выложенных изнутри слоем толщиной в 25 *мм* из смеси серы (30%) и песка (70%). Ванны располагаются каскадами для возможности циркуляции раствора; свинцовые аноды и алюминиевые катоды подвешиваются параллельно на расстоянии 5 *см* друг от друга. Поверхность анода делается меньше поверхности катода для предупреждения образования нитевидных осаждений на катоде, к-рые могут явиться причиной коротких замыканий. Плотность тока 250—350 А на 1 $м^2$. Катоды вынимаются каждые 48 ч. Вес пластинки Ц. 7—9 *кг*. Аноды вынимают каждые 2 месяца для очистки с них осадка MnO_2 и PbO_2. Темп-ра ванны в 50° поддерживается змеевиками, через к-рые протекает вода. Напряжение в ванне 3,2—3,8 V. Каждые 2 ч. на каждую *т* отлагаемого металла прибавляется 28—42 *г* желатины. Расход энергии на 1 *т* Ц. на электролиз 3 600 kWh и прочие нужды 400 kWh.

Плавка катодного Ц. производится в отражательных печах производительностью в 100—125 *т* в сутки. Размеры печи: 7,2×5,4×2,4 *м*. Глубина ванны 900 *мм*. Атмосфера в печи восстановительная. Расход топлива 5—6% от веса переплавленного Ц. При плавке образуется 5% шлаков. Потеря Ц. при переплавке составляет 0,3%. Состав электролитного цинка следующий: 99,95% Zn; 0,02—0,05% Pb; 0,02% Cd; 0,01% Fe.

Способом Тентона возможно выгодно перерабатывать руды, содержащие много железа. Обжиг ведется при более высокой темп-ре, чем обычный обжиг, но не превышающей 820°. Обожженный продукт разделяется на магнитную часть, содержащую ферриты, и немагнитную, называемую «окисью». В чанах, наполненных отработанным электролитом, содержащим ок. 28% H_2SO_4, к-та сначала нейтрализуется продуктом, богатым ферритами, в количестве, соответствующем половине всей нагрузки. При нейтрализации к-ты этим обожженным продуктом пульпа нагревается до $t°_{кип.}$. Т. к. для коагуляции кремнезема нужно, чтобы пульпа была нагрета до окончания реакций, раствор до прибавления обожженного материала подогревается до 60°. После того как бо́льшая часть к-ты нейтрализована, добавляется немагнитный продукт. Конечная пульпа остается слегка кислой. После выщелачивания пульпа направляется непосредственно на фильтр-пресс Бурта. Использование для электролиза цинковых растворов большой кислотности, а также применение тока большой плотности позволяют не так тщательно очищать раствор, как это имеет место при общеупотребительных методах. Очистка производится цинковым порошком. Изменение, введенное Тентоном для электролиза, заключается в применении тока большой плотности. Разность потенциалов в каждой ванне составляет 3,6 V при электролите, содержащем 28% кислоты, и при плотности тока в 1 100 А/$м^2$. Циркуляция раствора при такой плотности тока очень быстрая. Темп-ра электролита на практике держится между 24 и 37°. Для получения гладкого и компактного отложения Ц. прибавляется в электролит желатина в количестве 1,5 *кг* на 1 *т* Zn.

Электролиз солянокислого раствора применяется на единичных установках для извлечения цинка из цинкоколчеданных огарков сернокислотного производства (способ Гепфнера). Огарки подвергаются хлорирующему обжигу при низкой $t°$ (600°). Обожженный продукт обрабатывается водой. Раствор подогревается и обрабатывается хлорной и углекислой известью, чтобы осадить железо и марганец. Осаждение меди, свинца, мышьяка и др. производится с помощью цинковой пыли. Аноды—угольные, катоды—вращающиеся цинковые диски ⌀ 140 *мм*. Аноды и катоды отделены диафрагмами. Электролит содержит 0,08—0,12% свободной HCl. Плотность тока 100 А/$м^2$. Напряжение 3,3—3,8 V.

Применение Ц. Металлический Ц. и его соединения находят широкое применение в ряде отраслей пром-сти. Самое большое количество Ц. расходуется на оцинкование железа для предохранения последнего от коррозии (см. *Цинкование*). Следующая область, в к-рой находит применение Ц.,—это сплавы (см. *Цинка сплавы*). Ц. сплавляется с медью, серебром, золотом, алюминием, висмутом, никелем, ртутью. Сплавы цинка с медью дают латуни при невысоком содержании меди, томпаки, хризокалы—при высоком. Zn+Cu+Al образуют алюминиевые бронзы, Zn+Cu+Sn+Sb—баббиты, Zn+Au+Ag—сплавы, легшие в основу обессеребрения свинца по способу Паркеса, Zn+Hg—твердую, хрупкую амальгаму. Значительное количество металла идет на изготовление рольного Ц., применяемого для покрытия кровель, в банно-прачечном деле и т. д. Цинковый порошок (пуссьера) применяется для цементации золота и серебра из циановых растворов, меди и кадмия—из сернокислых растворов при гидрометаллургич. способе производства Ц., для шерардизации и т. д. В лакокрасочной пром-сти Ц. и его производные идут на изготовление цинковых *белил* (см.) и *литопона* (см.). Хлористый Ц. является противогнилостным средством и применяется для пропитки шпал, телеграфных столбов и вообще деревянных частей, подверженных гниению. Окись Ц. находит также применение в резиновом производстве при приготовлении линолеума, стекла, керамиковых изделий, для получения ряда химич. и медицинских препаратов.

Производство Ц. в дореволюционной России было представлено цинко-дистилляционным заводом во Владикавказе. Алагирский завод во Владикавказе за первое пятилетие был реконструирован и его мощность доведена до 6 000 *т* Ц.

в год. Кроме того за первое пятилетие построены, введены в эксплоатацию и полностью освоены два новых цинко-дистилляционных завода: в Константиновке (Донбасс) и в Белове (Кузбасс) мощностью по 12 000 *m* Ц. в год каждый. Константиновский завод предположено питать цинковыми концентратами, привозимыми с Приморья (Тетюхе). Беловский завод имеет собственную вблизи расположенную сырьевую базу—Салаирское месторождение. Наряду с этим за первое пятилетие начались строительством два электролитных цинковых з-да: один в городе Орджоникидзе (б. Владикавказ), другой в Челябинске, производительностью каждый в 20 000 *m* цинка в год. Орджоникидзенский з-д введен в эксплоатацию в конце 1933 г.—в начале 1934 г., а Челябинский вводится в половине 1934 г. Т. о. в 1934 г. общая продукция составит: 30 000 *m* дистилляционного, 40 000 *m* электролитного Ц. Дальнейшее строительство цинковых з-дов во втором пятилетии намечается: на базе алтайских концентратов цинко-электролитный з-д на 50 000 *m* на Риддере и Кеммеровский з-д (Кузбасс) на такую же мощность. На базе Нерчинских цинкосвинцовых месторождений можно развить цинковое производство до 40 000 *m* Ц. в год с расположением з-да в Черемхове и на базе полиметаллич. месторождений юж. Казакстана (Кара-Тау) и Ср. Азии (Кара-Мазар)—строительство цинкового предприятия мощностью 40—50 тыс. *m*.

Лит.: Чижиков Д., Белые металлы, М.—Л., 1932; Про Е., Цинк и кадмий, пер. с франц., М.—Л., 1932; Рельстон О., Гидрометаллургия и электроосаждение цинка, пер. с англ., М.—Л., 1932; Hofmann H., Metallurgy of Zinc a. Cadmium, N. Y., 1922; Liddell D., Handbook of non-Ferrous Metallurgy, v. 1—2, N. Y., 1926; Hofmann, Der Zinkdestillationsprozess, Halle a/S., 1927; Tafel V., Lehrbuch d. Metallhüttenkunde, B. 2, Lpz., 1929; Gmelins Handbuch d. anorg. Chemie, Heidelberg, 1929, *32*. **Д. Чижиков.**

ЦИНКА СОЕДИНЕНИЯ относительно немногочисленны и однотипны, т. к. цинк во всех соединениях двувалентен и не обнаруживает большой склонности к образованию комплексных соединений. Ц. с. бесцветны, если окраска не вызывается иными, кроме цинка, составными частями.

Окись цинка ZnO белого (в горячем виде желтого) цвета, получается при сгорании металлич. Zn, при окислительном обжиге его сульфида и при прокаливании Ц. с. с летучими к-тами. В воде практически нерастворима. Уд. вес около 5,75, $t°_{пл.}$ ~1 260°. Встречается в природе в виде минерала цинкита (см. *Цинковые руды*); технически готовится в больших масштабах и применяется как белая краска (см. *Белила*), как наполнитель каучука, целлолоида, замазок и пластич. масс. В незначительном количестве окись цинка применяется в косметике (пудра и грим), в медицине (цинковая мазь) и в производстве специальных сортов стекла; является также исходным продуктом для приготовления нек-рых других Ц. с. Гидроокись цинка $Zn(OH)_2$ осаждается из растворов солей Zn щелочами, но растворяется в избытке последних, т. к. обладает амфотерными свойствами; при растворении образуются соли, цинкаты, напр. $HNaZnO_2$. В к-тах ZnO и $Zn(OH)_2$ растворяются с образованием солей цинка. Перекись цинка $ZnO_2 \cdot \frac{1}{2} H_2O_2$ получается при обработке ZnO (или осаждении растворов солей цинка) перекисью водорода; применяется в медицине как дезинфицирующее средство.

Углекислый цинк $ZnCO_3$ встречается в природе как минерал цинковый шпат; осаждается из растворов солей цинка бикарбонатом натрия или же получается при обработке ZnO углекислотой. Известны также основные соли разного состава.

Хлористый цинк $ZnCl_2$ получается в промышленных масштабах путем растворения металлич. цинка или его руд и разных содержащих его металлургич. отходов в соляной к-те или в растворах хлористого железа при вдувании воздуха. Получается также при хлорирующем обжиге цинковых руд. При упаривании растворов, содержащих избыточную HCl, получается в виде белой, весьма гигроскопичной кристаллич. массы; в продажу поступает в виде сухого, обычно сплавленного, вещества или же в виде растворов большого уд. веса (растворяется при 20° в $^1/_3$ ч. воды); растворяется также во многих органич. растворителях. Применения $ZnCl_2$ весьма многочисленны. Благодаря дезинфицирующим свойствам его применяют часто для пропитки дерева (в особенности ж.-д. шпал) и в медицине; используется он также в текстильной пром-сти как протрава, в производстве бумажных масс, активного угля и при паянии и оцинковывании; в органич. химич. пром-сти часто применяется как обезвоживающее вещество; многочисленные органич. красители поступают в продажу в виде двойных солей с $ZnCl_2$. Анализ и испытание см. [1].

Сернокислый цинк, цинковый купорос, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ кристаллизуется в виде легко растворимых (при 18° 52 ч. в 100 ч. воды) бесцветных призм. Получается при осторожном окислительном обжиге сульфидных руд цинка (в безводном виде), а также при растворении цинка, его руд и содержащих его отходов в серной к-те. Образует многочисленные двойные соли типа $Me^I_2SO_4 \cdot ZnSO_4 \cdot 6H_2O$. Является одним из важнейших технич. Ц. с., а в частности исходным веществом в процессах гидрометаллургии, рафинировки цинка, электролитич. покрытия цинком, производстве *литопона* (см.). Благодаря дезинфицирующим свойствам применяется для пропитки дерева и в медицине.

Сернистый цинк ZnS осаждается из растворов солей цинка при действии на них сернистого водорода или растворимых сульфидов. Встречается в природе в виде минерала сфалерита. Является составной частью *литопона* (см.). Приготовленный особым способом и содержащий следы тяжелых металлов, т. н. сидотова обманка, обладает сильной фосфоресценцией и применяется в производстве светящихся составов. Для тех же целей и для производства рентгеновских экранов пользуются иногда и кремнекислым цинком Zn_2SiO_4, встречающимся в природе в виде минерала виллемита. Многочисленные Ц. с., напр. уксуснокислый и борнокислый цинк, применяются в лакокрасочной и текстильной промышленности и в медицине.

Лит.: [1]) ОСТ 183.—Менделеев Д., Основы химии, т. 2, М.—Л., 1928; Лукьянов П., Курс химич. технологии минеральных веществ, ч. 3, вып. 1, М.—Л., 1932; см. также *Цинк*. **Е. Кронман.**

ЦИНКА СПЛАВЫ, сплавы, состоящие из цинка как преобладающего компонента (70÷93%) с добавкой других металлов, чаще всего Cu, Al, Sn, Ni и др. (см. *Спр. ТЭ*, т. II, стр. 153, 395). Эти сплавы нашли большое распространение, гл. обр. в отливке под давлением, благодаря хорошей способности к заполнению ли-

тейных форм, возможности получить отливку сложных очертаний с тонкими стенками, а также благодаря прекрасной способности к восприятию различных гальваних. покрытий, напр. никелем, хромом, кадмием и пр. К недостаткам Ц. с. относится их способность к коррозии в растворе щелочей, к-т и солей, а также то обстоятельство, что с течением времени в некоторых сплавах происходят превращения (явления старения), приводящие к некоторому изменению размеров, что нередко приводит к короблению отливки и появлению трещин.

Употребляемые в настоящее время Ц. с. могут быть разделены на две группы: 1) сплавы цинка с медью и оловом и небольшим количеством алюминия и 2) сплавы цинка с медью и алюминием. Сплавы первой группы обычно содержат 3÷4% меди, 5÷9% олова (в отдельных случаях содержание олова повышается) и 0,2÷0,5% алюминия. Сплавы эти обладают хорошими литейными качествами и дают отливки с хорошей чистой поверхностью. Удлинение этих сплавов небольшое, что делает отливки хрупкими. Добавка алюминия преследует цель гл. обр. раскисления. Сплавы второй группы получили распространение для сложных и ответственных деталей. В таблице приведены состав и механические свойства различных цинковых сплавов.

Состав и механические свойства Ц. с.

Химич. состав в %					Сопротивление разрыву в кг/мм²	Удлинение в %	H_{Br}
Zn	Sn	Cu	Al	Ni			
71,5	25,0	3,0	0,5	—	10,4	3,8	36,6
76,5	20,0	3,0	0,5	—	13,1	1,3	40,0
77,3	18,0	4,0	0,2	0,5	11,9	2,1	51,4
85,7	10,0	4,0	—	0,3	17,3	0,9	84,3
86,7	10,0	3,0	0,3	—	12,1	0,5	46,7
87,5	8,0	4,0	0,5	—	9,1	0,4	66,5
91,5	5,0	3,0	0,5	—	11,0	0,6	52,5
91,0	—	4,0	5,0	—	26,2	0,25	107,3
93,5	—	4,0	2,5	—	18,9	—	85,8
93,5	—	2,5	4,0	—	23,8	—	94,5
93,6	—	2,0	4,0	3,0	20,6	0,4	104,5

Большой интерес представляет новый цинковый сплав под названием «замак» следующего состава: Al 3,5÷4,5%, Cu 2,5÷3,5%, Mg 0,05÷0,12%, Zn—остальное; сопротивление разрыву его до 32,6 *кг/мм²*, H_{Br}—83. Сплав этот имеет целый ряд преимуществ перед остальными Ц. с.: высокие механические свойства, антикоррозийность, хорошие литейные качества и, что практически важно, с течением времени не подвергается старению. Высокие качества сплава получаются вследствие применения при его изготовлении чистых металлов, а также введения магния; примеси даже в самом незначительном количестве (особенно Pb и Cd) сильно снижают механич. свойства и низводят его на степень обычного цинкового сплава. Железо является весьма нежелательной примесью Ц. с., т. к. уменьшает их жидкоплавкость, способствует набуханию, короблению и появлению трещин в отливках, поэтому предельное содержание железа не должно превышать 0,005%.

Применение цинковых отливок в настоящее время самое разнообразное: для частей счетных и пишущих машин, фонографов, табачных, сахарных, клеевых машин, частей магнето и карбюраторов, различных приборов в автомобильной пром-сти и пр. Очень часто для увеличения наружной твердости цинковых деталей, в особенности там, где они работают на трение, их покрывают хромом, что придает им очень красивый блестящий с фиолетовым оттенком цвет и значительно увеличивает их поверхностную твердость.

Лит.: Lancaster R. a. Berry J., «The Metal Industry», L., 1930, *13*; ibid., L., 1931, *2*; Curts R., «The Iron Age», N. Y., 1931, *8*; Mundey, «The Metal Industry», L., 1930, *1*.

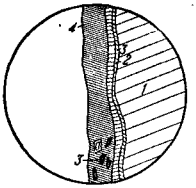
В. Передельский.

ЦИНКОВАНИЕ, процесс нанесения на поверхность металла сравнительно тонкого слоя металлич. цинка. Цинковое покрытие является одним из наиболее распространенных и старых видов металлических покрытий, применяемых в пром-сти с целью защиты изделий от коррозии. По своим химическим и, главное, электрохимич. свойствам как защитный металл цинк имеет целый ряд преимуществ перед другими металлами, применяемыми в технике защиты черных металлов от ржавления (см. *Коррозия металлов*). Методы, применяемые для покрытия цинком, разнообразны. Из них наиболее употребительными в пром-сти являются: а) горячее огневое покрытие, б) метод цементации, или шерардизация, в) метод пульверизации, или шоопирование, и г) гальванич., или электролитич., метод покрытия.

Горячий способ Ц. заключается в простом погружении на очень непродолжительное время (несколько секунд) железного изделия в расплавленную массу цинка. Покрытие производится в ванне, изготовленной или из специального железа или из отдельных листов малоуглеродистой стали. Темп-ра ванны с расплавленным цинком поддерживается в среднем ок. 450°. Перед погружением в расплавленную массу цинка поверхность изделий после очистки от жиров и окислов подвергается т. н. флюсованию. В качестве флюса обычно применяются: хлористый аммоний, жиры и хлористый цинк. В нек-рых случаях пользуются небольшими добавками глицерина. Эти вещества вводятся на ту часть поверхности расплавленного цинка, через к-рую производится загрузка изделий, и служат гл. обр. для предохранения ее от окисления и окончательного освобождения поверхности изделий от загрязнений (окислов) и влаги (в момент погружения изделие д. б. совершенно сухим и чистым). Проволока перед горячим покрытием цинком проходит обычно через флюс, состоящий из раствора $ZnCl_2$(~25%), после чего она просушивается и затем поступает в ванну с расплавленным цинком. Такой же прием флюсования применяется и при ручной работе по цинкованию крупных стальных изделий. Непосредственно по выходе из ванны оцинкованные изделия очищаются от излишних отложений металла путем встряхивания (трубы) или протирки асбестом (проволока). Для мелких изделий иногда применяется машинная очистка. В целях защиты самой ванны от быстрого разрушения, происходящего от постоянного перегрева и химич. взаимодействия стенок с расплавленным цинком, дно ее часто покрывают слоем свинца толщиной от 150 до 200 *мм* и выше. Для получения более тонких, ровных и красивых по внешнему виду покрытий в ванну с расплавленным цинком очень часто вводят небольшие добавки алюминия (в среднем ~ 0,2%) или олова (1÷3%).

Покрытие горячим способом по существу обусловливается взаимной спайкой металлов по поверхностям и представляет собой обычно оболочку цинка, загрязненную примесью основного металла (железа). По Роудону внутрен-

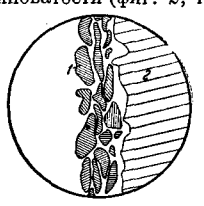
ний или соединяющий слой покрытия, полученного применением метода горячего погружения, состоит из большого количества металлических сложных соединений — сплавов соединяемых металлов,—вследствие чего эта часть покрытия имеет более твердое и хрупкое строение в сравнении с внешним слоем, состоящим почти исключительно из чистого металла покрытия (фиг. 1, где *1*—железо, *2*—диффузионный слой цинка в железе, *3*—сплав железа с цинком с содержанием 11÷22% железа, *4*—слой чистого цинка). Относительная толщина соединяющего внутреннего слоя при горячем Ц. бывает значительной, в нек-рых случаях она составляет бо́льшую часть толщины покрытия. Вследствие загрязнений цинка антикоррозийность горячего покрытия в большинстве случаев уступает электролитическому покрытию одинаковой толщины. Толщина всего слоя горячего покрытия колеблется в очень больших пределах (точная регулировка ее в данном случае невозможна). На толщину покрытия оказывают влияние продолжительность пребывания изделий в ванне, $t°$ ванны, форма и характер обработки изделий. В США рекомендуется толщина слоя цинкового покрытия для листов около 0,04 *мм*. В большинстве случаев толщина покрытия на поверхности одного и того же изделия бывает очень неравномерной. Так напр., при Ц. листов из жести на разных участках поверхности толщина слоя может изменяться от 0,06 до 0,13 *мм*. Неравномерность покрытия предметов неправильной формы, имеющих глубокие рельефы, еще больше, и вследствие этого расход цинка на покрытие значительно больше, чем при плоских ровных изделиях. Расход металла при горячем Ц. увеличивается кроме того за счет его потери на угар и взаимодействие со стенками ванны (отходы). Вследствие неравномерности покрытия и образования утолщений и наплывов на отдельных частях поверхности горячая оцинковка изделий с узкими отверстиями (сетка), резьбовых и нек-рых других изделий совершенно невозможна. Также неприменим горячий способ Ц. для изделий, легко изменяющих свои механич. свойства под влиянием высокой $t°$ (напр. стальных изделий). С другой стороны, для таких изделий, как напр. ведра, тазы, различная сшивная посуда и т. п., имеющих внутренние закатанные швы, горячее покрытие является пока способом незаменимым. В этом случае расплавленный цинк, заполняя отверстия и каналы швов, выполняет роль спайки, обусловливая герметичность посуды. Промышленное развитие горячий способ покрытия цинком получил гл. обр. при оцинковке указанной посуды, листов, проволоки, труб и мелкого скобяного товара. Процесс покрытия листов и проволоки, отчасти также и труб, на большинстве предприятий в значительной степени механизирован и производится по конвейерной системе. Что же касается различной посуды и мелких изделий, то они покрываются до сих пор исключительно вручную.



Фиг. 1.

Метод цементации, или шерардизация (по имени изобретателя Шерард Каупер-Кольса, Англия), заключается в том, что изделия, очищенные предварительно от жира, масла и окислов, приводятся в соприкосновение по всей поверхности с мельчайшими частицами металлич. цинковой пыли и нагреваются в течение некоторого времени (от ½ часа до нескольких часов) при $t°$ 230÷400° и иногда выше в зависимости от сорта изделий и характера применяемой пыли. При этом на поверхности изделий, так же как и при горячем способе погружением, образуется тонкая пленка сплавов обоих металлов в различных соотношениях. Этот способ Ц. применяется гл. обр. для покрытия мелких изделий и производится в большинстве случаев во вращающихся железных барабанах с хорошо притертой крышкой, защищающей содержимое их от доступа воздуха. Цинковую пыль рекомендуется применять приблизительно следующего состава: Zn 85÷90%, ZnO 8÷10%, Pb 1÷1,5% и других примесей 0,5÷1%. Обычно для этого процесса идет продажная цинковая пыль, т. н. п у с с ь е р а (см. *Цинк*). Примесь железа в цинковой пыли выше 9% не допускается, так как антикоррозийность покрытия по данным Кулоча значительно понижается при этом. Крупная цинковая пыль повышает скорость осаждения цинка, но дает очень пористое покрытие. Роудон рекомендует, как вполне достаточное, покрытие толщиной в 0,062 *мм*. Такое покрытие получается приблизительно после трехчасового нагревания при 375° в пыли с высоким содержанием металлического цинка. Процесс шерардизации не имеет столь широкого распространения в пром-сти, как способ горячего покрытия погружением. Выполненный правильно процесс шерардизации дает достаточно удовлетворительное покрытие, но вследствие загрязнений цинка, неравномерности, пористости и трещиноватости (фиг. 2, где

Фиг. 2.



Фиг. 3.

1—железо, *2*—диффузионный слой цинка, богатый железом, *3*—сплав железа с цинком, *4*—слой чистого цинка) слоя антикоррозийность его следует считать более низкой по сравнению с другими видами покрытий.

Метод пульверизации, или шоопирование, см. *Металлизация*. В отличие от горячего покрытия погружением и шерардизацией шоопирование не дает сплава. Структура покрытия представляет собой вид отдельных пластинчатых наслоений *1* (фиг. 3), связанных с основной поверхностью *2* силой сцепления.

Гальванический, или электролитический, метод Ц. Электролитич. осаждение цинка из растворов его солей несмотря на сильно электроотрицательный потенциал цинка достигается благодаря тому, что водород претерпевает на поверхности цинка большое перенапряжение и т. о. при обычных нормальных рецептурных условиях электролиза почти не выделяется на катоде. В отличие от горячего покрытия при электролитич. цинковании железа не образуется сплава между обоими металлами. Поэтому слой электролитич. цинкового покрытия отличается своей чистотой и не содержит ни в каком виде примеси основного металла и других

каких-либо металлич. загрязнений. Растворимость в кислотах чистого электролитич. цинка меньше, чем загрязненного примесями железа. Полученное при нормальных условиях электролитическое цинковое покрытие обладает меньшей хрупкостью и значительно большей эластичностью по сравнению с покрытиями, произведенными другими способами; кроме того оно обладает достаточно хорошей сцепляемостью (по Бюргессу почти в 2 раза большей сравнительно с горячим покрытием) с основным металлом. Образующаяся иногда вследствие включения водорода при электролизе небольшая хрупкость металла обычно исчезает при нагревании предмета в течение непродолжительного времени при $t°$ 105—110°. Антикоррозийность электролитич. цинкового покрытия более высокая, чем покрытия, полученного другими методами, при одинаковой толщине слоя.

Электролитич. метод допускает возможность точно регулировать количество отлагаемого на поверхности изделий цинка и получать осадки на изделиях, гл. обр. плоских и нерельефных, достаточно равномерными. Экономия металла при электролитич. методе против горячего доходит до 50%, а в отдельных случаях бывает много больше. Толщина покрытия колеблется в пределах 0,005÷0,05 *мм*. Для защиты железных сравнительно гладких и непористых изделий, находящихся в условиях взаимодействия с обычной атмосферой влажного воздуха, можно считать вполне достаточной толщину цинкового покрытия ~0,02 *мм*. По Вернику минимальная толщина цинкового покрытия на изделиях, подвергающихся действию наружной атмосферы воздуха, д. б. 0,0125 *мм*. В зависимости от условий процесса электролитич. Ц. осадки цинка имеют различную структуру: 1) нормальный светлый осадок с мелкозернистой структурой, 2) неплотный пористый крупнокристаллич. осадок, мало надежный для защиты железа от ржавления, 3) неровный, бугристый, незакрывающий иногда всю поверхность изделий вследствие неправильного распределения силовых линий или плохой подготовки поверхности изделий, 4) рыхлый, губчатый осадок. Основными условиями, необходимыми для получения нормального сплошного, беспористого осадка, плотно пристающего к поверхности основного металла, являются: 1) чистота покрываемой поверхности изделий, 2) правильно подобранный состав электролита и установленный режим работы (плотность тока, температура, перемешивание и пр.) и 3) чистота материалов, входящих в состав электролитич. ванны.

Для изготовления цинковых ванн существует очень много различных рецептов. В основном все они содержат сернокислые соли цинка, реже хлористые, и к ним добавляют различные вещества для улучшения качества покрытия. В качестве таких добавок обычно служат: 1) сернокислые или хлористые соли щелочных и некоторых других металлов [Na_2SO_4, $(NH_4)_2SO_4$, NaCl, $MgSO_4$, NH_4Cl и др.], повышающие проводимость электролита, степень мелкозернистости осадка и улучшающие наружный вид покрытия; 2) различные коллоиды и капиллярно-активные вещества (гуммиарабик, декстрин, глюкоза, лигноль, солодковый корень, пиридин, фенол-сульфоновая к-та, бетанафтол, амилоза и др.), повышающие катодную поляризацию, а также степень мелкозернистости осадка, делая его гладким, белым и слегка блестящим; 3) борная, уксусная и серная кислоты определенных концентраций, компоненты, предупреждающие подщелачивание среды, образование и выделение на катоде металлич. цинковой губки, основных солей и гидратов. Борная и уксусная к-ты оказывают т. н. буферное действие в электролите. С этой целью вместо уксусной к-ты применяют также уксуснокислый натрий. Концентрация серной к-ты в обычном цинковом электролите д. б. невысокая, приблизительно 0,003÷0,02 *N*. Более высокая концентрация кислоты применяется редко. Большое количество свободной серной кислоты в электролите вызывает значительное падение выхода по току и кроме того ухудшает качество самого осадка. Также во избежание снижения качества осадка нельзя допускать и слишком большого падения кислотности электролита. Очень часто для улучшения главным образом вида покрытия, придания ему блестящего оттенка вводят в электролит сернокислый алюминий или алюминиевые квасцы в количестве от 5 до 30 *г* и более на один *л*. Эти соли оказывают также и буферное действие в электролите [при этом надо иметь в виду, что при низкой кислотности (PH > 4,5) алюминиевая соль подвергается гидролизу, выпадая в осадок в виде белой аморфной массы гидрата окиси, загрязняя тем самым ванну].

Кроме кислых электролитов применяются также щелочные, состоящие из KOH илиNaOH, KCN или NaCN и цинковой соли. Иногда в эти ванны вводят также коллоиды, капиллярно-активные вещества, хлористые и углекислые соли щелочных металлов и другие добавки. Осадки цинка из цианистых ванн обычно получаются ровными с очень мелкозернистой структурой в отличие от осадков из обычных простых и кислых ванн без добавок коллоидов. Следует отметить, что как в кислых, так и в цианистых ваннах при очень низких плотностях тока осадки цинка получаются грубыми, неровными, иногда незакрывающими всю поверхность металла. Изделия неправильной формы в цианистых ваннах покрываются более равномерным по толщине слоем по сравнению с Ц. в кислых ваннах. В качестве анода для цинковых ванн употребляются пластины из металлич. чистого, лучше прокатанного, цинка. Все материалы (соли, кислоты, металлич. цинк), загружаемые в цинковую ванну, д. б. свободными от примесей солей металлов, более электроположительных, чем цинк (напр. Cu, Ag, As, Sb, Bi, Sn и пр.). Также вредно присутствие в электролите большого количества железа (> 0,1%), азотно-кислых солей, окислов, основных солей, перекиси водорода и нек-рых органич. соединений, напр. скипидара, ацетона, эфиров и др. Все рецепты ванн по электролитич. Ц. можно разбить на две основные группы: электролиты, работающие с обычными средними плотностями тока, из к-рых нек-рые обладают хорошей рассеивающей способностью, т. е. равномерно кроют поверхность рельефных деталей, и электролиты, работающие с высокими плотностями тока—быстрое покрытие нерельефных изделий. Для рельефных изделий Хорш и Фува предлагают следующий наилучший по равномерности покрытия состав цинкового электролита: 53,2 *г* NaCN, 59,2 *г* $Zn(CN)_2$, 43,8 *г* NaOH, 9,5 *г* $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$, 4,7 *г* $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, 11,8 *г* лигноля, 1 *л* воды. Плотность тока 2,15 А/*дм*^{2}; $t°$ 40°; выход по току 80%. Осадки светлые, ровные, мелкозернистые и равномерные. Ф. Оплингер рекомендует для Ц. мелких

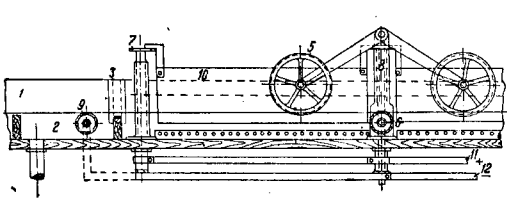
изделий в барабанах следующий состав электролита: 45 *г* $Zn(CN)_2$, 22,5 *г* NaCN, 45 *г* NaOH и 1 *л* воды. В качестве добавки в этот электролит вводится ртуть в количестве до 1% (в виде сплава с цинковым анодом). Плотность тока, допускаемая в этом электролите, 0,5÷1,5 А/*дм*² в зависимости от характера изделий; *t*° 40°. Скорость вращения барабанов 4—6 об/мин.; анодный выход по току ок. 90%. Хагебум и Грахам рекомендуют применять аноды из цинка, содержащего 0,5% Al, или из цинка с примесями 0,5% Al и 0,3% Hg. Состав цианистых ванн по Блюму и Хагебуму: 1) 60 *г* $Zn(CN)_2$, 23 *г* NaCN, 53 *г* NaOH на 1 *л* воды; 2) 45 *г* ZnO 75 *г* NaCN, 15 *г* NaOH на 1 *л* воды. Лучшие результаты получаются при *t*° в 40—50° и плотности тока 1,0÷2,0 А/*дм*². Вернлунд предлагает ванну другого состава: 60 *г* $Zn(CN)_2$, 53 *г* NaCN, 15 *г* NaOH, 30 *г* Na_2CO_3, 7,5 *г* NaF, 1 *г* гуммиарабика, 7,5 *г* кукурузного сахара на 1 *л* воды. Для покрытия цинком деталей с сильным рельефом В. Пфангауэр рекомендует применять *двойные покрытия: сперва в цианистой* и затем в слабо кислой или нейтральной ваннах (такой метод применяется и в СССР на нек-рых заводах); состав цианистой ванны следующий: 45 *г* цианистокалиевого цинка, 15 *г* цианистого калия, 20 *г* хлористого натра, 20 *г* едкого натра, 2 *г* цианистокалиевой ртути на 1 *л* воды. В электрохимич. лаборатории ВЭИ Кудрявцевым Н. Т. и Петровой В. Н. в результате исследовательской работы над рассеивающей способностью цинковых ванн (по методу Блюма и Херинга) получены также рецептурные условия и для кислой ванны, давшей в производстве сравнительно хорошие результаты по равномерности покрытия не очень сложных по рельефу изделий. Состав этой ванны следующий: 200÷250 *г* сернокислого цинка, 30 *г* сернокислого натра, 20÷25 *г* сернокислого алюминия или алюминиевых квасцов, 10 *г* хлористого натра, 10 *г* борной к-ты, 10 *г* декстрина, 0,25÷0,5 *г* серной к-ты (уд. в. 1,84) на 1 *л* воды. Плотность тока 0,5—3 А/*дм*²; расстояние между электродами 50÷150 *мм* в зависимости от формы и рельефа изделий; *t*° 18÷25°; выход по току 95%. Перемешивание электролита дает возможность работать при более высоких плотностях тока. Эта ванна применима как для железных, так и для стальных и чугунных изделий (осадки слегка блестящие, гладкие, плотные, прочно пристающие к поверхности электродов). Кроме указанных рецептов ванн были предложены рецепты ванн Томпсоном и Баблико́м, Изгарышевым, Блюмом и Хагебумом, Хьюзом, Пфангаузером, Лангбейном и др. По Томпсону хорошие осадки дают следующие ванны: 1) $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$—228 *г*, NaCl—475 *г*, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$—28 *г*; 2) $ZnCl_2$—136 *г*, NaCl—345 *г*, $AlCl_3 \cdot 6H_2O$—20 *г*. Блюм и Хагебум рекомендуют следующие ванны: 1) $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$—240 *г*, NH_4Cl—15 *г*, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$—30 *г*; 2) $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$—240 *г*, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$—30 *г*, H_3BO_3—30 *г*; 3) $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$—350 *г*, NH_4Cl—30 *г*, $CH_3COONa \cdot 3H_2O$—15 *г*, глюкоза—120 *г*. Хорошо оправдала себя в производстве также ванна следующего состава (по Изгарышеву Н.): $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$—250 *г*, H_3BO_3—10 *г*, гуммиарабик—40 *г*, вода—1 литр. Плотн. тока—2А/*дм*². PH=3,0. Для Ц. ковкого чугуна предложена также ванна следующего состава: 236 *г* $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 15 *г* NH_4Cl, 15 *г* CH_3COONa на 1 *л* воды; *t*° 25°, плотность тока 1,6—2,1 А/*дм*²; аноды из чистого цинка.

Электролитическое покрытие цинком алюминия — процесс более капризный, чем Ц. черных изделий. Основные причины, осложняющие процесс Ц. алюминия, заключаются в следующем: 1) постоянное присутствие на поверхности алюминия окисной пленки, для удаления к-рой требуется особый вид обработки, и 2) восприимчивость алюминия к химич. действию электролитов, гл. обр. щелочных (цианистых). Для травления поверхности алюминия Н. Изгарышев рекомендует следующие методы: 1) 10% NaOH и 0,75% гуммиарабика (при комнатной *t*° в течение 60 ск.); 2) 1 часть HF на 10 ч. воды (при комнатной *t*° 30 ск.); 3) 25 *г* $FeCl_3$ и 15 *см*³ HCl (уд. в. 1,19) (при *t*° 90° 99 ск.); 4) обработка пескоструйкой. Электролит для Ц. д. б. следующего состава: 100 *г* $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 50 *г* $(NH_4)_2SO_4$, 5 *г* $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, 2 *г* гуммиарабика, 1 *л* воды; плотность тока 1,5 А/*дм*². Кроме того предложены ванны Коксом, Браундом, Уорком и др.

Для Ц. проволоки и ленты в промышленном *производстве необходимым условием является* быстрота процесса приблизительно такая, к-рая имеется при горячем покрытии. Увеличить скорость процесса осаждения при электролитич. Ц., как известно, можно только повышением плотности тока. Ряд таких попыток за последние годы был сделан как за границей, так и у нас. Наиболее удачное разрешение вопроса было получено у нас в результате работы, проведенной Д. В. Степановым, В. Н. Кабановым и Н. Т. Кудрявцевым. Авторами был разработан процесс электролитич. Ц. при чрезвычайно высоких плотностях тока (50÷400 А/*дм*² и выше—до 600 А/*дм*²). Основными условиями для такого очень быстрого процесса электролитич. Ц. являются перемешивание электролита воздухом, высокая концентрация сернокислого цинка и повышенная *t*° раствора. Электролит для Ц. предлагается очень простой по составу: 575÷718 *г*/*л* $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (4—5 *N*); 0,75÷1,5% H_3BO_3; H_2SO_4 (0,0003÷0,005 *N*); PH=3,5÷2,5; *t*° 40÷50°. Выход по току ок. 96%.

Покрываемая поверхность проволоки д. б. очень чистой. Рекомендуются электролитич. способы обезжиривания и травления с промывкой и очисткой. Производственные конвейерные установки специально разработанной конструкции для быстрого покрытия проволоки диам. 0,25÷5 *мм* и отдельно для покрытия ленты представляют собой ряд ванн (подготовительные и цинковая), расположенных в последовательном порядке друг за другом по ходу всего процесса, начиная от размоточных катушек и кончая намоточными барабанами. Основной особенностью и достоинством конструкции этих установок является способ передвижения проволоки по прямой линии без перегибов. Это осуществляется путем устройства в бортах ванн фарфоровых глазков, через к-рые проходит проволока и одновременно вытекает электролит, циркулирующий из ванны в сточный чан и обратно в ванну с помощью насоса. На фиг. 4 изображена схематически одна из крайних частей цинковой ванны для проволоки ⌀0,25÷1 *мм* (*1*—*корпус ванны*, *2*—*борт ванны* со сливным штуцером, *3*—глазок, *4*—проволока, *5*—контактные катодные медные ролики, *6*—поддерживающие фарфоровые ролики, *7*—анодная колонка, *8*—катодно-анодная колонка, *9*—воздушная труба, *10*—аноды, *11*—анодная шина, *12*—катодная шина). Крепление роликов на колонках, установленных в дне ванны,

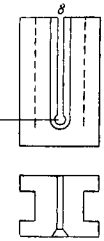
принято с целью удобства первоначальной загрузки проволоки и заправки в случае ее обрывов. Однако такое устройство требует очень хорошей изоляции колонок от тока и электролита. Крепление роликов возможно также на поперечных шинах, установленных на бортах ванны над электролитом. Скорость движения проволоки при длине цинковой ванны до 6 *м* (соответственно длина всей установки без размоточных и намоточных барабанов 15—18 *м*) устанавливается в пределах от 10 до 100 *м* в



Фиг. 4.

1 мин. и выше в зависимости от диам. проволоки, плотности тока и толщины покрытия. При Ц. на конвейерной установке ленты допустимый предел повышения плотности тока ниже, чем при Ц. проволоки. Поэтому при одинаковой длине ванн скорость движения ленты меньше, чем для проволоки. В зависимости от ширины ленты (100÷10 *мм*) плотности тока могут применяться соответственно 5÷150 А/*дм*². Плотности тока 100÷150 А/*дм*² возможны только в случае Ц. узкой ленты (10 *мм*). Получаемые при всех указанных выше условиях осадки цинка на проволоке, а также и на ленте—гладкие, блестящие, мелкозернистые, нехрупкие, плотные, прочно пристающие к поверхности основного металла. При испытании на коррозию образцы проволоки, оцинкованные электролитич. способом на ползаводской конвейерной установке (ВЭИ), оказались более стойкими, чем образцы, оцинкованные горячим способом—потери цинка в первом случае приблизительно на 30% меньше, нежели во втором. Попытки ускорить процесс электролитического Ц. за границей были сделаны Габраном, Павеком, Томпсоном, Гольдшмидтом, Павеком и Зейхсером и др. Промышленное развитие за границей получил процесс электролитич. Ц. проволоки, предложенный и установленный на ряде з-дов (в СССР—Ревдинский и Красный Гвоздильщик) фирмой Лангбейн-Пфангаузер. Покрытие производится на очень длинной (до 50 *м*) конвейерной установке в цинковой ванне специального состава «Гленценд». Проволока проходит через ряд ванн не по прямой линии, а перегибаясь по роликам (контактные и поддерживающие). Состав ванн по данным фирмы обеспечивает возможность получения светлого, абсолютно ровного, блестящего покрытия. Однако применяемые на данной установке плотность тока и следовательно скорость процесса Ц. значительно ниже (в 4—5 раз) тех, к-рые были достигнуты указанными выше тремя авторами.

Одним из оригинальных новых способов быстрого электролитич. Ц., не получившим пока промышленного развития, является т. н. способ электронатирания. Принцип этого способа заключается в том, что покрытие производится постоянным током, проходящим через небольшой слой беспрерывно и быстро циркулирующего электролита, постоянно смачивающего суконную, фланелевую или другую мягкую, пористую прокладку, плотно облегающую поверхность анода. Анод во время процесса находится в непрерывном быстром движении и через прокладку (толщиною 3÷10 *мм*) плотно прижимается к предварительно очищенной поверхности катода; допускаемая плотность тока м. б. очень высокой (300—500 А/*дм*² и выше). Осадки получаются очень хорошими. Этот способ применим для Ц. плоских изделий (листы, лента) в специально оборудованных установках. При известном устройстве анодной системы этот способ может быть применим и для других объектов покрытия. С помощью специально устроенного ручного аппарата этим способом можно пользоваться также для ремонта покрытий или для покрытия таких изделий или частей изделий, к-рые не м. б. погружены в ванны (горячую или холодную электролитическую).



Применяется иногда способ Ц. даже без тока, т. н. контактный способ, основанный на действии электродвижущей силы гальванич. пары, образующейся при взаимном контакте покрываемого металла с другим, более электроотрицательным металлом. Для Ц. железа в качестве такого контактного металла применяют обычно алюминий и ведут процесс в щелочном горячем растворе цинковой соли (в алюминиевых сетчатых корзинах) в течение нескольких часов. Этот метод не дает толстых хороших покрытий. Получаемые обычно тонкие пленки покрытия имеют удовлетворительный вид, но защитные свойства их невысокие.

Методы испытания цинковых осадков разнообразны и зависят от определяемого качества покрытия. Подробное описание методов испытаний цинковых покрытий имеется в ряде соответствующих литературных сообщений.

Лит.: Кудрявцев Н., Цинкование, М., 1933; Роудон Г., Предохранительное покрытие металлами, пер. с англ., М.—Л., 1931; Погодин С. и Дырмонт Е., Ржавление и предохранение железа, Л.—М., 1933; Маас Э., Коррозия и защита от ржавчины, пер. с нем., М., 1930; Баймаков Ю., Электролитич. осаждение металлов, Л., 1925; Об электролитич. оцинковке проволоки, Герм.-сов. технич. бюро Оргметалл, Берлин—М., 1931; Изгарышев Н., Электрохимия цветных и благородных металлов, М., 1933; Bablik H., Grundlagen des Verzinkens, B., 1930; Pfanhauser W., Die elektrolytischen Metallniederschläge, 7 Aufl. B., 1928; Blum W. a. Hogaboom G., Principles of Electroplating a. Electroforming, N. Y., 1924; Степанов Д., Кабанов Б. и Кудрявцев Н., Технич. цинкование проволоки и лент при высоких плотностях тока, «Цветные металлы», М., 1930, *8—9*; Изгарышев Н. и Егорова Н., О стандартизации методов исследования качества металлич. покрытий, там же, М., 1931, *6*; Wernick, Faktoren, die auf die Rostschutzwirkung der Cadmiumplattierung einwirken, «Ztschr. für Elektrochemie», 1931, *11*; Foerster T. u. Günther O., Elektrolyse von Zinkchloridlösungen u. die Natur des Zinkschwamms, ibid., 1898, Jg. 5, *1*; Thompson M., Acid Zink Plating Baths, «Trans. of the Amer. Electrochem. Soc.», N. Y., 1926, v. 50; Hippensteel C. a. Borgmann C., Outdoor Atmospheric Corrosion of Zinc and Cadmium Electrodeposited Coatings on Iron and Steel, ibid., N. Y., 1930, v. 58; Haring H. a. Blum W., Current Distribution and Throwing Power in Electrodeposition, ibid., N. Y., 1923, v. 44; Horsch W. a. Fuwa T., «Trans. of the Amer. Electrochem. Soc.», N. Y., 1922, v. 41; Oplinger F., Barrel Plating with Duozinc (Zincmercury) Solution, «Chem. Abstr.», Wsh., 1933, v. 27, *11*; Hogaboom G. u. Graham A., Anodes pour le dépôt électrolytique du zinc, «Revue de l'aluminium», P., 1933, *54*; Graham A. u. Hogaboom G., A Study of Anodes for Zinc Plating, «Metal Industry», N. Y., 1933, v. 31, *6*; Wernlund C., «Trans. of the Amer. Electrochem. Soc.», N. Y., 1921, v. 40; Cocks H., The Electrodeposition of Zinc on Aluminium and Its Alloys, «The Metal Industry», L., 1930, v. 36, *14*;

Verzinkung von Luftfahrzeugteilen aus Aluminium und Aluminiumlegierungen, «Technisches Ztrbl.», B., 1932; Braun d B., Throwing Power of Plating Solutions with Particular Reference to Certain Zinc Plating Solutions, «Trans. of the Faraday Soc.», L., 1931, v. 27; «Ztrbl. d. Hütten- u. Walzwerke», 1927, Jg. 31, 23/24; Bablik H., Methodes for Festing the Thickness of Zinc Coatings, «The Metal Industry», L., 1926; Glazunow A., Bestimmung d. Dicke u. Güte des Zinküberzugs bei galvanisierten Eisendrähten, «Chemiker-Ztg», Köthen, 1933, 30. **Н. Кудрявцев.**

ЦИНКОВЫЕ КРАСКИ, минеральные краски, состоящие из соединений цинка, главн. обр. белого, серого и желтого цвета. Из белых Ц. к. наиболее важное значение имеют цинковые белила и *литопон* (см.), из серых—цинковая серая, или цинк-грау; из желтых—цинковая желтая, или цинковый крон; последний в смеси с синими красками, напр. берлинской лазурью, дает зеленые краски, т. н. цинковые зелени.

Сухие цинковые белила представляют очень тонкий и легкий порошок белого цвета, состоящий почти исключительно из ZnO (не менее 99%). В качестве исходного материала для получения цинковых белил служат металлич. цинк (см. *Белила* цинковые) или цинковые руды (цинковая обманка, галмей и др.), шлаки и т. п. отходы, содержащие цинк. Переработка руд и различных отходов на цинковые белила производится по способу Ветериля или по более новому—т. н. вельц-процессу. Эти способы дают возможность использовать дешевое и низкое по качеству сырье, благодаря чему они получили широкое применение за границей. Руды, очень бедные цинком, предварительно обогащаются. Работа по способу Ветериля обычно производится сл. образом. Руда, содержащая сернистые соединения, сначала обжигается для переведения сернистых металлов в окиси. После этого измельченную руду тщательно перемешивают с мелким углем, иногда с примесью флюсов, и загружают на колосниковые решетки в печи Ветериля. Последние представляют ряд продолговатых кирпичных камер с колосниковыми решетками. Под колосники нагнетается при помощи вентилятора воздух, и $t°$ камеры доводится до 1 000°. При этом ZnO сначала восстанавливается углем в металлический цинк, к-рый испаряется и окисляется вновь в ZnO, уносимую вместе с продуктами горения по трубам в охладительные башни и уловители. Если руда содержит свинец, то образующаяся при реакциях PbO загрязняет цинковые белила; ее удаляют путем продолжительного прокаливания. Способ Ветериля обладает различными недостатками: он требует большой затраты ручного труда для загрузки и перемешивания шихты, очистки колосников и т. д., большого расхода угля и сопряжен вследствие избыточного давления в печи газов и высокой температуры с тяжелыми условиями работы; поэтому в настоящее время получает все более и более широкое применение вельц-процесс. Для этого процесса применяют длинные, слегка наклонные трубчатые печи, приводимые при помощи роликов в медленное вращение. Эти печи по своему устройству очень сходны с вращающимися печами, применяемыми для обжига цемента. Загрузка шихты, состоящей из измельченной руды, угля и флюсов (напр. известняка и др.), производится механически у верхнего конца печи и благодаря непрерывному вращению последней перемещается постепенно к нижнему концу, подвергаясь при этом все время перемешиванию. Навстречу шихте поступает воздух, при помощи которого в наиболее горячей зоне печи $t°$ достигает 1 100—1 200°. Если $t°$ понижается, то применяют подогревание при помощи топки, непосредственно связанной с нижним концом печи. В верхней части печи происходит подсушивание и подогревание шихты за счет теплоты продуктов горения. Когда шихта достигает наиболее нагретой зоны, соединения цинка восстанавливаются до металла, к-рый в парообразном состоянии окисляется в ZnO. Последняя уносится вместе с газами и собирается в уловительных камерах. В нижней части печи отработанная шихта передает свою теплоту поступающему в печь воздуху и выгружается. Условия работы и производительность печей зависят от очень многих факторов: типа и размеров печи, угла наклона, скорости вращения, состава руды и шихты, температуры, количества воздуха и т. д. Почти все операции (загрузка, перемешивание и др.) производятся механически, благодаря чему значительно сокращается расход топлива и рабочей силы. Руды, содержащие сернистые соединения, могут перерабатываться в таких печах без предварительного обжига. Недостатком вращающихся трубчатых печей является высокая стоимость их оборудования. Полученные в уловительных камерах цинковые белила подвергаются прокаливанию для удаления из них PbO. Однако за границей наряду с чистыми цинковыми белилами выпускаются в продажу также и сорта последних с определенным содержанием свинца. Цинковые белила благодаря своей неядовитости и прочности к действию света и сероводорода применяются в живописи, малярном деле, полиграфической промышленности, а также как краска и наполнитель в целом ряде других отраслей техники: в производстве резины, целлюлоида, клеенки, дерматина, линолеума, в керамике, при изготовлении искусственных масс, при печати тканей, в производстве бумаги, в косметике, медицине и т. д. Качество цинковых белил определяется по цвету, тонкости частиц, уд. объему, а также по содержанию цинка и количества примесей (свинца, кадмия, солей серной к-ты и др.). *Литопон* (см.)—белая краска, состоящая из смеси осажденного ZnS и $BaSO_4$. За границей для нек-рых целей, напр. для получения светящихся красок и составов, в керамике и т. д., нашла применение белая краска под названием захтолит, состоящая почти из чистого ZnS.

Под названием цинк-грау поступает в продажу серая краска, состоящая гл. обр. из смеси ZnO с металлич. цинком; получается как отход в производстве цинковых белил; кроме того под названием цинк-грау, или цинковой серой или цинковой пыли, встречаются краски, получаемые 1) в виде отходов при добывании металлич. цинка и состоящие гл. обр. из цинковой пыли, 2) путем измельчения цинковой обманки, 3) искусственным путем из смеси цинковых белил с сажей или какой-нибудь *чернью* (см.). Цинк-грау в большинстве случаев неядовита, обладает хорошей кроющей способностью, нечувствительностью к свету и т. д. Цинк-грау, состоящая из ZnO и металлического цинка, употребляется как масляная краска, обладающая хорошими защитными свойствами против коррозии при окраске металлов, металлич. изделий, машин и т. п. предметов. Измельченная цинковая обманка применяется для окраски камня и дерева. О цинковой желтой см. *Хромовые краски*.

Цинковая зелень—краска, состоящая из смеси цинковой желтой с берлинской лазурью (или милори). В качестве наполнителя для нее применяется главн. образом сернокислый барий. В зависимости от относительного содержания составных частей краска получает самые разнообразные оттенки: от желто-зеленого до глубокого сине-зеленого цвета. Тона цинковой зелени по сравнению с зеленью, получаемой из хромовокислого свинца, отличаются большей яркостью, чистотой и светопрочностью, благодаря чему краска находит применение в живописи и для окраски предметов, подвергающихся продолжительному действию солнечных лучей, напр. садовой мебели, оконных ставней, заборов и т. д. Она не изменяется также от действия сероводорода и атмосферных влияний, но разрушается при действии щелочей. Употребляется гл. обр. как масляная краска. Иногда цинковой зеленью называют также зелень Ринмана, получаемую путем прокаливания ZnO с закисью кобальта (см. *Кобальтовые краски*).

Лит.: ОСТ 633; Молчанов Б., Минеральные белые краски, М.—Л., 1931; Rose Fr., Die Mineralfarben und die durch Mineralstoffe erzeugten Färbungen, London, 1916; Wagner H., Die Körperfarben, Stuttgart, 1928; «Farben-Ztg», Berlin; «Farbe u. Lack», Hannover; «Paint Oil a. Chemical Review», Chicago; «La Couleur», Paris. **П. Черенин.**

ЦИНКОВЫЕ РУДЫ, минералы и горные породы, содержащие цинк в количествах, достаточных для рентабельной переработки их. В таблице приведены главнейшие минералы, содержащие цинк. Более 99% цинка, находящегося в земной коре, встречается в виде сфалерита, или цинковой обманки, являющейся главной рудой на цинк. По способу образования цинковая обманка—типичный жильный минерал, выпадающий из горячих растворов в связи с последними стадиями застывания гранитной или гранодиоритовой интрузии. Этим путем образуются наиболее распространенные Ц. р. В виду тесной геохимич. близости цинка и свинца образование цинковой обманки идет обычно вместе с выделением свинцового блеска; поэтому огромное большинство Ц. р. является свинцовоцинковыми рудами; нередко они входят в состав *полиметаллических руд* (см.). Изучение большого числа таких месторождений позволяет подметить их важное в промышленном отношении зональное строение, причем зона максимального обогащения цинком занимает промежуточное положение между более глубокой зоной меди (колчеданной) и более близкой к поверхности зоной свинца. Близость цинковой обманки к свинцовому блеску такова, что сплошь и рядом оба минерала являются в тесном взаимном прорастании. Кроме свинцового блеска частыми спутниками цинковой обманки в жилах являются аргентит, халькопирит, пирит, арсенопирит, реже пирротин. Минералами жильного тела чаще всего являются кварц, реже барит, кальцит или еще реже флюорит. Более редкими (и вместе с тем более чистыми) являются выделения цинковой обманки в контакте изверженной породы с карбонатными породами (главным образом известняками). На земной поверхности цинковая обманка является минералом неустойчивым и переходит в цинковый купорос (госларит), дающий в свою очередь начало целому ряду углекислых, сульфатных и силикатных цинковых минералов (смитсонит, виллемит, каламин, гидроцинкит и др.). Эти минералы, скапливающиеся иногда в значительных количествах в сопровождении железных окислов в верхних частях рудных жил («железных шляпах»), образуют промышленно важные залежи вторичных (галмейных) Ц. р. Со стороны формы и структуры Ц. р. представляют большое разнообразие. Среди первичных руд встречаются: сплошные массы в виде жил, линз, штоков, пластов; часто встречаются брекчиевидные, ленточные, полосатые структуры; главные жилы сопровождаются сетью мелких прожилков или вкрапленностью, проникающей боковые породы. Важнейшие мировые месторождения цинковых руд: США (Джойлин, Бьюти, Ледвилль, Кер д'Ален). В Европе обширные бельгийско-германская и польско-германская группы месторождений (силезские, анненские), месторождения Райбля (Югославия), Амберга (Швеция) и др.

Запасы и главные месторождения Ц. р. в СССР. Общие суммарные запасы металлического цинка по Союзу определяются в 6 585 645 *т* (все цифры запасов всех месторождений даются суммарно для всех категорий в переводе на металлический цинк согласно данным IV Всесоюзной геологической конференции по цветным металлам). Месторождения Европейской части СССР: Красноуфимский, Калатинский и Карабашский районы (Урал). Месторождения приурочены к полосе рассланцованных эффузивных пород, перемежающихся с нормальными осадочными породами. К этой полосе с востока примыкают интрузии гранитов, с которыми повидимому и связано оруденение этой полосы. Руды относятся к типу «колчеданистых». Запасы цинка в металле равняются 1 319 400 *т*. Северокавказский край: Садонское месторождение (Ардонский район). Рудные тела в виде кварцевых и кварцево-кальцитовых жил и прожилков в гранодиоритовом массиве. Запасы цинка 285 687,5 *т*. Азиатская часть СССР: месторождения—Риддерское, Белоусовское, Зыряновское, Сокольное (Алтай). Все они приурочены к толще девонских осадочных пород и генетически связаны с гранитами. Запасы цинка равняются 882 770 *т*. Салаир—месторождение представляет собой несколько пластовых штоков кварцевого барита, в которых сконцентрирован сфалерит вместе с пиритом, галенитом и др. Запасы цинка 379 390,9 *т*. Казахстан—район Каратау. Залежи сплошных и главным образом вкрапленных руд, связанных с известняками. Общие запасы цинка 726 250 *т*. Нерчинский район—месторождения очень различного генезиса, приуроченные преимущественно к палеозойским породам—известнякам и глинистым сланцам. Осадочные породы прорываются гранитами. По типу месторождений здесь можно встретить все переходы от контактово-метаморфических до жильных (верхней зоны). Запасы цинка равняются 858 000 *т*. Дальневосточный край: месторождение Тетюхе на восточном склоне хребта Сихота-Алин. Месторождение приурочено к толще осадочных пород (сланцы, песчаники и известняки), которую местами покрывают кварцевые порфиры. Непосредственно на известняке залегает слой смитсонита с примесью сфалерита, содержание которого повышается с глубиной. Общие запасы цинка 288 126 *т*. Месторождение приобретает большое союзное значение.

Главные минералы, содержащие цинк.

Название	Кристаллич. система	Химич. состав и главные примеси	% содержания цинка	Цвет	Блеск	Твердость по Мосу	Уд. вес	Форма нахождения в природе	Отношение к к-там и к паяльной трубке
Сфалерит (цинковая обманка)	Куб.	ZnS с примес. Fe, Cd, Sn и др.	67	Буро-черн., зеленоват., красноват., бесцветн.	Жирный, алмазный	3—4	3,5—4,2	Плотные, зернистые и листов. массы	При нагревании растворяется в HNO_3 и HCl. Перед паяльной трубкой почти не плавится, растрескивается. На угле дает белый налет ZnO
Франклинит	Куб.	(Mn, Zn, Fe)O·Fe_2O_3	Колеблется	Железно-черный	Полуметаллический	5,5—6,5	5,0—5,2	Зернистые, сплошные агрегаты и вкрапления	Растворяется в HCl. Перед паяльной трубкой с трудом плавится в черную эмаль. С бурой образует фиолетовое стекло, буреющее при охлаждении
Цинкит (красная окись цинка)	Гекс.	ZnO часто с примес. Mn	80	Красный, оранжево-желтый	Стеклян., алмазный	4—4,5	5,4	Зернистые агрегаты	Растворяется в HCl. Перед паяльной трубкой не плавится. На угле дает желтый налет цинка; с фосфорной солью—марганцевое стекло
Виллемит	Гекс.	2 ZnO·SiO_2	58	Белый, зеленый, красный, желтый, коричневый	Жирный	5,5	3,9—4,2	Натечные формы	Растворяется в HCl с выделением студенистого SiO_2. Перед паяльной трубкой почти не плавится. На угле дает белый налет ZnO
Троостит	Гекс.	2 (Zn, Mn)O·SiO_2	—	Красный, серый	Жирный	Является разностью виллемита, богатой марганцем			
Каламин (галмей)	Ромб.	2 ZnO·SiO_2·H_2O	54	Бесцветн., серый, зеленоват., желтоватый и голубоватый	Стеклян.	4—5	3,4—3,5	Наросшие мелкие крист. друзы, натечные формы с скорлупов. концентрич. строением и плотные землистые агрегаты	Растворяется в к-тах с выделением студенистого осадка SiO_2. Растворяется в концентрированной KOH. Перед паяльной трубкой не плавится
Смитсонит (цинковый шпат)	Гекс.	$ZnCO_3$ часто с примесью до 50% $FeCO_3$, до 15% $MnCO_3$ и иногда $CaCO_3$ и $MgCO_3$	52	Бесцветный или окрашен в светлые тона серого, желтого и зеленого	Стеклян.	5	4,1—4,5	Корки, натечные и зернистые массы	Растворяется в к-тах и в KOH На угле дает белый налет ZnO
Гидроцинкит (цинковые цветы)	—	5 ZnO·2 CO_2·3 H_2O	60	Белый, сероватый или желт.	Матовый	2—2,5	3,6—3,8	Плотные или землистые массы	Шипит от HCl. Перед паяльной трубкой не плавится

Обработка Ц. р. Для отделения цинковой обманки от пустой породы и других сернистых руд применяют различные способы обогащения. Трудность последнего состоит в том, что уд. в. сфалерита близок к уд. в. пирита, что очень затрудняет их разделение; примесь же пирита чрезвычайно вредна: быстро портятся тигли из огнеупорной глины, в к-рых обжигается руда. Применяется магнитное обогащение (см. *Обогащение полезных ископаемых*). В последнее время для обогащения цинковых руд стал применяться метод флотации: порода, истолченная в мелкий порошок (от 0,1 до 0,01 *мм*), разбалтывается с водой, в к-рую прибавлено незначительное количество какого-нибудь нерастворимого в воде маслоподобного вещества. Получившуюся смесь (пульпу) энергично взмучивают винтовыми мешалками, засасывающими в пульпу большое количество воздуха. При этом пустая порода, более легко смешивающаяся с водой, остается внутри жидкости и в дальнейшем падает на дно, в то время как частицы руды, лучше смачиваемые маслом, уносятся в верхний слой и с пеной переходят в отстойный сосуд (шпицкастен). Пропущенная затем через фильтрат для отделения масла руда обжигается; цинковая обманка превращается в окись цинка, из которой восстановлением в печах получают металлич. *цинк* (см.).

Лит.: Федоровский Н., Минералы в промышленности и сельском хозяйстве, 2 изд., Л., 1927; Обручев В., Рудные месторождения, ч. 2, М.—Л., 1929; Главнейшие медные, свинцовые и цинковые месторождения СССР, сборн., М., 1931; Рабочая книга по минералогии, под ред. А. Болдырева, ч. 1—2, М.—Л., 1932; Витальский Н., Курс рудных месторождений, М.—Л., 1933; Берг, Геохимия месторождений полезных ископаемых, пер. с нем., М.—Л., 1933; Богданович К. и др., Серебро, свинец, цинк, «Сборник естеств. производит. сил России», П., 1919, т. 5, вып. 8; Ребиндер П., Научные основы флотационных процессов, «Научное слово», М., 1929, *1*; «Труды IV Всесоюзной конференции по цветным металлам», Общая часть, М.—Л., 1932, вып. 1; Dana E., System of Mineralogy, 6 ed., N. Y., 1923; Hofmann H., Metallurgy of Zinc and Cadmium, N. Y., 1922.

Н. Федоровский.

ЦИРКОНИЙ, Zr, химич. элемент IV группы периодич. системы (аналог титана, гафния и тория). Ат. в. 91,22; порядковое число 40. Изотопы: 90, 92, 94, 96 (?). Компактный Ц.—блестящий белый металл, уд. в. 4,6, $t°_{пл.}$ выше 1 900°; в аморфном виде Ц.—серый порошок. Аморфный или измельченный кристаллич. Ц. легко сгорает на воздухе с образованием двуокиси ZrO_2; компактный металл только покрывается налетом, а сгорает полностью лишь при очень высоких $t°$. Теплота образования ZrO_2 близка к теплоте образования двуокиси кремния. Вода, разбавленные к-ты и щелочи практически не действуют на металлич. Ц. даже при нагревании; сильно действует царская водка; лучше всего металлич. Ц. и большинство его соединений (даже карбид и нитрид) растворяются в плавиковой кислоте; кроме того на металлический Ц. действуют сильно сплавленные щелочи, а также при нагревании хлор и хлористый водород. С азотом Ц. при 1000° образует химически очень стойкий нитрид ZrN. Также соединяется Ц. и с нек-рыми другими металлоидами с образованием химически очень стойких соединений, напр. карбида ZrC или получаемого алюминотермическим путем или в электропечи в виде серых блестящих кристалликов силицида $ZrSi_2$. Порошкообразный Ц. легко абсорбирует водород, по всей вероятности с образованием твердого раствора. ZrO_2 выделена была впервые уже в 1787 г. (Клапрот), но получить металлич. Ц. (в очень загрязненном виде) удалось лишь в 1824 г. (Берцелиус) путем восстановления фторцирконата калия натрием:

$$K_2ZrF_6+4Na=2KF+4NaF+Zr.$$

В заводском масштабе можно получать Ц. путем восстановления ZrO_2 под давлением углем; при избытке последнего однако легко образуется карбид. Алюминотермически можно получить Ц. путем восстановления фторцирконата калия алюминием, причем первоначально получается соединение циркония с алюминием ($ZrAl_2 \cdot Zr_4Al_5$), принимавшееся ранее за кристаллич. Ц. Из этого соединения формуются электроды; при зажигании между ними электрич. дуги в азоте или аммиаке под уменьшенным давлением алюминий улетучивается и остается сплавленный чистый Ц. Аморфный Ц. можно также получить путем восстановления четыреххлористого Ц. натрием:

$$ZrCl_4+4Na=4NaCl+Zr.$$

Особый интерес представляет способ получения Ц. из газовой фазы (ван Аркель и де-Боэр), применяющийся в настоящее время для получения в чистом виде и других тугоплавких элементов (напр. бора, кремния, титана, гафния, тория, рения и др.). Способ заключается в том, что пары какого-либо летучего соединения Ц. (напр. с галоидами) пропускают в вакууме над нагретой путем пропускания электрич. тока проволокой из постороннего металла. Соединение диссоциирует, причем на проволоке («сердечнике») осаждается слой Ц., толщина к-рого зависит от продолжительности операции. Полученный т. о. компактный Ц. отличается большой чистотой и благоприятными механич. свойствами. Вследствие большого сродства к кислороду, азоту, сере и фосфору Ц. применяется в качестве добавки к металлическому, особенно железному, стальному и алюминиевому, литью. В первых двух случаях применяется сплав Ц. с железом—ферроцирконий (см. *Железосплавы*). Предлагалось также применение нитей из Ц., его карбида или нитрида в электрич. и электронных лампах.

Соединения Ц. производятся почти исключительно от четырехвалентного электроположительного Ц. Двуокись Ц. ZrO_2 получается при прокаливании соответствующей гидроокиси или солей Ц. с летучими к-тами; твердый, нерастворимый в воде порошок с очень высокой $t°_{пл.}$ (ок. 3 000°); удельный вес 5,73. В природе встречается в виде моноклинного бадделеита (бразилита); эта модификация стабильна при низких $t°$. Свыше 1 000° она превращается в другую—тетрагональную. Слабо прокаленная ZrO_2 относительно легко растворяется в минеральных кислотах; сильно прокаленная—растворяется только в плавиковой к-те и в конц. серной к-те при продолжительном воздействии. При нагревании до высокой $t°$ ZrO_2 светит ярким белым светом, вследствие чего ею пользовались в осветительной технике (проекционные приборы, лампы Нернста и т. д.—см. *Освещение*). Благодаря химич. стойкости, высокой $t°_{пл.}$ и низкому термич. коэф-ту расширения (близкому к коэф-ту плавленого кварца) ZrO_2 применяется в качестве огнеупорного материала; к ней обычно добавляют некоторые количества других тугоплавких окисей (магния, кальция, церия) вследствие того, что чистая ZrO_2 склонна к растрескиванию; в силу большой твердости ZrO_2 применяется в качестве абразионного материала и благодаря тугоплавкости и нерастворимости в силикатных сплавах—в качестве глушителя эмалей. ZrO_2 слабо амфотерна; ее кислотные свойства выражены очень слабо, вследствие чего ее соли, напр. щелочные цирконаты, получаются лишь сухим путем. С водой они мгновенно гидролизуются. Гидрат двуокиси Ц., $Zr(OH)_4$—желатинообразный осадок с коллоидными содержанием воды, получается при осаждении растворимых солей Ц. щелочами, причем легко образует коллоидные растворы. Осажденный на холоду легко растворяется в разбавленных к-тах. Легко адсорбирует щелочи, вследствие чего его иногда называют неправильно «циркониевой кислотой». Осажденный при нагревании, содержит меньше воды и трудно растворяется в минеральных к-тах (т. н. «метациркониевая кислота»).

Четыреххлористый Ц. $ZrCl_4$ получается при воздействии хлора на Ц., карбид Ц. или смесь двуокиси Ц. с углем. Белый порошок, дымящий на влажном воздухе вследствие гидролиза:

$$ZrCl_4 + H_2O = ZrOCl_2 + 2HCl.$$

Хлорокись Ц. $ZrOCl_2$, тетрагональные призмы, растворяющиеся в воде; кристаллизуется из нее в виде октогидрата. Сернокислый Ц. $Zr(SO_4)_2$ получается при энергичном действии серной к-ты на ZrO_2. В воде растворяется. Из раствора, содержащего избыток серной к-ты, кристаллизуется в виде соединения $ZrO \cdot 2SO_3 \cdot 4H_2O$. Азотнокислый цирконил $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$, неправильно называемый азотнокислым Ц., кристаллизуется из растворов гидрата окиси Ц. в азотной к-те. Применяется в пиротехнике. Нитрид Ц. ZrN получается путем непосредственного синтеза из элементов или же при термич. диссоциации иодида Ц. в присутствии азота; желтовато-серебристые кристаллы с металлич. блеском, очень твердые, обладающие электропроводностью и химически очень стойкие. Карбид Ц. ZrC получается при восстановлении Ц. углем; черные, блестящие, очень твердые кристаллы; химически менее стоек, чем нитрид; применяется как абразионный материал.

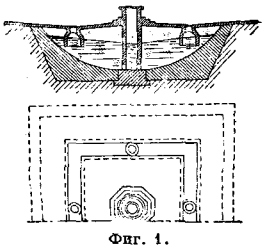
Распространение Ц. в земной коре равно 0,02% (как цинка). Скопления циркониевых минералов встречаются однако редко. Наиболее распространенный минерал циркон $ZrSiO_4$, силикат Ц., известен во многих местах земного шара (Норвегия, Цейлон, Канада, Бразилия), в том числе и на Урале. Прозрачные, ярко окрашенные красные или оранжевые его разновидности (гиацинт) ценятся как драгоценные камни. Менее красивые экземпляры применяются в точной механике. Технически более ценен баддделеит, или бразилит, ZrO_2, т. к. он легче перерабатывается, чем циркон; встречается на Цейлоне и в Бразилии. В СССР сырьем для добычи Ц. может служить еще эвдиалит, силикат сложного состава, найденный в значительных количествах в Ловозеровской тундре (Кольский полуостров). Ц. входит также часто в состав минералов, содержащих ниобий, тантал и *редкие земли* (см.). Все природные соединения Ц. содержат нек-рые количества гафния.

Лит.: Мур Р., Химический анализ редких технических металлов, Л., 1931; Башилов И., Введение в технологию редких элементов, М.—Л., 1932; Шеллер В. и Ноуелл А., Анализ минералов и руд, содержащих редкие элементы, Л., 1928; Алексеев Л., Костылева Е. и Курбатов И., Цирконий, «НИ», 1927, т. 3; Venabl F., Zirconium a. Its Compounds, N. Y., 1922; Youngman E., Zirconium, part 1, General Information, part 2, Domestic a. Foreign Departs, *Circul.* 6455 a. 6456, «U. S. Bureau of Mines», Washington, 1931.

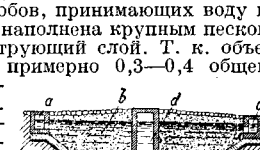
Е. Кронман.

ЦИРКУЛЬ, см. *Чертежные инструменты.*

ЦИСТЕРНЫ водосборные, водоемы, служащие для сбора и хранения дождевой воды. Ц. применяются в местностях, где отсутствуют *реки, озера* и другие источники пресной воды, где подземной воды нельзя достать вследствие скалистого грунта или слишком большой глубины ее залегания, где имеющаяся вода непригодна для употребления. Ц. больше всего распространены в Палестине, Италии и некоторых местностях США. Большое число Ц. было устроено в Венеции, Александрии, на Далматских горах и в других местах. Много Ц. устроено также на Кавказе и в Крыму, где они часто служат для сбора и хранения воды из ключей, к-рые летом высыхают. Очистка воды производится в самых хранилищах, стенки и дно к-рых состоят б. ч. из каменной непроницаемой кладки. Ц., обслуживающая отдельный дом (фиг. 1), имеет обычно небольшие размеры. Дождевая вода, выпадающая на окружающие мостовые, крыши и специально подготовленные поверхности, собирается в Ц. через четыре окна. Вода забирается из среднего колодца, подошва к-рого находится на 4 *м* ниже мостовой. Вся Ц. кроме желобов, принимающих воду из среднего колодца, наполнена крупным песком, образующим фильтрующий слой. Т. к. объем пор песка равен примерно 0,3—0,4 общего объема песка, то емкость фильтра д. б. в 2,5—3,5 раза больше емкости скапливаемой воды. Описанная Ц. получила впервые применение в Венеции и носит поэтому название венецианской; она имеет фильтр и открытый колодец, в который поступает прошедшая через фильтр вода. В венецианской Ц. с фильтром и закрытым колодцем (фиг. 2) дождевая вода принимается каменным каналом *a*, расположенным по обводу Ц. Из этого канала вода попадает в песчаный фильтр *b*, пройдя к-рый очищенная вода поступает через отверстия *c* в средний колодец *d*, откуда она отводится к пониженному месту на поверхность земли особой трубой, расположенной в центре колодца; у водоразбора труба снабжается водоразборным краном. Эта Ц. имеет форму четырехгранной пирамиды и приспособлена к большому содержанию воды.

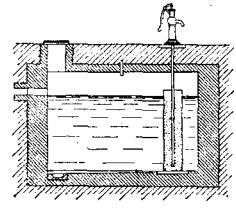


Фиг. 1.

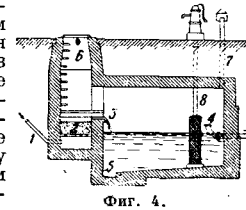


Фиг. 2.

Американские Ц. (фиг. 3) сооружают круглой или прямоугольной формы; вода направляется в америк. цистерны по трубам, будучи собрана с крыш и мощеных поверхностей. Если есть основание опасаться переполнения Ц., то она снабжается водоотводной (переливной) трубой. Вода очищается, просасываясь через цилиндрический песчаный фильтр, состоящий из двух дырчатых цилиндров (корзин), промежутки между к-рыми заполнены песком и мелким гравием. Такие фильтры занимают мало места и легко вынимаются для чистки. Америк. Ц. снабжается всасывающим ручным насосом для поднятия воды из вместилища, в к-рое опущена всасывающая труба, помещенная на всей длине погружения в воду в металлич. сетчатом цилиндре, наполненном крупным песком. Всасывающая труба насоса снабжается боковыми отверстиями, закрываемыми густой медной сеткой (140—150 отверстий на 1 *см*²). На фиг. 4 изображена более совершенная американская Ц. с двойным фильтром. Здесь вода с поверхности крыш и мощеных дворов попадает

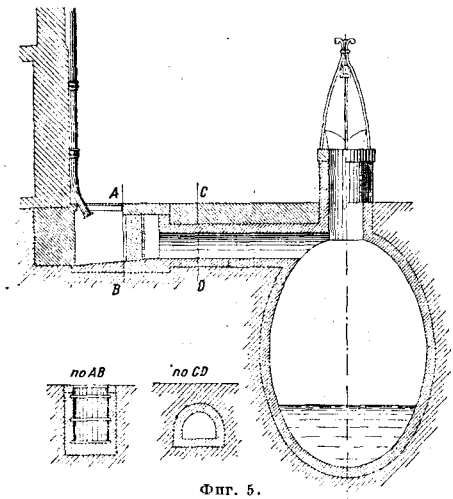


Фиг. 3.



Фиг. 4.

по трубе *1* в приемное отделение, откуда она под давлением проходит песчаный фильтр *2*, переливаясь затем в цистерну *3*. Из последней вода, достигнув определенного уровня, выливается наружу через переливную трубу *4*. На случай чистки и ремонта Ц. вода выливается из нее через спускную трубу *5*. В Ц. попадают через лаз *6* по железным стремянкам, заделанным в каменную кладку. Для проветривания имеется вентиляционная труба *7*. Для подъема воды устанавливается насос *8* с фильтром. Последний состоит из нескольких цилиндрич. сеток различной частоты, причем чем чаще сетка, тем ближе она располагается к всасывающей насосной трубе. Промежутки между сетчатыми цилиндрами заполняются мелким щебнем и крупным песком. На фиг. 5 показана Ц.



Фиг. 5.

типа Орлеанской ж. д. Она состоит из овоидальной трубы, составленной из отдельных звеньев в зависимости от требуемой емкости. Вода из дождевых труб поступает в канал шириною 0,50 *м*, пройдя предварительно фильтр (площадью 0,85 × 0,50 *м*), составленный из двух решеток, покрытых медными сетками, между к-рыми засыпан слой песка толщиною 0,30 *м*. Сицилийская Ц. (фиг. 6) имеет фильтр, состоящий из слоев крупного гравия *1*, мелкого гравия *2*, угля *3*, песка *4* и снова угля; общая толщина фильтра ок. 2 *м*.

Количество Q *м*³ воды, к-рое м. б. ежегодно скоплено, зависит от высоты N атмосферных осадков в данной местности в *м* и от свойства и величины F воспринимающих поверхностей в *м*². Оно м. б. выражено ф-лой

$$Q = \mu FN, \qquad (1)$$

где μ—коэф. стока, равный 0,6 для дворов и 0,8 для крыш. Если Ц. должна обслуживать хозяйство в период засухи, то потребная емкость Ц. выразится величиной

$$Q = qn + v, \qquad (2)$$

где q—потребное колич. воды в день в *м*³, n—число дней засушливого времени, на к-рое запасаются водой, v—добавочный запас воды в *м*³.

Площадь питания такой Ц. определится из равенства

$$\mu FN = qn + v,$$

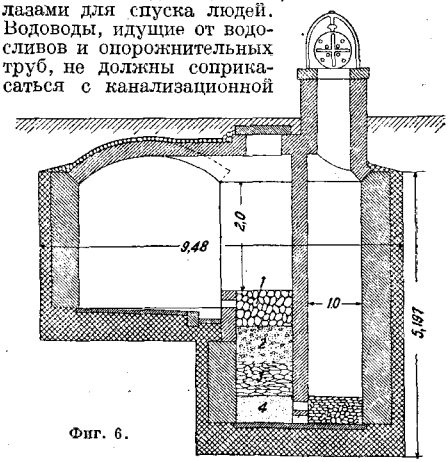
откуда

$$F = \frac{qn+v}{\mu N}. \qquad (3)$$

Размеры водоприемных каналов венецианских Ц. должны быть так рассчитаны, чтобы вся вода от сильного дождя могла вместиться в них, пока она не просочится через фильтр Ц., и т. о. могла вся поступить в Ц. Если высота слоя одновременно выпавшего дождя равна N_1, а f и l—поперечное сечение и длина водоприемных каналов цистерны, то д. б. соблюдено условие:

$$fl = \mu FN_1. \qquad (4)$$

При устройстве Ц. должны быть соблюдены следующие правила: а) поверхности, с к-рых вода поступает в Ц., должны содержаться в полной чистоте; б) первые воды с питающих поверхностей в виду их загрязнения не должны попадать в Ц., для чего по пути сбора воды располагают отстойник; в) вода, попадающая в сборник чистой воды, должна предварительно пройти через решетки и песчаные фильтры; г) стенки и дно Ц. должны быть сделаны из материала, водонепроницаемого и не передающего воде дурных качеств (жесткости от известковых пород, ржавости от содержащих железо пород и т. п.); д) емкость Ц. должна быть достаточна для спокойного отстоя воды. Глубина воды в Ц. желательна ок. 2 *м* при слое воздуха над ней в 1 *м*; е) место забора воды должно находиться на расстоянии ок. 0,5 *м* от дна во избежание присасывания подающими воду механизмами отстаивающейся мути; ж) верх Ц. необходимо прикрывать слоем земли толщиной не менее 1 *м*, чтобы тем самым сохранить желательную $t°$ воды; з) Ц. должны иметь приспособления для вентиляции, водосливы и трубы для опорожнения на случай чистки и ремонта. С последней целью Ц. снабжают также лазами для спуска людей. Водоводы, идущие от водосливов и опорожнительных труб, не должны соприкасаться с канализационной



Фиг. 6.

сетью; и) Ц. должны быть расположены вне сферы влияния выгребных, мусорных, помойных ям и навозохранилищ; к) воду в Ц. надлежит содержать в темноте, чтобы избежать развития фауны и флоры; л) Ц. надлежит

содержать по возможности герметически закрытыми с тем, чтобы предупредить попадание в них пыли; м) Ц. должны быть очищаемы не менее одного раза в год. При временном загнивании воды таковая должна быть выпущена и заменена новой. При соблюдении всех перечисленных условий можно рассчитывать на получение в цистерне воды хорошего качества. Ц.-вагоны—см. *Вагоны*. Ц. автомобильные—см. *Автомобиль*.

Лит.: Брилинг С., Краткое руководство по водоснабжению, 2 изд., Москва—Ленинград, 1928; Правдзик А., Курс водоснабжения, ч. 1, СПБ, 1903; Полещук А., Курс строительного искусства, ч. 8, Водопроводы и водостоки, СПБ, 1904; Кашкаров Н., Курс водоснабжения, Москва, 1926; Сурин А., Водоснабжение, ч. 1, Ленинград, 1926; Тимонов В., Водоснабжение и водостоки, т. 1, Петербург, 1904; Енш А., Водоснабжение городов и отдельных владений, Рига, 1928; Gross E., Handbuch d. Wasserversorgung, 2 Auflage, München, 1930; Weyrauch R., Die Wasserversorgung d. Städte, Leipzig, 1916; Weyrauch R., Wasserversorgung d. Ortschaften, 3 Auflage, Berlin, 1921; Smreckel O., Die Wasserversorgung d. Städte, Berlin, 1914; Schoklitsch A., Der Wasserbau, B. 1, W., 1930; Köpcke, Wasserleitung f. Bahnhof u. Hafen-Geestemünde, «Zeitschrift d. Arch.- u. Ing.-Vereins zu Hannover», Hannover, 1867, p. 95; Bertrand, Note sur les citernes vénétiennes, «Nouv. ann. de la constr.», Paris, 1862, t. 32, p. 111. **С. Брилинг.**

ЦИТВАРНОЕ СЕМЯ, молодые цветочные почки цитварной полыни (Artemisia santonica). Цветы имеют сильный, неприятный запах. Действующее начало Ц. с.—*сантонин* (см.). Часто на международном рынке Ц. с. фальсифицируют. Для распознавания «поддельного» Ц. с., не содержащего сантонина, применяют реактив — раствор иода в хлористом цинке. При смачивании этим реактивом выступающих на цветочной головке кристалликов, они при содержании сантонина должны приобретать сначала желтый цвет, затем переходящий в желтокоричневый. Перерабатывается Ц. с. на сантониновом з-де в Чимкенте. В Ц. с. содержится кроме сантонина еще эфирное масло — цитварное масло, бледножелтого цвета, с крепким запахом и жгучим вкусом; получается оно при перегонке Ц. с. с водяным паром. Уд. в. масла 0,915—0,940. **Н. Раницкий.**

Ч

ЧАЙНОЕ ДЕРЕВО, Camelia sinensis, из семейства Theaceae, листья которого идут для приготовления напитка, известного под именем чая. Ч. д.—кустарник или дерево, достигающее 30 *м* высоты, произрастает в диком состоянии в лесистых районах Бенгалии, Индокитая и Южного Китая, а также на о-ве Гайнане. В культуре Ч. д. широко распространено в Китае, Японии, Индокитае, Индии, на Цейлоне, о-вах Малайского архипелага, занимая пространство от 30° ю. ш. до 40° с. ш. В СССР культура Ч. д. производится в больших размерах на Черноморском побережьи, в Абхазии, Аджаристане, Гурии и Мингрелии, от г. Сочи до турецкой границы. Ч. д. принадлежит к вечнозеленым растениям с кожистыми продолговатыми, эллиптическими, черешчатыми, чередующимися листьями, по краям пильчатыми или острозубчатыми. Цветок с 5—6 черепитчато сложенными чашелистиками, с 6—9 белыми с желтоватым или слаборозовым оттенком лепестками, с многочисленными тычинками, при основании сросшимися, с трехраздельным рыльцем, 3—4-гнездной верхней завязью. Плод, созревающий в течение года,—1—4-гнездная коробочка, содержащая в каждом гнезде 1 или 2—3 семени. Семена овальные ребристые 10—15 *мм* длины, с темносерой коричневой плотной оболочкой, зародыш с двумя плосковыпуклыми семядолями. В 1 *кг* помещается 625—725 шт. семян. Семена быстро теряют всхожесть и должны немедленно после сбора высеваться или храниться в мешках с землей в прохладном помещении. В семенах содержится 42% скорлупы и 58% ядра, богатого жирным маслом, к-рого содержится в них, в зависимости от происхождения семян, от 23% до 45%. Масло содержит сапонин, после очищения от к-рого оно становится вполне пригодным для употребления в пищу.

В зависимости от изменчивости развития стволовой части от кустарника не более 3—4 *м* до дерева высотой 30 *м*, размеров листвы по длине от 12 до 25 *см* и нервации листьев различают четыре формы Ч. д. Причем кустарниковые формы с мелкими листьями произрастают по преимуществу в Сев. Китае и Японии, а более высокорослые формы с более крупными листьями являются принадлежностью Индии, Индокитая и Ассама; между этими формами существуют переходы. Низкорослые китайские формы являются более выносливыми по отношению к климату, тогда как ассамское Ч. д. принадлежит к деревьям тропич. климата. Благодаря своей перекрестноопыляемости и долголетней культуре Ч. д. образует большое количество гибридов и модификаций, имеющих значение в чайной пром-сти, но затрудняющих классификацию мелких форм Ч. д. Культура Ч. д. возможна во влажном субтропическом климате, с годовым количеством равномерно распределенных по сезонам года осадков в 1 500—5 000 *мм*, лучше всего перемежающихся с жаркими сезонами весною и летом. Китайские формы Ч. д. выносят морозы в —3°, а кратковременные минимумы даже до —10°, —12°, причем выпадающий снег не вредит чайным кустам. В отношении почвы Ч. д. нетребовательно, но предпочитает глубокие, рыхлые, хорошо гумусированные почвы с подпочвой, не задерживающей влаги и не содержащей избытка извести и мергеля. Склоны, защищенные от господствующих ветров, особенно сухих северо-восточных, хорошо освещенные солнцем с непересыхающей почвой, обеспечивают хороший рост чайных плантаций. В районах, подверженных действию с.-в. ветров, плантации защищаются с наветренной стороны посадками вечно-зеленых деревьев, как например Cryptomeria japonica. Плантации закладывают на участках, расчищенных из-под леса и обрабатываемых на глубину до 30 *см*; на крутых склонах обработка ведется террасами. Разводят чайные плантации или путем посева семян на место плантации или высаживают 1—2-летние сеянцы, предварительно воспитанные в питомниках. Чаще применяют непосредственно посев семян, причем в место, отмеченное колышком, высевают 2—3 семячка в расстоянии между рядами 1,25 *м* и между кустами в ряду 1 *м*, т. е. по 8—10 тыс. шт. на *га*, доводя иногда это количество до 13 тыс. на 1 *га*. Высевается на 1 *га* до 40—41 *кг* семян. До появления всходов лунки покрываются легким покровом. Посадки и посевы рекомендуется производить осенью. Уход за молодыми плантациями заключается в рыхлении почвы и прополке сорной травянистой растительности. В конце первого года жизни плантации зимою начинается работа по формовке куста, имеющая целью дать кусту равномерное ветвление у самой земли и придать кусту широкую плоскую форму, удобную для сбора листа, с высотою куста 0,7—1 *м*. Последовательно в течение трех лет проводимая подрезка куста приводит к надлежащей его форме. В последующие годы куст ежегодно подрезается осенью, но уже с целью получения максимума

листьев, для чего зимою обрезается до $^1/_3$ прироста годичного побега. Лет через 5—6 иногда срезают куст у места первоначальной подрезки и затем начинают снова вести его формовку, это так наз. строгая обрезка. При застарении куста производят его омоложивание, срезая всю верхнюю часть и оставляя пенек, который окучивают, а место среза сглаживают садовым ножом и покрывают садовым варом. После омоложивания в течение года куст оставляют в покое. Омоложивание кустов производят через 10—15 лет. При внесении удобрений, окопке кустов и рыхлении почвы долговечность чайных плантаций—свыше 100 лет, а есть случаи в Японии, когда куст Ч. д. имел возраст до 700 лет. Эксплоатация чайного куста нормально начинается с 5-летнего возраста и заключается в срезании молодых побегов (флешей), которые представляют собою зеленую веточку с верхушечной почкой, покрытой серебристыми волосками и двумя-тремя листьями. Флеш срезается в то время, когда побег вырастает настолько, что после срезки флеша на нем останутся 2—3 листа. Это первый сбор, затем новые отросшие побеги снова собирают, и в зависимости от климатич. условий эта операция повторяется многократно. Длительность сезона чайного сбора в Китае 2—3 месяца с 2—3 сборами, в Батуме 4—5 месяцев с 3—4 сборами, в тропич. Индии 8 мес. с 30—35 сборами и на Цейлоне круглый год.

Урожайность плантаций Ч. д. весьма разнообразна. В Индии в среднем с 1 *га* получается 617 *кг* готового чая (максимум 1 350 *кг*), на Чаквинских плантациях в Аджаристане урожайность составляет в среднем до 245 *кг* готового чая с 1 *га*. Урожайность может быть значительно поднята соответствующим уходом за плантациями в виде рыхления и внесения удобрения. Качество чая кроме обработки в значительной степени зависит от качества листа, идущего на его приготовление. Лист должен быть молодой, нежный, с развитыми клетками, наполненными концентрированным соком. Такого рода лист получается при яркой солнечной погоде, достаточно плодородной почве и соответствующем уходе за плантациями. При сумрачной погоде и во влажных низменных районах качество листвы сильно понижается; она становится водянистой и чай получается плохих качеств. Т. о. качество чая, получаемого с одной и той же плантации, может колебаться в зависимости от погоды чайного сезона, как колеблется оно и в разные годы. Сбор чайного листа должен производиться путем срезки особыми ножницами со специальными мешочками, по наполнении которых листочки помещаются в корзины вместимостью до 20 *кг*. Корзины, как и руки сборщиков, д. б. очень чисты. Эту трудоемкую работу в последнее время стремятся механизировать путем создания специальных резальных машин с производительностью до 4 *га* в сутки. Собранный лист необходимо не туго набивать в корзины и быстро доставлять на фабрики, где ведется переработка чайного листа. В основном переработка чайного листа слагается из следующих операций: 1) сортировка листа, собранного на плантациях, удаление рваных листьев и неправильно срезанных; 2) провяливание листа, рассыпанного тонким равномерным слоем на рамах, обтянутых полотном, в особых хорошо вентилируемых помещениях при свежем воздухе, время от времени производя встряхивание листа путем легких ударов бамбуковыми палочками по нижней поверхности натянутого полотна. Когда лист становится мягким и пластичным и не ломается при скручивании, провяливание считается законченным. Длительность завяливания при температуре 20—25° обычно ок. 18 ч.; 3) вслед за провяливанием производят скручивание листа на особых машинках (роллер), при к-ром листочки разрываются, сок выступает наружу и окисляется под влиянием кислорода воздуха. Это начало ферментации листа. Скрученный лист на специальных машинах сортируется—по крупности на 3 сорта (зеленая сортировка). Мелкий лист поступает в ферментацию, а крупный и средний подвергаются дополнительному кручению. Следующий процесс — ферментация листа—производится в особых помещениях при $t°$ воздуха 23—28° и относительной влажности 92—95%, где лист раскладывается в особых деревянных ящиках слоями толщиной 3—5 *см*. Ферментация чайных листьев—процесс энзиматический. Продолжительность ферментации 2,5—5,5 часов (на Кавказе). Во время ферментации происходит окислительный процесс, внешним признаком которого является изменение зеленой окраски листа до медно-красно-коричневого цвета и образование эфирного чайного масла, от которого зависит аромат чая. После ферментации производится сушка листа горячим воздухом в особых сушильных аппаратах, после чего чай пропускают через сортировочные сита для разделения фабриката на различные сорта чая. Перед отправкой уже готовый чай еще раз подсушивают и помещают в ящики, после чего их возможно плотнее запаковывают, а иногда ящики даже запаивают. Т. о. приготовленный чайный лист имеет черный цвет, легко разламывается с сухим треском, носит название черного байхового чая и в зависимости от качеств получает соответствующую марку. Под видом цветочного чая известны изготовленные в Китае чаи из верхушечных почек, одетых серебристым пушком, непосредственно высушенных на солнце. Желтый чай получают тоже из верхушечных почек, высушенных на солнце, но предварительно слегка подвяленных в тени. Зеленый чай получается из чайных листьев так же, как и черный, но без ферментации. Кирпичный чай получается от длинных летних побегов, которые подвергают процессу ферментации, затем просушивают и на фабриках измельчают, пропаривают и формуют в плитки весом в 1 *кг*. Плиточный чай приготовляют прессованием чайных высевок хорошего качества без пропаривания в форме плиток по 100 *г* весом.

Составными веществами чая являются: дубильные вещества, кофеин, эфирное масло, белок, теофиллин, углеводы и минеральные соли. Дубильные вещества обусловливают его специфический вяжущий вкус. Кофеин (2—4%) является главным действующим началом, об условливающим возбуждающее действие чая на организм человека. Эфирное масло придает запах чаю. В японских зеленых чаях имеется витамин С. Общее мировое потребление чая составляло в 1926 г. 357 млн. *кг*; на долю СССР приходилось 20 млн. *кг*, причем из общего числа потреблялось: 60,4% черных байховых,

11% зеленых, 28,3% кирпичных и 0,3% плиточных чаев. Чай в значительной мере является продуктом импорта, а поэтому вполне понятно, что перед СССР стоит серьезная задача укрепления и развития чайного дела у нас на Черноморском побережьи, где имеется 75—125 тыс. *га*, пригодных под чайную культуру. Специально для работы по этому делу организовано Акционерное об-во Чай-Грузия, широко развивающее разведение чайного дерева в колхозах, совхозах и среди единоличников на Черноморском побережьи. Вопросы научного обоснования разведения Ч. д. в СССР разрабатываются во Всесоюзном научно-исследовательском ин-те чайного хозяйства.

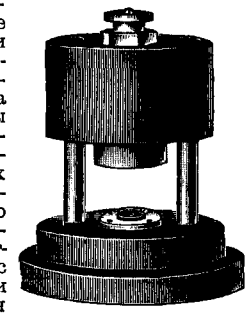
Лит.: Палибин И., Чай, Ленинград, 1930; Сборник по чайному делу, под редакцией И. Палибина, «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции», Ленинград, 1923, т. 18, выпуск 3 (в сборнике дана библиография, охватывающая как русскую, так и иностранную литературу); «Известия Всесоюзного научно-исследовательского института чайного хозяйства». Тифлис, 1931, вып. 1 и 2.

И. Кобранов.

ЧАЛМА, восточная хлопчатобумажная ткань, изготовляется из специального миткаля, вырабатывается шириною в 137 *см* из основы № 40 и утка № 50 при основной плотности 46 нитей и уточной 42 нити на 1 *см*. После специальной отделки ткань выходит под названием чалма.

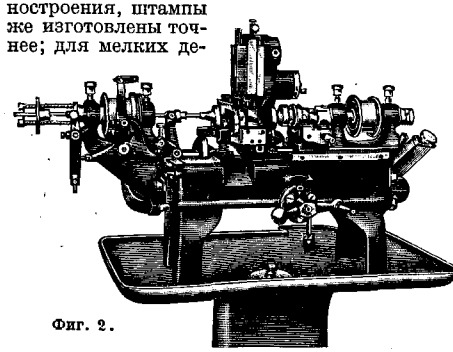
С. Молчанов.

ЧАСОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО, совокупность операций по изготовлению, сборке и регулировке механизмов *часов* (см.) различных систем. За последнюю четверть века часовая промышленность почти целиком стала достоянием крупных ф-к и з-дов и кустарное производство часов сохранилось только в небольших деревушках Швейцарии и Шварцвальда, и то гл. образом для часов дешевого типа (кукушки, ходики). Это объясняется тем обстоятельством, что часы являются предметом широкого и массового потребления и только фабричным способом возможно изготовление большого количества вполне однородных и взаимозаменяемых деталей, из к-рых собираются современные часы. Применение новейших методов изготовления, массовость и дешевизна являются главнейшими экономич. факторами часовой пром-сти. По роду изготовляемой продукции часовые з-ды разделяются на з-ды, изготовляющие карманные часы, секундомеры, хронометры, и заводы, занятые изготовлением крупных часовых механизмов, каковыми являются стенные часы, будильники, электрич. часы, а также дешевые (долларовые) часы или часы типа «Роскопф». Кроме того при диференциации предметов часовой пром-сти существуют еще ф-ки, занятые производством часовой фурнитуры, т. е. тех наиболее общих деталей часового механизма, к-рые являются свойственными вообще всем типам часов, напр. стрелки, волоски, заводные пружины, циферблаты, храповые колеса и собачки, готовые анкерные и цилиндровые хода и т. п. Наконец совершенно особыми видами производств являются производство камней для часовых механизмов, счетчиков, водомеров и пр., а также производство часового масла для смазки механизмов. Эти производства являются самостоятельными специальностями, которыми занят целый ряд з-дов Швейцарии и Германии. В производстве мелких часов (т. е. карманных и родственных им) исходной величиной являются размеры механизма, т. е. диаметр платин, толщина механизма и пр., короче говоря, то, что французы называют «ébauche» (заготовка), так как с размерами платин связаны размеры всех остальных частей механизма. Эти соотношения установлены практикой, напр. диаметр среднего колеса должен составлять $^1/_3$, а ходового $^2/_{10}$—$^2/_{11}$ диам. платин, диаметр секундного колеса д. б. равен $^2/_9$—$^1/_4$ диам. платин, а что касается баланса, то диаметр его д. б. в 2—2,2 раза больше диам. ходового колеса, причем первая цифра относится к ободу без винтов, а вторая с винтами. Т. о. создается заготовка карманных или ручных часов, к-рая характеризуется диам. платин в *мм* (калибр), например 40-*мм* часы (карманные), 27-*мм* наручные и т. д. Появившиеся в последнее время наручные часы прямоугольной и овальной форм определяются двумя или тремя размерами. Когда все основные размеры данного вида часов определены, т. е. рассчитаны диаметры всех колес, расстояние между центрами и пр., то приступают к определению координат центров отдельных колес в прямоугольной или полярной системе для того, чтобы на особых, т.н. разметочных, станках или разметочных компараторах—машинах высокой точности—наметить эти центры для изготовления шаблонов или кондукторов для рассверловки платин и мостиков. Современное Ч. п. характеризуется самым широким применением автоматич. станков для всех стадий и деталей производства, в особенности для обработки резанием.



Фиг. 1.

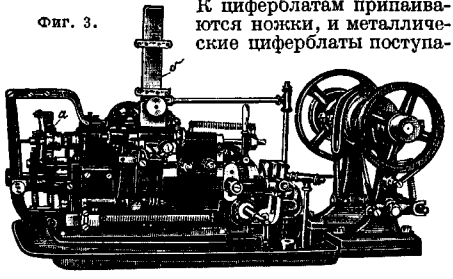
Основным заготовительным цехом Ч. п. является штамповочный цех, где штампуются платины, мостики, циферблаты, корпуса и их части, стрелки и колеса для часового механизма. Прессы для штамповки этих деталей не отличаются от прессов среднего и мелкого машиностроения, штампы же изготовлены точнее; для мелких деталей и колес они имеют форму, изображенную на фиг. 1. Это—блок-штамп комбинированного типа, вырезающий из полосы латуни в один прием колесо с окнами и центральным отверстием. Отштампованные детали—платины и мостики—обрабатываются далее на лентошлифовальном станке, где им дается ровная и гладкая поверхность, и затем нумеруются; если же детали поступают далее в позолоту, то предварительно обрабатываются



Фиг. 2.

либо химически либо механически при помощи песчаной струи для получения ровного и тонкого мата. Стрелки в дальнейшем подвергаются воронению, оксидировке, золочению, а в случае надобности набивке светящейся массой.

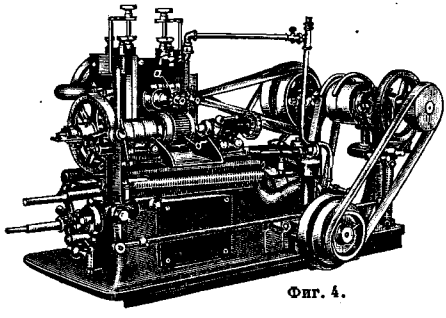
Фиг. 3.



К циферблатам припаиваются ножки, и металлические циферблаты поступают в никелировку или серебрение для того, чтобы дальше можно было на них печатать или вытравливать цифры.

Дальнейшее производство сосредоточено в механич. цехе. На токарных автоматич. станках (фиг. 2) вытачиваются заготовки осей, трибок, ремонтуарной оси и прочие мелкие детали. Машины эти работают вполне автоматически и требуют минимального ухода. Выточенные заготовки трибок поступают на зуборезные автоматы для трибок (фиг. 3), к-рые могут нарезать любое число зубцов в зависимости от числа делений на делительном круге *а*. Заготовки насыпаются в магазин *б* и автоматически поступают в работу. Часовая производительность такой машины—80 трибок по 8 зубцов, при внешнем диаметре в 6 *мм*.

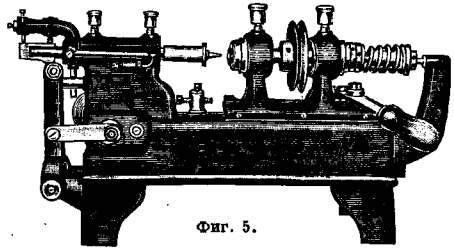
Отштампованные заготовки для колес поступают на зуборезные автоматы для колес (фиг. 4), где колеса нарезаются при помощи дисковой



Фиг. 4.

фрезы *а* пачками *б* в 16—40 штук в зависимости от толщины колеса. По окончании нарезки одной пачки станки эти автоматически останавливаются. На таких же станках в две операции производится нарезка ходовых колес. Колеса крепятся на осях посредством футоров или прямо на заточке трибки посредством заклепочных станков (фиг. 5), обслуживаемых вручную. Мостики и платины рассверливаются в кондукторах на многошпиндельных сверлильных станках и, где нужно, вправляются камни на специальных сертиссёрах, т. е. станках для вправки камней. После заготовки все части окончательно отделываются, если нужно, то калятся, шлифуются, полируются и поступают в сборочный цех. Изготовление хода, баланса, насадка его на ось производятся в специальном механическом т. н. ходовом цехе при помощи операций, аналогичных описанным. В процессе работы все детали как в сыром, так и в готовом виде проходят через контрольные отделы, к-рые производят отбраковку непригодных деталей. В сборочном цехе производится сборка механизмов, к-рые далее поступают в регулировочный цех, где производятся установка хода, пригонка волоска и регулировка в шести основных положениях, после чего механизмы ставятся в корпуса и после надлежащего контроля и поверки часы поступают на склад готовых изделий.

Производство стенных и вообще крупных часов характеризуется несколько более крупными станками и наличием специально корпусного цеха, где изготовляются корпуса деревянные, пластмассовые или металлические, а также малярного цеха, где производятся лакировка, шпаклевка, окраска корпусов, вставление стекол и пр. Для производства электрич. часов д. б. предусмотрены специальный цех, где режутся, гнутся и калятся постоянные магниты, а также мастерская, где производятся намагни-



Фиг. 5.

чивание, старение и поверка готовых магнитов и кроме того изготовление, намотка и поверка электромагнитов для вторичных часов. Конвейерная работа возможна только при производстве дешевых массовых часов-ходиков, будильников, долларовых и кроме того вторичных электрочасов в виду крайней простоты последних. При производстве точных астрономич. часов, хронометров и других научных приборов из области хронометрии в серийном масштабе автоматич. станки употребляются реже и уступают свое место полуавтоматам или даже просто ручным станкам, снабженным целым рядом приспособлений, обусловливающих чистоту и точность работы. **Л. Шишепов.**

ЧАСТИ СТАНКОВ, см. Дополнительный том.

ЧАСТОТА, см. Дополнительный том.

ЧАСТОТОМЕР, см. *Частоты измерение*.

ЧАСТОТЫ ИЗМЕРЕНИЕ в электротехнике и радиотехнике, процесс определения числа перемен тока или напряжения в ск., т. е. числа периодов (циклов) переменного тока в ск. За стандарт частоты в СССР и Германии принят герц, Hz (ОСТ 5037); часто результат процесса Ч. и. выражают в kHz. Во всех остальных странах эти же единицы для Ч. и. называются соответственно цикл в ск. или просто цикл и килоцикл в ск. или килоцикл. Точное измерение частоты имеет в современной электротехнике, и особенно в радиотехнике, одно из доминирующих значений, в связи с переуплотнением радиоэфира и (как следствие) в связи с взаимными помехами между радиостанциями. Следовательно точное определение (измерение) частоты, как и *стабилизация частоты* (см.), является одним из основных фак-

торов, обусловливающих правильную и бесперебойную эксплоатацию радиосети. Сверх того повышающаяся избирательность радиоприемных устройств, работа нескольких радиостанций на одной волне с целью экономии частот в эфире и т. д. предъявляют к технике Ч. и. все более высокие требования: по международным нормам 1933 г. наир. вещательные радиостанции должны обладать измерителями частот с точностью до ± 10 Hz, что при значении несущей частоты радиостанции в 1 000 kHz составляет 10^{-3}%. Для вещательных станций, работающих на одних и тех же общих волнах, требования к точности измерителей частот еще более высоки (± 2 Hz, что для значения несущей частоты 1 000 kHz составит $5 \cdot 10^{-4}$%). Измерители частот, обладающие точностью ниже 0,5%, признаны вовсе непригодными для использования в условиях эксплоатации. Требования точности к измерителям частот, применяемым в специальных лабораториях, еще более высоки. Т. о. метрология частот занимает особое положение в современной технике и в частности в современной радиотехнике, прогресс к-рой тесно связан с дальнейшими достижениями и успехами в области Ч. и. В силу существующей зависимости между частотой и длиной волны ($\lambda = c : f$) процесс Ч. и. может быть в принципе заменен процессом измерения длины волны и обратно. Этим самым прибор, служащий для Ч. и., частотомер, м. б. отградуирован в длинах волн (см. *Волномер*) и наоборот. Однако последнее допустимо лишь в тех случаях, когда можно ограничиться малой точностью измерений. При современных требованиях большой точности к измерителям частот, когда начинает играть существенную роль даже поправка Майкельсона на величину скорости распространения электромагнитных волн в пространстве, права гражданства получает лишь частота, а следовательно и измеритель частоты. Это обстоятельство оправдывается в первую очередь тем, что лишь методы Ч. и. обеспечивают требуемую в настоящее время точность измерений. Выражение же градуировки измерителя частоты в длинах волн путем перерасчета по ф-ле, связывающей частоту с длиной волны, вносит кроме того на практике еще ряд неудобств и неточностей. Поэтому ОСТ 5037 считает основной характеристикой частоту, а не длину волны.

Классификация и точность методов Ч. и. Современные методы Ч. и., равно как и измерители частот, построенные на основе этих методов, подразделяются на два класса: абсолютные и технические. К первому классу относят методы Ч. и., основанные на сравнении с единицей или суммой единиц времени, а также с эталонными частотами, генерируемыми специальными пьезокварцевыми (см. *Пьезокварц*) или камертонными (см. *Камертон* и *Стабилизация частоты*) генераторами-часами. Постоянство секундных сигналов такого рода часов-генераторов превышает постоянство секундных сигналов обычных астрономических маятниковых часов. Ко второму классу относят все остальные методы измерения частот, допускающие измерение в определенной полосе частот. На международной радиоконференции в Копенгагене 1931 г. было принято следующее подразделение методов Ч. и. и измерителей по точности: а) большой точности, т. е. общая неточность к-рых меньше 10^{-4} измеряемой частоты, б) средней точности, общая неточность к-рых меньше 10^{-3} измеряемой частоты (до 10^{-4}), и в) малой точности, общая неточность к-рых меньше $5 \cdot 10^{-3}$ (до 10^{-3}) измеряемой частоты. Под точностью измерителя частоты принято понимать отношение между измеренной частотой и абсолютной величиной максимальной ошибки, к-рая м. б. вызвана той или иной причиной. Под неточностью измерителя частоты принято понимать отношение, обратное предыдущему. Различают а) неточность общую, составляющими к-рой являются неточности, обусловленные механич. неправильностями частей измерителя частоты, неправильностями индикаторной системы или системы отсчета, неправильностями, являющимися результатом внешних влияний (темп-ры, электрич. полей, атмосферного давления, влажности и др.), и б) неточность эталонирования, к-рая определяется исключительно ошибками эталонирования и не влияет на величину общей неточности. По современным нормам неточность эталонирования не должна превышать половины предела общей неточности. По способу отсчета применяемые методы измерения частоты могут быть разделены на 3 класса: с визуальным отсчетом, слуховые и комбинированные. Качественно современные измерители частот разделяют на 2 категории: измерители, основанные на излучении, и измерители, основанные на поглощении (абсорбции) энергии измеряемой частоты.

Абсолютные методы Ч. и. разделяются на 3 категории: 1) методы непосредственного сравнения измеряемой частоты с единицей или суммой единиц времени, 2) методы сравнения измеряемой частоты с эталонной частотой переменного тока, полученного с помощью эталона времени в виде астрономического маятника, действующего на систему фотоэлемента, и 3) методы сравнения измеряемой частоты с эталонной частотой абсолютных эталонов частот, частоты которых определены по методу первой категории. Методы первой категории получили применение в тех случаях, когда стабильность измеряемой частоты по величине одного порядка с требованиями точности, предъявляемыми к методам абсолютных измерений, например при измерениях частот эталонов частот, при измерениях весьма стабильных частот, излучаемых некоторыми передающими радиостанциями в течение большого промежутка времени, и т. п. Вышеизложенное вызвано еще тем, что при Ч. и. путем непосредственного сравнения с единицей времени для получения большой точности требуется пропорциональное увеличение промежутка времени, в течение которого производятся измерения, поэтому методы первой категории применимы лишь тогда, когда отсутствует требование кратковременного и быстрого определения абсолютного значения частоты.

При измерении частот путем непосредственного сравнения с единицей или суммой единиц времени различают два случая: 1) Когда измеряемая частота непосредственно соизмерима с единицей или суммой единиц времени. В этом случае Ч. и. производят, применяя например *хронограф* (см.), одно перо которого записывает на движущейся ленте импульсы тока измеряемой частоты, а другое параллельно—импульсы секундных сигналов времени. Применяются также и другие приборы для записи электрических импульсов, как *ондуляторы* (см.), шлейфные *осциллографы* (см.) и т. п.

Подсчет числа импульсов, записанных на ленте за определенный промежуток времени, производится специальным счетчиком-компаратором, имеющим также применение в обсерваториях при сравнении с помощью хронографов сигналов времени. Новейшие механические компараторы обеспечивают отсчет числа Hz с точностью 0,01 Hz и выше. Более удобным является применение автоматич. счетчиков, получивших распространение в США. Эти счетчики измеряют число перемен тока за определенный промежуток времени. Имеет применение также несколько более сложный способ, но дающий весьма большую точность измерений, заключающийся в следующем. Секундные импульсы через систему реле дают периодич. разряды искрового разрядника или вспышки точечных лампочек, применяющихся в телевидении. Лучи разрядов или вспышек проектируются с помощью соответствующих линз на циферблат счетчика, показания которого можно фотографировать на кинопленке, движущейся в специальной камере. В результате получается колонна цифр, разности между каждыми двумя из к-рых, будучи сложены и затем разделены на протекший промежуток времени в ск., равный числу цифр, дают значение измеряемой частоты. Иногда употребляется способ катодного осциллографа (по фигурам Лиссажу). Если измеряемая частота находится в простом отношении к ск., то кривые периодически изменяются и абсолютная разница м. б. определена путем простого подсчета числа измерений кривых за известный промежуток времени. Имеют применение различные вариации стробоскопич. метода.

2) Когда измеряемая частота непосредственно несоизмерима с единицей или суммой единиц времени, то прибегают к трансформации частоты (см. *Частоты трансформация*) вниз путем применения различных кратных делителей: деление частот путем последовательной цепи синхронизации на унтертонах специальных генераторов, богатых гармониками (см. *Мультивибратор*), различных других источников *релаксационных колебаний* (см.), деление частот путем применения регенеративных каскадов, синхронно возбуждающихся на унтертонах (см. *Резонанс параметрический*), деление частот применением синхронного мотора, фонич. колеса и т. д. Трансформацию высокой частоты вниз продолжают до тех пор, пока трансформированная частота не будет непосредственно сравнима с единицей или суммой единиц времени по одному из способов, упомянутых выше. Очевидно истинное значение измеряемой частоты до трансформации будет равно измеренной трансформированной низкой частоте, умноженной на коэфициент трансформации частоты. При использовании сигналов времени, получаемых из обсерваторий, с помощью методов первой категории за длительный промежуток времени можно получить точность измерения частот до 10^{-7}%. Методы абсолютного измерения частоты, отнесенные ко второй категории, в настоящее время не имеют распространения по причине малой точности, значительно уступающей методам первой и третьей категорий.

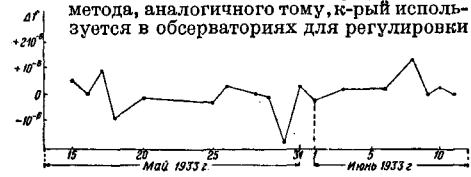
Методы, относимые к третьей категории, получили наиболее широкое применение, что объясняется не только большей точностью, но и возможностью в этом случае производить весьма кратковременные и быстрые Ч. и. Здесь различают ряд случаев: а) Когда измеряемая и эталонная частоты весьма близки друг к другу. В этом случае подсчитывают число *биений* (см.), получаемых (например в анодной цепи лампового детектора) по одному из вышеперечисленных при рассмотрении первого случая методов первой категории. Конечно здесь всегда необходимы особые предосторожности для сведения до минимума эффекта увлечения частоты, или захватывания. В телефонных лабораториях Белла (США) применяют также следующий способ: напряжения частот, измеряемой и эталонной, подаются к двум входам балансного модулятора, снабженного чувствительным поляризованным реле. Последнее включено в анодные цепи электронных ламп по диференциальной схеме так, что при каждом герце разности между частотами, подводимыми к модулятору, оно приходит в действие. Т. о. задача далее сводится к измерению частоты срабатывания реле. б) Когда измеряемая и эталонная частоты разнятся на звуковой тон, то наиболее широкое применение имеет метод измерения частоты биений между этими частотами. В таком случае применяют или один из делителей звуковых частот с последующим измерением низкой подтональной частоты по одному из способов, упомянутых выше, или используют эталонный генератор звуковой частоты с последующими измерениями по методу вторичных нулевых биений подтональной частоты. в) Когда частоты (измеряемая и эталонная) значительно разнятся между собой, то, если измеряемая частота кратна или почти кратна эталонной, достаточно сравнить измеряемую частоту соответственно с гармоникой или унтертоном более высокой частоты. Здесь часто используют один из современных способов трансформации частоты, в результате чего получают или звуковые или подтональной частоты биения, измерение к-рых производится одним из упомянутых выше способов. При кратности частот большой точности можно достигнуть по фигурам Лиссажу, получаемым с помощью катодного осциллографа. Если измеряемая и эталонная частоты не одного порядка и не находятся в кратном гармонич. отношении, то сравнение производится или путем нескольких стадий измерений по принципу гетеродинирования с эталонной частотой (см. *Супергетеродинный прием*) или по принципу наложения комбинационных частот от эталонов частот путем модуляции. В настоящее время не представляет трудностей получение кратных и подкратных частот, поэтому вовсе нет необходимости применять несколько эталонов на различные частоты. Применяя системы синхронизованных эталонной частотой (как на гармониках, так и унтертонах) генераторов, богатых гармониками (напр. мультивибраторов), используя комбинационные тоны, модуляцию и гармоники, легко можно заполнить широкий спектр частот (до диапазона метровых волн включительно) эталонными частотами с интервалами, соответствующими низкой звуковой частоте.

На этих принципах построено большинство новейших устройств, служащих для абсолютного измерения радиочастот, путем сравнения с частотой эталона частоты, в свою очередь сравниваемого с единицей или суммой единиц времени. В последнем случае создают специальное приспособление в виде синхронных часов с микрометрическим циферблатом и контактным устройством, включенным в цепь, замыкаемую сигналами времени. В этом случае

имеется возможность сравнивать показания часов с точностью до 0,01 секунды. При помощи методов третьей категории не представляет больших трудностей получение точности измерений частот до 10^{-6}% для частот до 10^3 kHz и до 10^{-7}% для частот выше 10^3 kHz. О методах абсолютного измерения длин волн, дающих значительно меньшую точность, см. *Измерение*, Измерение в радиотехнике, а также *Волномер*.

Современные источники эталонных частот. В качестве источников эталонных частот широкое применение получили специальные пьезокварцевые осцилляторы и камертонные генераторы (см. *Стабилизация частоты*) как обладающие при известных условиях наибольшим постоянством частоты из всех других предложенных методов получения стабильных частот. В тех случаях, когда можно ограничиться меньшим постоянством частоты, в качестве эталонов частот применяют также магнетострикторные генераторы (см. *Магнетострикция*). С помощью магнетострикторных эталонов можно (при специальных условиях) получить устойчивость частоты порядка до $5 \cdot 10^{-3}$%. Получение устойчивости здесь до 10^{-3}% представляет уже известные трудности. При применении камертонных генераторов в качестве источников эталонных частот получить стабильность частоты порядка 10^{-3}% особых трудностей не представляет, хотя для этого требуются специальные условия. Получение устойчивости порядка 10^{-4}% представляет уже существенные трудности. Пьезокварцевые эталоны частот при специальных условиях обладают стабильностью порядка до 10^{-5}%. Получение же устойчивости выше 10^{-5}% представляет значительные трудности. Однако констатирована устойчивость частоты пьезокварцевых эталонов за длительный период времени порядка 10^{-6}% (лаборатории Белла в США и др.) и даже выше.

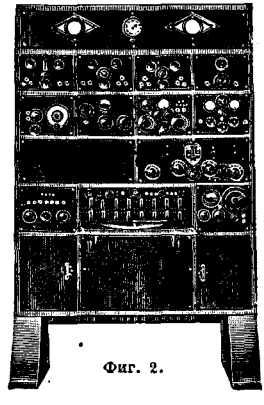
Источник эталонных частот лаборатории Белла представляет собой пьезокварцевый осциллятор, непрерывно сравниваемый с тремя такими же осцилляторами (основная частота 100 kHz), с одной стороны, и с сигналами времени,—с другой. Кристаллы кварца, вырезанные по параллельному срезу, используются в виде колец, что вместе со специальным держателем обеспечивает интегральный температурный коэфициент по частоте менее 10^{-4}%. Кроме того каждый кристалл помещается в двойном термостате с автоматич. регулятором $t°$ до 0,01°. Атмосферное давление вокруг осциллятора поддерживается постоянным. Сам осциллятор установлен на специальных пружинах, чтобы уменьшить до минимума механич. сотрясения. Постоянство питающих напряжений поддерживается с точностью до 1% при помощи специальных регуляторов. Влияния нагрузки и других факторов (всего около 10) настолько уменьшены, что интегральная стабильность за длительный промежуток времени (более месяца) даже выше 10^{-5}%, но имеет место медленное повышение частоты, обусловливаемое в частности изнашиванием кристалла и держателя. Медленные изменения частоты регулируются с помощью компенсированного микроконденсатора, включенного параллельно электродам кварца (сетка—нить лампы). Частота эталона выбрана в 100 kHz потому, что она представляет собой среднее логарифмическое спектра частот, применяемых в современной электро- и радиотехнике. Значение частоты основного эталона определяется в результате сравнения с сигналами времени, с одной стороны, и из соотношения между средними частотами всех четырех эталонов,—с другой. В тех случаях, когда от эталона частоты требуется возможно более высокая точность в течение большого промежутка времени, заранее гарантировать эту высокую точность, даже при принятии всех необходимых мер предосторожности, естественно нельзя. Поэтому применение метода, аналогичного тому, к-рый используется в обсерваториях для регулировки



Фиг. 1.

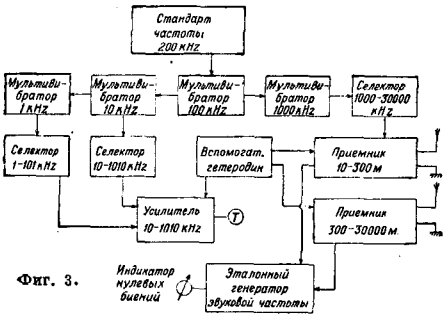
часов-маятников, а именно использование нескольких эталонов, непрерывно сравниваемых друг с другом и с сигналами времени, является необходимым условием. На фиг. 1 приведен график устойчивости частоты камертонного генератора эталона частоты в 1 kHz Международного союза радиовещания за май и июнь 1933 г. В последнее время (1932—33 гг.) получил применение способ эталонирования наиболее точных эталонов частот, заключающийся в определении промежутка времени часового механизма, регулируемого эталонными частотами, относительно сигналов времени обсерватории. Это обеспечивает точность эталонирования за сутки до 10^{-7}.

Современные устройства для абсолютного Ч. и. нашли наиболее широкое распространение в радиотехнике. Такого рода устройства, представляющие довольно сложные и объемистые установки, применяются не только в лабораториях, но и в специальных пунктах контроля радиочастот и даже в крупных радиоприемно-передающих центрах. Последнее обусловлено все повышающимися требованиями к точности Ч. и., которой достигают лишь при применении абсолютных методов Ч. и. Характерным образцом современных устройств, служащих для абсолютного измерения радиочастот, является установка (фиг. 2), разработанная в Научно-исследовательском ин-те электросвязи НКСвязи и установленная в 1932 г. для постоянной эксплоатации в выделенном пункте контроля радиочастот в г. Можайске (около Москвы). Принцип измерений, положенный в основу устройства, заключается в сравнении (по методу нулевых биений) измеряемых частот, принимаемых на резонансные приемники, с эталонными частотами, подаваемыми на эти же



Фиг. 2.

приемники. Для заполнения всего спектра радиочастот эталонными частотами используются выделяемые *селекторами* (контурами с малым затуханием) гармоники систем мультивибраторов, синхронизованных первичным эталоном частоты, каковым является пьезокварцевый осциллятор с основной частотой 200 kHz. Принципиальная схема устройства представлена на фиг. 3. Для измерений звукового тона биений применяется специальный звуковой генератор, стабилизованный в широком диапазоне частот, т. е. с постоянной градуировкой. При точности эталона частоты $\pm 10^{-6}$ суммарная ошибка измерений с помощью такого устройства $\Delta f \cong 10^{-6} f \pm 5$ Hz, где ± 5 Hz приходится в основном на ошибки, связанные с использованием эталонного генератора звуковой частоты при определении частоты звуковых вторичных биений. Для понижения этой ошибки до $\pm 0{,}5$ Hz при измерениях частот вещательного диапазона прибегают к стробоскопич. методу измерения звукового тона упомянутых биений, трансформированных с помощью колеса Лакура.

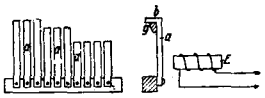


Фиг. 3.

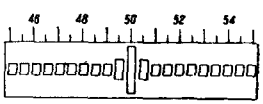
Методы сравнения эталонов и абсолютных измерителей частот по точности. Современная техника располагает следующими методами сравнения эталонов и абсолютных измерителей частот по точности. а) Методы с перемещением прибора: 1) прямое сравнение двух эталонов и измерителей по одному из методов абсолютного измерения частот и 2) сравнение нескольких эталонов и измерителей частот переносным прибором, могущим быть перевозимым даже из одной страны в другую. б) Методы без перемещения прибора: передача в эфир (напр. путем модуляции) и одновременные измерения одной и той же эталонной частоты измерителем, подлежащим проверке. Все эти методы имеют свои преимущества и свои неудобства, причем все они обеспечивают в настоящее время точность примерно одного порядка. На международной конференции в Гааге (1929 г.) было принято предложение об организации в каждой стране специальной лаборатории, снабженной эталонами частот и ведущей, с одной стороны, работы по повышению точности последних, а с другой—сравнения их точности в международном масштабе. В СССР такого рода работы поручены лаборатории стабилизации и контроля радиочастот НКСвязи.

Технические методы Ч. и. подразделяются на две категории: 1) прямые методы, т. е. обеспечивающие непосредственное указание частоты, и 2) косвенные методы, обеспечивающие определение частоты путем измерения нек-рых физических величин, характеризующих колебательный процесс или зависящих от него. Большинство современных технических методов измерения частот позволяет определять частоту в нек-ром широком или узком диапазоне частот. Однако существуют методы Ч. и., позволяющие определять лишь одно фиксированное значение частоты. Технич. методы Ч. и. с точки зрения их применения разделяют: 1) на методы, основанные на поглощении, т. е. дающие показания лишь при наличии переменного электрического поля, возникающего от внешних источников, и 2) на методы, основанные на самовозбуждении переменных токов известной частоты. Наибольшей точности можно достичь при применении второй группы методов. Точность, к-рую могут обеспечить методы первой группы, в лучшем случае порядка 0,1%. Исключение представляют методы и аппаратура, доступная лишь для применения в специальных лабораториях с весьма квалифицированным персоналом. На технич. методах Ч. и. основаны различного рода *измерители частот* (*частотомеры*), использующие явление механического резонанса (вибрационные, или язычковые, частотомеры), электрич. резонанса (см. *Волномер*), электромеханич. резонанса (пьезоэлектрические резонаторы), электродинамические, электромагнитные, измерители частот с искусственными схемами, гетеродинные и т. п.

Вибрационные частотомеры получили применение при измерениях низких и весьма низких частот (напр. для Ч. и. в осветительных и силовых сетях переменного тока). Принцип их действия состоит в следующем. Ряд стальных полосок (язычков) *a* разной длины, один конец к-рых закреплен жестко, а другой может свободно колебаться, помещен в поле электромагнита *E*, обмотки к-рого питаются током измеряемой частоты (фиг. 4). Различная длина полосок придает последним различный собственный период колебаний. Каждая полоска точно подогнана на определенную собственную частоту путем присаживания ничтожной тяжести *g*. Наибольший размах получают колебания того язычка, собственный период к-рого наиболее близок к колебаниям, сообщаемым электромагнитом, или является числом, кратным колебаниям последнего. Загнутые свободные концы полосок *b* и окраска их в белый цвет придают последним при резонансе особую форму, что позволяет выделить резонированную полоску от других. Наличие возле полосок шкалы, градуированной обычно в пер/ск., дает возможность определить значение частоты (фиг. 5—частота переменного тока, питающего обмотки электромагнита, 50 пер/ск.). В настоящее время используется ряд вариантов измерителей частот, основанных на принципе механич. резонанса. Эти приборы включаются обычно в цепь параллельно, причем они рассчитываются на рабочее напряжение 100—500 V. В технике сильных токов вибрационные частотомеры применяют на диапа-



Фиг. 4.

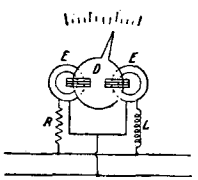


Фиг. 5.

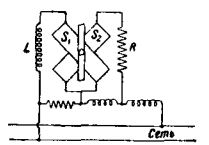
зон частот 45—55 Hz с делениями до 0,25 Hz. Вибрационные частотомеры изготовляются на диапазоны частот 7,5—6 000 Hz.

Измерители частот, использующие явление электромеханического резонанса, нашли широкое применение в современной радиотехнике, в частности в качестве контролеров устойчивости частоты высокочастотного передатчика. К числу последних принадлежат пьезокварцевые резонаторы, обычно исполняемые в виде пластинки монокристаллич. кварца, вырезанного определенным образом по отношению к осям (см. *Пьезокварц*) и помещенного в специальной оправе в стеклянный запаянный баллон, наполненный смесью газов гелия с неоном при давлении ок. 10 *мм*. В этом случае, когда к электродам кварца приложена переменная эдс с частотой, равной собственной частоте пьезокварцевой пластинки, последняя приходит в интенсивные колебания, в результате чего появляется эдс обратного пьезоэлектрического эффекта, сопровождаемая сильной ионизацией неона, вызывающая тлеющий разряд (свечение). При малой входной эдс свечение продолжается на полосе частот шириной в несколько Hz, что дает возможность производить измерение и особенно контроль устойчивости частоты с большой точностью. Малое затухание, низкий температурный коэфициент и постоянство собственной частоты позволяют использовать кварцевые резонаторы для целей настройки и контроля устойчивости частоты передающих радиостанций с точностью порядка сотых долей %.

Принцип действия индукционных измерителей частот, нашедших себе применение при измерениях низких частот, состоит в следующем. В воздушном зазоре между двумя снабженными экранами электромагнитами E, в цепи которых включены последовательно с одной системой безиндукционное сопротивление R, а с другой—сильное индукционное сопротивление L, свободно вращается алюминиевый диск D со стрелкой (фиг. 6). Полное



Фиг. 6.

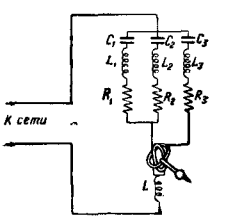


Фиг. 7.

сопротивление индуктивной системы изменяется с изменением частоты, что вызывает изменение тока, проходящего через эту систему, и следовательно изменяет положение алюминиевого диска со стрелкой. Последнее обстоятельство позволяет построить шкалу частоты. Для измерения низких частот получили распространение также электродинамические измерители частот, позволяющие получить почти равномерную шкалу.

Принцип действия электромагнитных измерителей частоты состоит в том, что подвижная система, состоящая из сердечника мягкого железа в виде пластинки со стрелкой, свободно вращается в поле двух неподвижных соленоидов S_1 и S_2, повернутых на 90° (фиг. 7). Один из соленоидов соединен последовательно с индуктивным сопротивлением L, а другой—с безиндукционным R по принципу мостика Витстона. При измерении частоты происходит то же, что и в случае индукционных измерителей, в результате чего подвижная система принимает новое положение равновесия, что позволяет нанести почти равномерную шкалу градуировки по частоте. Измерители частот со стрелками удобны тем, что позволяют в частности осуществить запись частоты на ленте. Недостатком является зависимость от напряжения в сети. Все эти измерители позволяют измерять лишь низкие частоты.

Измерители частот, использующие явление электрического резонанса цепей, строятся для измерения частот как в широком, так и в узком диапазонах, причем для низких и высоких частот, вплоть до частот, соответствующих диапазону метровых волн. В случае весьма низких частот измерители частот этого рода могут дать относительно большую точность. В этом случае схема измерителя частоты имеет вид, представленный на фиг. 8. К примеру, для точного измерения частоты ок. 60 Hz одну цепь ($C_1L_1R_1$) настраивают на 70 Hz, другую ($C_2L_2R_2$)—на частоту порядка 58 Hz, а третью ($C_3L_3R_3$)—на частоту 36 Hz. В этом случае на шкале длиною 15 *см*, с точкой 60 Hz по середине, отклонение стрелки на полшкалы соответствует изменению частоты всего лишь на 5 Hz. В случае высоких радиочастот измерители частот этого рода (см. *Волномер*) в большинстве случаев не могут обеспечить современных норм точности, предъявляемых к последним. Согласно общесоюзному стандарту ОСТ 5242 принято делить резонансные измерители частот на 3 класса: 1) с наибольшей допустимой относительной неточностью до 0,25% при максимально допустимом декременте 0,05, 2) с наибольшей допустимой относительной неточностью до 0,1% при наибольшем декременте 0,025 и 3) до 0,03% при декременте не более 0,015. Последние представляют собой непереносные приборы для лабораторных измерений, выполненные с компенсацией влияний темп-ры и т. п. Ко второму классу относят измерители на узкий диапазон при непременном условии частой проверки их градуировок абсолютным измерителем частот. Необходимость частой проверки градуировок таких измерителей частот по отношению к абсолютным измерителям частот вызывается целым рядом причин, из которых основными являются: изменение настройки из-за оседания ротора конденсатора колебательного контура, вызываемого изнашиванием подвижных частей, изменением параметров индикатора (размагничивание магнитов телефона или индикаторов другого вида) и т. п. Следует иметь в виду, что смена индикатора резонанса влечет за собой существенные изменения параметров колебательного контура, а следовательно и кривой градуировки, поэтому резонансный измеритель частоты при смене его индикатора д. б. вновь проградуирован с тем индикатором, с к-рым предназначается его дальнейшее использование. Индикаторами служат: а) индикаторы тока—тепловые миллиамперметры, гальванометры или телефоны в соединении с детекторами,

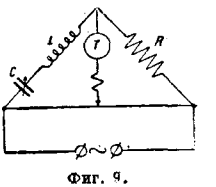


Фиг. 8.

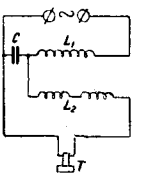
амперметры, обладающие постоянным сопротивлением (порядка 10 Ω), следовательно показания их пропорциональны I^2 в связанном контуре (максимальное I обычно порядка 70 mA) и т.п., б) индикаторы напряжения—маловольтные лампочки накаливания, разреженные трубки, ламповые вольтметры и пр. (см. *Индикаторы резонанса*). При Ч. и. с помощью резонансных измерителей частот основными условиями точности являются слабые связи, т. к. максимальный ток в контуре измерителя бывает не при *резонансе* (см.). Проистекающая отсюда ошибка при измерениях будет тем меньшей, чем меньше связи. В случае малых связей наибольшие показания индикатора будут весьма близко соответствовать моменту резонанса. Применяемые в настоящее время резонансные измерители частот на узкий диапазон частот имеют декремент до 0,005. Используемые ими катушки самоиндукции и конденсаторы обладают малым $t°$-ным коэф-том по частоте (см. *Стабилизация частоты*) и большой механической жесткостью при ничтожных *остаточных деформациях*, что *позволяет* получить точность до 0,1% от измеряемой частоты. Для искусственного сужения резонансной кривой применяют в качестве индикатора резонанса катодный вольтметр, накал лампы к-рого производят энергией измеряемой высокой частоты путем абсорбции части энергии от колебательного контура.

Технич. измерители частот гетеродинного типа осуществляются как на широкий, так и на узкий диапазон. К числу первых относятся обычные ламповые генераторы, осуществленные с элементами параметрической и $t°$-ной стабилизации частоты, при буферном каскаде (для устранения влияния нагрузки) и детекторе. Гетеродинные измерители частот, основанные на использовании затухающих колебаний, почти полностью вытеснены измерителями, использующими незатухающие колебания, которые получаются с помощью ламповых генераторов. К числу вторых относят пьезокварцевые осцилляторы, связанные с детекторным каскадом. К последнему кроме того подводится переменное напряжение измеряемой частоты. В случае близости частоты кварцевого осциллятора и измеряемой частоты в телефоне детекторного каскада будет слышен тон биений, равный разности этих частот. Этот тон биений может затем измеряться одним из измерителей низких частот, начиная от вибрационных частотомеров и кончая звуковым генератором с постоянной настройкой. Точность измерения частоты в этом случае может достигнуть, при специальных условиях, примерно до 0,001%. Иногда применяют модуляцию *частоты кварцевого осциллятора* частотой от звукового генератора с использованием при измерениях одной боковой полосы ($F = f_1 \pm f_2$). В этом случае измеряемая полоса будет иметь ширину порядка $2f_2$. Гетеродинные измерители частот получили наиболее широкое распространение для Ч. и. и контроля устойчивости частот во времени передающих радиостанций как наиболее простые и точные. В случае необходимости получить точность выше 0,01% в широком диапазоне частот прибегают к совместному использованию упомянутых выше ламповых генераторов и пьезокварцевых осцилляторов; при этом ламповый генератор снабжается корректирующим переменным конденсатором малой емкости. Градуировка первого проверяется по методу нулевых биений между гармониками обоих и в случае незначительных изменений частоты восстанавливается корректирующим конденсатором. Т. о. точность Ч. и. в широком диапазоне можно приблизить к точности, достигаемой кварцевым осциллятором (эталоном). Ч. и. на мощной передающей радиостанции для избежания ошибок измерений, обусловленных явлением увлечения частоты гетеродина, производят сл. образом: гетеродинный измеритель настраивают на частоту, равную сумме или разности измеряемой частоты и частоты кварцевого осциллятора, в результате чего при воздействии всех трех частот на детектор в телефоне последнего будут слышны нулевые биения.

К технич. измерителям частот с искусственными схемами принадлежат различные градуированные мостики, где Ч. и. ведется путем настройки плеча последовательно включенных самоиндукции L и емкости C (фиг. 9) и регулировкой второго плеча с помощью *переменного сопротивления* R. Уравновешенный мостик дает минимум звука в телефоне T, включаемом непосредственно или через усилитель. Так как этот способ является нулевым, то он дает возможность производить измерения с точностью порядка $\pm 0{,}02\%$. Для повышения точности цепи мостика помещают в термостат с автоматическим регулятором $t°$ до $\pm 0{,}5°$. Мостик позволяет измерять частоты до 50—60 kHz. К измерителям частоты с искусственными схемами относят также натянутую струну, приводимую в колебательное движение небольшим электромагнитом, питаемым током измеряемой частоты. При помощи подвижных держателей расстояние между последним регулируется так, чтобы амплитуда колебаний была наибольшей, что соответствует моменту резонанса. По расстоянию между скобами (держателями) определяется частота $f = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{m}}$, где g—величина груза, натягивающего струну, m—масса проволоки на 1 см длины l. Иногда этот метод используется в других вариантах, напр. для Ч. и. по нулевым биениям с тоном колебаний струны, возбуждаемой механически. Для измерения низких частот весьма малой интенсивности прибегают к схеме фиг. 10. В цепи C и L_2 наводятся две эдс измеряемой частоты, одна как результат падения напряжений на зажимах конденсатора C и другая—индуктируемая благодаря связи между L_1 и L_2. Эти эдс можно считать с большой степенью точности противоположными по фазе. Изменяя связь между L_1 и L_2, можно добиться их взаимной компенсации, что определится по минимуму звука в телефоне T. Для каждого значения частоты имеет место своя величина M, определяемая из выражения:



Фиг. 9.

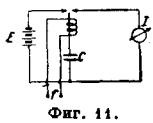


Фиг. 10.

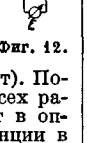
$$I\omega M = \frac{I}{\omega C}, \text{ т. е. } \omega = \frac{1}{\sqrt{MC}},$$

что позволяет нанести необходимую градуировку на шкалу *вариометра* (см.) такого при-

бора. Имеет применение также метод измерения низких частот по схеме фиг. 11. Сущность состоит в том, что ток I в цепи прибора пропорционален частоте, т. к. число разрядов конденсатора C тесно связано с измеряемой частотой f и ею определяется. Если постоянная времени конденсатора такова, что за измеряемый период он сумеет принять и отдать полный свой заряд, то будет иметь место для одного заряда соотношение $q = CE$ для 1 ск., $fq = fCE$, откуда $f = \frac{I}{CE}$. В случае синусоидальных колебаний возможно измерять частоту, исходя из соотношения $\omega = \frac{I}{CE}$, справедливого для схемы фиг. 12.


Фиг. 11.

Градуирование и эталонирование различных технических измерителей частот производится обычно путем одновременных измерений дискретного ряда частот, непосредственно градуируемым измерителем и параллельно одним из абсолютных измерителей, описанных выше. Иногда процесс градуирования упрощается при использовании непосредственно эталонных частот и их обертонов. Контроль над частотами радиостанции в настоящее время осуществляется как местный, т. е. с помощью прибора (измерителя частоты), находящегося непосредственно на радиостанции и контролирующего непрерывно несущую частоту лишь данной станции, так и централизованный, на специальных выделенных пунктах (пункты контроля радиочастот). Последние производят контроль частот всех радиостанций. Контроль частоты состоит в определении значения частоты радиостанции в любой заданный момент времени с точки зрения соответствия этой частоты номиналу частоты, предоставленному в распоряжение данной радиостанции. Помимо этого пункты контроля радиочастот ведут контроль стабильности частоты радиостанции во времени с тсчки зрения соответствия частот радиостанции нормам стабильности частот. Пункты также ведут корректирование частот радиостанции путем телефонных и телеграфных сообщений значения частоты в данный момент времени соответствующей радиостанции. До сего времени контроль над частотами и стабильностью последних производится лишь над несущими частотами в паузы, когда модуляция отсутствует. В настоящее время контроль над частотами радиостанции почти во всех странах поставлен на значительную высоту, так как только при наличии дисциплины в радиоэфире можно обеспечить бесперебойную эксплоатацию радиосетей. В СССР имеется несколько пунктов контроля и корректирования радиочастот, находящихся в различных частях Союза. Наибольшей известностью пользуется пункт, находящийся около Москвы — в Можайске, аппаратура и измерители частот которого обеспечивают контроль частот большинства радиостанций СССР и Западной Европы с весьма большой точностью, в соответствии с современными жесткими нормами.


Фиг. 12.

В последнее время НКСвязи введена система штрафов за нестабильность частоты радиостанциями, что должно содействовать улучшению состояния радиоэфира и тем самым улучшению качества работы радиостанций в соответствии с директивами правительства. Для периодич. проверки измерителей частот на местах создается система передач эталонных частот, излучаемых определенной радиостанцией. Разрабатывается система излучения эталонных частот любого значения из широкого диапазона частот по определенному расписанию или предварительному заказу, что значительно облегчит проверку различных измерителей и контролеров устойчивости частоты.

Лит.: Линкер А., Электротехнические измерения, пер. с нем., М., 1927; Ермаков В., Основы электрометрии, М.; Грун К., Электротехнические измерительные приборы, пер. с нем., М., 1927; Шаров В., Радиотехнические измерения, Л., 1932; Вайнберг А., Современное состояние техники абсолютного измерения радиочастот, М., 1933; Гунд А., Измерения при высокой частоте, пер. с нем., М.—Л., 1931; Кьяндский Г., Радиотехнические измерения, М.—Л., 1932; Анцелиович Е., Радиотехнические измерения, М.—Л., 1932; Слепян Л., Абсолютный метод измерения частот Л. И. Мандельштама, «ТиТбП», 1918, т. 1, *2*; Минц и Оганов, Волномер с повышенной остротой настройки, там же, 1928, июнь; Габель В., Современные волномеры и способы градуировки, «Электричество», М., 1925, март; Ширков В., Волномер-индикатор, «Научно-техн. сборник НКПиТ», 1929, *1*; Габель В., Метод измерения длин волн помощью пьезокварца, «ТиТбП», 1928, *48*; Моругина, Проверка волномеров с кварцевым осциллятором, там же, 1927, *44*; Белов, Струнный частомер для измерения низких частот, «ТиТбП», 1928, *48*, 1929, *5*, стр. 535; Титов и Вайнберг, Автоматический контролер радиочастоты, «Физика и производство», 1931, *3*; Титов и Вайнберг, Устройство для точного измерения частот радиостанции, «Вестник электротехники», 1931, *4*; Портативный гетеродинный волномер, «Известия электропромышленности», Москва, 1932, *2*, *5*; Величутин, О передаче сигналов времени, «Техн. связи», М., 1932, *1*; Степанов, Измерения частот абсолютным методом, «Вестник электротехники», 1931, *10*; Уфтюжанинов, Гетеродинный волномер с пьезокварцевым контролем для волн 6—12 *м*, «Известия электропромышленности слабых токов», 1932, *9*, *10*; Анцелиович, О темпер. коэф-те колебательных контуров, «Журнал технич. физики», М., 1932, *6*; Мушкин и Расплетин, Стандарт частоты ЦРЛ—ВЭСО, «Техника радио и слабого тока», 1932, *10*; Вайнберг А., Пьезокварцевый эталон частоты для передающих радиостанций, «Техника связи», М., 1932, *1*; его же, Об устойчивости частот радиостанции, там же, 1931, *1*, *2*, *3*; его же, Международные сравнения измерения частот, там же, 1931, *3*, *6*, 1933, *6*; Вайнберг и Загебарт, Объективный метод эталонирования частот, «Научно-техн. сборник НКПиТ», 1931, *2*; Вайнберг А., Проверка графиков волномеров, «Техника связи», М., 1931, *6*; его же, Переносный прибор для точного измерения частот к-в радиостанции, «Техника радио и слабого тока», М., 1932, *3*; его же, Выделенные пункты контроля частот радиостанций СССР, «Техника связи», М., 1932, *11*; Кобзарев, Таблица градуировки волномеров и ее погрешность, «Техника радио и слабого тока», Л., 1932, *1*, стр. 5; Смирнов В., Устройство Кейза для измерения очень низких частот, там же, 1932, *8*; Seibt, «Jahrb. d. drahtl. Teleg. u. Teleph.», B., 1916, p. 504; Ferrie et Carpentier, Longueur d'onde, «La lumière électr.», P., 1916, p. 427; Scheller, «Jahrb. d. drahtl. Teleg. u. Teleph.», 1916, p. 507; Chaffee E., Harmonic Method of Calibr. a. Wave-Meter, «Proceed. of the Inst. of Radio Engineers», N. Y., 1917, *10*, p. 357; Abraham et Bloch A., Mesure en valence absolue des périodes électriques de haute fréquence, «Ann. de Phys.», P., 1919, *12*, p. 237; Thurn H., Selbstanzeiger d. Wellenmesser, «Jahrb. d. drahtl. Teleg. u. Teleph.», B., 1921, Aug., p. 122; Pierce C., Piezo-Electric Crystal Resonators Applied to the Precision Calibration of Wave Meters, «Proceed. of the Amer. Acad. of Arts a. Sciences», N. Y., 1923, *4*; Horton J., Ricker N., Marrison W., Frequency Measurement in Electrical Communication, «Trans. of the American Inst. of Electrical Engineers», N. Y., 1923, p. 730; Hund A., Correction Factor for the Parallel Wire System Used in Absolute Radio Frequency Standartisation, «Proceed. of the Institute of Radio Engineers», N. Y., 1924, *10*, p. 817; Hund A., Method of Measuring Radio Frequency by Means of a Harmonic Generator, ibid., 1925, *4*, p. 207; Giebe E., Albertie., «Zitschr. f. techn. Phys.», Lpz., 1925, *3*, p. 92; Huxford W., Standing Electric Wave on Parallel Wires, «Physical Review Minneapolis», Minneapolis, 1925, *5*, p. 686; Fromy E., Présentation d'un ondmeter—Hétérodyne, «L'onde él.», P., 1925, *10*, p. 433; Searle V., The Wave Form of the Current in an Electrically Maintained Tuningfork Cirenit, «Phys. Magazine», Chicago, 1926, *4*, p. 738; Rassmyssen F., Frequency Measurements with the Cathode Ray Oscillograph, «J. A. I.

E. E.», 1927, *1*, p. 3; Scheibe A., Normalfrequenzen u. absolute Frequenzmessung, «Jahrb. d. drahtl. Teleg. u. Teleph.», 1927, *5*, p. 158; Braillard et Divoire, La mesure exacte et précise des longueurs d'onde dans les stations d'émission, «L'onde él.», P., 1927, *8*, p. 357; Scheibe A., Ztschr f. Hochfrequenztechnik», B., 1927, p. 120, 158; Braillard R., Divoire E., Die genaue Messung d. Wellenlängen bei jeder Stelle, «Elektrische Nachrichten-Technik», 1927, p. 11; Aiken C. A., Precision Method for the Measurement of High Frequencies, «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», N. Y., 1928, *2*, p. 125; Horton G. a. Marzison W., Precision Determination of Frequencies, ibid., 1928, *2*, p. 137; Hitchcock R., A Direct Reading Radiofrequency Meter, «Proceed. of the Inst. of Radio Engineers», N. Y., 1929, *1*, p. 24; Hall E., A System for Frequency Measurements Based on a Single Frequency, ibid., 1929, p. 272; Pession C. a. Gario T., Measurement of the Frequencies of Distant Radio Transmitting Stations, ibid., 1929, *4*, p. 734; Jimbo S., Measurement of Frequency, «Proceed. of the Inst. of Radio Engineers» N. Y., 1929, *11*, p. 2011; Documents du CCJR, Bern, Première Réunion 1929, Bern, 1930, Sept.—Oct., p. 183; Griffits W., Wave Meter, «Wireless World», L., 1930, *4*, p. 381; Griffits W., Accurate Wave Meter Design, ibid. 1930, *1*, p. 113; Parkin T., Portable Precision Frequency Meter, «Marconi Review», 1930, *1*, p. 1; Documents du CCJR, Deuxième Réunion, Bern, 1931, Mai—Juin, p. 112, 169; Deco, «L'onde él.», P., 1932, *7*, p. 131, 553; Nancarow, «Electrician», 1932, *5*, p. 109, 241; Coran, «Bull. Labor Record», 1932, p. 11, 102; Wainberg A., Centres de mesure et de control à distance dans l'U.R.S.S., «Publications techniques de l'U.J.R.», Bruxelles, 1932, *2*, p. 76; Scheibe u. Adelsberger, Eine Quarzuhr für Zeit u. Frequenzmessung sehr hoher Genauigkeit, «Ztschr. f. techn. Phys.», Lpz., 1932, *12*, p. 591; Norman, «Proceed. of the Inst. of Radio Engineers», N. Y., 1932, *11*, p. 1715; Rohde Schwarz, «Hochfrequenztechn.», B., 1932, *4*, p. 117 **А. Вайнберг.**

ЧАСТОТЫ ТРАНСФОРМАЦИЯ в электротехнике и радиотехнике, процесс преобразования заданной частоты f или полосы частот переменного тока в значение nf, где n—коэф. Ч. т. В зависимости от предъявляемых требований и в соответствии с выбранным методом осуществления Ч. т. коэф. Ч. т. n м. б. числом целым или дробным, причем как бóльшим, так и меньшим единицы. Само устройство, осуществляющее Ч. т., носит название трансформатора частоты (или преобразователя частоты). Если $n<1$, то результатом Ч. т. получается частота, меньшая по сравнению с исходной. В таком случае процесс Ч. т. носит название—деление частоты, сам трансформатор—делитель частоты. Если $n>1$, то результатом Ч. т. получается частота, бóльшая по сравнению с исходной. Соответственно процесс Ч. т. получил название—*умножение частоты* (см.), а трансформатор—умножитель частоты. В частности когда $n=2$, 3 и т. д., то трансформатор носит название соответственно — удвоитель, утроитель частоты и т. д. Трансформаторы частоты наряду с использованием методов трансформации частоты широко применяются в современной (1933 г.) радиотехнике, в частности в ее основных областях: в радиопередающих устройствах, в устройствах радиоприема, в новейших устройствах измерения радиочастот и др.

Использование методов Ч. т. в современной радиотехнике. а) В радиопередающих устройствах методы Ч. т. широко используются для получения более высоких частот при наличии возбудителей, генерирующих относительно менее высокие частоты. Так, в машинных передатчиках (см. *Радиопередатчик* машинный), т. е. когда возбудителем является машина высокой частоты (см. *Высокой частоты машина*), в силу высокой стоимости альтернаторов высокой частоты, стоимости, быстро возрастающей с повышением частоты генерируемого ими тока, оказывается значительно экономичнее генерировать относительно более низкую частоту, а затем повышать ее до требуемого значения применением соответствующего метода Ч. т. (в данном случае одного из умножителей частоты). В ламповых же передатчиках, т. е. когда возбудителем является *ламповый генератор* (см.), использование трансформаторов частоты для получения более высоких частот является необходимым в тех случаях, когда в целях достижения высокой стабильности частоты применяют специальные возбудители: камертонные генераторы, пьезокварцевые осцилляторы и т. д. (см. *Стабилизация частоты*). Это относится к тем случаям, когда частота, на которой должен работать передатчик, лежит выше верхнего предела, достигаемого в таких возбудителях (ультракороткие волны—при пьезокварцевых возбудителях и даже длинные волны—при камертонных). В радиопередающих устройствах методы Ч. т. используются также в качестве радикальных способов устранения реакции мощных каскадов на возбудитель, так как наличие реакции ведет к неустойчивой работе возбудителя и к нестабильности генерируемой им частоты. Кроме того методы Ч. т. имеют использование здесь еще в тех случаях, когда один и тот же возбудитель используется несколькими передатчиками, работающими на различных частотах, или одним передатчиком, но осуществляющим работу в различное время на разных частотах. Последний случай имеет место при переходе с дневной волны на ночную или при переходе с передач одного характера к передачам другого характера, долженствующим использовать согласно международным конвенциям различные диапазоны частот (вещание и телеграфная связь и т. п.). Большинство случаев применения в радиопередающих устройствах различных методов Ч. т. связано с основной проблемой современной радиотехники—с получением высокой стабильности частоты передатчиков в соответствии с жесткими международными нормами, достижение к-рых является основным условием правильной эксплоатации и бесперебойной работы радиосетей (см. *Стабилизация частоты*). Возбудитель, обеспечивающий стабильность частоты в пределах новейших норм, помимо значительной стоимости требует еще особо квалифицированного обслуживания; поэтому использование одного возбудителя с соответствующими трансформаторами частоты несколькими передатчиками, в том числе и для получения нескольких частот с каждым из этих передатчиков, является более экономичным, чем применение возбудителей на каждую частоту (волну).

б) В радиоприемных устройствах методы Ч. т. получили применение в супергетеродинных приемниках и их разновидностях (тропадинных, ультрадинных и др.). Благодаря трансформации высоких частот в промежуточные, которым соответствуют более длинные волны, чем принимаемые, здесь решаются проблемы усиления весьма высоких частот, т. е. проблемы чувствительности, а также селективности. Методы Ч. т. получают здесь также применение в качестве особых фильтров, избавляющих радиоприем от атмосферных помех (см. *Резонанс*, Резонанс параметрический). Предложены приемники, преобразующие принимаемые частоты в более высокие, т. н. инфрадины.

в) В устройствах измерений радиочастот методы Ч. т. имеют самое широкое применение (см. *Частоты измерение*). Высокие требования к точности измерений частот, предъявляемые современной радиотехникой, вынуждают все более широко применять абсолютные методы измерений частот: непосредственное сравнение измеряемой частоты с суммой единиц времени или сравнение с частотой абсолютного эталона частоты (каковым является пьезокварцевый или камертонный источник эталонной частоты, поставленный в особые условия работы). Это достигается путем использования самых различных методов Ч. т. с самыми различными коэфициентами трансформации.

г) Из других областей современной радиотехники методы Ч. т. получают использование в области экономии и уплотнения частот в радиоэфире. Имеющее место переуплотнение радиоэфира частотами действующих радиостанций требует в целях уменьшения взаимных помех между ними и обеспечения возможности дальнейшего количественного развития радиопередающей сети радикальных мер как экономии, так и уплотненного использования частот в радиоэфире. Эти меры находят разрешение при применении методов Ч. т. как в отношении работы нескольких радиостанций на одной или кратных волнах в направлении использования метода захватывания, так и путем трансформации частоты модуляции с целью сокращения полос частот в эфире и др. Методы Ч. т. имеют в современной радиотехнике еще одно существенное использование. Дело в том, что в ряде областей необходимо иметь источник стабильной частоты, могущей плавно изменяться в широком диапазоне. Частичное разрешение задачи дают параметрич. стабилизация и $t°$-ная компенсация частот обычного лампового генератора с широким диапазоном. Однако стабильность частоты, которую можно достигнуть в последнем случае, значительно ниже получаемой при применении пьезокварцевых или камертонных генераторов, поставленных в особые условия работы (см. *Стабилизация частоты*). Последние же могут генерировать лишь фиксированные частоты. Используя методы Ч. т., можно в последнем случае получать любые столь же стабильные частоты в непрерывном и широком диапазоне.

Современные методы Ч. т. Наиболее широкое применение получили в современной радиотехнике методы Ч. т., основанные на использовании электронной лампы. Однако еще не изжили себя различные разновидности магнитных трансформаторов частоты, широко использующихся гл. обр. в машинных передатчиках. Находят себе применение методы трансформации низких частот с помощью синхронного электродвигателя или фонического колеса. Представляют интерес также методы Ч. т., основанные на использовании конденсаторов, диэлектрич. постоянная к-рых является функцией приложенного к обкладкам напряжения (сегнетова соль).

1) Метод Ч. т. путем гетеродинирования является, с одной стороны, наиболее *простым*, а, с *другой*,—*позволяющим* получить любой коэф. Ч. т. Сущность метода заключается в наложении на колебания $v_1 \sin \omega_1 t$ (эти колебания м. б. также модулированными) колебаний $v_2 \sin \omega_2 t$ с надлежаще подобранной ω_2. В результате вышеизложенного после детектирования, настраивая анодную цепь детектора на частоту, равную сумме или разности частот составляющих токов, при заданном ω_1, получаем требуемую частоту $n\omega_1$ с коэфициентом трансформации, могущим иметь любое значение. Однако этот метод применим лишь при наличии высокой стабильности частот как подлежащей трансформации ω_1, так и вспомогательной ω_2, т. к. небольшие колебания этих частот вызывают изменение коэф-та трансформации, а следовательно и результирующей частоты.

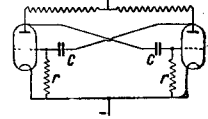
2) Метод Ч. т. путем использования детекторного действия ламповой схемы состоит в следующем. Если к детектору приложен переменный ток частоты f, то после детектирования получается *постоянная и переменные* составляющие с частотами f, $2f$, $3f$, ... Настраивая внешнюю цепь детектора на частоту одной из составляющих и связывая эту цепь с усилителем, также настроенным строго на частоту той же составляющей, можно из всех предыдущих переменных составляющих выделить только одну, все же остальные будут отсутствовать. Т. о. производится трансформация частоты f в частоту nf, где n—целое число. С целью повышения отдачи дают на сетку большое смещение. При выборе угла отсечки φ исходят из теоретических предпосылок, требующих наличия $\varphi < \frac{\pi}{n}$, т. к. в противном случае может иметь место слишком длительное пребывание положительного потенциала на сетке электронной лампы, при котором реакция анодного контура может совпасть по знаку с напряжением на сетке вместо того, чтобы быть ей противоположной. Соответственно этому значительный ток через лампу оказывается вредным. Поэтому предусматривают достаточно малую отсечку. Вообще чем меньше угол отсечки, тем богаче гармониками результирующая кривая анодного тока. Для более резкого выделения нужной компоненты с частотой nf и подавления остальных подбирают исходную рабочую точку и величину амплитуды колебательного напряжения на сетке или же применяют иногда двухтактные схемы. В случае использования более высокой составляющей полезная мощность, отдаваемая лампой, сильно понижается, поэтому при необходимости иметь $n > 3$ является в отдельных случаях более выгодным последовательное включение нескольких ступеней удвоения или утроения частоты, нежели резкое форсирование режима ламп.

3) Ч. т. путем автопараметрического возбуждения нелинейных систем (см. *Резонанс*, Резонанс параметрический). Сущность этого метода состоит в использовании колебательных систем, параметры к-рых зависят от амплитуды тока *или напряжения и которые самовозбуждаются* при воздействии на них внешней эдс $E \sin n\omega t$ (так называемые потенциально-автоколебательные системы). В этом случае в названной системе устанавливаются незатухающие колебания. Примером таких систем является невозбужденный регенератор. Т. о., воздействуя на систему, настроенную на частоту nf, частотой f, получаем требуемый эффект Ч. т. с требуемым коэф-том трансформации n (так называемый резонанс n-го рода). Практически же трансформировать частоту f с большим коэфициентом трансформации n пока еще чрезвычайно трудно. Ширина полосы настройки, в которой наступает самовозбуждение системы,

т. е. процесс Ч. т., зависит от соотношения амплитуд, возрастая с увеличением амплитуды внешней эдс. Применением последовательного ряда таких систем можно частоты порядка до 10^8 Hz преобразовать в низкие. Надо иметь в виду здесь то обстоятельство, что для наступления необходимого для Ч. т. резонанса n-го рода (т. е. синхронного возбуждения) требуется определенный режим лампы. Если этот режим несколько изменится в сторону увеличения обратной связи, то может наступить асинхронное возбуждение, состоящее в том, что возбуждаются колебания с периодом, близким к собственным колебаниям системы, независимо от периода действующей силы. При достаточной близости периодов может наступить синхронизация, которую не следует смешивать с синхронным возбуждением. Упомянутый выше особый режим ламп требует от характеристики $I_a = \varphi(e_g)$ нелинейность определенного типа, такого, при к-ром при разложении характеристик в ряд имели бы достаточную величину коэфициенты при определенных степенях e_g. Т. о. требуется режим, при котором в частности д. б. легко получены нужные нелинейные члены и усилены резонансные свойства колебательного контура. При применении данного метода Ч. т. в радиоприемном деле требуются еще бо́льшая скорость установления процесса для обеспечения современной скорости радиопередач и определенный характер установления колебаний, при котором имеет место нечувствительность к кратковременным (напр. атмосферным) помехам.

4) При Ч. т. путем применения последовательной цепи генераторов, синхронизированных на гармониках и унтертонах, также представляется возможным получить $n \gtrless 1$. Сущность метода преобразования частоты f в nf заключается в следующем. а) $n > 1$ и целое число. Если n небольшое число, то Ч. т. можно осуществить с помощью метода «2». При богатстве же гармониками тока частоты, подлежащей трансформации, проще всего прибегнуть к селектору (контур с малым затуханием) и выделить непосредственно нужную гармонику. Если форма тока трансформируемой частоты близка к синусоидальной, то прибегают к вспомогательному генератору с формой генерируемого тока, весьма богатой гармониками. Этот вспомогательный генератор настраивают на частоту f, подлежащую трансформации, и синхронизируют последней, чем достигается полное равенство частот. Выделяя n-ю гармонику вспомогательного генератора, получают требуемую частоту nf. Если n значительно больше 1, прибегают к последовательной цепи такого рода генераторов, богатых гармониками, причем каждый из последующих настроен на некоторую гармонику предшествующего и синхронизирован соответствующей гармоникой предшествующего. б) $n = \frac{1}{m}$, где m целое число. В этом случае для осуществления Ч. т. также прибегают к применению вспомогательного генератора, богатого гармониками, настроенного на частоту nf. Если m невелико, то, синхронизируя m-ю гармонику вспомогательного генератора частотой f, подлежащей трансформации (т. н. синхронизация на унтертоне), обеспечивают тем самым получение от вспомогательного генератора требуемой частоты nf, соответствующей основному тону последнего. Когда m велико, прибегают к последовательной цепи вспомогательных генераторов, каждый из к-рых синхронизирован на унтертоне основной частотой предшествующего. в) $n \lesssim 1$, но дробное число $\left(n = \frac{k}{m}\right)$. Для осуществления Ч. т. здесь прибегают к двухступенчатой системе последовательных цепей вспомогательных генераторов, богатых гармониками и синхронизированных обертонами и унтертонами предшествующих. Первая ступень обычно заключается в получении частоты kf, что достигается методом для случая «а». Вторая ступень, осуществляющая получение уже конечной частоты $\frac{k}{m} f = nf$, состоит в применении методов синхронизации на унтертонах. Пусть требуется частоту 100 kHz трансформировать в 30 kHz, т. е. с коэф-том трансформации $n = \frac{k}{m} = \frac{3}{10}$. 1-й путь: вспомогательный генератор настраиваем на частоту $\frac{1}{m} f$, т. е. на 10 kHz, одновременно синхронизируя ее унтертоном частоты, подлежащей трансформации, или, вернее, синхронизируя ее 10-ю гармонику, соответствующую 100 kHz, частотой в 100 kHz и выделяя 3-ю гармонику этого вспомогательного генератора, получаем требуемую частоту $\frac{k}{m} f = 30$ kHz. 2-й путь: первый вспомогательный генератор настраиваем на частоту $kf = 300$ kHz и синхронизируем 3-й гармоникой трансформируемой частоты $f = 100$ kHz. Второй вспомогательный генератор настраиваем на частоту $\frac{k}{m} f = 30$ kHz и синхронизируем его унтертоном первого вспомогательного генератора. Основная частота второго генератора и будет являться искомым результатом Ч. т.

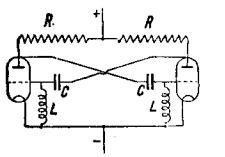
В качестве упомянутых выше вспомогательных генераторов нашли наиболее широкое применение различные источники релаксационных колебаний, в частности *мультивибраторы* (см.). Распространенное применение последних обусловлено как сильно выраженной несинусоидальностью формы кривой тока и следовательно богатством их обертонами, вплоть до весьма высоких, так и особым свойством легко синхронизироваться в результате воздействия внешней эдс (явление захватывания). Теоретически этот вопрос полностью еще не изучен (1933 г.), но практика показывает здесь несоизмеримо бо́льшие области захватывания, чем это имеет место у других источников релаксационных колебаний. Чрезвычайно существенно наличие здесь правильной периодичности процесса, т. ч. обертоны с весьма большой точностью кратны основному тону. Наиболее распространенной схемой мультивибратора является предложенная Абрагамом и Блохом (фиг. 1). Здесь при соблюдении ряда условий [симметрия схемы и рабочих точек характеристики ламп, возможно более высокая крутизна S характеристик ламп: $S(1-D) > \frac{r+R}{R \cdot r}$ и др.]; представляется возможным получать весьма высокие частоты. При этом достаточно близко:



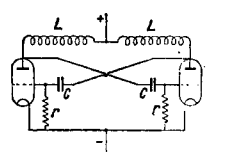
Фиг. 1.

$$f \cong \frac{1}{2c(R+r)\ln\left[2S\,\frac{R(r+DR)}{(1+SDR)(R+r)}\right]}.$$

Используя схемы (фиг. 2 и 3), можно получать колебания с частотами, соответствующими коротковолновому диапазону частот. Наличие последних позволяет осуществить Ч. т. в диапазоне вплоть до дециметровых волн. Используя мощные лампы с большим S (напр. с экранированным анодом), можно получать мощные гармоники, что находит использование в частности при стабилизации ультракоротких волн, методом захватывания.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

В последнее время в качестве упомянутых вспомогательных генераторов получают применение также различные варианты д и н а т р о н н ы х г е н е р а т о р о в (см. *Динатрон*). Динатронный эффект, сильно искажая форму кривой анодного тока, содействует повышению мощности высших гармонических. В наибольшей мере это имеет место при использовании двухсеточных ламп, анод к-рых нагружен колебательным контуром. В отдельных случаях применительно для целей Ч. т. динатронные генераторы существенно конкурируют с различными источниками релаксационных колебаний. Применение ламп с сетками, экранирующими анод, нашло применение здесь и в другой разновидности. Так, используя экранирующую сетку электронной лампы в качестве анода вспомогательного генератора, синхронизированного частотой f, подлежащей трансформации, можно в колебательном контуре истинной анодной цепи, настроенной на nf, получить результат трансформации частоты, где n—целое число. Последняя схема основана на использовании отдельного анода, связь которого с генератором осуществляется через электронный поток внутри лампы.

5) Метод Ч. т. с помощью в р а щ а ю щ и х с я м а ш и н. В машинах высокой частоты сист. Гольдшмидта для трансформации основной частоты f используется эдс (возбуждаемая в катушках обыкновенного альтернатора) частоты, равной двойной частоте тока в якоре ($2f$). Для этого катушки возбуждения настраиваются в резонанс на частоту $2f$. Эти токи двойной частоты индуктируют в свою очередь в обмотке якоря эдс частоты $3f$. Этот процесс теоретически может повторяться бесконечное число раз, но после четырехкратного повышения частоты весьма быстро начинают расти потери, и поэтому дальше на практике этот процесс не продолжают. Здесь обычно $f \leqslant 10$ kHz и следовательно $nf \leqslant 40$ kHz. В машинах высокой частоты сист. Бетено сущность Ч. т. состоит в следующем. Переменный ток, вырабатываемый в обычном альтернаторе, возбуждаемом постоянным током, поступает в индуктор следующей машины. При числе об/мин. и полюсов второй машины, равном таковым первой, в ней получается ток двойной частоты. В машинах Латур-Бетено Ч. т. достигается путем использования принципа сложения токов сложной формы кривой, сдвинутых друг относительно друга по фазе. Так, при сложении N эдс, сдвинутых по фазе на углы $\frac{2\pi k}{N}$, где k—целое число, результирующая эдс будет иметь частоту $nf = \frac{N}{M}$, где M—общий наибольший делитель k и N. Подробнее о трансформации частот с помощью вращающихся машин см. *Высокой частоты машины*.

6) Метод Ч. т. путем использования явления м а г н и т н о г о н а с ы щ е н и я ж е л е з а состоит в применении автотрансформатора, первичная цепь которого состоит из витка, намотанного на кольцеобразный железный сердечник. Этот виток через конденсатор присоединяется к источнику трансформируемой частоты f. Благодаря резонансу в нем течет ток значительной силы, намагничивающий железо до насыщения (сама обмотка рассчитывается так, чтобы железо было сильно насыщено). Вторичная цепь, связанная с первичной автотрансформаторно, состоит из самоиндукции и последовательно включенного конденсатора, с помощью к-рого эта цепь настраивается в резонанс на частоту гармонич. составляющей nf, к-рая особенно себя проявляет в виду искажения формы тока влиянием ферромагнетика.

7) Метод Ч. т. при помощи н е с и м м е т р и ч н о г о н а м а г н и ч и в а н и я состоит в применении двух одинаковых трансформаторов, первичные обмотки которых соединены последовательно и питаются током трансформируемой частоты f. Вторичные обмотки соединены навстречу и замкнуты цепью, состоящей из катушки самоиндукции и переменного конденсатора. Кроме того имеют место особые последовательно соединенные обмотки постоянного подмагничивания, питаемые отдельным источником постоянного тока, благодаря чему получается асимметрия намагничивания. Следовательно когда в одном трансформаторе магнитодвижущая сила переменного тока складывается с магнитодвижущей силой постоянного тока, то в другом трансформаторе они вычитаются. Вследствие соединения вторичных обмоток навстречу друг другу в образованной ими цепи будет индуктироваться эдс, вызванная суммарной индукцией. В результате токи основной частоты компенсируются, токи же двойной частоты складываются и усиливаются благодаря резонансу. В таком виде упомянутый трансформатор частоты представляет собой удвоитель. Для получения Ч. т. с коэф-том 3 соединяют питаемые трансформаторной частотой f первичные обмотки трансформаторов навстречу друг другу, а вторичные—последовательно. Вторичную же цепь трансформатора при помощи последовательно включенных катушки самоиндукции и конденсатора настраивают на частоту $3f$. Намагничивающую обмотку первого трансформатора берут с малым числом ампервитков, а второго—с большим числом ампервитков, доводящих его железо до насыщения. В результате кривая индукции будет иметь сплющенную форму и результирующий поток будет утроенной частоты.

8) Метод Ч. т. при помощи в ы п р я м л е н и я о б о и х п о л у п е р и о д о в переменного тока состоит в применении двух трансформаторов, первичные обмотки которых, будучи соединены навстречу друг другу, питаются выпрямленным током частоты f, подлежащей трансформации. Для этого к двум трансформаторам подводятся два полупериода

выпрямленного тока (кенотронным, ртутным или другими выпрямителями). Толчки тока во вторичных обмотках складываются так, что получается ток nf. Перечисленные три последних метода Ч. т. (подробности см. *Умножение частоты*) имеют применение лишь при не очень высоких частотах, т. к. сопряжены со значительными потерями в сердечниках и сильным нагревом последних. Этим объясняется также и то обстоятельство, что для получения более высокого коэф-та трансформации хотя и применяют последовательную цепь трансформаторов, но числом не более четырех.

9) Из других методов Ч. т. надлежит отметить метод трансформации низких частот, основанный на применении фонич. мотора. Используя фонический мотор, якорь к-рого имеет обмотку, присоединенную к двум кольцам со щетками, снимаемый ток к-рых обладает частотой, равной числу оборотов мотора, представляется возможным произвести Ч. т. (деление частоты) с коэф-том, равным числу зубцов колеса последнего. Для этого фонич. мотор предварительно синхронизируют частотой, подлежащей трансформации. Наличие синхронизма, констатируемое обычно по известному зрительному эффекту кажущейся неподвижности зубцов фонич. колеса при освещении последних неоновой лампой, обеспечивает требуемое однозначное соответствие между частотой, подлежащей трансформации, и частотой фонического мотора, следовательно и числом оборотов последнего. Частота фонического мотора $f = kp$, где k—число зубцов фонич. колеса, а p—число оборотов в ск. Ч. т. может быть осуществлена также наложением двух полупериодов выпрямленного тока одной и той же частоты, но различной формы, выбранной так, что в результате наложения получаем ток более высокой частоты. Последним способом получают обычно коэфициент трансформации порядка шести. В последнее время предложены катодные трансформаторы частоты, использующие зубчатые аноды. Коэф. Ч. т. в этом случае определяется числом зубцов анода. В заключение отметим метод Ч. т. при помощи толчков тока, состоящий в следующем. К конденсатору, включенному в колебательный контур с периодом $2\ t$ ск., подводятся толчки выпрямленного тока, каждый из которых продолжается t ск. Каждые два соседних толчка разделены промежутком времени продолжительностью $(2\ m - 1)\ t$ ск. В течение этого времени энергия, запасенная в конденсаторе, совершает в упомянутом колебательном контуре затухающие колебания, благодаря чему в контуре устанавливаются непрерывные колебания с частотой $f = mt$. Комплексное использование приведенных выше методов Ч. т. позволяет в современной радиотехнике получать любые коэф-ты трансформации, ограниченные на данном этапе в верхнем пределе дециметровыми волнами.

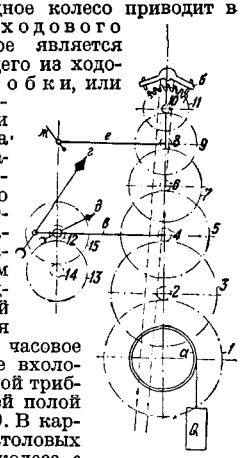
Лит.: Вайнберг А., Современные проблемы техники измерений частот, М., 1932; Татаринов В., Катодные умножители частоты, «ТитГП», Н.-Новгород, 1921, *10*; Андронов А. и Леонтович А., Колебательные системы с меняющимися параметрами, «Ж.Р.Ф.Х.О.», часть физич., 1927, т. 59; Рамлау П., Упрощенный расчет умножителя частоты, «Вестник теоретич. и экспер. электротехники», 1930, *3*; Бунимович В., Удвоение частоты помощью катодных ламп, там же, 1930, *4*; Вайнберг А., Некоторые исследования мультивибраторов, «Журн. технич. физики», Л.—М., 1931, *8*; Папалекси Н., Воздействие на автоколебательные системы, «Труды 1 Конференции по колебаниям», М., 1931; Мандельштам Л. и Папалекси Н., О резонансе *n*-го рода, «Журн. техн. физики», Л.—М., 1932, *8*; Котельников, Теория нелинейного фильтра с делением частоты пополам, «Техника связи», М., 1932, *8*; Анцелиович Е. и Савельев В., Экспериментальное выяснение вопросов параметрич. возбуждения в ламповых схемах, «Техника радио и слабого тока», Л., 1932, *8*; Хайкин С., Зависимость частоты мультивибратора от параметров схемы и ламп, «Изв. эл.-пром. слабого тока», Л., 1933, *1*; Вайнберг А., Мультивибратор на короткие волны и его использование, там же, 1933, *9*; Гиршгорн С., Высшие гармонические кварцевых осцилляторов для стабилизации частот диапазона ниже 10 *м*, там же, 1933, *1*; Poincaré N., Méthodes nouvelles de la mécanique céleste, t. 1, p. 79, P., 1897; Mercier M., «CR», 1922, t. 174, p. 448; Mercier M., «Journal de Physique», P., 1924, t. 5, p. 186; Heagner K., Ueber Schwingungserzeugung mit Elektronen-Rörensystemen welche Selbstinduktion nicht enthalten, «Jahrb. d. drahtlosen Teleg. u. Teleph.», B., 1927, B. 29, H. 5, p. 151; van der Pol, Ueber Relaxationsschwingungen, ibid., B., 1926, B. 28, H. 6, p. 178; Koga Z., A New Frequency Tr-mer or Fr-cy Changer, «Proceed. of the Inst. of Radio Engineers», N. Y., 1927, v. 15, p. 669; van der Pol a. van der Mark I., Frequency Demultiplication, «Nature», Wsh., 1927, *10*, p. 363; van der Pol, Ueber Relaxationsschwingungen 2, «Jahrb. d. drahtlosen Teleg. u. Teleph.», B., 1927, B. 29, H. 4, p. 114; Winter-Günter H., Ueber selbsterregte Schwingungen in Kreisen mit Eisenkernspulen, ibid., B., 1929, B. 34, H. 2, p. 41; Groszkonski J., Frequency Division, «Proceed. of the Inst. of Radio Engin.», N. Y., 1930, v. 18, p. 1960; Andronoff A. u. Witt, «Archiv f. Elektrotechnik», B., 1930, B. 24, p. 99; Mandelstam L. u. Paplexi N., Ueber Resonanzerscheinungen bei Frequenzteilung, «Ztschr. f. Phys.», Lpz., 1931, B. 73, p. 223; Andrew V., The Adjustment of the Multivibrator for Frequency Division, «Proceed. of the Inst. of Radio Engin.», N. Y., 1931, v. 19, *11*, p. 1911; Asseef B., Note sur le calcul d'un doubleur de fréquence, «L'onde électrique», P., 1931, t. 10, *109*, p. 36; Winter-Günter H., Ueber die Mitnahmeerschwingungen an Rorengeneratoren bei verschiedenen Frequenzverhältnissen, «Jahrb. d. drahtlosen Teleg. u. Teleph.», B., 1931, B. 37, H. 2; Staarr A., A Single-Valve Multi-Frequency Generator, «Wireless Engineer», L., 1931, v. 8, *96*, p. 465; Colebrook F., The Dynatron Oscillator, «Wireless Engineer», L., 1931, v. 8, *98*, p. 581; Merachlen N., On the Frequencies of Double Circuit Screen-Grid Valve Oscillators, «Wireless Engineer», L., 1932, v. 9, *107*, p. 439; Hollmann H., Ueber symmetrische Kippschwingungen u. ihre Synchronisierung, «Elektrische Nachrichten-Technik», Berlin, 1931, B. 8, H. 10, p. 449; Andrew V., A Simplified Frequency Dividing Circuit, «Proceedings of the Institute of the Radio Eng.», New York, 1933, v. 21, 7, p. 982; Smith C., Frequency Doubling in a Triode Vacuum Tube Circuit, «Proceed. of the Inst. of Radio Eng.», New York, 1933, v. 21, *1*, p. 37.

А. Вайнберг.

ЧАСЫ, механизм, служащий для измерения времени и состоящий из регулятора, совершающего периодич. колебания (маятника или баланса), и механизма для счета этих колебаний. Попытки применить для часового механизма иной вид движения, кроме колебательного, не увенчались успехом. В особых случаях, где нужна исключительная плавность хода, напр. для движущих механизмов астрономич. труб, применяется коническ ий маятник, совершающий вращательное движение, или особого вида центробежный регулятор, но точность хода этих механизмов гораздо ниже, почему и применение их ограничено только специальными случаями. Ч. состоят из источника силы (часового двигателя), или завода, передаточного механизма в виде системы зубчатых колес, промежуточного механизма—хода и регулятора—маятника или баланса. Назначение завода заключается в сообщении механизму (колесной системе) вращательного движения. Заводы м. б. гиревые, пружинные и электромагнитные. Назначение колесной системы заключается в преобразовании медленного вращения колеса заводного механизма—т. н. барабанного колеса—в быстрое вращение секундного или ходового колес (последние колеса системы). Передаточное число будет всегда больше единицы и колеблется от 900 до 4 000 в зависимости от рода и назначения Ч. Часовой ход (échappement) служит для преобразования вращатель-

ного движения последнего колеса (ходового) в колебательное движение регулятора и сообщения в то же время этому последнему регулярных импульсов для поддержания колебательного движения, к-рое в обычных условиях будет затухающим вследствие трения в подшипниках и о воздух. Назначение регулятора заключается в периодическом, строго равномерном освобождении неподвижной колесной системы через равные промежутки времени для того, чтобы дать возможность колесам (и связанным с ними стрелкам Ч.) повернуться на угол, пропорциональный времени между двумя последовательными освобождениями. Ч., в к-рых регулятором служит маятник, нельзя переносить с одного места на другое, не нарушая их хода; такие Ч. являются неподвижными, или, как обыкновенно говорят, стенными. Ч. с балансом могут изменять свое положение относительно горизонта без того, чтобы ход претерпел изменения. Такие Ч. в зависимости от размера, корпуса и выполнения м. б. стенными, каминными, карманными, браслетными и пр. Область применения балансовых Ч. гораздо шире, чем маятниковых, но точность маятниковых Ч. несравненно больше, т. к. они меньше подвержены влиянию различных факторов, искажающих нормальный ход Ч.

Каждый часовой механизм собран между двумя плоскими латунными пластинками — п л а с т и н а м и, скрепленными друг с другом посредством латунных же или стальных к о л о н о к. В платинах высверлен ряд отверстий, к-рые служат подшипниками для осей колесной системы. Колеса с числом зубцов до 20 называются т р и б к а м и и изготовляются из одного куска со своей осью; материалом обычно служит сталь. Колеса с числом зубцов больше 20 называются просто колесами, изготовляются из латуни и насаживаются на оси либо посредством специальной втулки—ф у т о р а либо заклепываются на специальную заточку в трибке. Фиг. 1 изображает схему колесной системы Ч. в самом общем случае. Груз Q действует на барабан a, сидящий на оси б а р а б а н н о г о к о л е с а *1*. Это колесо сцеплено с трибкой *2* д о б а в о ч н о г о к о л е с а *3*, к-рое в свою очередь находится в зацеплении с трибкой *4* с р е д н е г о (минутного) к о л е с а *5*. В Ч. с гиревым заводом, и в карманных добавочное колесо отсутствует, но в Ч. с очень большой продолжительностью хода добавочных колес м. б. два и даже три, напр. годовые Ч. Среднее колесо работает с трибкой *6* п р о м е ж у т о ч н о г о к о л е с а *7*, которое сцеплено с трибкой *8* с е к у н д н о г о к о л е с а *9*. В нек-рых видах Ч. промежуточное или секундное колесо может отсутствовать. Секундное колесо приводит в движение трибку *10* х о д о в о г о к о л е с а *11*, которое является частью хода, состоящего из ходового колеса *11* и с к о б к и, или я к о р я *b*, соединенного с маятником или иным регулятором. На оси *e* среднего колеса насажена с трением втулка, несущая минутную стрелку *g* и минутную т р и б к у *12*, зацепляющуюся с в е к с е л ь н ы м к о л е с о м *13*, составляющим одно целое с вексельной трибкой *14*. Последняя приводит в движение часовое колесо *15*, насаженное вхолостую на втулку минутной трибки и несущее на своей полой оси часовую стрелку *d*. В карманных, а иногда и в столовых Ч. на оси секундного колеса *e* насажена секундная стрелка *ж*.



Фиг. 1.

Механизм конструируется обыкновенно так, чтобы числа зубцов колес и трибок, а также модуль или шаг зубчатых колес уменьшались от барабанного колеса к ходовому. Наибольшее передаточное число при одной паре колес (т. е. колесо и трибка) не превышает обыкновенно 15, напр. для трибки с наименьшим числом зубцов 6 наибольшее число зубцов колеса будет 90. При передаточных числах больше 15 берут две и больше пар колес. В табл. 1 указаны числа зубцов наиболее характерных типов часовых механизмов. Для стенных Ч. с гиревым заводом, к-рые заводятся вправо, а барабан к-рых при ходе Ч. вращается влево, избегают обыкновенно применять добавочное колесо, ибо в случае наличия одного добавочного колеса либо заводить нужно влево, что неудобно, либо минутная стрелка будет двигаться влево, что недопустимо. В стенных Ч. такого рода (№ 1 и 2 табл. 1) отсутствует секундное колесо и его функции выполняются ходовым колесом, число зубцов к-рого подобрано так, чтобы оно делало 1 об/мин. В каминных Ч. № 3 секундное колесо

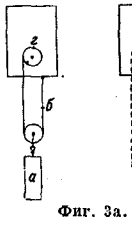
Табл. 1.—Числа зубцов колес часовых механизмов различных типов.

Род часов	Бараб. колесо	Трибка добав. колеса	Добав. колесо	Трибка средн. колеса	Средн. колесо	Трибка промежут. колеса	Промеж. колесо	Трибка секундного колеса	Секундн. колесо	Трибка ходов. колеса	Ходов. колесо	Продолжительн. завода
Стенные с секундным маятником	150	—	—	10	80	10	90	—	—	12	30	8^d
То же	192	—	—	14	112	14	105	—	—	14	30	8^d
Каминные	120	12	56	8	84	7	70	—	—	7	41	14^d
Морской хронометр	90	—	—	14	98	12	75	10	80	10	15	56^h
Америк. будильник	48	—	—	8	56	7	45	6	50	6	15	36^h
Карманные	80	—	—	10	67	8	60	8	70	7	15	32^h
Т о ж е	96	—	—	12	80	10	75	10	80	8	15	36^h
Автомобильные	90	12	64	10	80	10	60	8	70	7	15	8^d

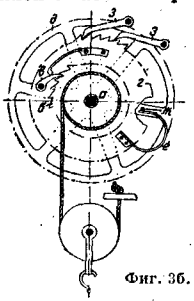
	Бараб. колесо	Трибка 1-го добавочн. колеса	Первое добав. колесо	Трибка 2-го добавочн. колеса	Второе добав. колесо	Трибка 3-го добавочн. колеса	Третье добав. колесо	Трибка средн. колеса	Средн. колесо	Трибка ходов. колеса	Ходов. колесо	Продолжительн. завода
Годовые	90	12	84	12	60	10	48	8	96	8	20	394^d

также отсутствует, т. к. эти Ч. не имеют секундной стрелки. В карманных часах (№ 6 и № 7) направление завода можно сделать произвольным благодаря наличию особого заводного (ремонтуарного) механизма. Из всей таблицы только автомобильные часы (крупный карманный механизм) имеют все колеса, приведенные на фиг. 1. Наличие добавочного колеса в них объясняется восьмидневной продолжительностью завода. Совершенно особняком стоят годовые часы (№ 9), которые имеют три добавочных колеса, но зато лишены промежуточного и секундного колес, что объясняется большим периодом колебания маятника этих часов (15″) и отсутствием секундной стрелки. Плавность хода зубчатых зацеплений определяется, как известно, числом зубцов, одновременно находящихся в зацеплении; поэтому очевидно, что пары с бóльшим числом зубцов дадут бóльшую плавность передачи. Но, с другой стороны, колеса с меньшим числом зубцов стоят дешевле и более выгодны в производственном отношении. Качество часового механизма в значительной мере обусловливается числом зубцов применяемых для передачи колес и в особенности трибок. Чем лучше часы, тем большее число зубцов имеют трибки. Так, 6- и 7-зубые трибки употребляются только в самых дешевых Ч., в Ч. высшего качества наименьшее число зубцов трибки—10 и только для ходовой трибки берут иногда 8 зубцов. Отсюда следует, что механизмы № 2 и № 7 по табл. 1 представляют собою лучший фабрикат, чем соответственно № 1 и 6. В морском хронометре (№ 4), часах наивысшей точности из всех Ч. с балансовым ходом, нет трибок с числом зубцов меньше 10. Табл. 1 дает только наиболее характерные передачи часовых механизмов, не исчерпывает всех возможных сочетаний колес и не претендует на полноту данных.

Для того чтобы часовой механизм мог показывать кроме минут еще и часы, необходимо расширить его измерительный предел при помощи отдельного т. н. *стрелочного механизма*. На фиг. 2 изображен схематич. разрез этого механизма. Минутная, или средняя, ось *а* пропущена сквозь отверстие в передней платине Ч. *б*, и на выступающий конец ее насажена пружинная втулка *в* с трибкой *12* на конце втулки, обращенном к платине. Эта трибка сцеплена с вексельным колесом *13*, к-рое вместе с закрепленной на нем вексельной трибкой *14* свободно вращается на штифте *г*, укрепленном на резьбе в платине. Вексельная трибка сцеплена с часовым колесом *15*, втулка к-рого сидит свободно на пружинной втулке *в* и вместе с нею и минутной осью проходит через отверстие в циферблате часов *д*. Минутная стрелка *е* насажена на квадратный конец втулки *в*, а часовая стрелка *жс* посредством круглого футора укреплена на втулке часового колеса. Числа зубцов трибки пружинной втулки, вексельного колеса, вексельной трибки и часового колеса подобраны так, чтобы часовая стрелка вращалась в 12 или 24 раза медленнее минутной. Если вращать от руки минутную стрелку, то пружинная втулка *в* будет с нек-рым трением проворачиваться на оси *а* и будет через вексельное колесо и трибку передвигать часовое колесо и часовую стрелку независимо от движения остального часового механизма. Т. о. имеется возможность переставлять стрелки и устанавливать Ч. на любое время. Гиревой завод состоит из гири *а* (фиг. 3а), соединенной с тяговым органом струной *б* или цепочкой *в*, передающими силу веса гири на бара-



Фиг. 3а.



Фиг. 3б.

бан *г*, снабженный винтовой канавкой для струны, или на зубчатое колесо *д*, захватывающее своими зубцами звенья цепи. Последняя конструкция применяется преимущественно в дешевых Ч. (шварцвальдские часы, или т. н. ходики). Преимуществом гиревого завода является постоянство движущей силы как в начале, так и в конце завода.

Существенным недостатком обыкновенного гиревого завода со шнурком или струною является то обстоятельство, что Ч. во время завода лишены двигательной силы и потому могут остановиться, т. к. при заводе барабан для наматывания струны движется вправо, а при ходе Ч. струна разматывается, вращая барабан влево. Для устранения этого недостатка служит вспомогательный завод (фиг. 3б). На оси *а* барабана укреплены неподвижно малое храповое колесо *б* и сам барабан; зубцы малого храпового колеса упираются в собачку *в*, укрепленную на большом храповом колесе *г*, сидящем свободно на оси *а*. Колесо *г* связано с барабанным колесом *д* посредством пружины *е*, упирающейся в штифт *жс*. При ходе Ч. малое храповое колесо толкает собачку *в* и связанное с ней большое храповое колесо *г*, а последнее посредством пружины *е* (к-рая при этом изогнется) передает движение барабанному колесу, заставляя работать механизм. При заводе собачка *в* свободно пропустит зубцы малого колеса, к-рое будет вместе с барабаном вращаться вправо; колесо *г* будет при этом стоять на месте, т. к. вращаться вправо ему не дает одна из собачек *з*. Т. о. колесо *д* будет попрежнему вращаться влево под действием разгибающейся пружины *е*, к-рая и будет в течение завода служить источником энергии. После того как по окончании завода ключ будет снят с квадрата валика *а*, натяжение гири снова сожмет пружину *е* и таким образом вернет ей израсходованную при заводе энергию.

В качестве источника силы для часовых заводов очень часто применяется пружина. Из всех видов пружин почти исключительно применяется спиральная плоская пружина, заключенная для удобства в барабан, сидящий на одной оси с барабанным колесом. В Ч. дешевого выполнения пружина иногда работает и без барабана, напр. в будильниках. Основным выражением для изгибающего момента пружины является ф-ла Сен-Венана, измененная Филипсом:

$$M = EI\left(\frac{1}{\varrho} - \frac{1}{\varrho_0}\right), \qquad (1)$$

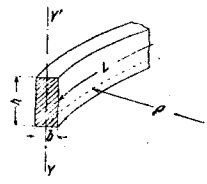
где M—изгибающий момент, E—модуль упругости, I—момент инерции поперечного сечения относительно оси YY', проходящей через ц. т. сечения и перпендикулярной к плоскости пружины, ϱ_0 и ϱ—радиусы кривизны ее до и после деформации (фиг. 4). Обозначая через b толщину, через h ширину и через L длину пружины, после ряда преобразований имеем

$$M = EI \cdot \frac{\alpha}{L} = \frac{Eb^3ha}{12L}, \qquad (2)$$

где α—угол, на который закручена пружина. Радиус кривизны деформированной пружины найдется из выражения

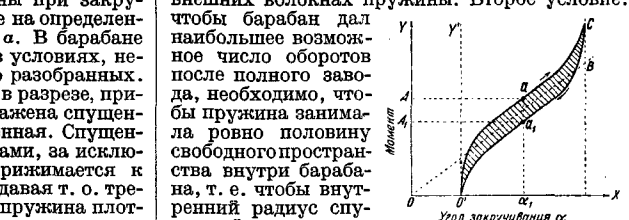
$$\varrho = \frac{\varrho_0}{1 + \frac{\varrho_0}{L} \cdot \alpha}. \qquad (3)$$

Из выражения (2) следует, что момент пружины прямо пропорционален углу закручивания пружины (в радианах), модулю упругости материала пружины ($г/мм^2$), кубу толщины пружины ($мм^3$), ширине пружины ($мм$) и обратно пропорционален длине ее ($мм^{-1}$). Выражение (3) показывает, как изменяется радиус пружины при закручивании ее на определенный угол α. В барабане пружине приходится работать в условиях, несколько отличных от только что разобранных.



Фиг. 4.

На фиг. 5 представлен барабан в разрезе, причем в правой половине его изображена спущенная пружина, а в левой—заведенная. Спущенная пружина всеми своими витками, за исключением внутреннего, плотно прижимается к внутренней стенке барабана, создавая т. о. трение между витками. Заведенная пружина плотно навернута на валик, и витки ее плотно прижаты друг к другу, что также обусловливает известное трение между витками, сказывающееся, как в первом случае, на работе пружины. Если изгибающий момент для случая свободной пружины м. б. изображен прямой OB в системе координат XOY (фиг. 6), то для пружины в барабане он изобразится стручкообразной кривой $O'aCa_1O'$ в системе $XO'Y'$. Кривая эта будет иметь две ветви, восходящую $O'aC$ и нисходящую Ca_1O_1, несовпадающие между собой благодаря наличию молекулярного трения; площадь, ограниченная кривой, будет равна в выбранном масштабе работе при заводе, бесполезно затраченной на преодоление молекулярного трения в материале пружины. При заводе момент будет изменяться по восходящей ветви, а при спуске по нисходящей. Средний участок кривых $O'aC$ и $O'a_1C$ в достаточной степени приближается к прямой, а крайние участки резко изогнуты благодаря трению между витками в начале и конце завода. Величина $O'a_1$, измеренная в масштабе углов закручивания, будет изображать собою тот угол, на к-рый нужно повернуться барабану до полного спуска пружины, а величина OO', измеренная в том же масштабе, изображает тот угол, на к-рый пришлось закрутить пружину для того, чтобы вложить ее в барабан. При одном и том же угле закрутки α_1 величина моментов будет OA или OA_1, смотря по тому, в период завода или спуска этот угол измерен. Величина AA_1 характеризует собою упругое последействие в пружине, и чем пружина лучше, тем оно меньше. При расчете момента угол приходится считать не от точки O', а от точки O, т. е. от свободного состояния пружины (вне барабана). В действительности ветви стручкообразной кривой не так гладки и плавны, как на фиг. 6, благодаря трению между витками, сгустившемуся маслу и неровностям и шероховатостям клинка пружины. Для ослабления этого клинок должен быть совершенно гладким, ровным, без штрихов и ржавчины, а масло для смазки должно быть самого высшего качества, незагустевающее и абсолютно нейтральное, без всяких следов к-ты или каких-либо других примесей, вредно действующих на металл.



Фиг. 6.

Что касается геометрич. размеров пружины, гл. обр. ее толщины b и длины L (т. к. ширина повлияет только на высоту барабана), то здесь д. б. соблюдены два условия. Первое из них формулируется так: толщина пружины в барабане д. б. не больше $^1/_{30}$ диаметра $2R_0$ валика (фиг. 5), т. н. федеркерна. Это условие продиктовано соображениями прочности клинка пружины для того, чтобы при наматывании на валик при заводе у внутренних витков не получалось опасных перенапряжений во внешних волокнах пружины. Второе условие: чтобы барабан дал наибольшее возможное число оборотов после полного завода, необходимо, чтобы пружина занимала ровно половину свободного пространства внутри барабана, т. е. чтобы внутренний радиус спущенной пружины равнялся внешнему радиусу заведенной пружины. Если обозначить радиус внутренней стенки барабана через R_1, радиус валика через R_0 и внутренний радиус спущенной пружины, равный внешнему радиусу заведенной пружины, через r, то

$$r = \sqrt{\frac{R_1^2 + R_0^2}{2}}. \qquad (4)$$

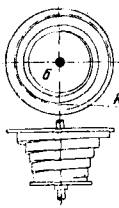
В практич. условиях обычно берут $R_0 = \frac{1}{3} R_1$, тогда $r = 2{,}236\, R_0 = 0{,}745\, R_1$. Обозначая через n''—число витков заведенной пружины, через n'—число витков спущенной пружины и через $n = n'' - n'$—число полезных оборотов барабана, мы имеем:

$$\begin{aligned} n''b &= 1{,}236\, R_0 = 0{,}412\, R_1 \\ n'b &= 0{,}764\, R_0 = 0{,}255\, R_1 \\ \hline nb &= (n'' - n')b = 0{,}472\, R_0 = 0{,}157\, R_1 \end{aligned} \qquad (5)$$

Это выражение дает возможность по заданным радиусу барабана и толщине пружины определить число оборотов, к-рое сделает барабан при работе на часовой механизм. В обычных условиях (карманные Ч.) берут $n = 5^1/_2 \div 6^1/_2$ оборотов. Длина пружины $L = 1{,}745\pi n' R_1 + 2\pi R_0$, причем второй член предусматривает внутренний виток, плотно облегающий валик с отверстием для надевания на крючок валика. Как видно из ф-лы (2), а также из фиг. 6, момент, передаваемый барабаном механизму, не будет постоянным, и хотя большинство современных ходов работает одинаково хорошо и

с меняющимся моментом, но все же в условиях наибольшей точности желательно располагать строго постоянным моментом, подобным тому, какой дает гиревой завод.

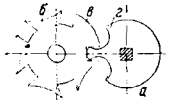
Если на барабан *а* (фиг. 7) с пружиной намотать шнурок или цепь *к* и этот шнурок другим концом укрепить на шкиве *б* переменного радиуса, так наз. улитке, с таким расчетом, чтобы, когда пружина заведена полностью, шнурок действовал на наименьший радиус шкива, и наоборот, при почти спущенном заводе—на наибольший его радиус, то закон изменения радиуса шкива м. б. подобран так, что момент на оси его будет постоянным. Приспособление это (довольно дорогое и трудно поддающееся регулировке при замене пружины) употребляется в настоящее время исключительно в морских хронометрах.



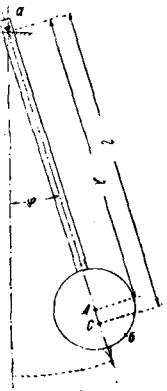
Фиг. 7.

В хороших Ч. на барабане ставят остановы, наиболее распространенный тип к-рых, т. н. мальтийский крест, дан на фиг. 8. Этот механизм служит для ограничения числа оборотов валика по отношению к барабану. Диск *а* с пальцем насаживается на квадрат валика, а звездочка *б* укрепляется свободно на дне барабана. При вращении палец диска *а* входит по очереди во все впадины звездочки до тех пор, пока выпуклое крылышко *в* не упрется в боковой выступ *г* диска с пальцем. Дальнейшее движение невозможно. Остановом можно ограничить кривую моментов, используя лишь ее прямую часть и одновременно предохраняя пружину от обрыва при форсированном заводе.

В качестве регулятора для Ч. употребляют маятник и баланс. Маятником в часовом деле называется жесткий стержень (фиг. 9), снабженный подвесом *а* на своем верхнем конце и тяжелой чечевицей *б* (линзой) на нижнем конце. Он может свободно вращаться вокруг точки *O* и, будучи предоставлен сам себе, занимает отвесное положение. Обозначим вес маятника через *P* и расстояние ц. т. *A* от оси *O* подвеса через λ. Тогда момент, возвращающий его в положение равновесия, будет $P\lambda \sin\varphi$. Обозначая $P\lambda$ (статич. момент) через *K* и момент инерции маятника относительно точки *O* через *I*, получим ур-ие движения маятника в следующем виде:



Фиг. 8.



Фиг. 9.

$$I\frac{d^2\varphi}{dt^2} + K\sin\varphi = 0. \qquad (6)$$

Если φ мало, то можно положить $\sin\varphi = \varphi$ и ур-ие (6) примет вид:

$$I\frac{d^2\varphi}{dt^2} + K\varphi = 0, \qquad (6a)$$

общий интеграл которого будет иметь вид

$$\varphi = \Phi\sin(\omega t - \alpha), \qquad (7)$$

где Φ—амплитуда, α—начальная фаза. Движение будет колебательным, причем период его

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}}. \qquad (8)$$

Период в этом случае от амплитуды не зависит, колебания будут изохронны, т. е. продолжительность периода будет одна и та же при больших и малых амплитудах. Это свойство регулятора называется изохронизмом. При амплитудах и углах отклонения, значительно отличающихся от нуля, ф-ла (6а) неприменима, и выражение для периода получит более сложный вид, чем тот, к-рый ему дает выражение (8). В результате первого интегрирования ур-ия (6) имеем:

$$I\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 = 2K(\cos\varphi - \cos\Phi)$$

и

$$\sqrt{\frac{K}{I}}\,dt = \frac{d\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{\sqrt{\sin^2\frac{\Phi}{2} - \sin^2\frac{\varphi}{2}}}.$$

Заменяем переменную, полагая

$$\sin\frac{\varphi}{2} = \sin\frac{\Phi}{2}\sin\psi,$$

и в результате соответствующих преобразований приходим к выражению для периода с эллиптич. интегралом первого рода:

$$T = 4\sqrt{\frac{I}{K}}\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\psi}{\sqrt{1 - \sin^2\frac{\Phi}{2}\sin^2\psi}}. \qquad (9)$$

Разлагая в ряд подинтегральное выражение и производя интегрирование, получим:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}}\left[1 + \frac{1}{2^2}\sin^2\frac{\Phi}{2} + \left(\frac{1\cdot 3}{2\cdot 4}\right)^2\sin^4\frac{\Phi}{2} + \left(\frac{1\cdot 3\cdot 5}{2\cdot 4\cdot 6}\right)^2\sin^6\frac{\Phi}{2} + \ldots\right]. \qquad (10)$$

Это и есть точная ф-ла периода колебания физич. маятника. Для практич. целей ее немного упрощают, полагая $\sin\frac{\Phi}{2} = \frac{\Phi}{2}$, что в обыкновенных условиях допустимо; сохраняя три первых члена ряда и выражая Φ в градусах, имеем:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}}\left[1 + \frac{\Phi^2}{52\,520} + \frac{\Phi^4}{1\,223\,162\,000}\right]. \qquad (11)$$

Разница периодов по ф-ле (8) и только что выведенной будет зависеть от амплитуды; полагая в выражении (11) $\Phi = 0$, мы получим выражение (8). Табл. 2 дает разницу периодов для употребляемых в практике точной хронометрии значений Φ в миллионных долях периода и в ск. в сутки (суточный ход).

Как видно из табл. 2, отставание Ч. с маятником увеличивается с амплитудой сначала медленно, а затем быстрее, причем для 6° доходит до минуты в сутки. Резюмируя все сказанное о маятнике, приходим к выводу, что колебания маятника неизохронны для любых амплитуд; при малых амплитудах порядка 1°—1°30′, какие обыкновенно употребляются в астрономич. Ч., период мало изменяется с амплитудой, и колебания можно считать практически изохронными. Математич. маятник, колеблющийся синхронно с физическим, будет иметь длину *l* и период его при малых амплитудах будет

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad (12)$$

Табл. 2.—Разница периодов для различных значений Φ.

Амплитуда Φ	30′	40′	50′	1°	1°10′	1°20′	1°30′
Разница периодов *	4,76	8,45	13,2	19,05	25,9	33,9	42,9
Отставание, ск. в сутки	0,412	0,73	1,14	1,65	2,24	2,93	3,71
Амплитуда Φ	1°40′	1°50′	2°	3°	4°	5°	6°
Разница периодов *	52,9	64,1	76	171	304	476	685
Отставание, ск. в сутки	4,56	5,54	6,59	14,80	26,35	41,15	59,18

* В миллионных долях.

Сравнивая выражения (8) и (12), имеем

$$\frac{l}{g} = \frac{I}{K} = \frac{I}{M\lambda},$$

откуда

$$l = \frac{I}{M\lambda}, \qquad (13)$$

где M — масса физического маятника $Mg = P$, т. е. $\frac{I}{M\lambda}$ играет в физич. маятнике роль длины его; эта величина называется эквивалентной длиной физического маятника. Момент инерции I взят относительно точки O; если момент инерции взять относительно ц. т. A маятника, то на основании свойств момента инерции можно написать: $I = I_A + M\lambda^2$; тогда

$$l = \lambda + \frac{I_A}{M\lambda}, \qquad (14)$$

т. е. эквивалентная длина физич. маятника больше расстояния от ц. т. до оси подвеса (фиг. 9) на величину $\frac{I_A}{M\lambda}$. Точка C, к-рая лежит на расстоянии l от точки подвеса O и на расстоянии $\frac{I_A}{M\lambda}$ от ц. т., называется центром качания и обладает тем свойством, что если в нее поместить точку подвеса вместо O, то период маятника не изменится (теорема Катера). Логарифмируя и диференцируя выражение (12) для одной и той же точки земной поверхности (g=Const), получим:

$$\frac{dT}{T} = \frac{1}{2}\frac{dl}{l}. \qquad (15)$$

Это выражение дает возможность рассчитать, на сколько нужно при регулировке маятника поднять или опустить линзу, чтобы получить желаемый суточный ход. Обозначая его в ск. через Av (Avance) и принимая во внимание, что в сутках 86 400 ск., легко видеть, что

$$\frac{dT}{T} = \frac{Av}{86400} = \frac{1}{2}\frac{dl}{l},$$

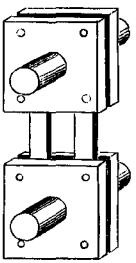
откуда

$$\frac{dl}{l} = 23{,}1 \cdot 10^{-6} Av. \qquad (16)$$

Т. к. линза опирается на гайку, навинченную на нижний конец стержня маятника, то, завинчивая и отвинчивая эту гайку, при известном шаге винта можно всегда отрегулировать маятник. Более тонкая регулировка производится путем накладывания дополнительных грузов на площадку, помещенную в средней части стержня маятника на расстоянии $\frac{l}{2}$ от подвеса. Величина добавочного груза определяется из ф-лы

$$p = \frac{1}{10800} P \cdot Av, \qquad (17)$$

где p—вес добавочного груза и P—вес маятника. Изохронизация маятника, т. е. сообщение ему изохронизма при любых амплитудах при помощи искусственных приемов, не привилась на практике. Изохронизм в значительной мере достигается путем подвеса маятника на пружине (фиг. 10), на так наз. пендельфедере, к-рый состоит из двух плоских пружин, зажатых по концам между двумя парами латунных или же стальных колодок. Добавочный момент, создаваемый пружинами, в значительной мере компенсирует член, нарушающий изохронизм в уравнении движения (6), которое, если разложить $\sin\varphi$ в ряд и ограничиться двумя первыми членами, примет следующий вид:

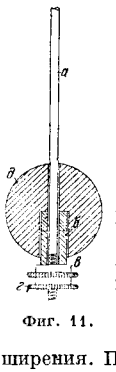


Фиг. 10.

$$I\frac{d^2\varphi}{dt^2} + K\varphi - \frac{K\varphi^3}{6} = 0.$$

Ур-ие это отличается от ур-ия (6а) третьим членом в левой части: $\left(-\frac{K\varphi^3}{6}\right)$, к-рый и нарушает изохронизм. Пендельфедер создает добавочный момент, хотя и несколько иной формы, но все же частично исправляющий неизохронность маятника. При подвесе на пендельфедере ось вращения маятника лежит приблизительно на одну треть длины пружины, считая от края верхней оправы.

Период маятника будет изменяться с окружающей $t°$, если он не компенсирован на t', т. к. длина стержня будет меняться при колебаниях $t°$. Отсюда ясно, что маятник, изготовленный целиком из одного и того же металла, компенсировать на $t°$ нельзя. В более дешевых современных конструкциях часто делают стержень из пропитанного лаком и смолами дерева для того, чтобы сделать его невосприимчивым к влажности воздуха. Коэф. расширения дерева очень мал, и маятник мало чувствителен к изменениям $t°$. Одна из наиболее совершенных конструкций принадлежит Рифлеру (фиг. 11), где стержень маятника a изготовлен из инвара (коэф. расширения 0,8—1 μ/м °C), а компенсационная трубка $б$, длина которой составляет примерно $^1/_{11}$ длины маятника, сделана из металла (одного или двух для удобства подбора коэф-та расширения) с большим коэф-том расширения. При повышении $t°$ длина стержня a увеличится, и гайка $в$ с контргайкой $г$ опустится. Но в то же время трубка $б$ увеличит свою длину настолько, насколько удлинился стержень. Т. о. расстояние ц. т. линзы $д$ от оси подвеса останется неизменным. Т. к. $t°$-ный коэф. инвара изменяется и от состава его (содержание Ni) и от термич. обработки, то трубки $б$ приходится подбирать индивидуально к каждому маятнику. Трубка эта состоит из двух металлов (напр. Fe и Cu), причем длины обоих металлов м. б. различны; если больше меди, то коэф. расширения α будет приближаться к



Фиг. 11.

$17 \cdot 10^{-6}$, а если больше железа, то к $11 \cdot 10^{-6}$. В крайнем случае можно применить и Al ($\alpha = 22 \cdot 10^{-6}$). Коэф. расширения α трубки из двух металлов м. б. вычислен по ф-ле

$$\alpha = \frac{\alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2}{l_1 + l_2},$$

где l_1 и l_2 — длина каждой трубки. Маятники этого рода гарантируют точность хода до $\pm 0{,}005$ ск. в сутки на 1° С. В более дешевом исполнении (2-й класс) гарантируемая точность $\pm 0{,}02$ ск. в сутки на 1° С. В некоторых других конструкциях стержень делают из плавленого кварца (Сатори), к-рый имеет еще меньший коэф. расширения ($\alpha \cong 0{,}4 \cdot 10^{-6}$). Существенным недостатком компенсации, сосредоточенной в одном месте стержня, является то обстоятельство, что компенсация эта не учитывает т. н. *расслоения t°, т. е. разности t° вверху и внизу* футляра Ч., благодаря большей легкости теплого воздуха. В последних конструкциях Рифлеровского маятника предусмотрено 2 компенсационных приспособления, из к-рых одно расположено под линзой, а другое на 10 *см* выше середины маятника. Учет трения о воздух или иную сопротивляющуюся среду, в к-рой колеблется маятник, для малых амплитуд приводит к решению дифференциального ур-ия

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} + F \frac{d\varphi}{dt} + K\varphi = 0, \qquad (18)$$

где F—коэф. при угловой скорости в первой степени, характеризующий вид движения и зависящий от молекулярного строения той среды, в к-рой колеблется маятник. Движение будет колебательным, как показывает исследование этого ур-ия только в том случае, когда $F^2 < 4KI$, в противном случае оно будет апериодическое. Обозначая $\frac{F^2}{4KI}$ через b^2, а через Φ_0 начальную амплитуду при периодич. движении, общий интеграл ур-ия (18) найдем в виде:

$$\varphi = \Phi_0 e^{-b\omega t} \sin(\omega\sqrt{1-b^2})t, \qquad (19)$$

из к-рого видно, что амплитуда ($\Phi_0 e^{-b\omega t}$) будет непрерывно убывать и что движение будет периодическое затухающее. Период колебания будет:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega\sqrt{1-b^2}} = \frac{T_0}{\sqrt{1-b^2}} = \frac{T_0}{\sqrt{1-\frac{F^2}{4KI}}}.$$

Из этого выражения следует, что период затухающих колебаний T_1 будет больше, чем период свободных незатухающих колебаний T_0; кроме того если $F^2 > 4KI$, то T_1 будет мнимым, т. е. колебаний вообще не будет. Суточный ход часов с маятником в сопротивляющейся среде по сравнению со свободным маятником будет:

$$Av = 43\,200 b^2 = 10\,800 \frac{F^2}{KI}.$$

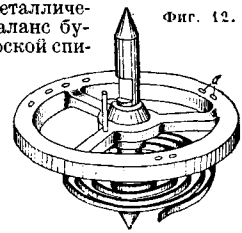
Отсюда следует, что влияние сопротивляющейся среды на период и на суточный ход будет тем меньше, чем тяжелее маятник и чем больше момент инерции его. Натуральный логарифм отношения двух последовательных амплитуд по их абсолютной величине есть т. н. логарифмич. декремент затухания и равняется:

$$\Delta = \frac{b\pi}{\sqrt{1-b^2}} = \frac{\pi F}{\sqrt{4KI - F^2}}.$$

Для обыкновенного Рифлеровского маятника весом 7,35 *кг* и $T_0 = 2^s$ было найдено: $\Delta = 6 \times 10^{-6}$ и $F = 6{,}56 \times 10^{-6}$, а также суточный ход в воздухе по сравнению с суточным ходом в пустоте $Av = 1{,}55 \times 10^{-7}$ ск.

Рифлер произвел ряд опытов для определения влияния сопротивления воздуха на ход точных Ч., подойдя к вопросу чисто практически. Он нашел, что для каждого маятника м. б. определена барометрич. константа, т. е. суточный ход, отвечающий изменению давления на 1 *мм* Hg столба. Для своих маятников с двояковыпуклой и цилиндрич. формой линз и весом в 7,35 и 7,00 *кг* он нашел барометрич. константы 0,012 и 0,018 ск/сутки на 1 *мм* Hg столба. Чтобы исключить влияние сопротивления среды, особо точные Ч. заключают в воздухонепроницаемые футляры и либо немного (Рифлер) либо довольно сильно (Шорт) разрежают воздух в них. Возможны и иные методы разрешения этой задачи в смысле снабжения маятника особыми компенсирующими барометрич. приспособлениями, к-рые также б. или м. удачно справляются с возложенной на них задачей.

В переносных Ч. в качестве регулятора употребляется небольшое колесо с тяжелым ободом—балансе, направляющей силой для которого служит пружина (волосок), сидящая на его оси и неподвижно закрепленная на свободном конце. На фиг. 12 дан обыкновенный моно-металлический (однородный) баланс будильника с осью и плоской спиральной пружиной. Если ось наставить на подпятники и свободный конец пружины закрепить неподвижно, то в таком виде баланс может служить регулятором, и если его, отклонив от положения равновесия, предоставить самому себе, то он будет совершать колебательное движение под действием спиральной пружины, стремящейся вернуть баланс в положение равновесия. При этом предполагается, что баланс уравновешен, т. е. центр тяжести его лежит на оси вращения, и никакие другие силы на него не действуют. Для уравновешивания такого баланса по ободу его высверливают небольшие углубления a. Обозначая через I момент инерции баланса относительно оси вращения и через K момент пружины при закручивании ее на 1 радиан, получим ур-ие движения баланса:



Фиг. 12.

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} + K\varphi = 0. \qquad (6a)$$

Ур-ие это по виду то же самое, что было выше выведено для маятника. Общий интеграл этого ур-ия будет

$$\varphi = \Phi \sin(\omega t - \alpha),$$

где Φ—амплитуда, α—начальная фаза и $\omega = \sqrt{\frac{K}{I}}$—угловая скорость. Период колебания будет

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}}.$$

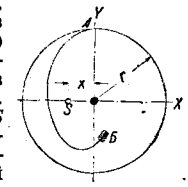
По условию $K = \frac{Eb^3h}{12L}$, где E—модуль упругости, b—толщина, h—ширина и L—длина волоска. Подставляя вместо K его значение в выражение (8), мы получим

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{12LI}{Eb^3h}} = 4\pi\sqrt{\frac{3LI}{Eb^3h}}. \qquad (20)$$

Т. к. в выражение периода амплитуда не входит и рассмотрение явления не ограничено малыми амплитудами, то колебания будут изохронны при всяких амплитудах, пока на ось баланса не действуют никакие силы кроме вращающего момента спиральной пружины, возрастающего линейно с углом отклонения. Это на первый взгляд простое условие соблюсти в действительности без применения специальных мер невозможно. Обыкновенная плоская спиральная или винтовая (цилиндрическая) пружина развертывается и свертывается не концентрически; ц. т. ее при развертывании описывает довольно сложные кривые, и т. к. пружина одним концом укреплена в особой втулке—р о л ь к е, сидящей на оси баланса, то очевидно, что перемещение центра тяжести пружины сказывается на правильности колебаний баланса, и изохронизм нарушается. Для того чтобы ц. т. пружины оставался во время деформации ее на месте и все время совпадал с осью вращения баланса, необходимо концы пружины изогнуть особым образом по кривым, предложенным инж. Э. Филипсом,—по так наз. концевым кривым Филипса.

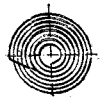
Фиг. 13.

На фиг. 13 изображена сбоку винтовая пружина, снабженная концевыми кривыми, к-рая употребляется в морских хронометрах, а на фиг. 14 изображена в увеличенном масштабе та же пружина, но сверху, причем для ясности одна из концевых кривых (задняя) опущена. Кривая начинается в точке A и кончается в месте заделки пружины B. Ц. т. концевой кривой S должен лежать на перпендикуляре к радиусу, проведенному через начало кривой (первое условие Филипса); расстояние ц. т. от центра пружины x д. б. равно частному от деления квадрата радиуса r пружины на длину концевой кривой (второе условие Филипса). Т. о. согласно первому условию ц. т. должен лежать на стороне отрицательных x-ов, т. к. положительное направление оси y-ов проходит через начало кривой; согласно второму условию расстояние x должно равняться $\frac{r^2}{l}$, где l—длина концевой кривой. Следовательно радиус пружины равен геометрическому среднему между длиной концевой кривой и расстоянием ее ц. т. Форма кривой роли не играет и м. б. любая, если соблюдены оба условия Филипса.



Фиг. 14.

Фиг. 15 изображает плоскую спираль, снабженную концевой кривой, завиток к-рой лежит вне плоскости спирали. Это—т. н. б р е г е т о в с к а я с п и р а л ь. Ж. Гроссман предложил кроме того снабжать плоские спирали т. н. внутренними кривыми, к-рые должны компенсировать перемещение ц. т., вызванное вырезыванием внутренних витков для укрепления спирали на рольке. Средние размеры спиралей—в о л о с к о в—для карманных Ч. следующие: ширина 0,4 *мм*, толщина 0,02 *мм* и вес 15 *мг*.


Фиг. 15.

Другой причиной, нарушающей регулярную работу баланса, является влияние несовпадения ц. т. баланса с его геометрич. осью. Вопрос этот был исследован и изучен Э. Филипсом, и в результате его работ установлено, что изменение суточного хода будет иметь вид:

$$\frac{dT}{T} = \frac{Pl}{2K}\cos\delta\left(1 - \frac{\Phi^2}{8} + \frac{\Phi^4}{192} - \frac{\Phi^6}{9\,216} + \ldots\right), \quad (21)$$

где P—вес баланса, l—расстояние его ц. т. до оси вращения, K имеет прежнее значение, Φ—амплитуда и δ—угол, образованный прямой, проведенной через ц. т. баланса в положении равновесия, с вертикалью. Скобки выражения (21) обращаются в нуль при $\Phi \cong 3{,}83 \div 3{,}84$ радиана, что соответствует 219°27′ ÷ 220°1′ в градусной мере. Т. о. если колебания баланса будут иметь эту амплитуду, то ошибка от несовпадения ц. т. не даст себя чувствовать. Если ход карманных Ч. в вертикальном положении б ю г е л е м (кольцо в головке корпуса) вверх принять за исходный и обозначить через Av_1, то очевидно, что влияние несовпадения при вертикальном положении и бюгеле влево, вниз или вправо скажется иначе на работе баланса, и ход Ч. во всех этих положениях будет иной. Обозначая его соответственно через Av_2, Av_3 и Av_4, можем определить угол δ через его тангенс по ф-ле: $\frac{Av_4 - Av_2}{Av_1 - Av_3} = \operatorname{tg}\delta$ и произвести соответствующее исправление, не упуская однако из вида, что при малых амплитудах (< 220°) несовпадение ц. т. дает вообще опережение, тогда как при больших амплитудах (> 220°) Ч. отстают по сравнению с ходом Ч. при горизонтальном положении циферблата.

Для того чтобы выяснить влияние размеров пружины, модуля упругости ее и момента инерции баланса на период колебания баланса, прологарифмируем и продифференцируем выражение (20). Мы получим

$$\frac{dT}{T} = \frac{dI}{2I} + \frac{dL}{2L} - \frac{dh}{2h} - \frac{3\,db}{2\,b} - \frac{dE}{2E}. \quad (22)$$

Если напр. желательно выяснить, как изменится суточный ход с увеличением толщины пружины на 1% при условии, что все остальные параметры системы остаются без изменения, полагаем

$$\frac{dI}{I} = \frac{dL}{L} = \frac{dh}{h} = \frac{dE}{E} = 0$$

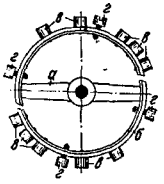
и кроме того, полагая, как выше, $\frac{dT}{T} = \frac{Av}{86\,400}$, имеем

$$Av = -129\,600 \cdot \frac{db}{b} = -129\,600 \cdot 0{,}01 =$$
$$= -1\,296 \text{ ск/сутки},$$

т. е. Ч. уйдут вперед (знак −) на 1 296 ск. за одни сутки.

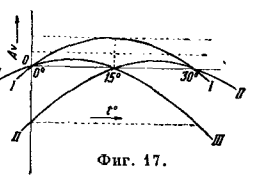
Вопрос о компенсации на темп-ру системы баланс—пружина несравненно более сложен, чем компенсация маятника. Сложность вопроса обусловлена тем обстоятельством, что в системе баланс—пружина под действием $t°$ изменяются не только геометрич. размеры баланса и пружины, но также и величина противодействующей силы, т. е. изменяется упругость пружины: при повышении $t°$ пружина слабеет и при понижении $t°$ становится более упругой. В случае маятника противодействующая сила для данного места земной поверхности была постоянна (g=Const), и вопрос компенсации сводится к сохранению геометрич. размеров маятника. Опыты, произведенные с Ч., снабженными латунным однородным балансом и стальной пружиной, показали, что при изменении $t°$ на 1° С, Ч. дают суточный ход ±11 ск., причем при повышении $t°$ они отстают и, наоборот, при понише-

нии $t°$ уходят вперед. Главная доля этого суточного хода приходится на изменение упругости пружины. Отсюда возникла мысль сконструировать баланс т. о., чтобы момент инерции его уменьшался с возрастанием $t°$ одновременно с уменьшением силы волоска; тогда в ф-ле (20) числитель и знаменатель подкоренного выражения изменятся в равной мере, и дробь, а следовательно и период, останется без изменения. Т. о. возникли компенсационные биметаллические (из двух металлов) балансы, представителем которых является *обыкновенный биметаллический* (разрезной) баланс для карманных Ч. (фиг. 16). Он состоит из прямой перекладины *а*, через к-рую проходит ось баланса, и укрепленного на этой перекладине обода *б*, спаянного по всей длине из двух концентрич. колец (внешнего латунного и внутреннего стального) и затем разрезанного в двух местах около перекладины. При повышении $t°$ латунь расширяется сильнее стали ($t°$-ный коэф. расширения латуни $17{,}4 \cdot 10^{-6}$, а стали $11{,}5 \cdot 10^{-6}$) и свободные концы обода *с* ввинченными в них тяжелыми винтами *е*, *в* прогнутся внутрь, уменьшив тем самым момент инерции баланса; 4 винта *г* служат для уничтожения несовпадения ц. т. баланса с осью вращения. При понижении $t°$ концы обода изогнутся наружу, и момент инерции баланса увеличится. Величина получаемой при этом компенсации м. б. изменена путем переставления винтов к концам половин обода, для чего отверстий в ободе всегда делается больше, чем винтов для возможности регулировки.



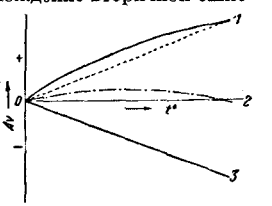
Фиг. 16.

Теорию биметаллич. обода и вообще биметаллич. пластин дал франц. ученый И. Виллярсо. Главнейшие следствия из этой теории следующие: а) для наибольшей чувствительности биметаллич. пластинки (т. е. чтобы при одном и том же изменении $t°$ она изгибалась возможно больше) необходимо, чтобы толщины обоих металлов (непременно различных) относились обратно пропорционально корням квадратным из модулей упругости их и чтобы общая толщина пластинки была как можно меньше; б) траектория конца полуобода при изменении $t°$ практически может считаться прямой линией и в) нейтральный слой биметаллич. пластинки, изготовленной при помощи какой-либо термич. обработки, лежит вне пластинки, т. е. все части пластинки все время находятся в напряженном состоянии. Следовательно если пластинка *изготовляется из латуни* ($E_1 = 11\,000$ *кг/мм²*) и стали ($E_2 = 22\,000$ *кг/мм²*), то толщина стали д. б. меньше в $\sqrt{\frac{22\,000}{11\,000}} = \sqrt{2} = 1{,}42$ раза. На практике берут обычно отношение либо $\frac{7}{5}$ либо 1,5. Толщину всей пластинки делать малой нельзя, т. к. под влиянием центробежной силы пластинки обода будут изгибаться наружу и искажать работу баланса. При изготовлении пластинки холодным путем можно в значительной мере ослабить внутренние напряжения в пластинках. Несмотря на применение биметаллич. пластинок компенсация такого рода все же является несовершенной.



Фиг. 17.

Англ. часовщик Э. Д. Дент заметил, что если хронометр отрегулировать на правильный ход при 0° и 30°, то при 15° он уйдет вперед приблизительно на 2 ск. в сутки (кривая *I* на фиг. 17). Это получается вследствие того, что зависимость суточного хода от $t°$ не линейная. Явление это было названо вторичной ошибкой, или аномалией Дента. Кривая *1* дает суточный ход хронометра, отрегулированного при 0° и 30° (т. н. $t°$ компенсации) в ф-ии $t°$. Если хронометр был отрегулирован при 15° и 30°, то в середине этого интервала он уйдет вперед на $^1/_2$ ск., зато при 0° отстанет на 4 ск. (кривая *II*); если же регулировка производилась при 0° и 15°, то при 7,5° получится опережение на $^1/_2$ ск., а при 30° отставание на 4 ск. (кривая *III*). Происхождение вторичной ошибки м. б. объяснено двояко. Согласно старой точке зрения, которую впервые высказали англ. астроном Эри и франц. инженеры Деламарш и Плуа, модуль упругости E уменьшается линейно с $t°$, вследствие чего происходит отставание (фиг. 18, кривая *3*) хронометра. Момент инерции баланса уменьшается с $t°$ не по линейному закону, а медленнее, благодаря чему баланс будет или перекомпенсирован при средних $t°$ или недокомпенсирован при 30° (кривая *1*). В результате вычитания ординат кривой *3* (по абсолютной величине) из ординат кривой *1* получается кривая *2*, представляющая собою ход вторичной ошибки в зависимости от $t°$. Новая точка зрения, принадлежащая директору Международного бюро мер и весов Ш. Э. Гильому, трактует вопрос иначе.



Фиг. 18.

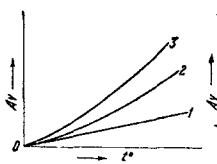
По мнению Гильома отставание хронометра вследствие ослабления пружины от нагревания происходит не по линейному закону в зависимости от $t°$, а быстрее (фиг. 19, кривая *3*), а компенсация (кривая *1*)—линейна. В результате вычитания (по абсолютной величине) ординат кривой *3* из ординат кривой *1* получается снова аномалия Дента (кривая *2*). Эти две совершенно различные точки зрения на природу явления дают один и тот же конечный результат. Расширение металлов, составляющих биметаллич. обод, происходит по закону

$$L_t = L_0 (1 + at + \beta t^2),$$

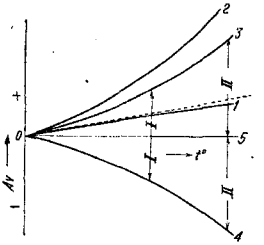
причем оба коэф-та при t и t^2 положительны. Величина первого коэф-та a для стали и латуни различна, тогда как второй коэфициент приблизительно одной и той же величины. Компенсирующее действие (action compensatrice) по Гильому пропорционально разности расширяемости обоих металлов и поэтому зависимость его от $t°$ будет $(a_2 - a_1)t + (\beta_2 - \beta_1)t^2$, но т. к. $\beta_2 \cong \beta_1$, то второй член обратится в нуль, и зависимость компенсирующего действия от $t°$

Фиг. 19.

представится в виде прямой линии (*1* на фиг. 20), к-рая получится в результате вычитания ординат кривой *2* для стали из ординат кривой *3* для латуни. Т. о. объясняется прямолинейный ход компенсации на фиг. 19. Чтобы уничтожить вторичную ошибку, необходимо, чтобы кривая компенсации представляла собою зеркальное изображение кривой отставания вследствие ослабления пружины. Эта задача была решена Гильомом путем введения в практику часового дела никелевой стали с отрицательным коэф-том β линейного расширения. Сталь эта будет расширяться по закону $L_t = L_0(1 + at - \beta t^2)$. Путем кропотливого подбора содержания никеля удалось подобрать β т. о. (фиг. 21), что в результате вычитания ординат кривой *1* никелевой стали из соответственных ординат кривой



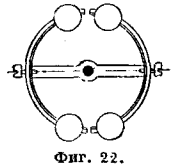
Фиг. 20.



Фиг. 21.

2 латуни кривая компенсации *3* получила необходимую кривизну и наклон для того, чтобы в результате алгебраич. сложения ее с кривой *4* отставания вследствие ослабления пружины получилась прямая линия хода *5*, слившаяся с осью *x*-ов.

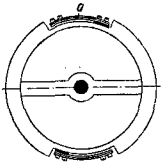
Фиг. 22 дает т. н. интегральный баланс Гильома для морских хронометров с биметаллич. ободом из латуни и никелевой стали. Своим названием он указывает, что он исправляет все ошибки, свойственные балансам. Никелевая сталь, из к-рой изготовляют внутреннее кольцо обода, содержит 44% Ni и является особой разновидностью инвара (от франц. invariable—неизменный), т. е. стали с очень малым коэф-том линейного расширения. Наряду с инваром Гильом открыл другой сплав—элинвар (51%Fe, 37% Ni и 12% Cr), который обладает тем ценным свойством, что его модуль упругости E остается неизменным в довольно большом диапазоне $t°$. Спиральные и винтовые пружины, изготовленные из этого сплава, дают возможность применять однородный латунный баланс, снабженный лишь небольшими биметаллическими придатками «аффиксами» *а* (фиг. 23), причем в биметаллических пластинках этих балансов сталь должна лежать внутри или снаружи в зависимости от термоэластических свойств пружины. Балансы этого рода нашли себе применение для средней хронометрии (карманные Ч.), т. к. они очень дешевы, удобны и не деформируются от центробежной силы. Предложены они П. Дитисхеймом.



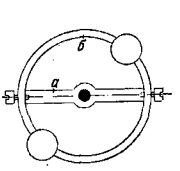
Фиг. 22.

Другой вид компенсационного баланса, предложенный Ш. Воле, изображен на фиг. 24. В нем металлы разделены: перекладина *а*—инварная, а обод *б*—латунный. При изменении $t°$ обод принимает эллиптич. форму и тем самым изменяет момент инерции. Симметричной перестановкой обоих грузов можно получить желаемую компенсацию. Стремление для наиболее ходовых сортов Ч. отказаться от разрезных балансов для уменьшения пертурбаций колебательного процесса от центробежной силы наряду с приданием балансу более гладких, легче обтекаемых воздухом форм вполне обосновано и своевременно.

Наряду с $t°$-ной компенсацией от современных Ч. требуется также компенсация на барометрич. давление, в особенности для бортовых авиационных Ч. Опыты (поставленные в последнее время) для выяснения влияния переменного давления показали, что при понижении давления вплоть до вакуума Ч. уходят вперед на 7—18 ск. в сутки. При повышении давления до 3 *кг/см²* сверх атмосферного получалось примерно той же величины отставание по сравнению с ходом при 750 *мм* рт. ст. Очень сильное влияние на работу баланса, вплоть до полной остановки Ч., оказывает намагничивание частей Ч., органов хода и пружины, к-рое может иметь место благодаря близости Ч. с проводами, несущими сильный ток, или с электрич. машинами. Попытки заменить сталь для наиболее ответственных частей в Ч. до сих пор не увенчались успехом, тем более что немагнитные стали не обладают теми механич. свойствами, к-рые предъявляются часовой пром-стью к материалам для изготовления Ч.; до сих пор в т. н. антимагнитных Ч. только спиральная пружина делается из палладия, не обладающего однако ценными свойствами стали и в особенности элинвара. Возможно заключить Ч. наглухо в толстый железный панцырь, сделав подкладку под циферблат также из железа, но, во-первых, сам корпус может намагнититься, во-вторых, он д. б. значительной толщины (> 3 *мм*), что, в особенности для карманных Ч., нецелесообразно. Намагниченные Ч. можно, размагнитить путем помещения их внутрь соленоида, питаемого переменным током (50 Hz), и последующего очень медленного и постепенного уменьшения этого тока до нуля или постепенным выниманием Ч. и медленным удалением их от соленоида. Установить факт намагничения Ч. можно при помощи магнитной иглы, но операция эта очень деликатная, т. к. игла реагирует и на мягкое железо, кроме того можно легко еще намагнитить часы.



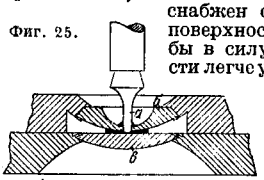
Фиг. 23.



Фиг. 24.

Баланс в обыкновенных карманных Ч. делает в час 18 000 колебаний (9 000 периодов), что соответствует 5 колебаниям в ск.; в Ч. малого размера это число доходит до 21 600 и 24 000 (т. е. 6 и 6,666... колебаний в ск.). Баланс морского хронометра как более крупных Ч. делает 14 400 (4 колебания в ск.), а для будильников употребляются балансы, делающие 16 200 колебаний ($4^1/_2$ в ск.). Такая большая скорость предъявляет исключительно серьезные требования к цапфам осей, т. н. к о н ч и к а м осей, и подшипникам балансов. На фиг. 25 изображена общепринятая конструкция

этих деталей. Кончик оси *а* диам. 0,07—0,15 *мм*, заточенный раструбом, отшлифованный, закаленный, отполированный и снабженный на нижнем конце шаровой поверхностью, работает в отверстии «полудрагоценного» (Halbedelstein) с к в о з н о г о к а м н я *б* — рубина или сапфира. Искусственные камни, приготовленные в специальных печах синтетич. способом, дешевле, лучше и однороднее естественных камней, обладают большей прочностью и меньшим коэф-том трения по отношению к стали. Ось опирается в другой т. н. н а к л а д н о й (п о к р о в н ы й) к а м е н ь *в*. Сквозной камень снабжен снаружи выпуклой поверхностью для того, чтобы в силу явлений волосности легче удержать масло (изображено на фиг. 25 черным) у отверстия для смазки оси. Масло для часов употребляется самого высокого качества, абсолютно нейтральное и незасыхающее; оно обыкновенно представляет собою смесь дистиллированного и вымороженного (для того чтобы не замерзало) костяного масла с легкими сортами парафинового масла. Применение чистого парафинового масла не рекомендуется из-за крайне неприятного свойства парафиновых и вообще минеральных масел—ползучести, благодаря к-рому масло располагается по частям механизма, оставляя место смазки почти сухим. Большое влияние на скорость засыхания (правильнее сказать окисления) масла оказывает природа и вид обработки смазываемых поверхностей. Опытами установлено, что поверхностная окись медьсодержащих металлов способствует позеленению масла с образованием медных солей жирных к-т. Фосфор, содержащийся в бронзе и прибавляемый иногда к автоматному железу для облегчения его обработки, а также посторонние включения, шлаки с содержанием алюминия и кальция, ускоряют окисление; масло делается тягучим и коричневым. Углерод в свободном и связанном состоянии в поверхностном слое цементируемых деталей каталитически разлагает масло. Чем глаже и ровнее поверхность, смазанная маслом, тем дольше оно будет держаться, зернистая же и крупнокристаллич. структура каталитически окисляют масло. Особенно важно, чтобы при чистке механизмов были полностью удалены остатки старого масла, окислы, зелень и следы растворителя и сырости. В последнее время наряду с указанными сортами часовых масел появились синтетические масла, к-рые представляют собою смеси (большей частью патентованные) органических веществ фенольного ряда (фенол, оксибензол $C_6H_5 \cdot OH$) с неоргранич. веществами и животными (копытными) маслами. Масла эти в значительной мере устойчивы и зарекомендовали себя с хорошей стороны, но растворяются не в бензине, а в толуоле (метилбензол $C_6H_5 \cdot CH_3$), что следует иметь в виду при чистке механизмов.

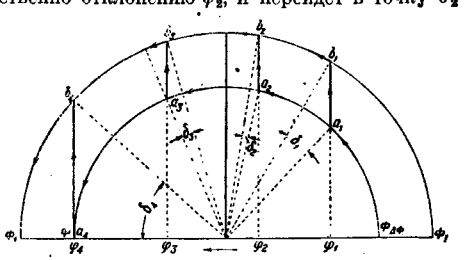


Фиг. 25.

Живая сила колеблющегося баланса или маятника при колебании все время расходуется на трение о воздух и на трение в оси (если таковая существует). Чтобы поддержать колебания на неизменной амплитуде, необходимо извне сообщать регулятору импульсы. Если амплитуда после импульса увеличилась на величину $\Delta\Phi$, то между этим увеличением и импульсом существует следующее соотношение:

$$\Delta\Phi = \frac{\Delta B}{K\Phi}, \qquad (23)$$

где K, как и раньше,—статич. момент, равный $P\lambda$ для маятника и $\frac{Eb^3h}{12L}$ —для баланса, ΔB— величина подводимого импульса в *гсм* и Φ— амплитуда. С точки зрения увеличения амплитуды совершенно безразлично, в какой момент был сообщен импульс, с точки зрения изменения периода момент получения маятником импульса играет большую роль. Как известно, можно провести аналогию колебательного движения с проекцией движения равномерно движущейся по окружности точки на какое-либо направление. Предположим, что регулятор совершает колебание с амплитудой Φ и движется справа налево (фиг. 26). В тот момент, когда он дошел до отклонения φ_1, ему сообщили извне импульс такой величины, что амплитуда регулятора увеличилась на величину $\Delta\Phi$ и стала равной $\Phi + \Delta\Phi = \Phi_1$. В этот момент точка a_1 с окружности $\Phi\Phi$ перейдет в точку b_1 окружности $\Phi_1\Phi_1$, откуда и будет продолжать свой путь влево. Угол δ_1 при этом выпадает из счета времени, т. к. точка прошла его вне времени, следовательно период сократится. Если точка получит импульс той же величины (т. е. вызывающий то же увеличение амплитуды), но ближе к положению равновесия в точке a_2, соответственно отклонению φ_2, и перейдет в точку b_2



на окружности $\Phi_1\Phi_1$, то, как видно из фиг. 26, угол $\delta_2 < \delta_1$ и уменьшение периода будет не так велико, как это имело место при отклонении φ_1. Если тот же импульс сообщить регулятору после прохождения им положения равновесия, напр. при отклонении φ_2, то, как видно из фиг. 26, точка a_3—b_3 дважды пройдет угол δ_3 и он еще раз войдет в счет времени, что повлечет за собою увеличение периода. Максимальное значение угла δ получаем, если импульс сообщен регулятору в одном из его крайних положений, напр. при угле φ_4, чему соответствуют точки a_4 и b_4 и угол δ_4.

Легко видеть, что импульс только в том случае не повлияет на период, когда он сообщен в момент прохождения регулятора через положение равновесия. Отсюда следует т е о р е м а Э р и (Airy): положительный импульс, сообщенный регулятору до прохождения им через положение равновесия, уменьшает период; положительный импульс, сообщенный регулятору после прохождения им через положение равновесия, увеличивает период; изменение периода в обоих случаях тем больше, чем дальше в рассматриваемый момент находится регулятор от положения равновесия. Отрицательные импульсы (т. е. импульсы, уменьшающие амплитуду) действуют наоборот. Все эти рас-

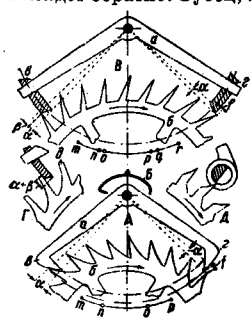
суждения имеют в виду мгновенный (внезапный) импульс. В действительности же импульс будет не мгновенным, т. к. происходит во времени, и смотря по продолжительности б. или м. приближается к мгновенному. Таковы импульсы, передаваемые регулятору ходом при работе в Ч. Если такой немгновенный импульс расположить т. о., чтобы половина его пришлась до положения равновесия, а другая половина после положения равновесия, то в силу только что сказанного период не изменится, т. к. первая половина вызовет такое же опережение (уменьшение периода), какое отставание (увеличение периода) повлечет за собою вторая его половина. Если импульс расположен несимметрично, то будет иметь место или опережение или отставание в зависимости от того, в какую сторону будет смещен импульс. Очевидно, что величина изменения периода будет также изменяться с амплитудой. Чем больше амплитуда, тем менее чувствительна будет несимметрия импульса, тем менее будет увеличение амплитуды (23). Наоборот, при малых амплитудах несимметрия дает себя сильнее чувствовать, и изменение периода будет больше. Под эту же категорию явлений можно отнести сопротивление среды и трение. Оба фактора можно рассматривать как сумму бесконечно большого числа бесконечно малых отрицательных импульсов, стремящихся уменьшить амплитуду колебаний регулятора. Как было упомянуто выше (фиг. 19), колебания регулятора будут затухающими, причем период колебаний увеличивается по сравнению с периодом свободных колебаний. Т. к. амплитуда колебаний непрерывно и постепенно уменьшается, то аналогию с движением сравнительной точки по окружности с равномерной скоростью здесь применить нельзя; сравнительная точка будет двигаться по логарифмич. спирали, непрерывно приближаясь к началу координат, к-рое является проекцией положения равновесия. При таком предположении очевидно, что длина дуги каждого нисходящего колебания будет больше, чем следующего за ним восходящего, и следовательно суммарный импульс трения или сопротивления среды будет больше при нисходящем колебании, что влечет за собою отставание (увеличение периода). К этому обстоятельству еще присоединяется увеличение асимметрии положительного импульса, передаваемого ходом, причем бо́льшая часть импульса придется на восходящее колебание, что, как известно, также вызывает отставание.

Механизм, который является промежуточным между колеблющимся регулятором и вращающейся колесной системой Ч., называется не совсем удачным, но укоренившимся термином х о д. Роль хода заключается в сообщении передаточному механизму часов правильного, через строго определенные промежутки времени повторяющегося движения и в поддержании колебаний регулятора путем передачи ему импульсов от часового двигателя—завода. Любопытно отметить, что при помощи плавного вращательного движения нельзя получить той большой точности, которая получается при прерывистом, но регулярном движении. Ход должен удовлетворять следующим условиям: а) как можно меньше влиять на свободу колебаний регулятора и в особенности обеспечивать наименьшую возможную затрату живой силы регулятора на освобождение ходового колеса; б) импульсы, передаваемые ходом регулятору, д. б. все время одной и той же величины; в) освобождение хода и импульс, передаваемый регулятору, должны иметь место в момент прохождения регулятора через положение равновесия, причем импульс д. б. по возможности кратковременным; г) трение в органах хода д. б. небольшим и неизменным, потребность хода в смазке д. б. минимальной и ход должен работать по возможности без смазки; д) ход д. б. возможно более простым и надежным в работе. Всякий ход в большей или меньшей степени удовлетворяет этим условиям, от чего и зависит их назначение и область применения. Поддержание колебаний регулятора возможно осуществить двумя способами, а именно: при помощи увеличения скорости регулятора (кинетич. привод), что должно иметь место как можно ближе к положению равновесия, и при помощи увеличения направляющей силы, приводящей регулятор в положение равновесия (потенциальный привод), что должно иметь место в крайних точках отклонения, т. е. при наибольшей амплитуде.

Часовые хода разделяются на х о д а д л я м а я т н и к а и х о д а д л я б а л а н с а, причем и те и другие в свою очередь м. б. несвободными и свободными. В н е с в о б о д н ы х х о д а х неподвижное ходовое колесо своим зубцом опирается на движущуюся часть регулятора или на деталь, жестко связанную с регулятором, вследствие чего имеет место т. н. т р е н и е н а п о к о е; регулятор движется несвободно, что отражается на амплитуде, изохронизме и пр. В с в о б о д н ы х х о д а х регулятор сцепляется с ходом на короткое время для того, чтобы, освободив своей живой силой ходовое колесо, получить от него импульс. Импульс регулятора со стороны хода может передаваться при каждом колебании вправо и влево, либо только при колебании в каком-нибудь определенном направлении, только *правом или только левом*. В таком случае во время другого колебания регулятор не получит импульса, и это колебание будет мертвым или потерянным. Хода эти называются х о д а м и с м е р т в ы м и л и п о т е р я н н ы м у д а р о м. Наконец ход может иметь такое устройство, что импульс, передаваемый регулятору, будет всегда одной и той же величины независимо от силы завода и потерь на трение, — это будут х о д а с п о с т о я н н о й с и л о й. Кроме того существует класс электрич. ходов, к-рые используют для работы силу электромагнитного притяжения. Хода, главною составною частью которых являются х о д о в о е к о л е с о и я к о р ь (а н к е р, с к о б к а), принадлежат к разряду а н к е р н ы х х о д о в, хотя по современной сокращенной терминологии под этим названием понимается только свободный анкерный ход для карманных Ч.

Представителем несвободного анкерного хода является англ. к р ю ч к о в ы й х о д, представленный на фиг. 27, А. Составными частями его являются скобка (якорь) *а* и ходовое колесо *б*. Якорь при помощи вилки жестко связан с маятником, к-рый в данный момент движется вправо, оканчивая восходящее колебание. Зубец ходового колеса лежит на входной палете *в* якоря и благодаря наклону ее слегка отходит назад, т. е. ходовое колесо поворачивается слегка против часовой стрелки. При обратном движении маятника зубец будет скользить по входной палете, сообщая якорю и связанному с ним маятнику импульс, т. к. колесо стремится

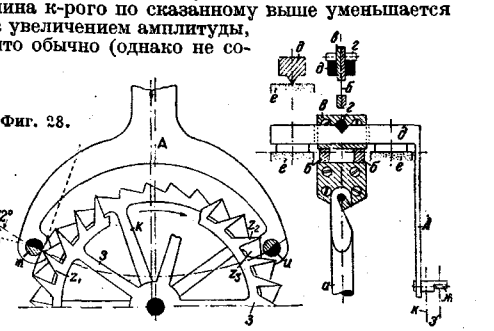
вращаться по часовой стрелке под действием завода, а рабочая поверхность входной палеты наклонная. Импульс будет продолжаться до тех пор, пока зубец не соскользнет с входной палеты. Затем колесо *б* быстро повернется направо, и зубец, стоящий перед правой выходной палеттой *г*, упадет на нее. После падения зубца маятник будет все еще двигаться влево, описывая дополнительную дугу, закончит ее и пойдет обратно. Зубец, лежащий на выходной палетте, скользя по наклонной плоскости импульса выходной палеты, сообщит маятнику второй импульс. Угол *α* между радиусами, проведенными из оси качания якоря через точку касания зубца с соответственной палеттой при его падении на палету и через крайнюю точку палеты, называется углом импульса. Ход этот характерен формой рабочих поверхностей палет якоря. Поверхность входной палеты выпуклая, поверхность выходной палеты плоская. В этом ходе после падения зубец отходит назад, чем в старину пользовались для исправления неизохронности маятника.



Фиг. 27.

В настоящее время ход этот с массивным якорем, как изображено на фиг. 27,А, почти не употребляется, зато находит себе применение дешевое исполнение этого хода (шварцвальдский ход) с гнутой стальной скобкой (фиг. 27, Б) для Ч.-ходиков, изготовляемых 2-м Государственным часовым заводом. Применение этого хода выгодно для коротких маятников (продолжительность одного колебания $^1/_2$ и $^1/_4$ ск.). На той же фигуре показана в виде дуги *mnop* упрощенная диаграмма работы хода. Дуга *mp* изображает двойную амплитуду маятника, в точках *n* и *o* зубцы спадают с палет, тогда при правом качании импульс имеет место от *m* до *o*, при левом качании—от *p* до *n*, на участках *op* и *nm* происходит отход назад. Тогда *no* представляет собою тот угол *α*, во время к-рого маятник получает импульс, а дуги *nm* и *op* будут дополнительными дугами. Переход от импульса к дополнительной дуге сопряжен с т. н. падением ходового колеса, измеряемым дугой *f* окружности колеса, благодаря которому возникает всем известное тикание Ч. Падение необходимо всегда предусмотреть для того, чтобы ход не мог заклиниться при возможных неточностях изготовления. Входящее трение, с к-рым движется зубец по палетте, после того как он упал на нее,—фактор крайне нежелательный в часовых механизмах даже при хорошей смазке; он служит причиной того, что в точных Ч. ход этот никогда не употреблялся, уступив свое место ходу Грагама, который и до сих пор пользуется всеобщим распространением (фиг. 27, В). Якорь *а* хода Грагама снабжен отшлифованными с обоих концов отдельными вставными палеттами *в* и *г* для возможной замены или исправления. Рабочие поверхности палетт цилиндрические; ось этого цилиндра совпадает с осью вращения якоря. Ход этот, так же как предыдущий и вообще все анкерные хода, работает по касательной, т. е. ось вращения якоря лежит на пересечении двух касательных к внешней окружности ходового колеса *б*. На фиг. 27, В изображен тот момент, когда зубец только что соскочил с выходной палеты *г*, упав при этом на угол *f*, вершина к-рого лежит на оси вращения ходового колеса; соответствующий зубец лег на входную палету *в*, на покой, величина к-рого определяется углом покоя *β*. При качании справа налево острие зубца будет скользить по наклонной плоскости палеты—плоскости импульса, поднимая входную палетту (поворачивая якорь) на угол импульса *α*. Зубец колеса наклонен вперед для того, чтобы касание зубца с палеттами имело место только в его острие. При движении маятника вправо импульс начнется в точке *o* и окончится в точке *q*, при левом движении маятника начало и конец импульса будут точки *p* и *n*, участки *no* и *pq* соответствуют покоям на входной и выходной палеттах, а *mn* и *qr*—дополнительным дугам. Во избежание изгибания и износа кончиков зубцов ходового колеса, в особенности в крупных Ч. с тяжелыми маятниками, импульс иногда распределяют (фиг. 27,Г) т. о., что часть его протекает на палете, а другая часть на зубце, для чего кончик зубца снабжается также наклонной импульсной плоскостью *д*. Зубцы такой формы называются швейцарскими в отличие от острых английских зубцов.

Для часов с коротким маятником и открытым видимым ходом часто употребляется ход Броко (фиг. 27, Д), палеты к-рого представляют собою полусрезанный цилиндр (оставшаяся часть заштрихована). Ход этот в известной мере схож с крючковым ходом, т. к. дает легкий отход назад. Из диаграммы работы хода (фиг. 27, В) следует, что импульсы распределены несимметрично; бо́льшая часть импульса приходится на восходящую дугу качания, вследствие чего получается отставание, величина к-рого по сказанному выше уменьшается с увеличением амплитуды, что обычно (однако не совсем точно) формулируется так: ход дает опережение на больших дугах (амплитудах). Все хода, изображенные на фиг. 27, принадлежат к классу несвободных ходов (с трением на покое), т. к. у них маятник, жестко (посредством вилки) связанный с якорем, движется несвободно вследствие того, что зубец ходового колеса, лежащий на палете, трется о нее.

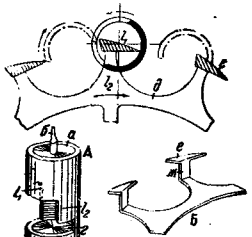


Фиг. 28.

Ход Рифлера (фиг. 28) является представителем класса свободных анкерных ходов для маятника с постоянной силой. Он применяется исключительно в точных астрономич. Ч. и требует хорошей установки Ч. (без тряски и вибраций) и умелого и бе-

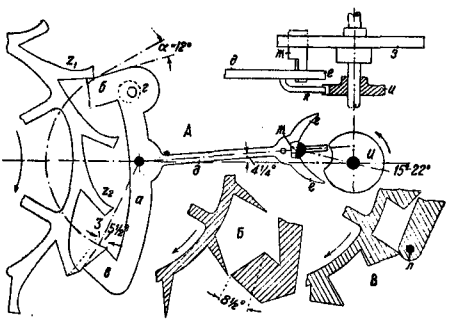
режного обращения. До последнего времени он считается самым лучшим ходом для точных Ч. Маятник *а* подвешен на пендельфедере *б*, состоящем из двух стальных листков толщиною 0,10—0,11 *мм*. Верхняя оправа *в* пендельфедера посредством штифта *г* лежит на качающейся поперечине *д*. Другой связи между маятником и ходом нет. Поперечина *д* жестко связана с якорем *А* и может качаться на призмах, опирающихся на агатовые подушки *е*. Острое ребро призм поперечины *д* совпадает с осью вращения маятника, лежащей в расстоянии $^1/_3$ длины пружин от верхней оправы пендельфедера. При движении маятника влево полусрезанная входная палетта *жс* освобождает зубец z_1 колеса покоя *з*, и оба колеса (колесо импульса *к* и колесо покоя *з*) поворачиваются на полшага по часовой стрелке до тех пор, пока зубец z_2 колеса покоя не ляжет на плоский срез выходной палеты *и*. При этом последняя будет отведена вправо зубцом z_3 колеса импульса, к-рое жестко вместе с колесом покоя насажено на общую ось. При этом поперечина *д* вместе с верхней оправой *в* повернется влево, пендельфедер *б* изогнется, и маятнику без всякого толчка будет передан импульс (потенциальный привод), к-рый в данном случае заключается в увеличении направляющей силы. Трение зубцов колеса покоя о палету будет самое незначительное, т. к. плоскости среза обеих палет наклонены под углом 12° к радиусу ходового колеса в момент освобождения, в то время как угол трения латуни о камень палеты будет порядка $8^1/_2$—9°. Справа на фиг. 28 изображена палетта *жс* и показаны пунктиром плоскости обоих колес *з* и *к*; колесо *к* работает на круглой, а колесо *з* на срезанной части палеты. Импульс, передаваемый маятнику, будет всегда одной и той же силы, т. к. пендельфедер всегда изгибается на один и тот же угол.

Из числа несвободных ходов для баланса еще и теперь находит себе применение ц и л и н д р о в ы й х о д (фиг. 29). Несмотря на своеобразную, совсем непохожую на нормальный анкерный ход конструкцию ход этот принадлежит к разряду анкерных ходов с углом обхвата (т. е. центральным углом, стороны которого проходят от оси вращения ходового колеса через середины палет якоря), уменьшенным до возможного минимума, т. е. до $^1/_2$ шага, что при 15 зубцах ходового колеса составляет 12°. Палеты, к-рые в ходе Грагама вставлялись в якорь отдельно, в этом ходе образуют боковую и внутреннюю поверхность так называемого цилиндра (фиг. 29,А), который представляет собою полированную внутри и снаружи трубку, закрытую сверху и снизу пробками или тампонами *а* с кончиками *б* для вращения в камнях подшипника. В нижней части цилиндр имеет два выреза, первый вырез оставляет стоять ок. 200° всей окружности, а второй, более глубокий, только 100°. Края первого среза играют роль палет и называются г у б к а м и: l_1 — входная губа и l_2 — выходная. Нижний вырез *г* — т. н. п р о х о д, или п а с а ж, — служит для пропуска нижней части



Фиг. 29.

зубца ходового колеса *д*. Ходовое колесо также довольно своеобразно (фиг. 29,Б): головки *е* зубцов укреплены на ножках *жс* и устроены так, что почти весь импульс, за исключением небольшой его части, происходит на спинке головки зубца. На фиг. 29 сверху показана работа хода. Слева дано положение, когда зубец, лежащий на входной губе, переходит с покоя на импульс. Средняя часть фигуры фиксирует момент, когда цилиндр, дойдя до своего крайнего положения при повороте вправо, начинает двигаться в обратном направлении. Острие зубца скользит по внутренней поверхности цилиндра, причем зубец лежит на покое, а нижняя часть ножки входит в проход *г*. Наконец справа показан



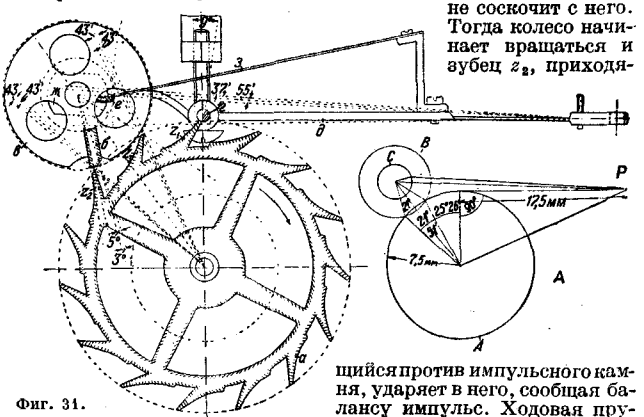
Фиг. 30.

момент, когда спинка зубца поднимает правую выходную губу цилиндра, передавая импульс балансу, к-рый вместе с спиральной пружиной насажен на втулку, держащуюся трением на верхней не вырезанной части цилиндра. Ход этот, как видно, крайне прост и дешев, т. к. ходовое колесо можно изготовить штамповкой в два приема без всякой дополнительной обработки. Амплитуда колебаний цилиндра не превосходит 180° в каждую сторону и обычно бывает 150—160°; при амплитудах, бо́льших 180°, может произойти заклинивание и поломка хода. Для устранения этого баланс снабжается упорным штифтом, к-рый ограничивает его амплитуду. Недостатком этого хода является наличие трения, к-рое требует применения масла и делает работу хода неустойчивой и не поддающейся точной регулировке.

Самым важным и наиболее распространенным современным ходом является с в о б о д н ы й а н к е р н ы й х о д д л я к а р м а н н ы х Ч. (фиг. 30). В настоящее время он повсеместно употребляется не только для карманных Ч., но и вообще во всех видах переносных часовых механизмов, тахометрах, регистрирующих приборах, приборах специального назначения и пр. и только в морских хронометрах он уступает первенство хронометровому ходу, к-рый является наилучшим именно для этих инструментов. Фиг. 30, А изображает вид сверху немецкого анкерного хода с швейцарскими зубцами. Якорь *а* с палеттами *б* и *в* неравноплечий (т. к. не середины палетт, а поверхности покоя одинаково удалены от оси вращения якоря); он ограничен в движении неподвижным штифтом *г*, который входит в более широкое отверстие в якоре. Якорь составляет одно целое с в и л к о й *д*, снабженной р о ж к а м и *е* и вырезом, в к-рый входит к о л о н ш т е й н *жс*, служащий для передачи им-

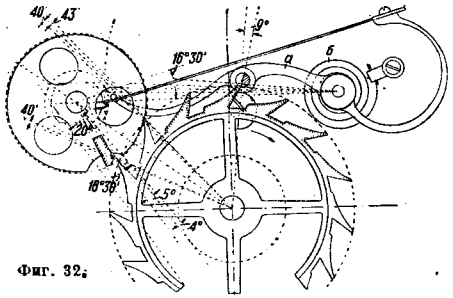
пульса балансу и укрепленный в импульсной ролькe *s*, жестко связанной с балансом. Баланс только что прошел дополнительную дугу при вращении влево, и колонштейн вошел в вырез вилки. При дальнейшем движении до начала импульса он повернет вилку от крайнего верхнего положения приблизительно на $1^1/_2°$. На это баланс затратит часть приобретенной им во время движения кинетической энергии, тем более что рабочая плоскость входной палеты *б* наклонена к радиусу ходового колеса под углом притяжки $a=12°$ для того, чтобы обеспечить неподвижность вилки и якоря под давлением зубца ходового колеса. Теперь начнется импульс: сначала зубец z_1 будет скользить по плоскости импульса входной палеты *б* своим острием, а затем задняя кромка плоскости импульса входной палеты начнет скользить по плоскости импульса зубца z_1, в результате чего вилка повернет колонштейн *эс*, а вместе с ним и баланс против часовой стрелки. По окончании импульса баланс начнет свою дополнительную дугу, двигаясь совершенно свободно, так как колонштейн вышел из выреза вилки якоря, и всякое соединение якоря с балансом прервалось. По окончании импульса ходовое колесо спадет, зубец z_2 ляжет на покой выходной палеты *в* и будет лежать до тех пор, пока колонштейн, двигаясь по часовой стрелке, снова не переложит вилку в крайнее верхнее положение. Предохранительная ролька *и*, копье *к* и рожки *е* служат предохранительными органами хода для того, чтобы случайный толчок не перекинул вилку в другое положение, что повлекло бы за собою остановку хода Ч. Притяжка (угол $a=12°$) на обеих палеттах необходима для того, чтобы копье *к* не касалось малой рольки *и* на покое и не терлось о ее боковую поверхность. При импульсе якорь поворачивается на $8'/_2°$, из к-рых 3° приходится на зубец и $5'/_2°$ на палетту. Весь подъем будет равен $1'/_2°$ покоя и $8'/_2°$ импульса, всего 10°; падение *f* равно 3° у английского и 1°30′ у немецкого и швейцарского ходов. Расстояние колонштейна от оси вращения баланса подбирается т. о., чтобы баланс в это время повернулся на угол 30—40°, причем наиболее употребительна первая цифра. При английском исполнении анкерного хода зубцы ходового колеса острые (фиг. 30, Б) и палетта гораздо шире, т. к. весь импульс приходится на нее. На континенте этот тип анкерного хода почти не встречается. Зато штифтовой анкерный ход (фиг. 30, В) употребляется для будильников и анкерных Ч. дешевого и массового исполнения. В штифтовом ходе весь импульс приходится на зубец, а притяжка осуществляется наклоном передней грани зубца на 18° к радиусу ходового колеса. Якорь лежит за плоскостью колеса, а штифты *л*, приклепанные к нему, играют роль палетт.

Хронометровый ход с ходовой пружиной в том виде, как он употребляется в морских хронометрах, изображен на фиг. 31. В этом ходе ходовое колесо *а* при импульсе действует непосредственно своими зубцами на и м пульсный камень *б*, укрепленный в вырезе большой рольки *в*. В положении, показанном на фиг. 31, ходовое колесо не вращается, т. к. его зубец z_1 лежит на камне покоя *г*, укрепленном на ходовой пружине *д*. По мере того как баланс поворачивается против часовой стрелки и импульсный камень подходит под зубец ходового колеса, спусковой камень *е*, укрепленный в малой рольке *эс*, отводит золотую пружину *з*, опирающуюся на выступ ходовой пружины, а с нею и всю ходовую пружину вправо, пока зубец z_1, лежащий на камне покоя *г*, не соскочит с него. Тогда колесо начинает вращаться и зубец z_2, приходящийся против импульсного камня, ударяет в него, сообщая балансу импульс. Ходовая пружина тем временем соскочит со спускового камня и снова займет свое нормальное положение, и следующий зубец z_3 ходового колеса ляжет на нее. При обратном движении спусковой камень отогнет только одну золотую пружину и, сбросив ее с минимальной затратой живой силы, начнет дополнительную дугу по часовой стрелке. Т. о. каждое правое колебание будет мертвым, потерянным, без импульса. На фиг. 31,А изображено соотношение между окружностью ходового колеса *A*, окружностями, описываемыми импульсным *B* и спусковым *C* камнями, точкой прикрепления *P* ходовой пружины и величиной углов подъема ходовой пружины (55′) и импульса (21°51′). Плоскость камня покоя делается с притяжкой в 9°. Угол покоя равен 37′; ходовое колесо освобождается после того, как импульсный камень на 5° пройдет острие неподвижного зубца z_2. Передняя плоскость зубца поднутрена на 3°, чтобы касание происходило лишь в одной точке — вершине зубца. Толщина вершины зубца и зазор в угловой мере взяты по 43′. Ходовое колесо здесь, как и в анкерном ходе, имеет 15 зубцов, и т. к. баланс делает в час 14 400 колебаний, то стрелка хронометра будет передвигаться через каждые $^1/_2$ ск. Как акустич. нониус при сличении хронометров часто употребляют т. н. тринадцатибойщик, продолжительность двух колебаний к-рого не $^1/_2=^6/_{12}$ ск., как у обыкновенного хронометра, а $^6/_{13}$ ск. Этот хронометр должен давать с обыкновенным хронометром совпадение ударов через каждые 6 ск. Определяя число совпадений тринадцатибойщика с нормальным и затем со сравниваемым хронометром, можно определить суточный ход последнего по сравнению с нормальным. Другой вид хронометрового хода — хронометровый ход с защелкой — представлен на фиг. 32. Здесь вместо ходовой пружины применена за-



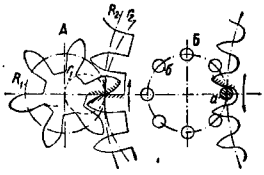
Фиг. 31.

щелка *а*, т. е. жесткий рычаг, вращающийся на оси и возвращающийся в исходное положение посредством спиральной пружины *б*. В остальном этот тип хронометрового хода не отличается от пружинного. Он находит себе применение в небольших хронометрах, т. н. с р а в н и т е л ь н ы х Ч. карманного типа, т. к. меньше боится тряски и преждевременного спуска. Основным недостатком хронометровых ходов является так наз. о с т а н о в к а н а п о к о е, к-рая происходит тогда, когда баланс под влиянием внешних причин (толчок, сотрясение, резкий поворот всего механизма в плоскости баланса и пр.) получает отрицательный импульс настолько сильный, что амплитуда резко падает и ход останавливается. Хронометр после остановки не начнет итти сам, необходимо подтолкнуть баланс. Другим неприятным свойством хронометрового хода является г а л о п и р о в а н и е, происходящее в том случае, когда внешние причины создадут добавочный положительный импульс, в результате к-рого баланс сделает амплитуду больше одного оборота (360°), тогда он получит подряд два импульса и следом за ними два мертвых колебания, а если амплитуда возрастет еще больше, то число импульсов м. б. и 3—4. Ч. будут пребывать в этом форсированном состоянии до тех пор, пока какая-нибудь внешняя причина не уменьшит их амплитуду до нормальной. Преждевременный спуск имеет место тогда, когда ходовая пружина или защелка освободит зубец ходового колеса преждевременно; ходовое колесо повернется и зубцы его заклинят большую рольку, тогда ход останавливается. Для предотвращения этого недостатка фаске камня покоя дается наклон в 9—12° для того, чтобы она втягивалась под зубец, лежащий на покое (притяжка). Несмотря на перечисленные недостатки хронометровый ход является все же самым лучшим и точным для научных работ, астрономич. наблюдений, экспедиций и определения долготы на море.



Фиг. 32.

Для передачи вращательного движения от одной вращающейся оси часового механизма к другой оси служат зубчатые колеса. В главном механизме Ч. ведомые оси всегда вращаются с угловою скоростью большею, чем ведущие оси, передаточное число будет всегда больше единицы; ведомыми всегда будут трибки, ведущими—колеса. Зубчатая пара—колесо и трибка—должна работать так, чтобы передаточное число было постоянным и не изменялось при переходе с одного зубца на другой, трение было наименьшим и профиль зубцов подобран т. о., чтобы зубцы как можно больше катились друг по другу и как можно меньше скользили. Передаточные числа в часовых механизмах всегда довольно большие: как наименьшее можно принять $^3/_1$—$^4/_1$; передача $^6/_1$—$^{10}/_1$ встречается сплошь и рядом и иногда доходит до $^{15}/_1$; при бо́льших передачах рекомендуется брать две пары колес. Модули зубчатых колес и трибок в часовых механизмах колеблются в пределах 0,1—1,0 *мм*. Т. к. при общепринятой эвольвентной передаче осуществление столь больших передаточных чисел при малом числе зубцов представляет трудности и зубцы колес получаются сильно подрезанными, то в часовом деле применяется почти исключительно циклоидальное зацепление и лишь в последнее время, когда появилась возможность исправлять эвольвентное зацепление т. о., что оно сделалось пригодным для колес с малым числом зубцов, циклоидальное зацепление начало постепенно уступать свою позицию в пользу эвольвентного, к-рое со временем по всей вероятности и вытеснит первое окончательно. На фиг. 33, А дана трибка-шестерка (т. е. имеющая 6 зубцов), сцепляющаяся с колесом в 60 зубцов. Часовое зацепление представляет собою частный случай циклоидального, когда радиусы r_1 и r_2 вспомогательных (катящихся) окружностей равны половине радиусов R_1 и R_2 начальных окружностей, при этом головки зубцов образованы эпициклоидами, а ножки обоих колес ограничены прямыми линиями. Профиль головки колеса при теоретически правильном зацеплении зависит от числа зубцов трибки и наоборот. На практике это неудобство обходят, довольствуясь приближенными профилями, ограниченными вместо эпициклоид дугами окружности. Зацепление ранее линии центров нежелательно, так как сопровождается входящим трением, поэтому головку ведомого колеса (трибки) закругляют, если продолжительность зацепления достаточно велика. Закруглять можно трибки с числом зубцов 8 и более; при 6 зубцах получится чересчур малая продолжительность зацепления. Толщина зубца колеса берется всегда равной $^1/_2$ шага $= {}^1/_2 t$, а толщину зубца трибки делают меньше для получения необходимого зазора. Так неравномерно распределяется зазор потому, что материал трибки (сталь) более крепкий, чем материал часового колеса (латунь). Размеры колес и трибок принято выражать в модулях (модуль $M = \frac{t}{\pi}$).



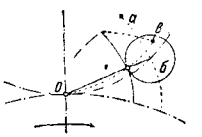
Фиг. 33.

Обозначая число зубцов колеса через z, трибки—через z', по швейцарским данным имеем:

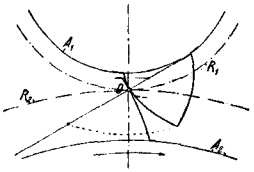
Колесо		Трибка	
Диаметр колеса	$(z+2{,}70)M$	Диаметр трибки	$(z'+1{,}48)M$
Толщина зубца	$1{,}57\ M$	Толщина зубца	$1{,}15\ M$
Высота головки	$1{,}35\ M$	Высота головки	$0{,}74\ M$
Полная высота зубца	$2{,}90\ M$	Диаметр стержня	$(z'-3{,}50)M$

Для мелких механизмов толщину зубца трибки иногда берут иную: 1,05 *M* для 6, 7, 8 и 9 зубцов, а для 10 и выше зубцов—1,25 *M*, хотя такой довольно резкий скачок ничем себя не оправдывает. Для дешевых механизмов, а также в тех случаях, когда есть основания опасаться загрязнения передачи, употребляются цевочные трибки (фиг. 33, Б). В этом случае профиль зубца колеса д. б. ограничен кривою (фиг. 34а), равноотстоящей от циклоиды (пунктирная кривая *а*) на расстоянии, равном радиусу цевки *б*.

Передача эта очень проста, дешева и действует вполне удовлетворительно, представляя в то же время то преимущество, что почти все зацепление, происходящее по линии *Ов* имеет место за *линией центров*. *При эвольвентном зацеплении* (фиг. 34б) общая касательная двух ос-



Фиг. 34а.



Фиг. 34б.

новных окружностей A_1 и A_2 образует собою профиль то одного то сопряженного с ним зубца путем обкатывания ее по основным окружностям. R_1 и R_2—начальные окружности, к-рые касаются друг друга и пересекаются с произвольной *прямой в полюсе О зацепления*. *Линия* зацепления в отличие от циклоидального зацепления здесь прямая, совпадающая с общей касательной. Конические и червячные колеса и иные виды передач не нашли себе применения в часовом деле и если употребляются, то крайне редко. Расчет колесной системы Ч. производят, исходя из передаточных чисел и чисел оборотов колес, оси к-рых снабжены стрелками; их два: *среднее колесо* и *секундное колесо*; также играет роль число зубцов ходового колеса при заданном периоде баланса. Обозначая продолжительность завода через T_a, время одного оборота барабана (в часах) через t_a и число оборотов барабана через N, имеем

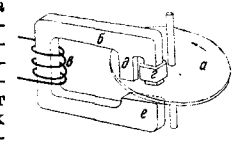
$$T_a = t_a N. \qquad (24)$$

Т. к. барабан делает один оборот в t_a часов, а среднее колесо один оборот в 1 час, то t_a численно равно передаточному числу от барабана к среднему колесу. Если через N_n обозначить число колебаний баланса или маятника в 1 час, число зубцов ходового колеса через z_g, то передача n от среднего колеса к ходовому

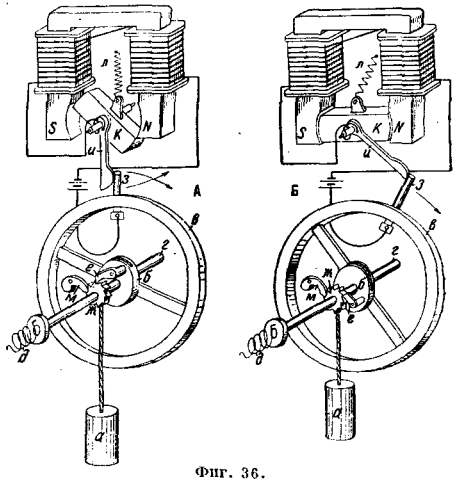
$$n = \frac{N_n}{2z_g}. \qquad (25)$$

Кроме того можно присоединить к этому как условие, если в Ч. есть секундная стрелка, что передача от среднего колеса к секундному равна 60. На этих данных основаны цифры, приведенные в табл. 1. Напр. очевидно, что карманные Ч. № 7 снабжены барабаном, делающим $4^1/_2$ оборота, т. к. передача $\frac{96}{12} = 8$ час. одного оборота барабана, что при продолжительности завода в 36 час. дает $N = \frac{36}{8} = 4^1/_2$; передача от среднего колеса к ходовому равна $\frac{18000}{2 \cdot 15} = 600$, так как баланс делает 18 000 колебаний, а число зубцов ходового колеса равно 15. Это число получится и в результате деления произведения чисел зубцов колес на произведение чисел зубцов трибок, т. е. $\frac{80 \cdot 75 \cdot 80}{10 \cdot 10 \cdot 8} = 600$. Передача от среднего колеса к секундному очевидно равна $\frac{80 \cdot 75}{10 \cdot 10} = 60$, как и следовало ожидать. В годовых Ч. (№ 9) 1 оборот барабана происходит в $\frac{90 \cdot 84 \cdot 60 \cdot 48}{12 \cdot 12 \cdot 10 \cdot 8} = 1\,890$ часов, что объясняется большой продолжительностью завода. По этому принципу рассчитывают все механизмы часов.

Под названием *электрических* или правильнее—*электромагнитных* Ч. понимают механизмы, в к-рых электрич. ток играет роль или источника силы для заводки Ч. или служит для передачи показаний главных—*маточных* — Ч. на расстояние. Ч. первого рода правильнее назвать Ч. с электрич. заводами; представителем их являются Ч., где заводом служит двигатель Феррариса (фиг. 35). Он состоит из красномедного или алюминиевого диска *а*, вращающегося в поле электромагнита *б*, питаемого переменным током, протекающим по обмотке *в*. Для создания вращающегося поля *один или оба полюса* электромагнита разрезаны и на один из выступов насажено красномедное кольцо *г*. Благодаря этому возникает разность фаз магнитных потоков в *д* и *е*, получается переменное поле, и диск начинает вращаться против часовой стрелки, если смотреть сверху. Этот двигатель при помощи небольшой пружинки передает движение промежуточному колесу, и Ч. будут итти с постоянным моментом на оси ходового колеса. Барабанное колесо с барабаном и добавочное колесо при таком заводе отпадают как ненужные. Двигатель этот включен все время и действует непрерывно. Примером завода, действующего периодически и пригодного для постоянного и переменного тока, служит часовой завод системы



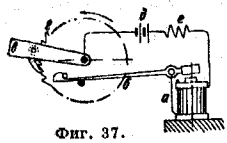
Фиг. 35.



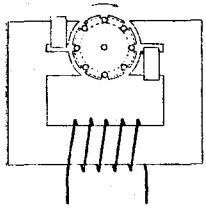
Фиг. 36.

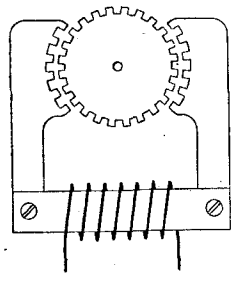
Электроцейт (фиг. 36, А). В этом заводе источником силы служит гиря *а*, подвешенная на шнурке, намотанном на шкив *б*. Последний соединен наглухо с маховиком *в* и насажен свободно на ось *г*, к-рая посредством пружины *д* приводит *в действие* часовой механизм. *При опускании* гири маховик вращается против часовой стрелки, захватывая собачкой *е* храповик *ж*с и поворачивая т. о. ось *г* до тех пор, пока штифт *з* не коснется рычага *и*, связанного с якорем *к* электромагнита *SN*. Прикосновение рычага *и* к штифту *з* замыкает ток батареи, якорь притянется полюсами, как это изображено на фиг. 36, Б,

и рычаг *и* с силою толкнет штифт *з*, вследствие чего маховик быстро повернется вправо и под действием своей живой силы поднимет гирю *а*, после чего ток разомкнется и якорь *к* станет под действием пружины *л* в положение, указанное на фиг. 36, А. Собачка *м* не дает возможности храповику *ос* на оси *г* поворачиваться при заводе вправо. В течение времени завода действует спиральная пружина *д*, отдающая накопленную в ней энергию, т. о. действие этого завода непрерывно.

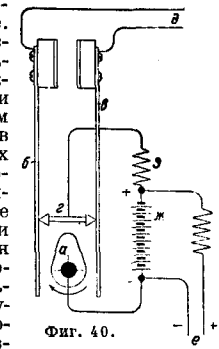

Фиг. 37.

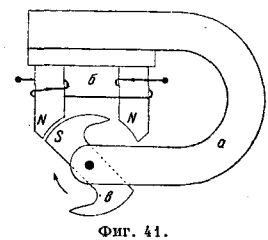
В заводе Рифлера (фиг. 37) электромагнит *а* при помощи рычага *б*, соединенного с его якорем, подбрасывает вверх весовой рычаг *в*, к-рый своей собачкой действует на храповик *г*, сидящий на оси промежуточного колеса. При опускании рычага *в* вниз происходит замыкание тока батареи *д* на электромагнит, и рычаг подбрасывается вверх. Для регулирования силы электромагнита и т. о. высоты подбрасывания рычага *в* служит переменное сопротивление *е*. Этот завод применяется в самых точных Ч. фирмы С. Рифлер. В последние годы в качестве часовых механизмов стали применять синхронные двигатели (фиг. 38 и 39), питаемые от сети переменного тока, частота к-рой поддерживается постоянной. Число оборотов такого двигателя определяется выражением $n = \frac{60f}{p}$, где n—число об/м., f—частота и p—число пар полюсов. Двигатель, изображенный на фиг. 38, имеет 1 пару полюсов; он будет делать при f = =50 Hz 3 000 об/м. Для удобства пуска он снабжен пусковыми короткозамкнутыми красномедными пряжками и после включения уже через $^1/_{25}$ ^{s} приобретает нормальную скорость. Другой двигатель этого рода (фиг. 39) снабжен двенадцатью парами полюсов и более прост и дешев по устройству, но нуждается для пуска в предварительном раскручивании от руки. Потребляют такие двигатели от 2 до 4 W электрической энергии и работают очень надежно, но правильность хода синхронных Ч. всецело зависит от постоянства частоты питающего их переменного тока.

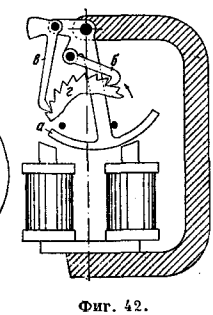

Фиг. 38.


Фиг. 39.

В тех случаях, когда в пределах одного определенного участка (таковым является завод, больница, школа, вокзал, ж.-д. узел и т. п.) необходимо установить единое время, т. е. согласовать показания Ч., размещенных в данном участке, с одними образцовыми (главными, или маточными, Ч.), применяется электрочасовая установка для распределения времени. В этой установке центральное место занимают главные Ч., посылающие каждую минуту (иногда $^1/_2$ мин. или каждую ск.) импульс тока от аккумуляторной батареи в сеть вторичных Ч., которые по получении этого импульса передвигают свои стрелки на 1 минуту (30 ск. или 1 ск.) вперед. Вторичные Ч. не являются часовым механизмом в полном смысле этого слова, они в большинстве случаев представляют собою поляризованные электромагнитные счетчики числа импульсов, лишенные завода, хода и регулятора, но снабженные общепринятым циферблатом и стрелками. Опыт показал, что поляризованные механизмы, т. е. работающие от тока, изменяющего свое направление на обратное каждую минуту, лучше и надежнее работают, чем неполяризованные, и в современных вторичных Ч. на континенте Европы применяют исключительно поляризованные механизмы, в Англии и Америке встречаются и неполяризованные вторичные Ч. Схема механизма первичных Ч., служащих для посылки токов переменного направления, изображена на фиг. 40. Кулачок *а* в конце каждой минуты делает $^1/_2$ оборота, поворачиваясь от часового механизма; при этом он отжимает одну из пружин *б* или *в* от контактной колодки *г*, в результате чего происходит посылка тока по проводам *д* в течение 1—2 ск. во вторичные Ч. По проводам *е* производится зарядка аккумуляторной батареи *ос* от осветительной сети или выпрямителя. Сопротивление *з*, включенное перед колодкой *г*, служит для предупреждения короткого замыкания батареи в первый момент прикосновения кулачка *а* к пружинам *б* или *в*. Во вторичных Ч. один из полюсов постоянного магнита *а* (фиг. 41) намагничивает оба полюса электромагнита *б* северным, а вращающийся перед ним Z-образный якорь *в*—южным магнетизмом. При посылке токов переменного направления один из полюсов электромагнита усиливается, а другой ослабляется попеременно, в результате чего при каждом импульсе якорь *в* поворачивается на $^1/_4$ оборота. Если на ось якоря насадить трибку с 8 зубцами и сцепить ее с колесом в 120 зубцов, то последнее будет делать (при минутном импульсе) ровно один оборот в час, т. е. будет средним, или минутным, колесом вторичного механизма. Сопротивление катушек электромагнита обычно колеблется от 400 до 1 000 Ω и выбирается в соответствии с

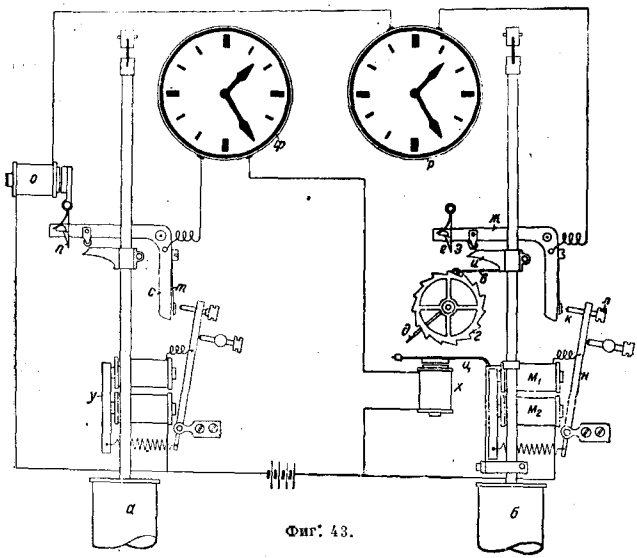

Фиг. 40.


Фиг. 41.


Фиг. 42.

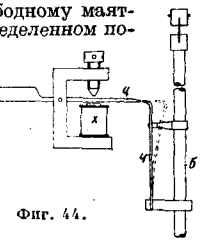
длиной линии вторичных Ч. и напряжением батареи маточных Ч. На фиг. 42 изображены схематически вторичные Ч. с качающимся якорем, в электрическом отношении идентичные с вышеописанными часами. Якорь *а* здесь соединен с двумя собачками *б* и *в*, передвигающими при каждом качании храповое среднее колесо *г*. Особенно ценным и удобным оказалось применение электрич. тока в точной хронометрии; только при помощи электромагнитного механизма, напр. изображенного на фиг. 37, оказалось возможным заводить Ч., заключенные в герметически закрытый футляр при постоянном давлении.

Особенно большая точность и постоянство хода были получены в последнем десятилетии В. Х. Шортом в Ч., предложенных им и построенных по совершенно новому принципу. Основной мыслью Шорта является освобождение маятника главных Ч. от какой бы то ни было механич. работы, как бы мала и ничтожна она ни была; вся вспомогательная работа выполняется другим вспомогательным или по терминологии Шорта рабским маятником. На фиг. 43 представлена схема Ч. сист.



Фиг. 43.

Шорта, где левый маятник *а* является свободным маятником, а правый *б*—рабским. При качании рабского маятника собачка *в* поворачивает колесо *г*, к-рое при помощи пластинки *д* освобождает защелку *е*; при этом коленчатый рычаг *жс* падает и, скользя роликом *з* по наклонной плоскости *и*, укрепленной на штанге маятника, сообщает рабскому маятнику импульс. Вместе с тем одновременно замкнется контакт между пружиной *к* и винтом *л*, что повлечет за собой возбуждение катушек $м_1$, $м_2$ электромагнита, притягивание якоря *н* и возвращение рычага *жс* в исходное положение, где он задерживается защелкой *е*. Последовательно с обмотками $м_1$, $м_2$ электромагнита включены вторичные Ч. *р* и все вторичные Ч. линии и кроме того электромагнит *о* защелки *п* свободного маятника *а*, которая при прохождении тока через электромагнит освободит коленчатый рычаг *с*, поворачивающийся под действием своего веса против часовой стрелки и сообщающий совершенно аналогичным с описанным выше способом импульс свободному маятнику *а*. В совершенно определенном положении маятника *а* контактная пружина *т* замкнет цепь обмоток электромагнита *у*. При этом, как описано выше, рычаг *с* будет возвращен в исходное положение и кроме того будет послан импульс тока в первичные контрольные часы *ф* и в обмотку синхронизирующего корректионного электромагнита *х*. Последний (фиг. 44) притянет свой якорь *ч*, который упрется в острие ускоряющей пружины *ч*, укрепленной на штанге рабского маятника *б*, и ход последнего т. о. будет исправлен импульсом, сообщаемым свободным маятником. Рабский маятник регулируется так, чтобы правые Ч. без корректии отставали в сутки примерно на 6 ск. по



Фиг. 44.

сравнению со свободным маятником. Отставание на 6 ск. в сутки соответствует отставанию на $\frac{1}{480}$ ск. за полминуты, т. ч. при ускоряющем действии пружины в $2 \cdot \frac{1}{480} = \frac{1}{240}$ ск. за полминуты и работе ускоряющей пружины однажды в минуту разность фаз обоих маятников не превзойдет $\frac{1}{240}$ ск. В таком случае, если отставание рабского маятника будет не больше 12 ск. в сутки, удовлетворительная работа коррекционного электромагнита (синхронизатора) будет обеспечена, и рабский маятник будет постоянно контролироваться свободным маятником. Свободный маятник с электромагнитами *о* и *у* устанавливается отдельно в герметически закрытом металлич. футляре, давление внутри к-рого не превышает 15 *мм* рт. ст. при постоянной $t°$, а рабский маятник вместе со своими электромагнитами и вторичными Ч. устанавливается в деревянном корпусе в удобном и доступном для наблюдения месте, т. к. он не нуждается в специальной установке. Промежуток ок. $^1/_4$ ск. между перебросами стрелок в обоих вторичных Ч. *ф* и *р* служит признаком исправной работы установки. По свидетельству проф. Симпсона из англ. королевской обсерватории «часы Шорта являются наилучшими из всех Ч., к-рыми когда-либо располагала обсерватория».

Лит.: Шишелов Л., Механика часового механизма, ч. 1, М.—Л., 1931, ч. 2, М.—Л., 1933; Канн Г., Практическое руководство по часовому делу, ч. 1—2, М.—Л., 1932; Bonasse N., Pendule, Spiral, Diapason, t. 1—2, P., 1920; Sander W., Die Uhrenlehre, Lpz., 1923; Rupert T., Gould R., The Marine Chronometer, Its History a. Development, L., 1923; Grossmann J. et H., Horlogerie théorique, t. 1—2, 1911—12; Andrade J., Horlogerie et chronométrie, P., 1924; Bock H., Die Uhr, Grundlagen u. Technik d. Zeitmessung, Lpz.—B., 1917; Zacharias J., Elektrotechnik f. Uhrmacher, B., 1920; Krumm G., Die elektrischen

Uhren, в книге: Saunier Ch., Lehrbuch d. Uhrmacherei, B. 2, Lpz., 1914; Favarger A., L'électricité et ses applications à la chronométrie, Neuchatel, 1924; Krumm G., Lehrgang f. den technischen Fachzeichen Unterricht des Uhrmachers, B. 1, Text, B. 2, Atlas, Lpz., 1925. **Л. Шишелов.**

ЧАСЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ. Этим названием определяется обширный класс часов, в к-рых электрический ток играет ту или другую роль. Электрические часы можно разбить на пять основных групп.

1. Контактные часы. В этом случае часы или хронометр снабжаются дополнительным механизмом, назначение к-рого заключается в замыкании или размыкании одной или нескольких электрич. цепей в строго определенные моменты, заранее установленные в механизме. Продолжительность замыкания или размыкания тоже может изменяться в зависимости от назначения и конструкции и в отдельных случаях устанавливается по желанию. К этому типу часов относятся хронометры с секундным контактом, тарифные часы для электрических счетчиков двойного тарифа и часы, служащие для точной дозировки медицинских процедур (световые ванны, кварцевые лампы) или для установления выдержки в фотографии при съемке или проявлении. Механизм этих часов за исключением контактов не содержит никаких электротехнических деталей.

2. Часы с электрическим заводом косвенного действия. Здесь роль электрич. тока, получаемого от сети (непосредственно или через выпрямитель) или от батареи аккумуляторов или элементов, заключается в сообщении механизму двигательной силы подзаводом его пружины через определенные промежутки времени посредством электромагнитного механизма. Часовой механизм этих *часов* (см.) ничем не отличается от обычного чисто механического механизма, и только завод их устроен иначе, причем конструкция и размеры его определяются калибром обслуживаемых часов, родом и напряжением тока.

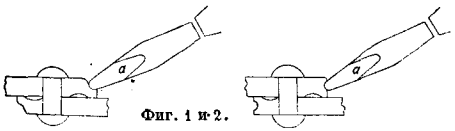
3. Часы с электрическим заводом прямого действия. В отличие от часов с заводом косвенного действия маятник или баланс этих часов приводится в действие непосредственно электромагнитным механизмом, минуя колесную систему. Эти конструкции обусловливают наибольшую свободу регулятора, к-рый может качаться без всякой механич. связи с остальными органами механизма. Представителем этого вида Ч. э. служат часы Сименса, изготовляемые 2-м Госчасовым з-дом в Москве, и часы Шорта, к-рые являются сочетанием двух маятников с электрич. связью между ними (см. *Часы*). Один из них производит всю подготовительную работу для другого совершенно свободного маятника, качающегося при постоянной $t°$ в вакууме. В моменты получения импульса свободным маятником первый маятник получает корректировку, которая определяется моментом конца импульса свободного маятника. Импульсы передаются через каждые 30 ск. Постоянство хода часов Шорта столь велико, что они позволяют обнаружить неравномерность звездного времени из-за присутствия в нем членов, зависящих от нутации, а также дают возможность уловить действие на силу тяжести лунно-солнечного притяжения. Кроме указанных типов Ч. э. непосредственного действия существует еще много подобных конструкций с применением свободного электрич. хода, в основном сходных с указанными.

4. Электрочасовые сети. Цель электрочасовых сетей, начиная от самых простых, обслуживающих отдельные здания, и кончая разветвленными сетями районного и областного масштаба, заключается в установлении единого времени в пределах обслуживаемого участка. Образцовое время распределяется в этих системах главными (маточными, или первичными) часами, к-рые каждую секунду, 30 ск. или минуту посылают в сеть вторичных часов импульс тока, передвигающий стрелки вторичных часов скачками на соответствующий промежуток времени или корректирующий ход их. Таковы напр. электрич. сети с первичными и вторичными часами 2-го Госчасового з-да, Сименса, Вагнера и другие, а также «симпатические» часы Рифлера, идущие синхронно с главными часами.

5. Синхронные часы совершенно лишены основных органов, характерных для часового механизма, ибо в них нет ни завода ни регулятора. Синхронные часы представляют собой сочетание синхронного двигателя с зубчатой передачей и стрелками, и ход их целиком определяется частотой питающего их переменного тока. Поэтому на синхронные часы можно смотреть как на вторичный механизм, регулятором которого служат генераторы переменного тока центральной станции, питающей сеть, в которую включены часы. Для правильной работы синхронных часов необходимо строгое постоянство частоты питающего их переменного тока. **Л. Шишелов.**

ЧЕКАНКА, один из процессов холодной деформации металла, применяемый или как вспомогательный процесс (напр. для уплотнения клепаных швов) или как самостоятельный (для придания формы изделию с очень точными размерами—порядка 0,1—0,001 *мм*); в последнем случае Ч. применяется напр. для изготовления художественных изделий (медали, монеты и т. п.), для прессовки—Ч. штампованных в горячем состоянии изделий при массовом производстве; такой процесс Ч. дает полуфабрикат, могущий итти в сборку без обработки тех поверхностей, к-рые были подвергнуты Ч.

Уплотнение котельных швов производится чеканкой *а* (фиг. 1 и 2)—инструментом в



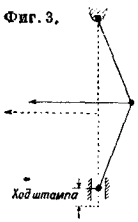
Фиг. 1 и 2.

виде зубила с тупым закругленным концом. На фиг. 1 показана европейская метода Ч.: при работе край листа как бы обжимается, тогда как при америк. системе Ч. (фиг. 2) край листа раздается, прижимая нижнюю кромку расчеканиваемого листа к нижнему листу. Места вокруг заклепок также часто чеканятся. Ч. штампованных изделий, монет и художественных изделий представляет собой *деформацию пластическую* (см.) в холодном состоянии, причем форма изделию придается или штампом—штемпелем или отдельными ударами чеканки. При всех случаях Ч. имеет место *наклеп* (см.) со всеми вредными последствиями его для механич. качеств изделий, если обрабатываемый металл не отжигается (см. *Термическая обработка*).

Современный процесс Ч. штампованных изделий в массовом масштабе производится на

особо мощных прессах. Первоначально эта работа производилась на прессах, аналогичных тем, что применяются для Ч. монет, но в виду того, что для Ч. штамповок, напр. из стали SAE 1025 с $H_{B_r}=137$, требуется в среднем давление ок. 7 000 *кг/см²*, а из стали SAE 1045 с $H_{B_r}=197$ до 12 000 *кг/см²*, требуются прессы более мощные; в США их назвали с ж и м а ю щ и м и или п е ч а т а ю щ и м и прессами, а самый процесс носит название п р е с с о в а н и я. Такие прессы развивают давление до 2 000 *т* и весят до 100 *т*. Штампы для холодной прессовки Ч. обычно готовятся из углеродистой стали (0,7—0,9% С), с поверхностной твердостью после соответствующей термич. обработки 90 по склероскопу; хорошо налаженные штампы дают до 40 000 шт. изделий без перефрезеровки. Принцип устройства для передачи давления пресса тот же, что и у высадочной машины (фиг. 3),—он основан на шарнирном соединении. Подкладка изделий для штамповки вначале производилась от руки, а в настоящее время автоматизирована. Придаваемая изделиям точность размеров дает возможность совершенно избегать механической обработки их, причем поверхность получается очень гладкой. Обработка изделий этим способом по сравнению с процессом снятия стружки дает огромные преимущества как в смысле ускорения выпуска готовых для сборки деталей (напр. деталей автомобиля в 5—10 раз), так и в смысле уменьшения расхода металла на изделия. Что касается физич. свойств чеканного металла, то исследования показали, что структура термически обработанных изделий изменяется только у поверхности соприкосновения со штампом, во всем же остальном сечении структура не изменяется. Следует заметить, что термич. обработка после прессовки хотя и возможна, но нежелательна в виду порчи наружного вида штамповки окалиной после нагревов. В некоторых случаях такая чеканка применяется и для литых изделий.

Фиг. 3.



Лит.: Г р а ч е в К., Ковочное производство, 2 изд., М., 1931; K e l s o A., Review of Coining-Press Developments, «Forging-Stamping-Heat Treating», Pittsburg, 1925, v. 11, 5; The New National Maxipres, ibid., 1931, v. 17, 2; High Speed Forging Press, ibid., 1931, v. 17, 12. **К. Грачев.**

ЧЕПРАК, средняя (спинная) часть шкуры, голья или кожи, получающаяся путем отрезания пол и воротка. Ч., у к-рого огузочная часть выровнена отрезом по прямой линии, называется к р у п о н о м (см. *Кожевенное сырье*, фиг. 1). Методы получения Ч. характеризуются в зависимости от назначения последнего большей или меньшей степенью удаления частей, относящихся к воротку и полам (вес Ч. составляет 45—55% от веса целой шкуры, голья или кожи), формой Ч.—линия обреза пол параллельна линии хребта или составляет с ней нек-рый угол (трапецевидная форма), приемами нахождения линии отреза: определение на ощупь точек изменения плотности голья или кожи или выделение постоянной длины и ширины (англ. способ). В виде Ч. встречаются преимущественно жесткие виды кожи и исключительно технич. кожи. Ч. в голье будет отличаться от сходов (полы, воротка) меньшим содержанием воды на 3—5% и бо́льшим содержанием гольевого вещества на 2—3%. Выделка кожи в Ч. в значительной мере рационализирует кожевенное производство в сторону большей равномерности протекания процесса, но встречает до сего времени сопротивление благодаря ошибочному взгляду в отношении влияния чепракования на результаты раскроя, а именно: благодаря чепракованию происходит потеря полезной площади. Для чепракования кожи действительно имеет место уменьшение полезного выкроя до 3% (работы Центр. научно-исследовательского ин-та кожпромышленности); в случае чепракования в голье благодаря большей равномерности процессов и лучшей отделке отдельных частей имеет место увеличение полезного выкроя до 5% (работы инж. Шиллера). Ч. р е м н е в ы й—вид технич. *полувала* (см.), применяемого для изготовления кожаных приводных ремней.

Основным показателем, обеспечивающим работу ремня, является наличие упругих свойств. Вторым требованием к Ч. является требование повышенного сопротивления разрыву. ОСТ 231 предусматривает сопротивление разрыву—среднему по партии—не менее 2,4 *кг/мм²*. В соответствии с предъявляемыми к ременевому Ч. требованиями *производство его имеет следующие особенности*. В отношении подбора сырья имеют место те же требования, что и к сырью, идущему на шорно-седельный полувал, почему производство Ч. ременевого необходимо комбинировать с производством других видов кожи. В Англии этот вопрос решается тем, что кожевенные з-ды *не отделывают* сами Ч., а выпускают его после дубления и сушки, *причем самодубление протекает* аналогично дублению подошвы типа для винтовой обуви. Процессы производства Ч. ременевого до отделки возможно вести по схеме производства подошвы винтовой или по схеме, близкой к производству тяжелого шорно-седельного полувала. В первом случае операции отделки *направлены к понижению* жесткости (англ. способ), во втором—к ее повышению. *Достигается это в первом случае путем* применения в операции жирования жидких, способных замещать жиров и выполнения самого жирования, постепенно давая время для протекания процесса замещания. Применяется для этого преимущественно смесь рыбьего жира с говяжьим салом, причем сало играет здесь значение *загустителя*, позволяющего более равномерное распределение смеси по *поверхности* Ч. Во *втором* случае применяют твердые наполняющие вещества с $t°_{пл.}$ 55—65°: стеарин, парафин и т. п. в смеси с говяжьим салом, причем здесь последнее играет роль пластификатора для наполнителя. Смесь вводится путем к а л к и, т. е. путем погружения хорошо высушенного Ч. (влажность 5—6%) в расплавленную смесь (t° 60—65°). Основным в операциях отделки, помимо *придания* гладкой ровной поверхности лицу, являются уплотнение и вытягивание в продольном направлении. Достигается это, с одной стороны, обработкой Ч. на специальных машинах, работающих по принципу навивания Ч. на вал при одновременном введении сопротивления этому навиванию в виде щели, образованной отверстием с входящим в нее клином, через к-рую должен пройти Ч., *прежде чем навиться на вал, с другой*,—путем многократного повторения операции разводки (см. *Кожевенное производство*). Лучшими для этой операции в данном случае являются машины с горизонтальным столом (напр. машина «Идеал» з-да Шлягетер).

Лит.: З а в а д с к и й А., Кожевенное производство, ч. 2, Н.-Новгород, 1924; М е л ь н и к, Производство технич. кож и приводных ремней, М., 1930; П е р е л ь ц в е й г, Постановка производства приводных ремней в Англии, «Вестник всесоюзного кожев. объединения», М.—Л., 1925, 5; ОСТ 231. **Н. Чернов.**

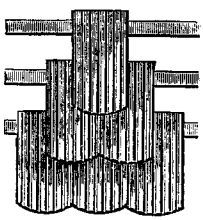
ЧЕРВЯК, см. *Зубчатые колеса.*

ЧЕРВЯЧНЫЕ ПЕРЕДАЧИ, см. *Зубчатые колеса.*

ЧЕРЕМУХА, Prunus padus L., из сем. Amygdalaceae, невысокое деревцо до 16 *м*, со стройным прямым стволом и продолговатой и раскидистой кроной, на С. в виде кустарника произрастает во всей лесной полосе Старого Света. Древесина с широкой желтоватой заболонью мягкая и непрочная, обладает специфич. запахом. Листва кожистая, эллиптическая или яйцевидная, в вершине заостренная, по краям мелкозазубренная, с коротким черешком. Цветет рано весной большими душистыми цветами, собранными в длинные повислые кисти. Плоды—черные костянки горько-сладко-кислого вяжущего вкуса. Косточки высеваются осенью

немедленно после сбора плодов. Ч. размножается черенками и отводками, обладает быстрым ростом, теневынослива, предпочитает сырую, богатую перегноем почву. Это дерево ценится как декоративное и разводится в садах и парках. В США встречается два вида Ч.: виргинская Ч. (P. virginiana L.) и поздняя Ч. (P. serotina Ehrh.). Виргинская Ч.—небольшое деревцо, неприхотливое к почве и морозостойкое, может разводиться у нас в более сев. местоположениях. Поздняя Ч.—очень быстро растущее дерево, в мягком и теплом климате достигает до 30 *м* высоты, со стройным стволом и блестящей зеленой листвой; неприхотливо к почве и хорошо произрастает на песчаных почвах и пригодно для лесоразведения в степных местностях при создании полезащитных полос. На Дальнем Востоке произрастает Ч. Маака (P. Maakii), в Японии—P. Shiuri. **Н. Кобранов.**

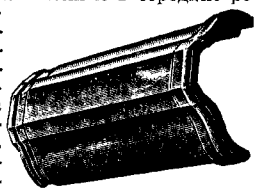
ЧЕРЕПИЦА кровельная, кровельный материал для покрытия крыши здания. Черепок Ч. должен быть настолько плотным, чтобы даже при сильном дожде вода не просачивалась через него. Ч. должна выдерживать не только давление ветра, но и сотрясения во время бурь и нагрузку от скопления снега, причем она д. б. по возможности легкой, чтобы стропила крыши не были слишком нагружены. Глиняная масса, идущая на Ч., д. б. настолько пластичной, чтобы из нее легко можно было формовать тонкостенную Ч., к-рая не давала бы при сушке и обжиге ни расширения ни трещин и обладала бы при этом необходимой плотностью. Подготовка массы д. б. такой же тщательной, как при производстве облицовочного кирпича и терракоты.



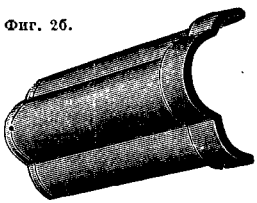
Фиг. 1.

Формовка Ч. производится как ручным, так и механич. способами; в последнем случае применяются ленточные и револьверные прессы. По внешней форме Ч. разделяют на: 1) плоскую Ч. (фиг. 1), имеющую форму прямоугольной плоской дощечки, иногда закругленной с нижнего конца, 2) голландскую,—в поперечном разрезе имеющую вид буквы S, причем на тыльной поверхности Ч. находится шип, 3) римскую (фиг. 2а и 2б): желобчатую (часто называемую татарской) в виде части усеченного конуса и плоскую в виде трапеции с закраинами без шипа, 4) фальцевую или марсельскую (фиг. 3а и 3б), к-рая снабжена вдоль двух смежных краев с лицевой стороны и вдоль двух остальных краев с тыльной стороны закраинами, или фальцами. Закраины тыльной стороны носят название венчиков. Фальцевая черепица, вырабатываемая на ленточных прессах, не имеет поперечных фальцев, а только продольные. Для перекрытия гребней крыш формуется коньковая черепица (фиг. 4); станки для этой черепицы те же, но только особой формы.

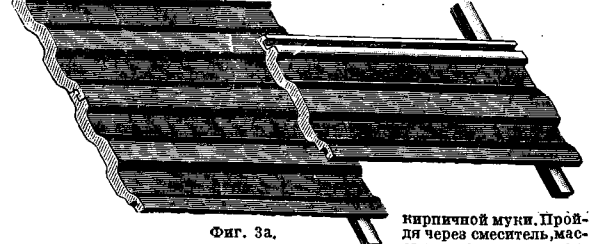
Сушку Ч. производят на сушильных дощечках или на рамах различного устройства. Если Ч. не плоская, а имеет больший или меньший изгиб, то рекомендуется применять сушильные дощечки, имеющие форму Ч. Для голландской Ч. применяют сушильные рамки, снабженные с обеих сторон подъемом, на который опираются своими краями Ч.; применяют также сушильные рамки, снабженные в середине ребром, соответствующим высоте положенной Ч. Сушка Ч. производится как на воздухе, так и в сушильных помещениях с искусственным подогревом. Для обжига Ч. применяют кольцевые печи (см. *Кирпичное производство*) или печи с обратным пламенем (см. *Изразцы*) и др., при этом загрузку черепицы в печь производят на ребро, для того чтобы пламя охватывало ее со всех сторон. Черепица, загружаемая в печь, должна быть хорошо высушена; подъем $t°$ и охлаждение обожженной черепицы должны быть медленными и более осторожными, чем при строительном кирпиче. Ч. в редких случаях (для декоративных целей) при выполнении стильных построек покрывается свинецсодержащей *глазурью* (см.). Покрытие глазурью при этом производится как по необожженной, так и по обожженной Ч. Применяется также способ обжига Ч. в восстановительной атмосфере (в определенный период обжига); Ч. при этом уплотняется, приобретает темнобурый цвет с металлич. отблеском. Для получения восстановительной атмосферы в конце обжига в закрытую для проникновения воздуха печь забрасывают еловые ветки, нефтяные остатки и др. В поры Ч. проникает CO, при этом окись железа восстанавливается, и углерод выделяется в виде тонких частичек графита, благодаря чему и получается соответствующая окраска.



Фиг. 2а.



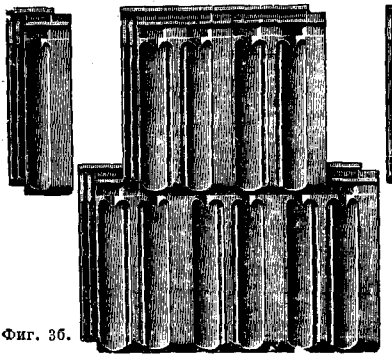
Фиг. 2б.



Фиг. 3а.

Ч. производят вручную и механизированным путем. При формовании Ч. ленточными прессами глиняная лента, выходящая из мундштука глиномятки, режется на куски определенного размера. При применении ленточных прессов (по одной из схем производства) глина подается на пол верхнего этажа прессового отделения; при этом если глина жирна, то для отощения к ней добавляют кирпичной муки. Пройдя через смеситель, масса попадает в ленточный пресс, где из нее и формуют Ч. Сформованную Ч. направляют в сушильные камеры, расположенные сбоку кольцевой печи, обогреваемой газом (системы Эшерих). По другой схеме производства Ч. глина смешивается с отощающими добавками, а затем сбрасывается в зумпф. Из последнего масса направляется в прессовое отделение, где ее пропускают сначала через двойные вальцы, а затем через ленточный пресс, к-рый и формует Ч. Сформованная

Ч. направляется (цепным транспортером) в сушильное помещение, находящееся между прессовым отделением и кольцевой печью. *Высушенная Ч. подается к печи для обжига.* По схеме производства Ч. хорошо вылеживавшаяся глина при помощи бремсберга подается из карьера



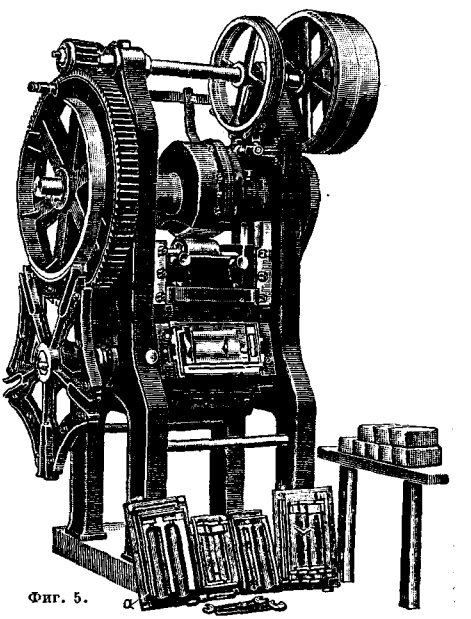
Фиг. 3б.

на второй этаж з-да. Глину увлажняют водой, затем пропускают через крупно- и мелкопомольные вальцы, а оттуда на ленточный пресс; или глину из карьера направляют сначала под сухие бегуны, затем под мокрые и элеватором передают на верхний этаж з-да, откуда распределяют ее между формовочными прессами. При формовании *фальцевой Ч. в револьверном прессе* (*фиг. 5*) применяют гипсовые формы *а*, к-рые отливаются в особых разборных (развинчивающихся) формах. Для каждой модели Ч. нужно иметь две развинчивающиеся формы—одну для нижней, а другую для верхней стороны (штемпельной). Эти стальные формы, служащие для отливки гипсовых форм, называются м а т р и ц а м и. Нормально одна гипсовая *форма выдерживает 350—450 прессований. Все поверхности* вращающегося барабана (обычно их пять) д. б. снабжены одинаковыми гипсовыми моделями. Если применяются с металлич. формами штемпели (обычно бронзовые), то их смазывают раствором стеарина в керосине перед каждым накладыванием валюшек. Рекомендуется также подогрев формы паром или электричеством. Образовавшиеся при прессовании *швы и заусенцы д. б. удалены*; это производится на специальных столах (типа нюпитра), поставленных возле прессов, или специальным приспособлением, которое соединено непосредственно с прессом; эти приспособления однако действуют не всегда удовлетворительно. Сформованная Ч. подается на сушку, а затем на обжиг.

По третьей схеме производства Ч. глина из карьера вагонетками подается на верхний этаж з-да, где она пропускается через дробильные вальцы, а оттуда ленточным элеватором в мелкопомольные вальцы и на платформу для вылеживания. Подготовленная т. о. глина пропускается через ленточный пресс, снабженный вальцами. Сформованные валюшки подаются к револьверным прессам. Сырцовая черепица затем подъемником подается в сушильное *помещение, расположенное* над кольцевыми печами, где она ставится на сушильные рамы. После сушки черепицу при помощи транспортера направляют к обжигательным печам. Отходы глины, получаемые после прессовки и *очистки, подвозятся* на середину прессового отделения и сбрасываются в ковшевой элеватор, который снова передает их на мелкопомольные вальцы. По четвертой схеме производства глина пропускается через конич. *вальцы, а оттуда в горизонтальный* тоншнейдер (глиномятку), во второе конич. вальцы и в ленточный пресс. Сформованные валюшки направляются к револьверным прессам. При глине, весьма чувствительной к сушке, подготовка массы протекает по следующей схеме. Глина из ящичного питателя пропускается через *две пары* бегунов, вальцы и ленточный пресс, снабженный автоматическим отрезным аппаратом. Глиняные валюшки ленточным транспортером направляются к револьверным прессам. Сформованная черепица цепным транспортером передается в сушильное помещение, а затем таким же транспортером к обжигательным печам. Для сушки используют отходящие дымовые газы, *лучистое тепло печей и дополнительное* тепло от калориферов. Во многих случаях для транспорта сформованной Ч. используют автоматич. съемные

Фиг. 4.

вагонетки (*20 полок по 5 шт. Ч. на каждой полке*). Сушка Ч. производится над печью в специальных камерах (24—28 камер; длина каждой камеры 22,6 *м*) с искусственным отоплением. Разгрузка камер производится такими же вагонетками через каждые 4—5 дней. При помощи двух спускных транспортеров Ч. *подается вниз*, а оттуда к печам. Для обжига Ч. применяются гофманские и *зигзаг-печи в 14 камер* (*см. Кирпичное производство*); при зигзаг-печах камеры шириной 2,5 *м* при длине в 6,9 *м*. Сушка Ч. должна производиться весьма осторожно, т. к. она имеет прямоугольную форму с острыми углами и весьма чувствительную часть—фальцы. Учитывая необходимость иметь Ч. с малым водопоглощением, ее приходится делать из сравнительно жирных глин; сушка ее обычно *более затруднена и более длительна*, чем сушка кирпича. Если кирпич часто садят в печь с 10% влаги, то Ч., имеющую толщину 12—15 *мм*, необходимо высушивать гораздо совершеннее, т. е. до 3—4% содержания влаги. При ведении обжига Ч. в гофманских печах обычно при погрузке камер под Ч. делают надсад из 3—4 рядов кирпича-сырца, обжигаемого вместе с Ч., дабы не создавать чрезмерного *давления верхних рядов на нижние* и нарушения целости венчиков, шипов и особенно фальцев. Кроме того при погрузке всей камеры исключительно Ч. грузчики, уложив первые два ряда, для укладки последующих должны



Фиг. 5.

ходить по предыдущим и невольно обламывать углы и фальцы. *Топливные колодцы* выкладывают из кирпича-сырца. В кольцевых печах возможен обжиг только в окислительной атмосфере. Обжиг Ч., требующий восстановительной атмосферы, проводится только в кассельских печах или печах с обратным пламенем, где можно регулировать приток воздуха. Нормально обжиг Ч. производится при *t°* 950—1 100°. Ч. после обжига сортируется обычно на три *сорта*. В *большинстве* случаев первого сорта бывает 45—50%, второго 35—40% и третьего 15—10%. Размеры Ч. разнообразны, но наиболее установившиеся для фальцевых: площадь 390×230 *мм* при толщине 12—15 *мм*, что зависит от качества глины. Плоская Ч. имеет длину 350—420 *мм*, ширину 150—160 *мм*, толщину 10—20 *мм*. При посадке в *одном м*³ печи помещается фальцевых Ч. 300—350 *шт.* и *плоских «бобровый хвост»* 500—600 *шт.* При обжиге фальцевой Ч. расход каменного угля (печи Гофмана) примерно такой же, как и при обжиге кирпича: 5—5,5% по весу товара, или 170—190 *кг* на 1 000 *шт.* Вес обожженной фальцевой Ч. 2,7—3 *кг*.

К Ч. предъявляются следующие требования: 1) отсутствие трещин, ясный звук, целость фальцев и одномерность (иначе нельзя укрыть крышу); 2) водопоглощение не более 12% по весу сухой Ч.; допускается в нек-рых случаях повышение до 14% водопоглощения, но дальше уже Ч. не будет служить той цели, к-рую она

преследует; 3) механич. прочность: если положить Ч. концами на два тупых бруска и на нее стать человеку среднего веса (т. е. 70—80 *кг*), то Ч. не должна переломиться; хотя это и устарелый практич. метод, но он до сего времени широко применяется. При таком способе испытания мы имеем конечно дело не только со статич., но и динамич. нагрузкой, когда человек сразу всей своей тяжестью становится на Ч. в ее средине. Если концы фальцевой Ч. опереть на бруски, а в средине бруском же передавать нагрузку, все время растущую (как в аппарате Михаэлиса для разрыва цементных восьмерок), то Ч. должна разрушиться при минимальном грузе 110 *кг* и максимальном—180 *кг* (в среднем 140—145 *кг*). Это—показатели для сухой Ч.; для Ч., насыщенной влагой, минимум 73 *кг*, максимум 150 *кг* (в среднем 110—112 *кг*). Самая легкая кровля получается при фальцевой Ч., т. к. последняя очень мало перекрывает одна другую и поэтому ее идет минимум на покрытие единицы поверхности. В среднем на 1 м² кровли идет 15 шт. фальцевых Ч.

Лит.: Будников П., Керамическая технология, Харьков—Київ, 1932—33; Лехер О., Производство черепицы в Бельгии, «Строит. матер.», М., 1930, *9/10*, стр. 153; Дементьев К., Технология строит. матер., Баку, 1930; Эвальд В., Строительные материалы, 13 изд., М.—Л., 1932; Белавенец М., Описание производства черепицы, СПБ, 1912; Жиров О., Как делать черепицу и как покрывать ею крыши, Вятка, 1901; Захаров А., Кирпичное производство, М., 1926; Лахтин Н., Данные испытаний черепицы и методика таковых испытаний, «Строительные материалы», Москва, 1929, *1*, стр. 37; Преображенский С., О производстве черепицы в Германии и в Америке, «Строительные материалы», 1929, *4*, стр. 87; Стекольников М., Роль черепицы в строительстве, «Строительное искусство», Москва, 1930, *7*, стр. 569; Dümmler K., Handbuch d. Ziegelfabrikation, 3 Aufl., Halle a/S., 1926; Weber R., Handbuch der Ziegeleitechnik, 2 Aufl., B., 1923; Rauls F., Die Ziegelfabrikation, Lpz., 1926. **П. Будников.**

ЧЕРЕШНЯ, Prunus avium L., из сем. Amygdalaceae, высокое, до 25 *м*, дерево со стройным цилиндрическим стволом, дикопроизрастающее в лесах ю.-з. и юж. частей Европы, СССР и на Кавказе; родина Ч.—Малая Азия. В культуре как плодовое дерево Ч. разводится в ЦЧО и южнее, т. к. в северных местностях страдает от морозов и требует специальной защиты. Древесина твердая и крепкая, с узкой красноватобелой заболонью и красновато-бурым ядром, употребляется в столярном и токарном деле. Листья очередные, простые эллиптические, матово-светлозеленого цвета, заостренные, слегка морщинистые, свисающие на мягких черешках. В диком состоянии плод Ч.—черно-красная или черная костянка с сочным околоплодником сладковатого или горького вкуса, с односемянной гладкой косточкой. В культуре различают по характеру мяса плода две крупные группы, с переходами между ними. Первая носит название бигарро—с плотным хрящеподобным мясом (47 сортов), вторая—гинь—с мягкой мякотью плода (23 сорта). Дикая Ч. разводится семенами, к-рые высеваются осенью; при весеннем посеве семена Ч. стратифицируют. Плодовые сорта Ч. размножаются путем прививок благородных сортов, особенно окулировкой спящим глазком, во второй половине лета. В качестве подвоя служат или сеянцы дикой Ч., выведенные из семян Ч., имеющих светлую кору и светлокрасные плоды и пирамидальную крону, или сеянцы «антипки» (Prunus Mahaleb), к-рые отличаются большой стойкостью в отношении мороза. К почве Ч. нетребовательна, предпочитая достаточно рыхлые, увлажненные почвы, без избытка извести. Ч. ценится как раннее плодовое дерево, а также как быстро растущее дерево, и особые формы ее—крупнолистная, махровая и плакучая—употребляются для декоративных целей, обсадок дорог и при создании полезащитных полос.

Лит.: Кичунов Н., Вишня и черешня, Ленинград, 1929. **Н. Кобранов**

ЧЕРНИ, общее название черных красок, получаемых при помощи прокаливания нелетучих органич. веществ без доступа воздуха; Ч. так же, как и *сажа* (см.), состоят из углерода, но в отличие от нее содержат более значительное количество золы. Для получения Ч., бедных золою, необходимо применять материалы с незначительным содержанием минеральных веществ или подвергать краску после прокаливания и измельчения отмучиванию или обработке к-тами. Получают Ч. в железных тиглях или ретортах, к-рые после загрузки в них материала плотно закрываются. Продукты сухой перегонки во время прокаливания разлагаются с выделением углерода и удаляются вместе с другими летучими веществами через небольшое отверстие в верхней части реторты. Температура и продолжительность обжига определяются большей частью опытным путем в зависимости от рода и качества сырья. Для получения черни употребляются как растительные, так и животные органич. вещества, а также минеральные ископаемые: бурый уголь, битуминозные сланцы, торф и т. д. Наиболее важное значение имеют: *слоновая чернь* (см.), виноградная чернь, получаемая из отходов виноделия (виноградных выжимок, дрожжей, виноградных лоз и т. д.), и Ч., получаемые из скорлупы и косточек плодов, корки и т. п. материалов. Виноградная, слоновая и другие высокие по качеству Ч. отличаются глубоким черным цветом и применяются в живописи, полиграфической пром-сти, при получении искусственной кожи, для лаков и хороших малярных работ. Более низкие по качеству Ч. идут в большом количестве для изготовления ваксы. Продукты, получаемые путем прокаливания дерева, редко употребляются как краски, но находят широкое применение в качестве материала для обесцвечивания жидкостей, фильтрования, дезодорации, поглощения газов и других целей.

Лит.: см. *Сажа*. **П. Черенин.**

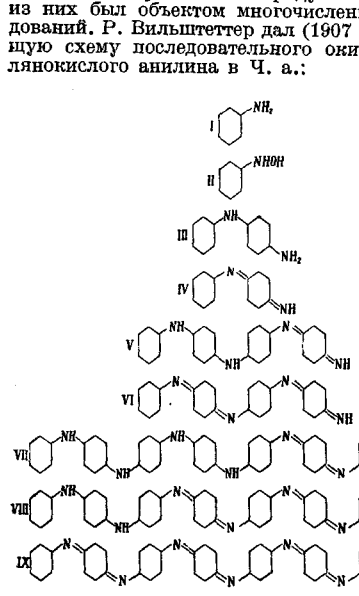
ЧЕРНОЕ ТЕЛО, см. *Термодинамика* и *Спр. ТЭ*, т. IX, стр. 135.

ЧЕРНЫЙ АНИЛИН, красящее вещество, нерастворимое в воде и в большинстве органических растворителей и получаемое в субстанции или непосредственно на волокне при окислении солей *анилина* (см.). Впервые образование Ч. а. было замечено Рунге (1840 г.), который пытался применить свое наблюдение для окраски тканей. Ряд исследователей вносил различные усовершенствования в предложенный им способ окраски или узорчатой расцветки ткани путем нанесения на нее смеси анилина с окислителем и последующей обработки, но лишь Лайтфуту (1863 г.) удалось доказать необходимость введения катализаторов, способствующих образованию на волокне Ч. а. Современные методы *крашения* (см.) и *ситцепечатания* (см.) Ч. а. принципиально не сильно отличаются от метода Лайтфута: введены лишь иные окислители и катализаторы и внесены некоторые технические усовершенствования. В настоящее время в качестве окислителя применяют почти исключительно хлорат

натрия (калия), а в качестве катализатора—сернистую медь, хромат свинца, желтую кровяную соль или ванадиевые соли. Одновременно с улучшением методов получения Ч. а. велись исследования окисления в аналогичных условиях и иных ароматич. аминов (Прюдомм). Оказалось, что почти все анилины при окислении дают на волокне различные окраски, но прочные окраски получаются при окислении аминов, не содержащих в пара-положениях к амидной группе метильных групп. Из всех аминов техническое применение получил лишь *n*-аминодифениламин, к-рый является промежуточной стадией при окислении анилина в Ч. а. Ниже перечислены производные (результаты окисления) различных аминов, полученные рядом химиков.

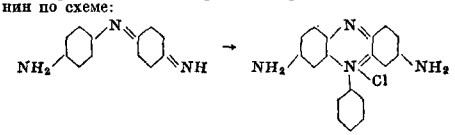
Окисляемый анилин	Получаемая на волокне окраска
Анилин	Черная
o-Толуидин	Сине-черная
m-Толуидин	Зеленая
n-Толуидин	Коричнево-желтая (непрочная)
o-Аминофенол	Сине-черная
m-Аминофенол	Коричневая
n-Аминофенол	Коричневая
α-Нафтиламин	Фиолетово-коричневая
n-Аминодифениламин	Черная
n-Окси-*n*-аминодифениламин	Черная

Несмотря на весьма большое применение Ч. а. строение его до сих пор нельзя считать окончательно установленным. Не подлежит сомнению, что при окислении анилина получается смесь различных продуктов. Главный из них был объектом многочисленных исследований. Р. Вильштеттер дал (1907 г.) следующую схему последовательного окисления солянокислого анилина в Ч. а.:

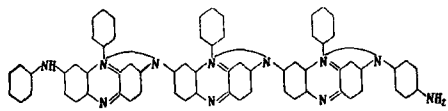


По этой схеме анилин (I) окисляется, переходя через фенилгидроксиламин (II) в *n*-аминодифениламин (III). Продукт умеренного окисления последнего—желтый имин Каро (IV)—полимеризуется в имины Вильштеттера—синий (V) и красный (VI). Последний при полимеризации переходит в продукты, имеющие скелет черного анилина,—эмеральдин (VII) и нигранилин (VIII). Гидролиз имидной группы нигранилина переводит его в незеленеющий Ч. а. Вильштеттера (IX).

А. Грин, несогласный с ф-лой незеленеющего Ч. а. Вильштеттера, считает, что лишь дальнейшее окисление продуктов группы эмеральдина с анилином переводит их в истинный Ч. а. При этом происходит замыкание трех азониевых циклов, подобно тому, как простейший индамин при аналогичной обработке переходит в феносафранин по схеме:



Поэтому А. Грин (1909 г.) предложил для Ч. а. нижеследующую ф-лу строения:



Подтверждение этого он видел в том, что обработка полученного по Вильштеттеру нигранилина анилином и окислителем привела к увеличению веса нерастворимых черных веществ на величину, соответствующую присоединению к молекуле нигранилина трех молекул амина. И. С. Иоффе (1930 г.) показал, что увеличение веса нерастворимых черных веществ при взаимодействии нигранилина, анилина и окислителя получается лишь от суммирования двух независимо друг от друга идущих реакций: одной—взаимодействия окислителя и нигранилина, сопровождающегося вследствие окислительного разрушения нигранилина уменьшением веса последнего, и другой—взаимодействия окислителя с анилином, вызывающего образование дополнительных количеств нигралилина. От суммирования результатов этих двух реакций получается наблюдаемое увеличение веса нерастворимых черных веществ, варьирующее в больших пределах при изменении соотношения нигранилина, анилина и окислителя и дающее полученную А. Грином цифру лишь при случайно выбранном соотношении. Эти работы опровергли эксперименты, на которых основывал А. Грин свою мало вероятную ф-лу строения Ч. а. Исследования по выяснению строения Ч. а. еще не закончены.

Лит.: Иоффе И. и Метрикин Р., «Ж», 1930, т. 62, стр. 1101; их же, там же, 1930, т. 62, стр. 1115; Noelting E. u. Lehne A., Anilinschwarz u. seine Anwendung in Färberei u. Zeugdruck, 2 Aufl., B., 1924; Willstätter R. u. Moore Ch., «B», 1907, B. 40, p. 2665; Willstätter R. u. Dorogi S., ibid., 1909, B. 42, p. 2137, 4118; Willstätter R. u. Kubli H., ibid., 1909, B. 42, p. 4135; Willstätter R. u. Cramer C., ibid., 1910, B. 43, p. 2976, 1911, B. 44, p. 2162; Green A., «Journal of the Society of Dyer a. Colourists», L., 1909, p. 188; Green A. a. Woodhead, «B», 1912, B. 45, p. 1955; Green A. u. Wolf S., ibid., 1911, B. 44, p. 2570. **И. Иоффе.**

Крашение Ч. а. применяется гл. обр. для растительных волокнистых материалов и иногда для шерсти и шелка. Для крашения шерсти Ч. а. практич. значения пока не имеет, т. к. шерсть обладает восстановительными свойствами и задерживает окисление анилина в Ч. а., вследствие чего получается неудовлетворительная черная окраска.

А. Крашение растительных волокнистых материалов может выполняться по трем способам: 1) однованному, 2) окислительному и 3) запарному. 1) Однованный способ состоит в том, что волокнистый материал, напр. хлопок в виде непряденых волокон, пряжи в мотках (редко ткани и чулочных изделий), выхаживают сначала на холоду, а потом при нагревании в красильной ванне, содержащей солянокислый анилин, соляную к-ту и окислитель ($K_2Cr_2O_7$). Катализатор не прибавляют, т. к. процесс окисления должен при этом способе проходить мед-

ленно. Однованным этот способ называется потому, что фиксирование Ч. а. достигается в одной ванне; при этом Ч. а. образуется главным образом на волокне, обладающем большой поверхностью, и отчасти в красильной ванне. После крашения волокнистый материал промывают холодной водой, а затем мылуют при 60°. Получаемые по этому способу окраски непрочны к трению. 2) Окислительный способ заключается в том, что хлопок в виде непряденых материалов, пряжи в мотках, ткани или чулочных изделий сначала пропитывают водным раствором, содержащим солянокислый анилин NH_4Cl, окислитель ($NaClO_3$) и катализатор: $CuSO_4$ и иногда $Al(C_2H_3O_2)_3$; затем отжимают и в *зрельнях* (см.) подвергают предварительному окислению в эмеральдин-нигранилин. Окончательное окисление в Ч. а. происходит по выходе хлопка из этих окислительных камер при пропуске через растворы $K_2Cr_2O_7$ и NH_4Cl. Окисление происходит с помощью $NaClO_3$ при посредстве $CuSO_4$; участие $CuSO_4$ м. б. объяснено так:

$$CuSO_4+2NaClO_3 \rightarrow Cu(ClO_3)_2+Na_2SO_4;$$
$$Cu(ClO_3)_2 \rightarrow CuCl_2+3O_2;$$
$$CuCl_2+2NaClO_3 \rightarrow Cu(ClO_3)_2+2NaCl \text{ и т. д.}$$

Уксуснокислый алюминий необходим для связывания выделяющейся при окислении анилина соляной кислоты во избежание действия ее на целлюлозу волокна и ослабления последнего вследствие образования гидроцеллюлозы. По этому способу окрашивают многие хлопковые ткани (сатины, ластики) в черный цвет; он находит также большое применение для крашения хлопка непряденого, пряжи, чулочных изделий в черный цвет, к-рому из-за красоты оттенка дают название алмазного черного. Прочность окраски к трению значительно выше, чем при однованном способе, однако волокно несколько ослабляется в крепости на разрыв. 3) Западной способ (Прюдомма) состоит в том, что хлопковую ткань равномерно пропитывают (плюсуют) водным раствором, содержащим солянокислый анилин (а иногда кроме того и анилин), окислитель ($NaClO_3$) и катализатор [$K_4Fe(CN)_6$], отжимают, высушивают и пропускают через *зрельник* (см.), где при $t°$ 95—100° происходят короткое запаривание и окисление анилина в нигранилин-эмеральдин; окончательное окисление и здесь происходит при пропуске через раствор $K_2Cr_2O_7$ или даже при горячей мыловке. Этот способ применяют почти исключительно в печати. Для нейтрализации выделяющейся при окислении HCl прибавляют $K_4Fe(CN)_6$:

$$4C_6H_5NH_2 \cdot HCl+K_4Fe(CN)_6 \rightarrow$$
$$\rightarrow (C_6H_5NH_2)_4H_4Fe(CN)_6+4KCl.$$

$H_4Fe(CN)_6$ меньше разрушает целлюлозу, чем HCl. Окислителя $NaClO_3$ берут в таком количестве, чтобы весь анилин окислился в незеленеющий Ч. а. (~ 65 ÷ 70% от веса $C_6H_5NH_2$). Ткань плюсуют этим раствором, сушат, запаривают в зрельнике и пропускают через раствор $K_2Cr_2O_7$ (5 *г* в 1 *л* при $t°$ 50°); в заключение промывают и мылуют.

Ч. а. на хлопке дает одну из самых красивых и прочных черных окрасок (к свету 8, мытью 5, воде 5). Этим обусловливается его широкое применение для крашения хлопковых тканей и пряжи. Наряду с этими достоинствами Ч. а. имеет также и ряд недостатков. а) Нек-рые анилиновые окраски с течением времени «зеленеют»—приобретают некрасивый зеленый оттенок; установлено, что т. н. зеленеющий Ч. а. состоит из нигранилина, который от действия восстановителей (например SO_2) переходит в эмеральдин—синее основание, образующее соли зеленого цвета. Окисление анилина до незеленеющего черного (по Вильштеттеру) или в присутствии избытка $C_6H_5NH_2$ (по Грину) устраняет этот недостаток. б) Процессы изготовления растворов анилина, а также «зреление» вредны для здоровья рабочих-красильщиков, т. к. при этом происходит выделение ядовитого анилина. Для уменьшения этого недостатка, во-первых, вентилируют помещения, в которых происходит работа, и, во-вторых, для уменьшения летучести анилина при зрелении применяют анилин, нейтрализованный кислотами; кроме того вообще понижают количество анилина в плюсах (до 33—40 *г* в 1 *л*). В последнее время предлагают прибавлять в плюса и печатные краски т. н. «усилители», способствующие лучшему окислению анилина, позволяющие несколько уменьшить в плюсе содержание анилина без ухудшения качества окраски, а также в нек-рой степени защищающие волокно от ослабления. К этим веществам относятся эймол JG (смесь анилина и амидоазотолуола), усилители К, КМ, 2,3-диамино-6,3′ (или 2′)-диметилазобензол, *n*-фенилендиамин, хризоидин и другие. в) Окисление анилина до Ч. а. происходит в кислой среде в присутствии окислителей. Эти условия, способствуя реакции окисления анилина, вместе с тем вызывают окисление и гидролиз целлюлозы хлопка до окси- и гидроцеллюлоз, а следовательно уменьшают крепость (на разрыв) волокна. Правда, применяемые катализаторы ускоряют реакцию окисления и направляют ее на анилин, а не на целлюлозу, но в литературе имеются указания, что ослабление крепости волокна может доходить до 10—30%. Введением веществ, связывающих выделяющуюся при окислении соляную к-ту [$K_4Fe(CN)_6$, уксуснокислый алюминий, соли органич. к-т], можно это ослабление уменьшить до 8—10%. Для предохранения целлюлозы от разрушения кислотами и окислителями предлагают также соли роданистоводородной кислоты (калламин), вступающие во взаимодействие с минеральной кислотой и выделяющие при этом роданистоводородную кислоту, сравнительно мало гидролизующую целлюлозу.

Б. Крашение животных волокнистых материалов. а) Крашение шерсти. Шерстяное волокно обладает восстановительными свойствами и способно связывать к-ту вследствие образования солей, поэтому при окислении анилина на шерстяном волокне получается неудовлетворительная черная окраска. Эти обстоятельства до настоящего времени не дают возможности практически применять Ч. а. для крашения шерсти; однако необходимо заметить, что существуют способы (правда, пока не имеющие практич. значения), предлагающие Ч. а. для крашения шерсти. Способы эти основаны: 1) на предварительной обработке шерсти окислителями, например раствором белильной извести (6 ÷ 10%) в присутствии 9 — 15%-ной соляной к-ты (Эйлер), и 2) на нейтрализации аминогрупп шерсти кипячением с 5%-ной серной к-той. На подготовленной т. о. шерсти фиксируют Ч. а. по одному из указанных для хлопка способов, применяя анилиновую соль, окислитель и катализаторы. б) Крашение шелка и полу-

ш е л к а (*шелк-хлопок*) происходит без предварительных обработок, т. к. шелк не обладает восстановительными свойствами. Ч. а. находит сравнительно большое применение для крашения шелковых зонтичных тканей в черный цвет: шелковую ткань в одной ванне выхаживают в растворе анилина и соляной к-ты, отжимают, после чего в другой ванне окисляют в течение $^1/_2$ ч. раствором $K_2Cr_2O_7$ (10 ÷ 20 *г* в 1 *л*). Полушелк окрашивают по аналогич. рецептам.

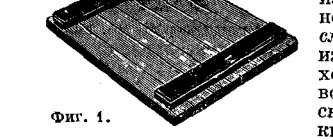
П р и м е н е н и е г о м о л о г о в и а н а л о г о в а н и л и н а. Прибавление к черноанилиновому плюсу моноаминов (*о-* и *п*-толуидинов), а также диаминов (*п*-фенилендиамина) дает возможность получить Ч. а. менее зеленеющий, так как эти амины при окислении дают (*при известном соотношении* с анилином) дополнительный цвет к зеленому, вследствие чего получается глубокий черный цвет. Аналог анилина *п*-аминодифениламин $C_6H_5-NH-C_6H_4-NH_2$, т. н. «*дифенил-черный—основание*» (Diphenylschwarz—base), применяется один или в смеси с анилином; при окислении на волокне в присутствии катализаторов он образует Ч. а., *отличающийся* большей красотой оттенка, чем из анилина, и кроме того при этом волокно менее ослабляется; однако из-за дороговизны его применяют *гл. обр.* в *печати*.

Лит.: В о з н е с е н с к и й Н., Запарной черный анилин, «ИТПТ», 1926, *29—30*; Ч и л и к и н М., О черном анилине, там же, 1925, *32—33*; К е м м е р и х А., Об окислительном черном анилине, там же, 1926, *22*; К л ю ч а р е в С. и М а р к о в С., К вопросу рационализации рецептуры черно-анилиновых красок, там же, 1929, *6*; П о г о ж е в П., Применение *п*-фенилендиамина при получении черного анилина, там же, 1929, *6*; К о з л о в М., О прочности ткани при крашении черным анилином, «Бюллетень Иваново-Вознесенского государственного текстильного треста», *Иваново-Вознесенск*, 1929, *10, 11*.

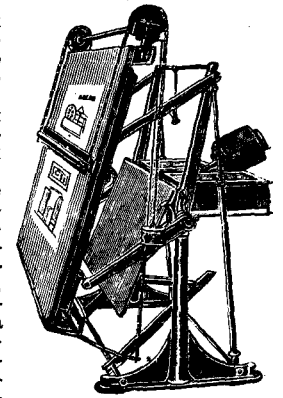
Д. Грибоедов.

ЧЕРТЕЖНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, приборы, посредством к-рых производится построение и изготовление чертежей, планов, карт, схем и т. п. К Ч. и. относятся чертежные доски, *линейки, рейсшины*, тр-ки, рейсфедеры разных конструкций, циркули простые, пропорциональные, кронциркули, готовальни, специальные приборы *для построения* условных знаков, лекала, трафареты для надписывания чертежей, кисти, перья и т. п.

Ч е р т е ж н ы е д о с к и (фиг. 1) служат для наклейки или укрепления иным способом чертежной бумаги. Чертежные доски изготовляют обычно размера 110 × 80 *см* и кратных его из липового, ольхового или тополевого дерева; они склеиваются из узких дощечек смесью столярного и рыбьего клея и снабжаются по низу или по торцам досок *поперечными* рейками для того, чтобы доска не коробилась. Требования, предъявляемые к чертежным доскам, следующие: 1) они должны иметь плоскую поверхность без сучков, 2) быть легкими, 3) иметь правильные прямые ребра, сходящиеся под углом в 90°, 4) от влажного и сухого воздуха не должны коробиться и 5) д. б. приготовлены из мягкого дерева для легкого втыкания кнопок. Для удобства чертежников применяют специальные ч е р т е ж н ы е с т о л ы, позволяющие придать чертежной доске любое положение. Наиболее совершенные системы чертежных столов (фиг. 2) для придания большей устойчивости снабжают металлическими ножками; они допускают установку доски под любым углом к горизонту, причем она затем м. б. поставлена на любую высоту без необходимости закрепления ее, так как вся система уравновешена грузом или пружиной.

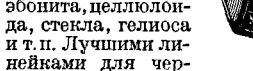


Фиг. 1.

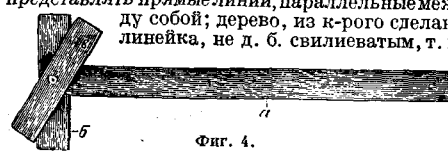


Фиг. 2.

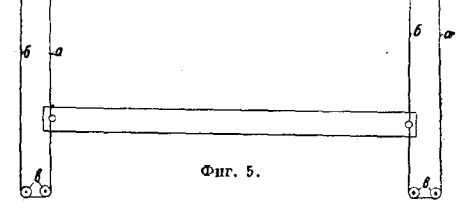
Ч е р т е ж н ы е л и н е й к и изготовляют из различного материала: дерева, стали, железа, меди, алюминия, эбонита, целлюлоида, стекла, гелиоса и т. п. Лучшими линейками для чертежных работ следует признать деревянные линейки; они не пачкают бумагу, как железные или медные, не поднимают волокна бумаги, как эбонитовые, и не огнеопасны, как целлюлоидные. Лучшие чертежные линейки изготовляют из мореного цельного грушевого дерева *или из грушевого же дерева* с прикреплением к нему по краям тонкими кромками красного или черного дерева. Хорошая линейка должна обладать длиной ≤70 *см*, шириной ок. 5 *см* и толщиной 2—2,5 *мм* (тонкие линейки мало пригодны для чертежных целей); края ее должны представлять прямые линии, параллельные между собой; дерево, из к-рого сделана линейка, не д. б. свилиеватым, т. к. такую линейку легко может покоробить. Перед употреблением чертежной линейки необходимо сделать следующие поверки ее: 1) осмотреть ребра линейки на наличие выбоин и аналогичных дефектов, мешающих работе; 2) повер-



Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.

рить прямолинейность ребер линейки следующим образом: на листе бумаги по одному из ребер линейки *MN* (фиг. 3) проводится линия *mn* тонко очиненным карандашом. Повернув

линейку на 180°, прикладывают ее к прочерченной линии *mn*; если при этом ребро линейки совпадает с прочерченной линией по всей длине, то ее можно считать правильной.

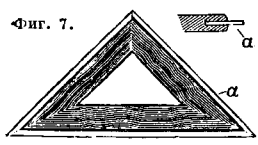
Рейсшина (фиг. 4) служит для проведения параллельных линий, пользуясь краем чертежной доски как направляющей; она в основном состоит из двух прикрепленных друг к другу под прямым углом линеек *а* и *б*. К ней предъявляют те же требования, что и к простой чертежной линейке, добавив требование перпендикулярности ребер линеек. Более совершенные рейсшины имеют вторую поперечную

Фиг. 6а.

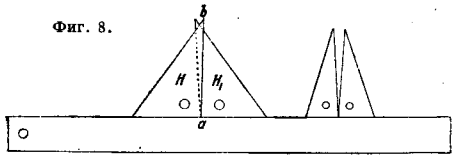
Фиг. 6б.

линейку *в*, к-рую возможно ставить и закреплять винтом под любым углом, для проведения наклонных линий. При работе с чертежными столами рейсшину заменяют обычно перемещающейся параллельно самой себе линейкой; концы ее направляются при этом обычно двумя струнами или тонкими стальными канатиками *а* и *б* (фиг. 5), перекинутыми через ряд прикрепленных к доске блочков *в,в* т. о., что перемещение одного конца ее вызывает всегда равное и параллельное перемещение другого.

Треугольники (фиг. 6а и 6б) изготовляют из хорошего мореного грушевого дерева, целлюлоида, гелиоса, стали, меди, железа и т. п. Наиболее употребительными и распространенными при чертежных работах являются тр-ки деревянные и целлюлоидные. Деревянные тр-ки изготовляют обычно из склеенных вместе линеечек из грушевого, черного, красного или палисандрового дерева. Эти тр-ки делают толщиной 2,5—3 *мм*, причем более твердое дерево (черное, красное) окаймляет внешние стороны тр-ка. Весьма удобны тр-ки из грушевого дерева с целлюлоидными прозрачными краями *а* (фиг. 7), причем последние значительно тоньше самого тр-ка и т. о. не соприкасаются с бумагой, что сильно уменьшает опасность подтекания туши под ребро тр-ка при черчении толстых линий. Большинство изготовляемых треугольников—прямоугольные с углами 60 и 30° (фиг. 6а) или 45° (фиг. 6б). Тр-ки должны удовлетворять следующим условиям: 1) края тр-ка д. б. прямыми и не иметь выбоин и трещин; поверку производят на просвет между ребрами точной линейки и тр-ка; 2) один из углов тр-ка д. б. прямой. Для поверки на листе бумаги укладывают выверенную линейку, к ребру к-рой затем прикладывают тр-к меньшим катетом (фиг. 8); затем по краю большего катета тр-ка *H* на бумаге прочерчивают линию *ab*.

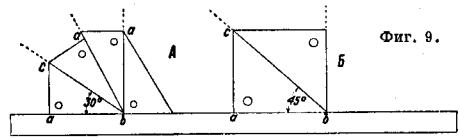


Фиг. 7.

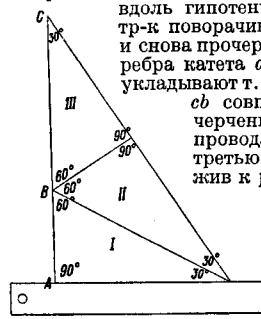


Фиг. 8.

После этого, не сдвигая линейки, тр-к поворачивают так, чтобы он занял положение H_1, после чего по ребру большего катета прочерчивают вторую линию: совпадение вновь прочерченной линии с первой доказывает верность прямого угла. Для поверки правильности угла в 30° поступают сл. образом: прикладывают к ребру выверенной линейки (фиг. 9, А) поверяемый тр-к катетом *ab* и прочерчивают вдоль гипотенузы *cb* линию, затем тр-к поворачивают около ребра *cb* и снова прочерчивают линию вдоль ребра катета *ab*. После этого тр-к укладывают т. о., чтобы сторона его *cb* совпала со второй прочерченной линией, и затем проводят вдоль катета *ab* третью линию; если, приложив к ребру линейки выверенный тр-к, получают совпадение прочерченной линии с катетом последнего, то поверяемый угол тр-ка верен. Подобным же образом производится поверка правильности угла тр-ка в 45° (фиг. 9, Б). Поверку угла тр-ка в 60° производят способом, указанным на фиг. 10, придавая при этом тр-ку положения *I*, *II* и *III*. При правильном угле линия *ABC* д. б. прямая. Помимо описанных тр-ков с постоянными углами в настоящее время изготовляют специальные тр-ки с одной подвижной стороной, снабженной транспортиром (фиг. 11а). В соединении с параллельной линейкой, описанной выше, удобен раздвижной угольник (фиг. 11б), закрепляемый в любом положении рычажком *а* и позволяющий прочерчивать серии наклонных параллельных линий. В последнее время в машиностроительном и архитектурном черчении все большее распространение получают чертежные машины (фиг. 12), представляющие собою в основных чертах транспортир *а*, удерживаемый при всех перемещениях параллельно самому себе (у хороших машин угловая ошибка при перемещении из одного конца доски в другой не превышает нескольких мин.) при помощи двух пар тяг *б,б* равной длины. С транспортиром шарнирно соединены две сменные масштабные линейки *г,г*, нахо-

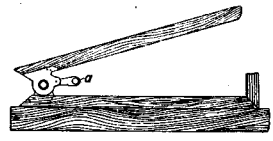


Фиг. 9.



Фиг. 10.

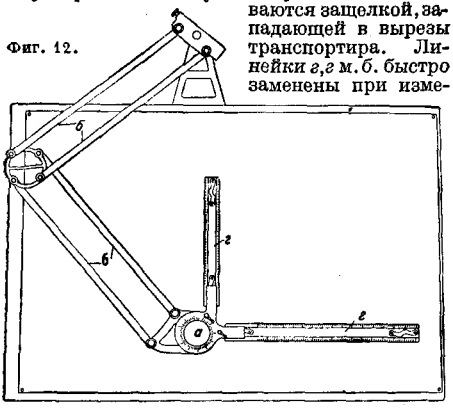
Фиг. 11а.



Фиг. 11б.

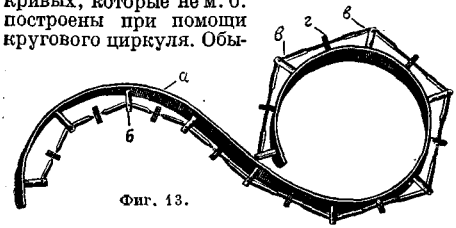
дящиеся всегда под прямым углом друг к другу и могущие быть установленными под любым углом при помощи транспортира и зажатыми в этом положении. Правильные значения наиболее употребительных углов через 15° обеспечиваются защелкой, западающей в вырезы транспортира. Линейки *г,г* м. *б.* быстро заменены при изме-

Фиг. 12.



нении масштаба чертежа. Пользование чертежной машиной вместо рейсшины и тр-ка значительно повышает (до 100%) производительность чертежных работ.

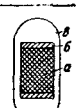
Чертежные *лекала* (см.) представляют собой криволинейные линейки для вычерчивания тех кривых, которые не м. б. построены при помощи кругового циркуля. Обы-



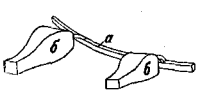
Фиг. 13.

кновенно для чертежных работ необходимо иметь целый набор лекал. Большое количество отдельных лекал в наборе заставило перейти к лекалам с меняющейся кривизной. На фиг. 13 изображено лекало, состоящее из стальной гибкой полосы *а*, к которой прикреплены стоечки *б*; к последним шарнирно присоединены трубочки *в,в*, в к-рые ввинчиваются концы винтов *г* с правой и левой нарезкой. Вращением головки винты ввинчиваются в трубки и изгибают требуемым образом стальную ленту. Более удобным и простым в работе является лекало (фиг. 14), которое сохраняет приданную ему кривизну; оно состоит из свинцового разрезного сердечника *а* (фиг. 15) с наложенными на него тонкими стальными полосками *б*; все это окружено слоем резины *в*.

Фиг. 14.

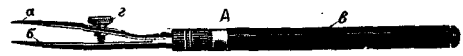


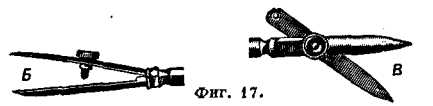
Фиг. 15.



Фиг. 16.

Трение между свинцовым сердечником и стальными вкладками достаточно велико, чтобы лекало сохраняло раз приданное ему положение.

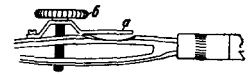




Фиг. 17.

В судостроительном черчении для вычерчивания плавных кривых применяют гибкие рейки *а* (фиг. 16), изгибаемые по точкам данной кривой и удерживаемые на месте грузками *б*.

Рейсфедер предназначен для прочерчивания линий тушью; он состоит из двух или трех (для проведения особо толстых линий) упругих стальных пластинок, или лопастей, *а* и *б* (фиг. 17, А), вставленных в ручку *в*. Свободные концы лопастей заострены. Проходящий через лопасти винт *г* служит для сближения их; при помощи его можно изменять толщину проводимой рейсфедером линии. Для удобства чистки рейсфедеры снабжают подвижной лопастью; применяются две конструкции:



Фиг. 18а.

Фиг. 18б.

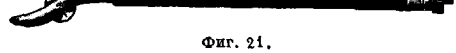
1) шарнирная откидная лопасть (фиг. 17, Б) и 2) более распространенная—поворачивающаяся (фиг. 17, В). Иногда рейсфедеры снабжаются далеко разведенной пружинящей ножкой, причем для ее чистки достаточно отвести в сторону рычажок *а* (фиг. 18а), служащий

Фиг. 19.

опорой головке винта *б*; описанное устройство обеспечивает неизменность установки рейсфедера после чистки. Для вычерчивания особо толстых линий существуют специальные рейсфедеры, снабженные одной или же двумя добавочными лопастями. Для проведения одно-

Фиг. 20.

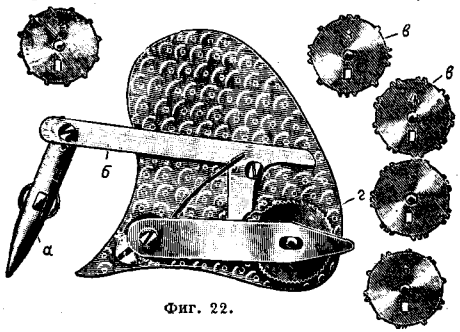
временно двух параллельных линий существуют двойные рейсфедеры, укрепленные на одной ручке (фиг. 18б) и устанавливаемые на требуемом расстоянии при посредстве винта *а*. Для вычерчивания линий средней толщины



Фиг. 21.

(до 1 *мм*) пользуются с выгодой рейсфедерами с особо широкими лопастями (фиг. 19), удерживающими большое количество туши и не тре-

бующими частого наполнения. С той же целью в последнее время сконструирован рейсфедер, по своему устройству напоминающий вечное перо. На фиг. 20 изображены его наружный вид и продольный разрез, где *а*—ручка, служащая резервуаром для туши, *б*—канал для впуска воздуха внутрь трубки, *в*—подающий колпачок, *г*—гнездо для сменного рейсфедера, *д*—плунжер, *е*—трубка для туши, *ж*—гайка для сальника. Наполнение рейсфедера тушью производится нажимом на колпачок *в*, причем ход плунжера, а следовательно и величина капли, по-

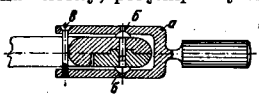


Фиг. 22.

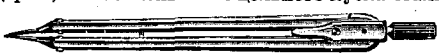
сылаемой в рейсфедер, определяются глубиной прореза, на к-рый поставлен колпачок; ускорение работы при применении этого рейс-

Фиг. 23а.

федера обеспечено лишь при том условии, что подающий механизм работает без перебоев, иначе вся экономия времени будет уходить на чистку, регулировку и налаживание этого вечного рейсфедера. Наполнение рейсфедеров тушью производится с помощью гусиного пера, которое прикрепляется к пробке, закрывающей флакон с тушью. При выборе рейсфедеров следует отдавать преимущество рейсфедерам, изготовленным из цельного куска стали,



Фиг. 23б.

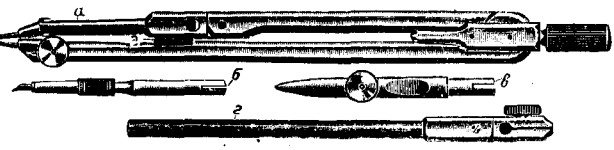


Фиг. 23в.

так как все откидные ножки б. или м. скоро расшатываются. Концы рейсфедера д. б. одинаковой длины, хорошо и правильно отделаны.

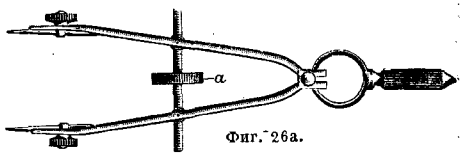
Фиг. 24.

Винт должен правильно соединять лопасти, иметь глубокую нарезку, свободно действовать и даже при слабом повороте его головки изменять расстояние между концами лопастей. Для вычерчивания кривых линий по лекалу применяют специальный р е й с ф е д е р-к р и-



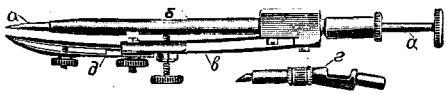
Фиг. 25.

в о н о ж к у (фиг. 21), устроенный так, что он может вращаться вокруг оси, благодаря чему достигается одинаковая толщина линии при крутых поворотах. Для вычерчивания пунктирных линий, требующих однообразия в размере пунктира и разрывов между ними, изготовляются специальные пунктирные рейсфедеры (фиг. 22), у к-рых само перо *а* прикреплено на конце рычага *б*, поднимаемого для прерывания линии фигурным колесиком *в*, приводимым во вращение зубчатым колесиком *г*, катящимся по линейке или рейсшине; эти рейсфедеры однако на практике применяются весьма редко, так как требуют довольно тщательного ухода и сноровки в обращении с ними.



Фиг. 26а.

Ц и р к у л и следует разделить на три группы: 1) делительный, или разметочный, 2) круговой и 3) кронциркули. Делительный, или разметочный, циркуль швейцарского типа (фиг. 23а) имеет две ножки, соединенные в головке сквозным болтом, который и служит осью вращения ножек; до линии *а* от шарнира ножки делают из латуни или нейзильбера, а ниже линии *а* до конца—из закаленной стали. Описанная выше конструкция не вполне практична, т. к. не позволяет заменять сломавшейся ножки. Более совершенной конструкции считаются циркули системы Рихтера (фиг. 23б и 23в). Головка циркуля Рихтера состоит из

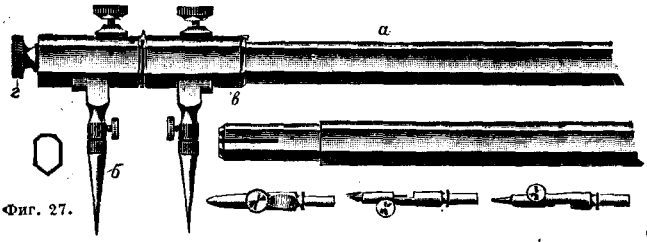


Фиг. 26б.

обхватывающего хомутика *а* и двух заклепок *б*, проходящих через ножки и опирающихся на хомутик шаровой головкой; хомутик стягивается винтом *в*, при помощи к-рого можно регулировать легкость движения ножек. На концах ножек (фиг. 23в) имеются два гнезда, куда вставлены сменные стальные иголки, закрепленные специальными винтиками. К недостаткам циркулей Рихтера следует отнести то обстоятельство, что с течением времени опорные поверхности заклепок разрабатываются и концы ножек перестают совпадать. Для специальных целей изготовляют делительные циркули с тремя ножками (фиг. 24).

К р у г о в о й ц и р к у л ь (фиг. 25) отличается от описанного делительного лишь тем,

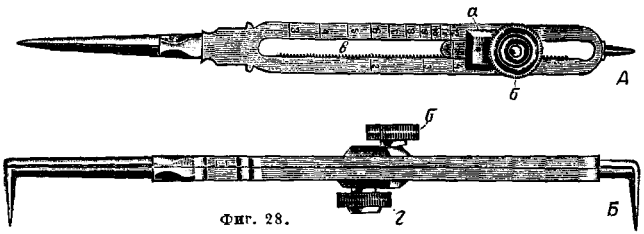
что нижняя часть *а* одной из его ножек м. б. вынута и заменена другой частью, *а* именно—ложкой с карандашом *б*, круговым рейсфедером



Фиг. 27.

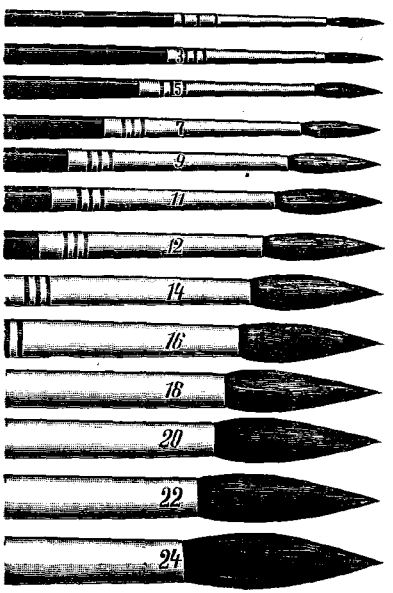
в с удлинительной ножкой *г* или без нее; сменные ножки закрепляются винтом *д*.

Кронциркуль (фиг. 26а) представляет собой пружинный циркуль, растворение к-рого



Фиг. 28.

устанавливается винтом с правой и левой нарезкой *а*, что позволяет достичь большую точность. Для вычерчивания окружностей неболь-



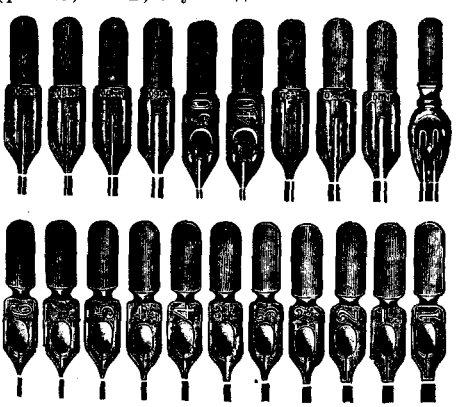
Фиг. 29.

шого диаметра делают кронциркуль со сменными вставками.

Кронциркуль-заклепочник (фиг. 26б) служит для черчения окружностей весьма малого диаметра; он состоит из ножки-иголки *а*, к-рая свободно проходит через трубку *б*, несущую на второй пружинной ножке *в* карандаш *г* или круговой рейсфедер *д*. Для вычерчивания окружности ставят иглу *а* в центр и сообщают трубке *б* вращательное движение, причем для нажима рейсфедера достаточно собственной тяжести инструмента; этот циркуль сильно ускоряет черчение при наличии большого количества окружностей малого диаметра, напр. заклепок в строительных чертежах.

Для вычерчивания окружностей очень большого диаметра применяют штангенциркуль (фиг. 27), состоящий из стержня *а*, на к-ром укреплены неподвижный центр *б* и подвижный движок *в*, в к-ром закрепляются обычные вставки. При штангенциркулях очень большой длины, а следовательно и веса, конец стержня поддерживается подставкой на колесиках. Для точной установки диаметра неподвижный центр перемещают в незначительных пределах микрометрич. винтом *г*. Требования, предъявляемые к циркулям при их приобретении, следующие: 1) шарнир головки не должен быть слабым, в противном случае при проведении окружностей будет получаться спираль, 2) вставки (карандаш, рейсфедер и удлинительная ножка) не должны иметь шатания в гнездах и 3) иголки ножек должны быть остро отточены, в противном случае они будут рвать бумагу.

Пропорциональные циркули (фиг. 28, А и Б) служат для изменения снима-

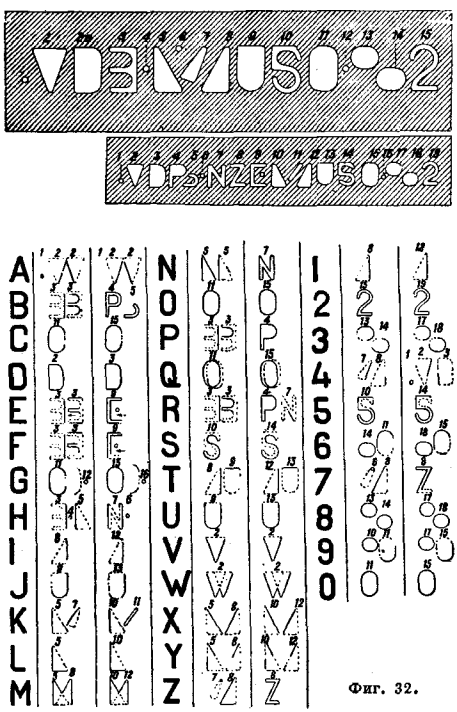

Фиг. 30.

емой длины в произвольном отношении, для деления линий и окружностей. Достигается это перемещением оси вращения циркуля вдоль его ножек. Очевидно, что при раскрытии его отношение расстояний между остриями обоих концов его будет постоянным и равным отношению длины от концов ножек до оси вращения. Наиболее употребительные отношения линейных размеров, а также отношения сторон *n*-угольника к диаметру описанного круга

отмечены на ножках циркуля черточками, по к-рым устанавливают передвижную кулису *а*, несущую ось циркуля. Иногда кулиса снабжается зубчаткой, приводимой во вращение головкой *б* и перемещающей кулису по зубчатой рейке *в* на ножке циркуля; винтом *г* кулиса закрепляется неподвижно в данном положении. Т. к. всякое изменение длин ножек пропорционального циркуля нарушает точность градуировки, то наиболее совершенные модели снабжены угловыми ножками (фиг. 28, Б), допускающими подтачивание и заострение концов без изменения рабочей длины ножек. Пропорциональный циркуль сильно ускоряет работу чертежника, так как дает возможность брать размеры по чертежу или непосредственно и дает механически без подсчетов и вторичных обмеров увеличенные или уменьшенные соответственно взятым масштабам нужные размеры, к-рые м. б. нанесены сразу на чертеж.

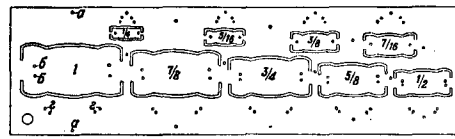
Фиг. 31.

Готовальня представляет собой набор Ч. и., уложенный в специальный ящик-футляр. Чертежная работа производится преимущественно циркулем с графитом или круговым пером и рейсфедером. Поэтому для большинства обслуживающего персонала вовсе нет необходимости иметь громоздкие готовальни, и в больших чертежных было бы целесообразнее держать инструмент не в больших готовальнях у каждого сотрудника, а скомбинировать все одноименные предметы из готовален, снабжая чертежников необходимым количеством этих отдельных инструментов. Этим облегчился бы учет и ремонт инструментов.



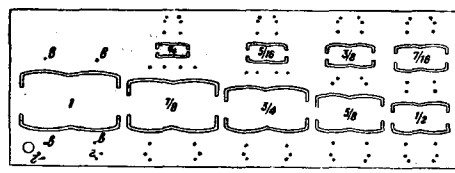
Фиг. 32.

Для сбережения Ч. и. необходимо принимать следующие меры: 1) нельзя оставлять засохшую на лопастях рейсфедера тушь, а также счищать ее ножиком или другим твердым предметом или, что еще хуже, удалять наждачной



Фиг. 33а.

бумагой; 2) для удаления с рейсфедеров засохшей туши следует намочить концы рейсфедера в теплой воде и вытереть их замшей; 3) нельзя оставлять рейсфедеры с туго сжатыми створками: лопасти должны находиться на значительном расстоянии друг от друга; 4) шарниры и винты чертежных инструментов время от времени необходимо смазывать маслом (костяным); 5) всю готовальню необходимо держать в сухом месте и предохранять ее части от возможного появления ржавчины; 6) после работы с готовальней необходимо протереть все употреблявшиеся инструменты замшей и уложить в соответствующие гнезда футляра;

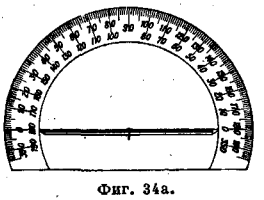


Фиг. 33б.

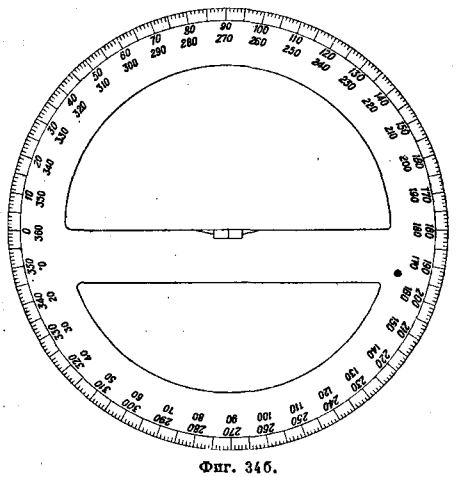
7) ни в коем случае нельзя чертить рейсфедерами обыкновенными чернилами, так как после этого рейсфедеры легко ржавеют, а тушь в них свертывается.

К прочим Ч. и. относятся: кисти для окраски чертежей, перья чертежные и для надписей, посуда для разведения туши и красок. Краски наносятся на бумагу при помощи особых чертежных кистей, изготовляемых из хорьковой, колонковой или беличьей шерсти. Оправа кистей делается металлическая. Кисти изготовляют разных номеров (фиг. 29). При выборе кисть обыкновенно пробуют обмакиванием в чистую воду; конец хорошей кисти делается тонко заостренным и при легком нажиме не рассыпается. Для надписей на чертежах применяют различные перья: для мелких надписей—перья малого размера; для надписей курсивом рекомендуется пользоваться обыкновенными перьями № 86; для выполнения надписей шрифтом рондо употребляют перья разной толщины, а также двойные и тройные параллельные (фиг. 30); для надписей нормальным шрифтом удобны металлические или же стеклянные трубочки. Для натирания туши и разведения красок необходимо иметь два или несколько блюдечек с гладким дном и плотно притертыми краями. Удобны блюдечки, накладывающиеся одно на другое в виде стопочки (фиг. 31); такие блюдечки годны для туши и для красок.

К чертежным приборам следует отнести: трафареты и шаблоны для вычерчивания стандартных частей, болтов и гаек, трафареты для надписывания чертежей и т. д.; они изготовляются из прозрачного целлюлоида, что облегчает работу с ними. На фиг. 32 изображены два типа трафаретов с вырезанными в них отверстиями разных размеров для изготовления надписей нормальным шрифтом; способ образования каждой буквы дан в нижней части фиг. 32. Опыт работ с ними не дал положительных результатов, и чертежники, овладевшие этим шрифтом, предпочитают надписывать без трафаретов—от руки. Очень удобны трафареты для быстрого вычерчивания гаек, которые делаются для двух проекций гаек—для переднего (фиг. 33а) и бокового (фиг. 33б)

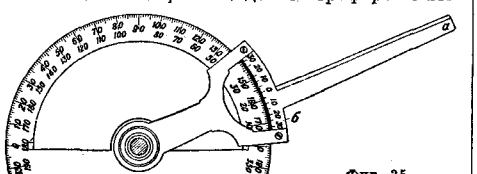


Фиг. 34а.



Фиг. 34б.

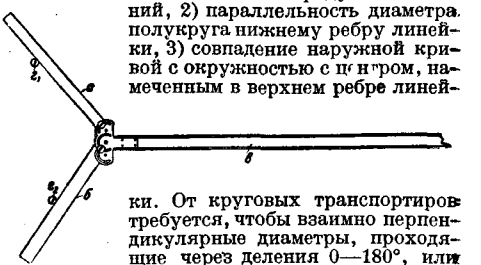
вида гайки. Эти шаблоны дают не только очертания контуров гаечных кривых с их центрами *а*, *б* и *в*, но и четыре точки *г* и *г*, дающие наружный и внутренний диаметр нарезки. В качестве простого, но удобного для практики приспособления можно рекомендовать трафарет с вы-



Фиг. 35.

резами различной формы для накладывания на чертеж при вытирании резинкой небольших по длине линий, чтобы не задеть за соседние. Для построения и измерения углов на планах применяют транспортир. Простой транспортир (фиг. 34а) состоит из скрепленного с линейкой полукруга, на к-ром нанесены градусные деления. Отсчеты по такому транспортиру возможно делать с точностью до 15′; центр окружности транспортира отмечается на внутреннем скосе линейки чертой или вырезом. Транспортиры изготовляются из меди, нейзильбера, целлюлоида, алюминия и даже печатаются на картоне. Тахеометрич. (круговой) транспортир (фиг. 34б) представляет собою нормальный транспортир, расширенный до 360°. Для большей точности построения углов применяют транспортир с алидадой (фиг. 35), представляющий собою простой транспортир большего диаметра (20—25 *см*), снабженный вращающейся алидадной линейкой *а* с верньером *б*, позволяющим строить и отсчитывать углы с точностью до 1—2′.

От хорошего транспортира требуется: 1) равенство нанесенных на него градусных делений, 2) параллельность диаметра полукруга нижнему ребру линейки, 3) совпадение наружной кривой с окружностью с центром, намеченным в верхнем ребре линей-



Фиг. 36.

ки. От круговых транспортиров требуется, чтобы взаимно перпендикулярные диаметры, проходящие через деления 0—180°, или 0—0° и 90—270° или 90—90°, пересекались в центре прореза и совмещались с крестом, награвированным на вставленном целлюлоиде. От транспортиров с алидадой требуется кроме того, чтобы скошенные края алидады были параллельны между собой и с линией, соединяющей центр транспортира с 0° нониуса. Для перспективных чертежей, при которых зачастую требуется проводить большое количество линий, пересекающихся в одной точке, лежащей далеко за пределами поля чертежа, применяют особую линейку, состоящую из трех шарнирно соединенных между собой линеек *а*, *б* и *в* (фиг. 36), из к-рых линейка *в* служит для проведения по ней линий, а *а* и *б* скользят по булавкам $г_1$, $г_2$, воткнутым в чертежную доску. В силу постоянства (при данной установке подвижных линеек *а* и *б*) углов $а_1$ и $а_2$ (фиг. 37) прямая *в* проходит при всех положениях системы линеек *а*, *б*, *в* через постоянную точку *А*, лежащую на окружности, определяемой точками $г_1$, $г_2$ и точкой *В* пересечения прямых *а* и *б*.

Фиг. 37.

Лит.: Гульшинский В., Организация и нормализация в чертежном деле, М., 1927; Гинсбург А., Учет и калькуляция черчения, М., 1931; Никулин М., Условные обозначения и знаки на чертежах и планах, М., 1931; Куликов С., Черчение в помощь рабочему изобретателю и рационализатору, М., 1932; Маслов и Носов, Условности машиностроительного черчения, М., 1929; Красовский Ф., Курс геодезии, ч. 1, М., 1930; Витковский В., Топография, М., 1928; Соловьев С., Курс низшей геодезии, М., 1914; Орлов П., Курс геодезии, М., 1929; его же, Справочник низшей геодезии, 8 изд., М., 1930; Бик-Чеботарев, Учебник низшей геодезии, Москва — Ленинград, 1928.

В. Платон.

ЧЕСАЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, см. *Шерстепрядение*, *Камвольное прядение* (кард-машины).

ЧЕ-СУ-ЧА, или че-чун-ча, суровая шелковая ткань гроденаплевого переплетения или из шелка-сырца или из крученого шелка диких шелкопрядов, приготовляемая на кустарных станках в Индии, Китае и других странах Вост. Азии. Че-су-ча отличается большой прочностью и имеет натуральный светлокоричневый цвет дикого шелка. Че-су-ча применяется для дамских платьев, мужских сорочек и летних костюмов. В настоящее время под названием че-су-чи в странах Дальнего Востока вырабатывается ткань, в к-рой основа—шелк диких шелкопрядов, уток—пряжа из двойников тутового шелкопряда. Встречаются попытки че-су-чу набивать рисунком и красить. В европ. странах вырабатывается несколько видов тканей из шелка, мерсеризованной хл.-бум. ткани, имитирующих че-су-чу (Simili-tussa). **В. Линде.**

ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТЫЙ УГЛЕРОД, см. *Растворители*.

ЧИГИР, см. *Водоподъемные механизмы*.

ЧУГУН, железоуглеродистые сплавы, содержание углерода в которых превышает 1,7%. Подразделение Ч. производится в зависимости от условий выплавки его, структуры, состава и назначения: древесноугольный и коксовый, Ч. горячего и холодного хода (t^0 дутья), белый, серый или половинчатый (вид излома), гематит, литейный, бессемеровский, томасовский, мартеновский, зеркальный Ч., а также и специальные Ч. (см. *Железосплавы*). О выплавке Ч. см. *Доменное производство*. Составы выплавляемых в СССР различных марок Ч. указаны в ОСТ 497—499. О механич. и термич. свойствах Ч. см. *Спр. ТЭ*, т. II, стр. 268—337.

Литейный Ч., предназначающийся для производства отливок (см. *Литейное производство*), получается при горячем ходе доменной печи (высокий подогрев дутья, высокий расход кокса). Углерод в большей свой части находится в виде графита, сообщающего Ч. серый (а иногда и темный) цвет, отчего литейный Ч. часто называют серым Ч. Гематит отличается незначительным содержанием фосфора и умеренным содержанием марганца (до 0,8%) по сравнению с бессемеровским и особенно мартеновским. Бессемеровский Ч. (см. *Бессемерование*), переделываемый в конвертерах с кислой футеровкой, содержит кремния в среднем в $1^1/_2$ раза меньше, нежели литейный Ч. (редко выше); содержание фосфора не выше 0,8%. Томасовский Ч. (см. *Томасирование*) имеет повышенное содержание фосфора 1,7—3%, кремния не выше 0,5%, Mn 0,8—2% и S не более 0,1%. Мартеновский Ч. (см. *Мартеновское производство*) малокремнистый (1—2% Si), содержит 1,2—2,5% Mn, до 1% P и не более 0,1% S.

Влияние условий производства Ч., т. е. t^0 и состав газов доменной печи, количество и характер шлаков, влажность дутья и другие условия доменной плавки, оказывает решающее значение на свойства и особенности выплавляемого Ч. Уже давно известно, что древесноугольный чугун одного и того же состава с коксовым показывает в отливках значительно более высокие механические свойства, нежели коксовый. В настоящее время твердо установлено, что основные свойства, полученные чугуном в доменной печи,—величина зерен, количество и характер графитовых включений (см. *Металлография*), способность к большей или меньшей графитизации,—сохраняются б. или м. полно и в изделиях и что следовательно «наследственные» свойства Ч. переходят на продукты, изготовляемые из Ч. В Германии существует ряд доменных з-дов, к-рые выпускают специальные Ч., подвергнутые или специальной термической обработке при получении их из доменной печи для того, чтобы обеспечить получение отливок с повышенными механич. свойствами, или же Ч., обработанные специальными шлаками, что обеспечивает наилучшие результаты для нек-рых специальных отливок. Таковы напр. специальные Ч. фирмы «Мигра» марки K—S и M—K.

Специальные сорта Ч. Для отливок со специальными свойствами требуются соответствующие Ч., напр. с возможно меньшей суммой примесей, низким содержанием углерода (для отливок цилиндров и т. д.) или обладающие специально электротехнич. свойствами. На рынке существуют специальные марки Ч. «холодной» плавки с пониженным содержанием углерода (2,8%), например нем. малоуглеродистые Ч. (Silbereisen) и др. Понижения углерода можно добиться, смешивая расплавленный доменный Ч. с расплавленной сталью (метод Генинга). Подвергнутые такой обработке Ч. преимущественно пригодны для отливок с особыми магнитными свойствами. О производстве ковкого Ч. см. *Ковкий чугун*.

Производство Ч. является одним из наиболее ярких показателей степени индустриализации страны. В этом отношении особенно показателен бурный рост производства Ч. в СССР, к-рый за период первой пятилетки так широко развил свое производство Ч., что не только догнал выпуск дореволюционной России, но и оставил за собою такие промышленные страны, как Англия и Германия, выйдя на второе место вслед за США.

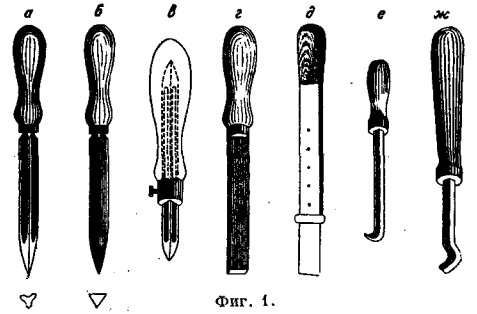
Лит.: Павлов М., Металлургия чугуна, Л., 1924; Липин В., Металлургия чугуна, железа и стали, т. 1, Л., 1924; Селиванов Б., Металлургия чугуна, Москва—Ленинград, 1933; Geiger C., Handbuch d. Eisen u. Stahlgiesserei, hrsg. v. C. Geiger, 2 Aufl., B. 1, Berlin, 1925. **Н. Рубцов.**

ЧУГУННОЕ ЛИТЬЕ, см. *Литейное производство*.

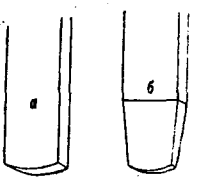
Ш

ШАБЕР И ШАБРЕНИЕ. Ш а б е р (по-немецки Schaber, по-англ. Scraper, по-франц. grattoir)— слесарный инструмент (особый вид резца), при помощи к-рого вручную производится удаление с поверхности детали весьма тонких стружек металла; операция эта называется ш а б р е н и е м, или ш а б р о в к о й. Целью шабрения м. б.: а) придание поверхности определенной формы (напр. плоской или цилиндрической) с большей точностью, чем это достигается обработкой резцом или шлифовальным камнем на станке; б) получение лучшего прилегания поверхности одной детали к поверхности другой детали, сопряженной с первой, чем это достижимо при машинной обработке этих поверхностей. Процесс доведения поверхности детали до прилегания с другой деталью или с каким-нибудь эталоном при помощи шабрения называется п р и ш а б р и в а н и е м (например пришабривание по плите, пришабривание вкладыша по шейке вала). Пришабривание применяется в различных областях машиностроения (станкостроение, паровозостроение, производство всякого рода двигателей и т. д.), главным образом при окончательной обработке трущихся поверхностей.

Шаберы делаются различной формы в зависимости от формы поверхности, подлежащей шабрению, и удобства ее обработки; наиболее употребительные виды шаберов представлены на фиг. 1. Режущая грань делается или боковой (фиг. 1, *а*, *б*, *в*), и в этом случае шабер служит для обработки вогнутой поверхности, или торцовой (фиг. 1, *г*, *д*, *е*, *ж*) для обработки плоскостей. Шаберы изготовляются из высокоуглеродистой инструментальной стали, и рабочая часть их закаливается с последующим низким отпуском (225°). Шаберы, служащие для обработки плоскостей, имеют торцовую поверхность (лезвие), расположенную перпендикулярно к боковым широким граням (угол заострения 90°) и слегка скругленную, т. ч. она образует как бы цилиндрич. поверхность, как это показано на фиг. 2, *а*. Для снятия наиболее тонких слоев металла угол заострения делают тупым и для этой цели широкие боковые грани затачивают так, как показано на фиг. 2,б. Толщина лезвия делается 1—3 *мм*, ширина 5—30 *мм* в зависимости от величины обрабатываемой поверхности. Придание точной формы лезвию шабера производится путем заточки на песчаном точиле (с водой) и заправки на оселке (с маслом). Шаберы, показанные на фиг. 1, *а*, *б*, *в*, называются трехгранными; они имеют три режущих боковых лезвия; для облегчения заточки на боковой грани делается выемка в виде желобка (фиг. 1, *а*).



Фиг. 1.



Фиг. 2.

П р и ш а б р и в а н и е п л о с к о с т и. При шабрении плоской поверхности шабер необходимо держать т. о., чтобы угол наклона его к обрабатываемой плоскости составлял около 30°. Пришабривание плоскости производится по специальной контрольной плите; такие плиты изготовляются на инструментальных з-дах из чугуна, снабжаются для жесткости ребрами, и рабочая поверхность их точно обрабатывается (шлифовка с последующим тщательным шабрением). Плоскость детали, подлежащая пришабриванию по плите, д. б. сначала тщательно обработана резцом или шлифована или чисто опилена. При шабрении снимается за один проход шабера слой металла толщиной 2—5 *μ*; припуск на обработку пришабриванием дается до 0,05 *мм* на небольших плоскостях и до 0,1 *мм* на больших. Для контроля пришабривания на плиту наносят возможно ровный тонкий слой краски (берлинская лазурь или сурик или сажа на масле) и притирают обрабатываемую деталь с легким нажатием к контрольной плите; выступающие части первой окрашиваются и подлежат соскабливанию шабером. При шабрении каждого окрашенного пятна металл снимают несколькими штрихами, параллельными между собой, причем слегка захватывают и соседние неокрашенные участ-

ки. После того как все окрашенные места пройдены шабером, поверхность вытирается тряпкой, и операция повторяется, причем направление штрихам дается под углом к первоначальному направлению шабрения этого пятна. Повторением указанных операций достигается увеличение числа окрашенных мест на обрабатываемой поверхности и уменьшение расстояния между ними. Степень пришабренности обрабатываемой поверхности оценивается числом окрашенных мест, приходящихся на единицу поверхности или единицу длины, и зависит от назначения детали и цели операции (напр. 20 окрашенных пятен на 100 *мм* длины свидетельствуют о хорошей пришабровке). Пришабривание по валу производится способом, аналогичным описанному выше; в этом случае эталоном является вал.

Контрольные плиты или приспособления являются необходимым инструментом при шабрении; в зависимости от веса обрабатываемой детали последняя накладывается и притирается по краске к плите или, наоборот, деталь остается неподвижной и накладывается плита. Контрольные плиты (фиг. 3), служащие для шабрения плоскостей, делаются различных размеров, от 150×150 *мм* до 1 000×700 *мм* (вес соответственно от 3 до 200 *кг*). В случае шабрения длинных плоских поверхностей проверка ведется при помощи контрольной плиты и контрольной линейки; последние изготовляются обычно до 2 000 *мм* длины. Для неизменяемости поверхности контрольной плиты при ее переноске и установке на неправильной поверхности точные плиты снабжают большим количеством ребер жесткости и тремя опорами *a* (фиг. 3), обеспечивающими постоянство опорных реакций, а следовательно и деформаций плиты от собственного веса при любой форме подставки. При тщательной работе в настоящее время возможно изготовление контрольных плит, которые отличаются от совершенной плоскости лишь на ±0,006 *мм* при абсолютных размерах 1 500×750 *мм*; для очень тонких сравнений применяют стеклянные плоские пластины (напр. фирмы Цейсс) с гарантированной точностью ±0,1 *μ*. Контрольные плиты периодически должны проверяться эталонными плитами. Контрольные плиты м. б. изготовлены при отсутствии точных эталонных плит методом взаимного постепенного пришабривания друг к другу трех одинаковых плит. В отдельных случаях пришабриванием обрабатываются сопряженные поверхности деталей, не имеющие относительного перемещения, напр. для достижения лучшей герметичности на стыке двух поверхностей или для лучшей теплоотдачи. Так напр., пришабривание опорной поверхности головки цилиндра авиамотора воздушного охлаждения «Юпитер», изготовленной из алюминиевого сплава, к внешней поверхности днища стального цилиндра имеет целью получение хорошего отвода тепла от днища к головке. Пришабривание по существу является таким процессом ручной слесарной обработки, к-рый исправляет несовершенство машинной обработки деталей. Благодаря тому что каждая поверхность при шабрении обрабатывается вручную и индивидуально, этот процесс трудоемок и дорог. Поэтому в условиях массового производства выгоднее вводить для окончательной отделки ответственных поверхностей деталей особо точные станки и методы обработки. Новейшие точные измерения, произведенные Шенгером с аппаратурой, позволяющей производить отсчеты с точностью до 0,1 *μ*, показали, что поверхность, шлифованная на специальных особо точных станках и специально изготовленными для этого шлифовальными кругами, в 3—5 раз точнее, чем при наиболее тщательной пришабровке.

Фиг. 3.

Лит.: Соколов М., Слесарное дело, М.—Л., 1933; Нетыкса М. и Броунштейн И., Курс слесарного дела, 5 изд., ч. 1, М.—Л., 1931; Гавриленко А., Механическая технология металлов, 2 изд., ч. 4, вып 3, М., 1926; Gleitflächen Schaben oder Schleifen, «Werkzeugmaschine», B., 1931, Jg. 35, H. 6. **М. Хрущев.**

ШАГРЕНЕВЫЕ ТКАНИ относятся к группе специальных хлопчатобумажных мебельных тканей крепового переплетения. Ткани вырабатываются шириною 80—107 *см*, примерно из основы № 16 и утка № 8. После отделки выпускаются в виде гладко крашеных преимущественно в темные цвета, а также и набивным. Шагреневые ткани применяют для обивки мебели, драпри и пр.

ШАМОТ, обожженная, грубо измельченная огнеупорная глина, применяемая в керамич. пром-сти в качестве искусственного отощающего вещества. Сырьем для получения Ш. служат чистые, незагрязненные плавнями, высокоогнеупорные глины или же последние в смеси с каолином или бокситом. Для изготовления Ш. огнеупорная глина, если она пластична и при добыче не крошится, вырезается в карьерах правильными кусками, идущими в обжиг; если же она мало пластична, то подвергается подготовке по мокрому или сухому способу. По мокрому способу глина замачивается водой, подвергается мятью и формованию на ленточных прессах. По сухому способу глина высушивается, измельчается и формуется. Отформованная глина равномерно обжигается при t° 1 300—1 410° в шахтных, камерных, кольцевых, туннельных печах. Расход топлива (условного) на обжиг в зависимости от рода печи и ее экономичности составляет от 10—15 до 20—25%. Лучший обжиг осуществляется на газе. Качество обжига в шахтных печах выше, чем в камерных, но первые неприменимы, если глины очень пластичны, с высокой влажностью и мало измельчены. Полученный после обжига кусковой Ш. дробится на щековых или конусных дробилках и измельчается на вальцах, бегунах или в шаровых мельницах, причем для измельчения применяют такие аппараты, к-рые дают при помоле не окатанные, а остроугольные зерна. Степень измельчения Ш. избирается в зависимости от рода и назначения шамотных изделий. Измельченный Ш., введенный в огнеупорную массу в качестве отощающей примеси, сообщает названной массе уменьшенную пластичность, сниженную усушку и усадку изделию и повышенную термич. и химич. устойчивость. Остроугольность зерен Ш. и определенный гранулометрич. состав его обеспечивают изделиям значительную механич. прочность. При изготовлении шамотных изделий в массу их вводят измельченного Ш. в количестве 30—70 и даже до 93%. Ш., обожженный из огнеупорной глины в смеси с каолином (каолиновый Ш.), применяется для изделий с более высокой термич. стойкостью и огнеупорностью. Ш., изготовленный из смеси огнеупорной глины и боксита (глино-

земистый Ш.), применим для получения изделий, обладающих высокой огнеупорностью и химической стойкостью. См. *Спр. ТЭ*, том III, стр. 233—237.

Лит.: Будников П., Керамич. технология, ч. 1 и 2, Харьков и Киев, 1932; Будников П. и Певзнер Р., Производство шамотного огнеупорного кирпича, М.—Л., 1932; Пономарев И., Огнеупорные материалы, Томск, 1931; Литинский Л., Шамотный и кварцевый кирпич, пер. с нем., М., 1927; Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 10; Searle A., Refractory Materials, L., 1924; Wernicke F., Die Herstellung d. feuerfesten Baustoffe, B., 1921. **В. Тарарин.**

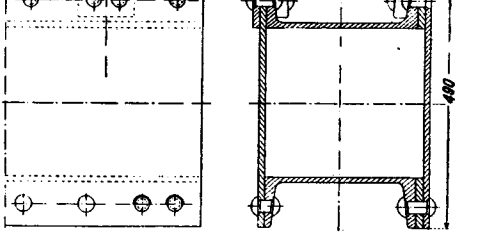
ШАМОТНЫЙ КИРПИЧ, огнеупорный кирпич, изготовляемый путем обжига смеси из огнеупорной глины и *шамота* (см.) и содержащий не менее 30% глинозема. Добытая вручную или механически (пневматич. лопаты, экскаваторы) огнеупорная глина транспортируется бесконечными наклонными канатными или подвесными дорогами на з-д, измельчается на вальцовых дробилках в щебенку и подвергается высушиванию в сушильных барабанах или сушилках другого типа. Подсушенная глина измельчается на бегунах или шаровых мельницах и транспортируется в силосы для хранения. Из силосов измельченные сухая глина и шамот проходят через дозирующие аппараты и поступают в смесители для тесного перемешивания (в пропорции от 60 : 40 до 30 : 70) и увлажнения. При мокром способе производства хорошо и тесно перемешанная тестообразная шамотная масса с 18% воды проходит через гладкие вальцы, глиномес (тоншнейдер) и, выйдя в виде ленты, разрезается автоматически на кирпичи, к-рые или тотчас же допрессовываются на ручных или механич. прессах или же, в нек-рых случаях, сначала провяливаются, а затем допрессовываются. При выделке фасонных изделий вылеживание продолжается до 15 дней и даже месяцы. При сухом способе производства измельченные глина и шамот, пройдя дозирующий аппарат (в пропорции от 65 : 35 до 20 : 80), поступают в бегуны и увлажненные 5—7% воды обрабатываются и перемешиваются в смесителе-питателе, из к-рого попадают в прессование. Для прессования применяют механич. прессы следующих типов: 1) ударные прессы на 2—4 штампа, весом каждый до 400 *кг*, производительностью 4 000 шт. в час; 2) рычажные с поворачивающимися круглыми столами с 4—6—8 и более гнездами-формами, производительностью до 2 000 шт. в час; 3) американские рычажные прессы сист. Бойда и Ридделя, работающие с давлением в 350—500 *atm*, производительностью до 2 000 шт. в час; 4) гидравлические прессы, работающие с давлением от 20 до 300 *atm* и более и обладающие производительностью в 500—800 шт. в час. Отпрессованный по мокрому или сухому способу кирпич-сырец подвергается медленному (до 4 суток) высушиванию в камерных или туннельных сушилках тепловым воздушным или газовым потоком, отсасываемым экгаустером. В камерных сушилках (однократного использования теплового потока с $t°$ 70—80° и циркуляционных) параллельные отделения емкостью 5 000—7 000 шт. каждое отделены друг от друга нетеплопроводными перегородками. В туннельных, или канальных, сушилках кирпич, уложенный на вагонетках, медленно движется и высушивается по принципу противотока, причем $t°$ входящего теплового потока равна 120° и $t°$ отработанного потока 30°; производительность таких сушилок 10 000—50 000 шт. в сутки. Высушенный сырец транспортируется в печи для обжига периодического и гл. образом непрерывного действия, напр. кольцевые печи системы Гофмана, камерно-кольцевые газовые—Мендгейма и туннельные печи (см. *Кирпичное производство*). Температура обжига Ш. к. доводится до 1 300—1 400° (от 10 до 14 SK).

Шамотный огнеупорный кирпич должен удовлетворять технич. условиям ОСТ 3688 и 3689 и в среднем отвечать нижеследующему химич. составу: 37,1% Al_2O_3; 60,5% SiO_2; 1,5% Fe_2O_3; 0,2% CaO; 0,2% MgO; 0,5% R_2O.

Шамотный огнеупорный кирпич находит применение в качестве футеровки металлургическ., стеклоплавильных, цементных, известковых и коксовых печей, а также для топок паровых котлов. В стекольной пром-сти применяются ответственные шамотные изделия (ответственный припас) для пода, стен ванных печей, лодок, стекловаренных горшков и т. п., на изготовление к-рых отбираются высокосортная огнеупорная глина и шамот, равномерно и нормально обожженный из тех же глин. Многошамотные огнеупорные кирпичи готовят по сухому способу из смеси: 90—95% шамота, 10—5% огнеупорной глины и ок. 0,5% сахарной патоки с растворимым стеклом; прессование их производится на мощных гидравлич. прессах. Сушка и обжиг производятся теми же способами, как и при выработке обыкновенного Ш. к.

Лит.: Будников П., Керамич. технология, ч. 1—2, Харьков—Киев, 1933; Будников П. и Певзнер Р., Производство шамотного огнеупорного кирпича, М.—Л., 1932; Ле-Шателье А., Кремнезем и силикаты, пер. с франц., Л., 1929; Пономарев И., Огнеупорные материалы, Томск, 1931; Литинский Л., Шамот и силикаты, пер. с нем., М.—Л., 1927; Шамотные массы, «Гос. иссл. кер. инст.», М.—Л., 1929; «Керамика и стекло», М.; «Строит. материалы», М.; Searle A., Refractory Materials, L., 1924; Wernicke F., Die Herstellung d. feuerfesten Baustoffe, B., 1921; «Tonindustrie-Ztg», B.; «Keramische Rundschau», B.; «Ceramic Society»; «La céramique et verrerie céramique», P.; «Revues de matériaux de constructions et de travaux publics», P. **В. Тарарин.**

ШАНДОРЫ, балки, закладываемые в пазы (ниши) опор плотин и служащие затворами последних. Так как этот тип затворов обусловливает опускание (при закрытии) и поднятие (при

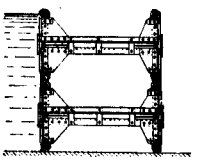


Фиг. 1.

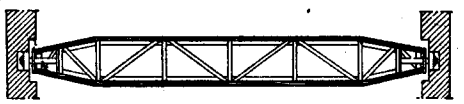
открытии) каждой балки отдельно, то шандорные затворы являются сложными в эксплоатационном отношении, а потому мало применяются как самостоятельные сооружения и используются главным обр. для вспомогательных целей.

При малых пролетах и малых глубинах подпора воды применяются деревянные Ш. (см. *Плотины*, фиг. 56). Когда потребный размер

дерева превышает 30 *см*, прибегают к стальным Ш. Стальными Ш. могут служить коробчатые (фиг. 1), а также двутавровые балки цельные или клепаные из листовой стали (фиг. 2) или фахверковые балки (фиг. 3). Применяются также Ш. в виде полых железобетонных балок или Ш. в виде щитов стальных (фиг. 4) или деревянных, сплоченных из трех брусьев при посредстве стальных накладок (фиг. 5); Ш. в виде металлич. балок или полых железобетонных балок применяются во всех случаях, когда длина Ш. и изгибающие моменты велики. Когда

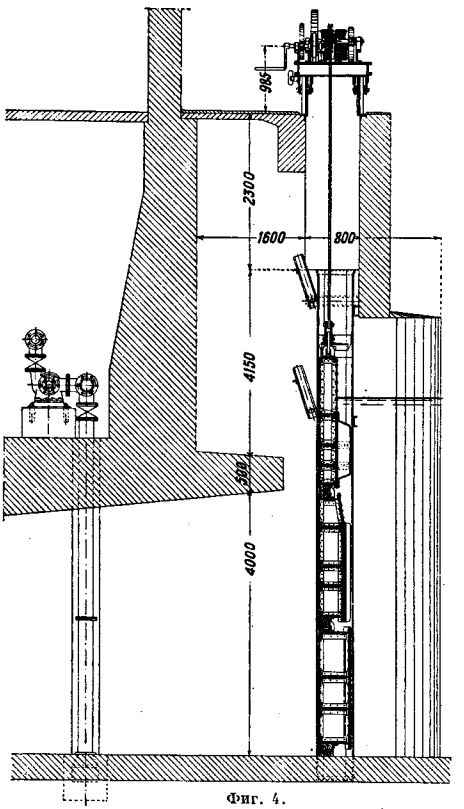


Фиг. 2.



Фиг. 3.

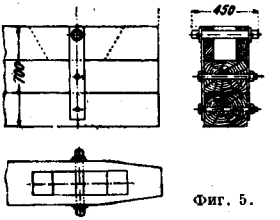
пролеты не превышают $2^1/_2$ *м*, то Ш. снабжаются по одному крюку, кольцу или болту. При



Фиг. 4.

бо́льших пролетах каждая Ш. имеет не менее 2 крюков, колец или болтов. Крюки, кольца или болты служат для прикрепления Ш. к подъемным приспособлениям.

Направляющими для Ш. могут служить при малых напорах швеллерные стальные балки. При больших пролетах в опорах плотин устраивают пазы со стальными направляющими, на к-рые опираются Ш. Для уменьшения трения концы Ш. снабжают роликами (фиг. 3). Плотное соприкасание Ш. между собой достигается при деревянных шандорах соответственной их конструкцией в местах расположения крюков, колец или болтов (см. *Плотины*, фиг. 56), при металлических шандорах — путем применения дерева в виде уплотнительных досок, брусьев или же бревен (фиг. 1 и 4). Шандоры без роликов прижимаются водою к направляющим пазов или ниш в опорах плотин. Ш. с роликами уплотняются в пазах опор при помощи круглых стержней (напр. труб), обернутых пеньковой веревкой или резиновой лентой.



Фиг. 5.

Нижняя Ш. должна опираться на поверхность, идущую заподлицо с общей поверхностью *флютбета* (см.). Устройство порога нецелесообразно в виду скопления перед ним мути и наносов. Закладка Ш. в текущую воду, к-рая создает подпор только по мере закладки Ш., не представляет затруднений. Опускание же Ш. в глубокую воду затруднительно вследствие их стремления всплыть. В последнем случае опоры Ш. с обеих сторон объединяют особым брусом, опускаемым под действием лебедки. Возможно также укрепить на флютбете блок, перекинуть через него цепь и таким путем осуществить опускание бруска. В речных потоках шандорные стенки обычно снабжают поворотными опорами (см. *Плотины*). **С. Брилинг.**

Лит.: см. *Плотины*.

ШАПП, пряденый шелк, получаемый путем прядения из различных шелковых остатков: коконного брака, фризона, фризонета и др. (см. *Шелкопрядение*).

ШАРИКОВЫЕ И РОЛИКОВЫЕ ПОДШИПНИКИ, элементы машин, служащие для восприятия радиальной или аксиальной нагрузки вала, причем указанные нагрузки воспринимаются через посредство шариков или роликов, которые во время работы перекатываются либо в самом корпусе опоры либо в особой детали, связанной с этим корпусом. По направлению воспринимаемой нагрузки Ш. и р. п. разделяются на: а) радиальные для нагрузок, перпендикулярных к оси вала, б) радиально-упорные для восприятия нагрузок, направленных под б. или м. острым углом к валу, и в) упорные, воспринимающие исключительно осевые нагрузки. Все виды Ш. и р. п. объединены в серии по типам подшипников с одинаковыми конструктивными характеристиками, различающихся в данной серии лишь размерами.

Основные типы Ш. и р. п. 1) Шарикоподшипники радиальные однорядные (фиг. 1), без канавок для заполнения шариками, с глубокими беговыми дорожками, способны выдерживать радиальные нагрузки, а также допускают комбинированные и чисто осевые нагрузки. Глубокие беговые дорожки представляют собою непрерывную поверхность катания для шариков в виду отсутствия специаль-

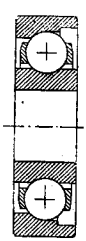
ной канавки для заполнения последними, что и позволяет этим подшипникам воспринимать помимо радиальных также и аксиальные нагрузки. При наличии же больших скоростей и аксиальных нагрузок данные подшипники хорошо заменяют упорные подшипники как в кинематич. отношении, так и в отношении смазки, т. к. смазочный материал хорошо удерживается на беговых дорожках, чего нет в упорных, где он под влиянием центробежной силы выкидывается из подшипника. Шарикоподшипники радиальные однорядные разделяются в соответствии с допускаемой ими величиной нагрузки на три серии: легкую, среднюю и тяжелую; при одинаковом внутреннем диаметре подшипники тяжелой серии допускают бо́льшую радиальную нагрузку, чем в других сериях. Шарикоподшипники радиальные однорядные для своей установки требуют особой точности в отношении взаимного совпадения осей всех подшипников данного вала.

Фиг. 1.

2) Шарикоподшипники радиально-упорные однорядные (фиг. 2) отличаются от предыдущих тем, что идеальные точки соприкосновения шарика с беговыми дорожками лежат на линии, образующей с осью подшипника острый угол, тогда как у радиальных шарикоподшипников эта линия перпендикулярна к оси подшипника. Для взаимного уравновешивания аксиальных нагрузок необходимо эти подшипники монтировать попарно, т. к. одна чисто радиальная нагрузка, действующая на наружное (или внутреннее) кольцо, порождает аксиальную нагрузку на другом кольце. Соотношение между радиальной и аксиальной нагрузками для радиально-упорных шарикоподшипников можно принять, как 1 : 0,6. Шарикоподшипники этого типа строятся трех серий: легкой, средней и тяжелой.

Фиг. 2.

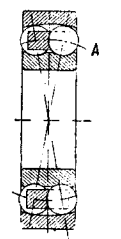
3) Шарикоподшипники магнетные (фиг. 3) допускают радиальную, аксиальную (в одном направлении) и комбинированную нагрузки и применяются при больших скоростях и легких нагрузках. Монтируются эти подшипники попарно и допускают легкую разборку, так как беговая дорожка в наружном кольце с одной стороны открыта.



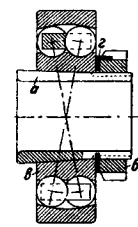
Фиг. 3.

4) Шарикоподшипники радиальные самоустанавливающиеся (фиг. 4) имеют в наружном кольце сферич. поверхность катания, чем обеспечивается соприкосновение шариков с наружным кольцом в случаях, когда оси наружного и внутреннего колец не совпадают друг с другом, благодаря чему эти шарикоподшипники широко применяются, когда существует опасность несовпадения осей вала и корпуса, куда закладывается шарикоподшипник. Как правило шарикоподшипники самоустанавливающиеся не следует подвергать аксиальной нагрузке. Шарикоподшипники этого рода разделяются на: а) серии нормальной ширины (фиг. 4, А) —легкую, среднюю, тяжелую и особо тяжелую и б) серии широкого типа (фиг. 4, Б) — легкую и среднюю. При посадке шарикоподшипника на вал внутреннее кольцо д. б. неподвижно соединено с валом посредством трения; достигается это применением легких прессовых посадок 1-го и 2-го класса точности (см. *Допуски*), требующих однако большой точности обработки. Для возможности применения Ш. и р. п. также в случае менее точно обработанных валов или при необходимости постановки подшипника по середине гладкого вала применяют подшипники на закрепительных втулках.

5) Один из представителей подшипников этого последнего типа, а именно шарикоподшипник радиальный самоустанавливающийся на закрепительных втулках, изображен на фиг. 5. Закрепление на валу достигается разрезной конусной втулкой *а*, вжимаемой гайкой *б* во внутреннее кольцо *в* подшипника; по окончании установки гайка застопоривается стопором *г*. В остальном эти подшипники подобны вышеприведенным и являются производными от них; при одинаковых габаритных размерах и одинаковой воспринимаемой нагрузке с ними они имеют лишь меньший внутренний диаметр за счет закрепительной втулки. Они разделяются а) на серии нормальной ширины — легкую и среднюю и б) на серии широкие— легкую и среднюю.

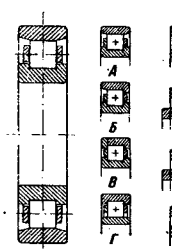


Фиг. 4.



Фиг. 5.

6) Роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами (фиг. 6). Они имеют элементами катания, воспринимающими нагрузку, ролики и при наличии бортов на обоих кольцах помимо радиальных нагрузок R допускают также и осевые нагрузки A; соотношение нагрузок при этом следующее: $A \leqslant 0{,}05\ R$ для постоянно действующей осевой нагрузки, $A \leqslant 0{,}07\ R$ для часто действующей, $A \leqslant 0{,}14\ R$ для редко действующей осевой нагрузки. По конструкции роликоподшипники отличаются друг от друга по системе расположения и устройству бортов на наружном и внутреннем кольцах (фиг. 6, А—З). Выбор типа зависит от требуемой легкости монтажа и демонтажа и от условий характера воспринимаемой нагрузки. Роликоподшипники фиг. 6, А и Г допускают осевое перемещение внутреннего кольца по отношению к наружному и линейное расширение вала в обоих направлениях, подшипники фиг. 6, Б и Д—одностороннее пере-



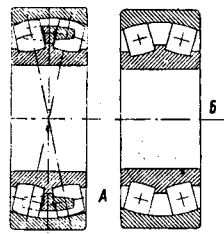
Фиг. 6.

мещение по отношению к наружному или внутреннему кольцу. Роликоподшипники фиг. 6, В и З совершенно не допускают осевого перемещения. Для удобства монтажа боковое замыкающее кольцо может быть сделано съемным (фиг. 6, Е и Ж). Роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами разделяются на серии—легкую, среднюю и тяжелую — нормальной ширины и широкие.

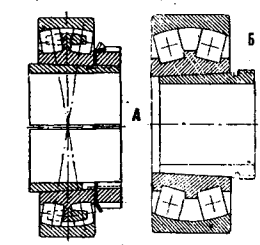
Фиг. 7.

7) Роликоподшипники конические (фиг. 7) хорошо воспринимают как радиальную, так и аксиальную (в одном направлении) нагрузки. Радиальная нагрузка, действуя на одно из колец, вызывает появление осевого усилия в направлении, обратном допускаемой осевой нагрузке. Для восприятия этого усилия приходится конич. роликоподшипники монтировать всегда попарно.

8) Двухрядный самоустанавливающийся роликоподшипник с бочкообразными роликами (фиг. 8) применяется при значительных радиальных и комбинированных нагрузках. При монтаже допустима нек-рая неточность вала. Существует 2 конструкции самоустанавливающегося роликоподшипника: а) фирмы SKF (фиг. 8, А) с несимметричными роликами; в этом случае касательные, проведенные по максимальному диаметру, сходятся в одной точке, что сближает данный роликоподшипник с коническим и объясняет хорошее восприятие им аксиальных нагрузок; б) фирмы Фишера (фиг. 8, Б) с симметричными роликами; при этом касательные образуют две параллельные линии, чем объясняется худшее восприятие этим типом аксиальных нагрузок. Аналогично с шариковыми и роликовые подшипники делают как на закрепительных (фиг. 9, А), так и на снимающихся (фиг. 9, Б) втулках.

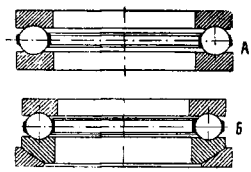

Фиг. 8.

9) Шарикоподшипники упорные ординарные (фиг. 10) допускают лишь осевую нагрузку. Внутренние диам. обоих колец делаются различными в виду того, что одно из колец д. б. туго надето на вал, который должен с зазором вращаться в другом кольце, укрепленном в корпусе подшипника. В подшипниках этого типа осевая нагрузка допускается только в одном направлении. Эти подшипники бывают двух видов: а) с плоскими кольцами (фиг. 10, А), требующие точности в сборке, а именно—перпендикулярности заплечиков в корпусе подшипника к оси вала, и б) со сферич. седлом и подкладным кольцом (фиг. 10, Б), допускающие самоустановку вала по отношению к корпусу.


Фиг. 9.

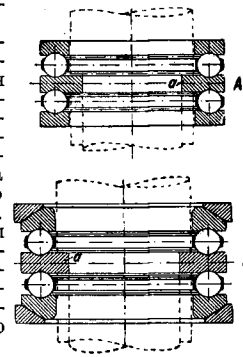
10) Шарикоподшипники упорные двойные (фиг. 11) допускают осевые нагрузки, действующие попеременно в обоих направлениях. На валу закрепляется среднее кольцо *а*. Эти шарикоподшипники бывают двух родов: а) с плоскими кольцами (фиг. 11, А), требующие точной установки вала и корпуса, и б) упорные со сферич. седлом и подкладными кольцами (фиг. 11, Б), допускающие неточность в установке вала и корпуса. В последнее время помимо этих основных типов Ш. и р. п. часто находят применение сл. типы подшипников.

11) Роликоподшипники цилиндрические с длинными роликами, воспринимающие только радиальные нагрузки; они хорошо работают при ударных нагрузках.

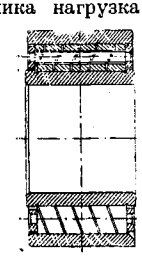

Фиг. 10.

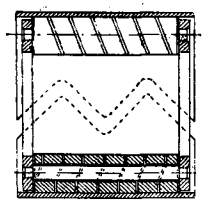
12) Роликоподшипники с витыми роликами (фиг. 12 и 13), представляющие собой очень выносливые подшипники, воспринимающие однако только радиальные нагрузки; они очень стойки при ударных нагрузках. Наружное кольцо делается цельным (фиг. 12) или же разрезным (фиг. 13) в зависимости от условий монтажа. Последний тип допускает монтаж непосредственно на валу и поэтому занимает в радиальном направлении весьма мало места.

13) Роликоподшипники игольчатые отличаются от типа 11 большим количеством очень тонких и длинных роликов, лежащих вплотную без сепаратора в выточке наружного кольца подшипника. Они очень выносливы при ударных нагрузках. Внутреннее кольцо обычно отсутствует, а ролики катаются непосредственно по закаленному валу.


Фиг. 11.

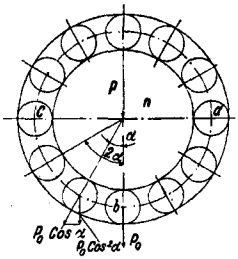
Расчет Ш. и р. п. Основными данными, из к-рых исходит расчет Ш. и р. п., являются: а) нагрузка, б) скорость вращения, в) долговечность. Допускаемая для данного подшипника нагрузка является функцией скорости вращения, времени работы подшипника и его долговеч-


Фиг. 12.


Фиг. 13.

ности. Под долговечностью подшипника понимается наименьшее число часов, в течение которого обеспечена исправная работа под-

шипника до момента выхода его из строя, гл. обр. вследствие усталости материала, а не просто за счет естественного истирания подшипника при его работе. Все это требует достаточно сложных теоретич. обоснований, подтверждения к-рых м. б. даны только на основании возможно большего количества опытов, так как зависимость между долговечностью подшипника и допускаемой на него нагрузкой выражается по законам теории вероятности и следует закону больших чисел. Современная методология расчета подшипника основана на теории Герца, Штрибека и на экспериментальных ур-иях усталости. Для радиальных шариковых подшипников при горизонтальном вале давление на шарик непрерывно изменяется по пути шарика от a до c (фиг. 14), постепенно увеличиваясь от a до b и затем уменьшаясь от b к c, достигая в самой нижней точке b максимума. Нагрузка на симметрично расположенные шарики одинакова. Верхняя половина подшипника не нагружена. Зависимость между полным давлением на подшипник P и максимальным давлением P_0 на шарик определяется ур-ием Штрибека:



Фиг. 14.

$$P = P_0 + 2P_0\cos^2\alpha + 2P_0\cos^2 2\alpha + \\ + \ldots + 2P_0\cos^2 n\alpha,$$

причем $n\alpha = 90°$. Для подшипников с числом шариков $z = 8 \div 20$ можно считать в среднем

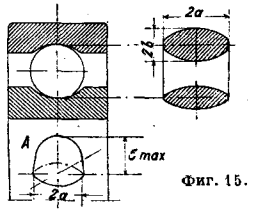
$$P_0 = \frac{5P}{z}\ кг. \qquad (1)$$

Иначе говоря, максимальная нагрузка на один шарик равна всей нагрузке подшипника, отнесенной к одной пятой всех шариков. Ур-ие Герца дает соотношение между напряжением, максимальной нагрузкой на один шарик и величиной площади соприкосновения (фиг. 15) между шариком и беговой дорожкой, представляющей собой эллипс с полуосями a и b:

$$\sigma_{ср.} = \frac{P_0}{\pi ab}\ кг/см^2, \qquad (2)$$

$$\sigma_{max} = 1{,}5\,\sigma_{ср.} = 1{,}5\,\frac{P_0}{\pi ab}\ кг/см^2, \qquad (3)$$

где $\sigma_{ср.}$—среднее напряжение, а σ_{max}—напряжение в точке, получившей максимальную деформацию. Величина напряжения в каждой точке площади соприкосновения определяется поверхностью параболоида напряжений (фиг. 15, A), имеющего основанием площадь соприкосновения, а высотой σ_{max}. Как ур-ие Штрибека, так и ур-ие Герца обусловлены определенными предпосылками, а именно: для ур-ия Герца: 1) нагрузка в местах контакта распределяется нормально к поверхности давления; 2) соприкасающиеся тела однородны; 3) тела соприкасаются по поверхности, незначительной по сравнению с их полными поверхностями; 4) предел пропорциональности не д. б. превзойден. Для уравнения Штрибека: 1) в подшипнике отсутствует игра (люфт); 2) кольца не деформируются (деформируются только шарики). Так как на практике все упомянутые предпосылки полностью не соблюдаются, то уравнения следует считать приближенными. Зависимость между долговечностью, нагрузкой и числом оборотов выражается следующей эмпирич. ф-лой, являющейся результатом многократных опытов:



Фиг. 15.

$$Q = \frac{C}{(nh)^{0,3}}, \qquad (4)$$

где Q—допускаемая нагрузка на подшипник в $кг$, n—число об/м. вращающегося кольца подшипника, h—долговечность подшипника в часах, C—постоянная, зависящая от конструкции и размеров подшипника, качества материала и от того, какое кольцо вращается (внутреннее или наружное). Т. о. величина C является характеристикой подшипника. Ф-ла (4) показывает, что долговечность является ф-ией нагрузки в степени 3,33:

$$h = f(Q^{3,33}), \qquad (5)$$

а поэтому незначительное изменение нагрузки вызывает резкое изменение долговечности. На практике выбор подшипника производится обычно по нек-рой условной допускаемой нагрузке:

$$Q_1 = K \cdot K_б \cdot K_к \cdot K_д, \qquad (6)$$

где K—действующая реально на подшипник нагрузка; $K_б$—коэф. безопасности, зависящий от характера действия на подшипник внешних усилий (толчки, вибрации и пр.—см. табл. 1); $K_к$—коэф., учитывающий, какое кольцо (наружное или внутреннее) подшипника вращается (см. табл. 2); $K_д$—коэф. долговечности, величина котрого зависит от намеченного срока службы выбираемого подшипника (см. табл. 3). Величина Q_1 для заданной скорости вращения берется из таблиц, даваемых в каталогах производящих фирм, и определяет т. о. требуемый тип и размер подшипника.

Табл. 1.—Значения коэфициента безопасности $K_б$.

Вид нагрузки	Характер действия нагрузки на подшипники	$K_б$
Постоянная	Без вибраций и толчков . .	1
Переменная	Со слабыми толчками .	1,5
Переменная	Со значительными толчками и вибрациями	2
Ударная	При весьма сильных и частых толчках	3

Табл. 2.—Значения коэфициента $K_к$.

Вращающееся кольцо	Тип подшипника	$K_к$
Внутреннее	Все типы	1
Наружное	Все типы, кроме сферич. самоустанавливающихся	1,45
»	Сферич. самоустанавливающиеся	1,1

При наличии помимо радиальной R еще аксиальной нагрузки A на подшипник аксиальная нагрузка условно приводится к радиальной, и тогда величина приведенной нагрузки $Q_{пр.}$ выразится ф-лой:

$$Q_{пр.} = R + mA, \qquad (7)$$

где m—переводной коэф., зависящий от типа и размера подшипника (см. табл. 4).

Табл. 3.—Значения коэфициента долговечности K_θ.*

Срок службы, ч.	K_θ	Срок службы, ч.	K_θ
500	0,50	10 000	1,25
1 000	0,62	15 000	1,40
2 000	0,78	25 000	1,62
3 000	0,90	50 000	2,00
5 000	1,00	100 000	2,46

* За единицу долговечности взято 5 000 часов.

Табл. 4.—Значение переводного коэфициента m.

Тип подшипника	m
Радиальные однорядные шарикоподшипники	1,5
Радиальные сферич. шарикоподшипники . . .	3,75
То же, но с закрепит. втулкой	4,5
Магнетные шарикоподшипники	2
Конич. роликоподшипники	1,3
Роликоподшипники с короткими цилиндрич. роликами	0
Роликоподшипники двухрядные самоустанавл.	3

Таким образом в общем случае имеем:

$$Q_1 = (R + mA) K_\theta \cdot K_\kappa \cdot K_\partial. \qquad (8)$$

Из вышеизложенного следует, что при выборе подшипника катания необходимо установить: 1) величину и направление действующей нагрузки (отдельно радиальной и аксиальной составляющих); 2) экономически целесообразный рабочий срок службы подшипника (долговечность в часах); 3) характер нагрузки (постоянная, переменная, ударная и т.д.); 4) число оборотов вращающегося кольца подшипника; 5) особые требования, предъявляемые к подшипнику в зависимости от назначения машины и условий ее работы; 6) достаточность защиты подшипника от вредных влияний: пыли, газов, высокой $t°$; 7) надежность конструкции уплотнений подшипников.

Существующие посадки подшипников катания обычно лежат в границах умеренных плотных посадок первого и второго классов. Объясняется это тем, что жесткие прессовые посадки сильно раздают внутренние и сжимают наружные (сравнительно тонкие) кольца подшипников; при незначительных люфтах подшипника (зазор между шариками и кольцами) такая деформация может повлечь зажим шариков и отразиться на долговечности подшипников. Ходовые посадки неприменимы, так как не обеспечивают тесного соприкосновения подшипника с валом или корпусом. Опыт показывает, что вращающееся кольцо подшипника должно всегда плотно сидеть на валу. Для неподвижного кольца желательно оставлять небольшую возможность продольных перемещений из-за $t°$-ных деформаций. Чем более нагрузка и скорость вращения, тем плотнее д. б. насажено неподвижное кольцо. При ударных нагрузках жесткость посадки д. б. увеличена. При больших числах оборотов и малых нагрузках желательно создавать более или менее одинаковые пригонки для обоих колец. Следовательно при выборе посадок необходимо обращать внимание на три основных фактора: 1) какое кольцо подшипника вращается, 2) число оборотов и 3) характер и величину нагрузки. При тяжелых нагрузках, т. е. когда долговечность работы подшипника исчисляется примерно в 1 000—2 000 час., употребляются прессовые и тугие прессовые посадки. Нагрузки с долговечностью подшипника в 2 000—5 000 часов следует считать нормальными, и для них применяются легкая прессовая и глухая посадки. Легкие нагрузки с долговечностью подшипника свыше 5 000 час. требуют применения напряженных и плотных посадок. Соответственно тому, что посадки для шарикоподшипников лежат в пределах не ниже умеренных плотных посадок второго класса точности, сам подшипник должен иметь допуск по основным габаритным размерам: по наружному и по внутреннему диаметрам очень жесткие, лежащие в пределах не ниже первого класса точности, что в свою очередь гарантирует точность применения посадок, лежащих во втором классе точности. Предельные отклонения внутреннего диаметра Ш. и р. п. даны в табл. 5.

Производство Ш. и р. п. Для подшипников требуется сталь различного качества в зависимости от изготовляемых из нее частей Ш. и р. п. Основным сортом является высокоуглеродистая хромистая сталь, идущая на кольца, шарики или ролики; химич. состав ее по ОСТ 5235 указан в табл. 6.

Табл. 5.—Допуски для внутреннего диаметра Ш. и р. п. (в μ).

Номинальный диам., мм . .	<30	30—50	50—80	80—120	120—180	180—230	230—360
Верхний допуск	0	0	0	0	0	0	0
Нижний допуск	−10	−12	−15	−20	−25	−30	−35

Табл. 6.—Состав хромистых сталей для Ш. и р. п. (в %).

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni
					не более		
ШХ 6	0,95—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	0,45—0,75	0,020	0,027	0,20
ШХ 9	0,95—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	0,75—1,05	0,020	0,027	0,20
ШХ 10	0,30—0,42	0,40—0,70	0,15—0,35	0,80—1,20	0,030	0,030	0,20
ШХ 12	0,95—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	1,05—1,40	0,020	0,027	0,20
ШХ 15	0,95—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	1,30—1,65	0,020	0,027	0,20

В обозначениях марок буквы «ШХ» обозначают сталь шарикоподшипниковую хромистую, а цифры указывают среднее содержание хрома в десятых долях процента. В марках ШХ 6, ШХ 9, ШХ 12 и ШХ 15 содержание серы и фосфора в сумме не должно превышать 0,045%. Шарикоподшипниковая сталь выплавляется в электрических или кислых мартеновских печах; сталь марки ШХ 10 может выплавляться в основных мартеновских печах. Назначение марок стали: ШХ 6—для шариков холодной штамповки при диам. прутков до 8 *мм*, ШХ 9—для таковых же при диам. прутков 8—14 *мм* и для шариков горячей штамповки при диам. прутков 14—20 *мм*, ШХ 10—для витых роликов, ШХ 12—для шариков при диам. прутков свыше 20 *мм*, ШХ 15—для колец и роликов. Твердость по Бринелю шарикоподшипниковой хромистой стали в отожженном состоянии не должна превышать 207 (диаметр отпечатка при испытании 10-*мм* шариком и нагрузке 3 000 *кг* не д. б. менее 4,2 *мм*). Доставляется

эта сталь в отожженном после последней прокатки состоянии. Для производства сепараторов и закрепительных шайб применяется малоуглеродистая ленточная сталь следующего химич. состава: 0,10—0,18% C; 0,30—0,50% Mn; 0,10% Si; ≤0,04% S; ≤0,04% P. Сопротивление разрыву ее должно лежать в пределах 30—40 *кг/мм²*, а удлинение 25—35%. Для закрепительных втулок и гаек идет малоуглеродистая сталь следующего химич. состава: 0,15—0,25% C; 0,3—0,6% Mn; 0,07—0,05% Si; ≤0,045% P и ≤0,05% S. Сопротивление разрыву должно лежать в пределах 35—45 *кг/мм²*, удлинение ≥23%, сжатие поперечного сечения ~60%. По сортаменту применяются: валовая сталь (в точеном и черном виде) для колец Ш. и р. п. и для гаек; круглая калиброванная сталь (холоднотянутая) для шариков и роликов; толстостенные цельнотянутые трубы (в точеном виде) для наружных и внутренних колец и для гаек; тонкостенные цельнотянутые трубы без шва для закрепительных втулок и холоднотянутая калиброванная лента для сепараторов и закрепительных шайб.

До 1931 г. шарикоподшипниковой пром-сти в Союзе почти не существовало, за исключением небольшого з-да в Москве, перешедшего к нам от концессии SKF в 1931 г., вырабатывавшего подшипники в ничтожных по отношению к спросу количествах. Этот завод мог удовлетворить (в среднем за 1923—30 гг.) не более 15% потребности нашей пром-сти в Ш. и р. п.; остальное количество приходилось выписывать из-за границы. Вступление в строй ряда машиностроительных гигантов: Моск. автомобильного з-да им. Сталина, тракторных (Харьковского, Сталинградского, Челябинского), Горьковского автомобильного з-да и целого ряда других, а также перспективы второй пятилетки подняли потребность в подшипниках на небывалую высоту. В соответствии с этим был намечен к строительству 1-й государственный шарикоподшипниковый з-д им. Кагановича, уже вступивший в число действующих з-дов.

Характерной особенностью подшипникового производства является то, что к нему предъявляются большие требования в части точности обработки, следствием чего основной частью работ по производству подшипниковых деталей (колец, шариков, роликов) являются шлифовальные работы. Это производство в основном распадается на две части: 1) заготовительные работы и 2) окончательная доводка до необходимой степени точности. Заготовительные работы по производству колец производятся на горизонтальных ковочных машинах типа Аякса или Газенклевера, если в этом есть надобность, после чего из этих поковок или непосредственно из валов или труб производится обточка колец на автоматах одно- или многошпиндельных. Кольца после обточки, пройдя термич. обработку, поступают на шлифовку, причем монтажные поверхности—цилиндрич. поверхности по наружному и внутреннему диаметрам и торцовые плоскости колец только шлифуются, а рабочие поверхности (бег шариков) кроме того и полируются с целью дать гладкую беговую дорожку без рисок, царапин и следов шлифовки. Основным оборудованием в процессе шлифовки являются нормальные *шлифовальные станки* (см.), применяемые и в других отраслях пром-сти; некоторые из них однако при использовании в подшипниковом производстве требуют переделок и специальных приспособлений. Типы применяемых станков следующие: а) по плоской шлифовке—станки типа «Бланшард» с круглым вращающимся столом и специальным приспособлением для автоматической подачи колец; б) по круглой шлифовке—бесцентровые или центровые станки типов «Цинцинати» или «Нортон»; в) по шлифовке дыр—станки типа «Геджматик» со специальным приспособлением для автоматич. останова подачи по достижении требуемого размера; г) по шлифовке сферич. поверхностей или желобов наружных колец—станки типа «Ван-Норман» с гидравлич. подачей и автоматич. выключателем; принцип действия станков этого типа основан на том, что помимо вращательного движения шлифовальный камень имеет еще колебательное движение вокруг определенного центра для получения шаровой поверхности строго выдержанного размера по радиусу; д) по шлифовке желоба у внутренних колец—станки типа «Фиат» или «Лидчепинг» SLM - 1, SLM - $1^1/_2$. Полировка как правило производится на специальных бабках вручную.

Производство шариков. Заготовительные работы состоят в прессовке на прессах типа «Манвиль» или «Мальмеди», грубой опиловке между двумя стальными рифленными дисками на специальных станках типа «Фиат», после чего следует термич. обработка в непрерывных печах. Чистовые отделочные работы заключаются в шлифовке на специальных шлифовальных станках типа «Фиат» или «Норма», снабженных двумя торцовыми дисками с кольцевыми канавками, в которых помещаются шлифуемые шарики; за ней следует полировка в гладких чугунных барабанах с венской известью, а для окончательной полировки — в колоколообразных барабанах вместе с обрезками кожи (хромом). Производство роликов в части заготовительных работ осуществляется на токарных многошпиндельных автоматах, а в части отделочных чистовых — на шлифовальных станках типа бесцентровых и плоскошлифовальных станках. Производство сепараторов, гаек и закрепительных втулок ничем не отличается от обычных производств; только в виду массового производства все операции в данных случаях узко специфицированы с соответствующим подбором оборудования. Основным моментом в производстве Ш. и р. п. является в виду требуемой большой точности изготовления (отдельных деталей и всего подшипника в целом) правильная постановка производственного контроля в процессе прохождения всего производственного цикла как каждой детали в отдельности, так и всего подшипника. Контроль этот на подшипниковых з-дах производится посредством специальной аппаратуры, приспособленной исключительно для требуемых специфич. размеров.

При установке шарикоподшипников необходимо, в виду их чувствительности к продольным нагрузкам, обратить самое серьезное внимание на возможность свободного расширения вала при колебаниях температуры. Если вал вращается на одних только поперечных подшипниках, то лишь один из них д. б. установлен неподвижно в продольном направлении в корпусе подшипника, а все остальные должны иметь возможность продольного перемещения. Выгодно даже у установочного подшипника не зажимать вплотную наружного кольца шари-

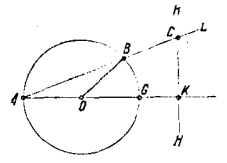
коподшипника, а допускать продольную игру порядка 0,4—0,8 *мм*, к-рая позволяет проверять продольную подвижность всех шарикоподшипников. Как указывалось выше, вращающееся кольцо (обычно внутреннее) должно плотно сидеть на соответственной детали. Обычно для этого перед насаживанием на вал шарикоподшипники нагревают в масляной ванне до 40—60° и нагоняют помощью отрезка трубы, обработанного строго перпендикулярно оси на торцевой поверхности и опирающегося исключительно на внутреннее кольцо шарикоподшипника. Весьма важна хорошая и целесообразная смазка Ш. и р. п.; целью ее является однако, в противоположность подшипникам скользящего трения, не столько уменьшение трения, сколько защита шариков и подшипниковых колец от ржавчины и отчасти от пыли. Быстро вращающиеся Ш. и р. п. смазываются машинным маслом, что обусловливает необходимость применения закрытых корпусов; для медленно вращающихся употребляют консистентные жиры (шавот, вазелин, графитированные масла). Злейшими врагами Ш. и р. п. являются всякие могущие проникнуть в них твердые посторонние частицы—пыль, песок, ржавчина, мелкие металлич. стружки и т. п. При конструировании корпусов Ш. и р. п. на это обстоятельство д. б. обращено самое серьезное внимание; для защиты от проникновения твердых частиц извне служат крышки, лабиринтовые уплотнения и пропитанные салом войлочные кольца, закладываемые в особые виточки в корпусе подшипника. Лишь при исполнении всех этих условий можно ожидать достижения полного эффекта от установки Ш. и р. п. Преимуществами последних в эксплоатационном отношении являются; 1) уменьшенный общий коэф. трения порядка 0,0011—0,0018 сравнительно с 0,03—0,06 подшипников скользящего трения, 2) коэф. трения зависит лишь в незначительной мере от нагрузки и почти не меняется в зависимости от скорости, 3) коэф. трения покоя приблизительно равен таковому движения, 4) малый расход смазки и надежность в работе.

Лит.: Беер и Гольке, Шарико- и роликоподшипники, пер. с нем., М., 1927; Бах К., Детали машин, их расчет и конструкция, пер. с нем., т. 2, Л.—М., 1930; Хедер Г., Конструирование и расчеты, пер. с нем., т. 2, Л., 1929; Stellrecht H., Die Belastbarkeit der Walzlager, B., 1928; Hertz, Ueber die Deformation fester elastischer Körper, Lpz., 1895. Расчет подшипников: Mundt R., Ermüdungsbruch und zulässige Belastung von Walzlager, B., 1928. Применение подшипников: Rothneiler, Wirtschaftlicher Einbau von Walzlager in Kraftfahrzeuge, «Automobiltechnische Ztschr.», B., 1931, H. 9. Производство: Шейнин П., Производство шарикоподшипников на заводе Ransome Marles, «Вестник металлопромышленности», М., 1930, *4*; Крапивин А., Шарикоподшипник и его производство на 1 ГПЗ им. Л. М. Каганoвича, М.—Л., 1933. Расчет подшипников: Грейер В., Расчет роликоподшипника для коленчатого вала авиационного мотора, «Техника воздушного флота», М., 1931, *1*; Brühl, Die Geschichte des modernen Kugellagers, «Z. d. VDI», 1909; Eipel H., Ueber die Belastung und die Lebensdauer von Kugellagern, «Maschinenbau», B., 1927, *21*; Mundt R., Tragfähigkeit von zylindrischen Rollenlagern, ibid., 1931, Mai; Palmgren A. u. Sundberg R., Spoesmalrörende Kullagrens belastungsförmåga, «Teknisk Tidskrift Mekanik», 1919, *4*; Palmgren A., Die Lebensdauer von Kugellagern, «Z. d. VDI», 1924, p. 339; Palmgren A., Note on Theoretical a. Practical Method of Calculating the Carrying Capacity of Roll Bearings, «Proceed. of the Inst. of Automobil Engineers», L., 1923.

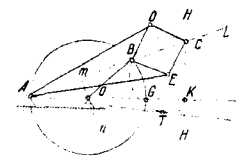
К. Голубев.

ШАРИКОПОДШИПНИКИ, см. *Шариковые и роликовые подшипники.*

ШАРНИРНЫЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ, механизмы, отдельные точки звеньев которых описывают траектории, являющиеся прямыми или весьма близкими к прямым, без устройства специальной поступательной пары для обеспечения этого движения. Ш. н. м. делятся на две группы: первая—точные направляющие механизмы, т. е. такие механизмы, у которых траекториями являются точные прямые, и вторая—приближенные направляющие механизмы, у к-рых траектории близки к прямым.



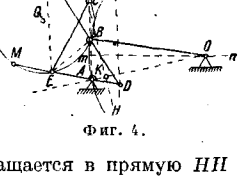
Фиг. 1.



Фиг. 2.

Первая группа Ш. н. м. весьма невелика и основана гл. обр. на использовании нек-рых геометрич. соотношений. Вторая группа Ш. н. м. бесконечно велика, т. к. в каждом механизме имеются точки, движущиеся по траекториям, б. или м. близко подходящим к прямой линии. Из точных Ш. н. м. необходимо отметить механизмы, построенные на использовании геометрич. свойства, называемого инверсией (см. *Инверсия* в математике), откуда вся группа этих механизмов получила свое название инверсоров. Уравнение инверсий, используемое для построения механизмов, относится к случаю, изображенному на фиг. 1, когда одна

Фиг. 3.



Фиг. 4.

из окружностей обращается в прямую HH и удовлетворяется соотношением:

$$AB \cdot AC = AG \cdot AK = K^2.$$

Прямая HH (фиг. 1) и использована в механизме положительного инверсора Поселье-Липкина (фиг. 2), предложенного франц. инж. Поселье в 1864 г. и независимо от него русским ученым Липкиным в 1871 г. Этот механизм должен удовлетворять условию:

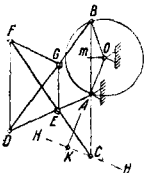
$$AD = AE;\ BD = DC = EC = BE \text{ и } AO = BO.$$

При этих условиях точка C будет описывать прямую, перпендикулярную к AO. В самом деле, точка C всегда лежит на одной прямой с B и A, т. к. по свойству ромба диагональ BC делит отрезок DE пополам и к нему перпендикулярна; высота равнобедренного тр-ка ADE делит DE пополам и к нему перпендикулярна. Следовательно диагональ CB совпадает с высотой и значит проходит через точку A. Из точки E опишем окружность радиусом EC, к-рая вследствие равенства $BE = EC$ пройдет через точку B. Проводим из точки A касательную AT к описанной окружности. Тогда имеем:

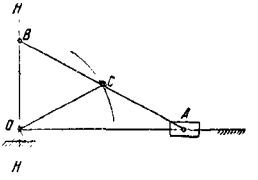
$$AB \cdot AC = AT^2 = \text{Const},$$

т. к. радиус EC остается все время постоянным, а центр E находится на постоянном расстоянии

AE от точки A. При движении точки B по окружности, проходящей через точку A, центр этой окружности O будет лежать на перпенди-

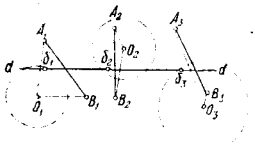


Фиг. 5.

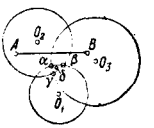


Фиг. 6.

куляре mn, восстановленном из середины отрезка AB. Соединяя точку B с точкой O с помощью звена BO, получим при движении всего механизма $AECDBO$ перемещение точки C по



Фиг. 7.

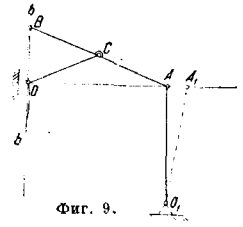


Фиг. 8.

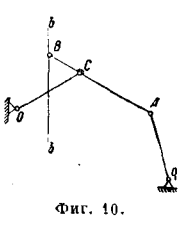
прямой HH, перпендикулярной к AO. Подобное же движение м. б. выполнено механизмом отрицательного инверсора Поселье (фиг. 3).

Аналитич. решение задачи об использовании инверсии в механизмах приводит к использованию метода комплексной переменной, дающему исчерпывающее решение этой задачи в общем виде (работы Лурье, Лойцянского и др.).

Точный Ш. н. м. сист. Гарта (фиг. 4) должен удовлетворять условию $DE=FG$, $DG=EF$ и $OA=OB$. В этом механизме точка C движется по прямой HH, перпендикулярной к AO. Для воспроизведения этого движения точки C



Фиг. 9.



Фиг. 10.

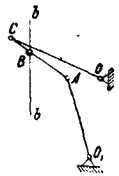
строим фигуру $EFGD$, удовлетворяющую вышеуказанным равенствам. На звене ED закрепляем произвольную точку A, проводим $AL \parallel DF$, отмечаем точки B и C пересечения этой параллели со звеньями DG и EF и соединяем точку B с точкой O, лежащей на перпендикуляре mn, восстановленном из середины AB. На фиг. 5 дано преобразование механизма Гарта для точки A, выбранной вне звена DE.

Точный Ш. н. м. сист. Эванса (фиг. 6) должен удовлетворять условию:

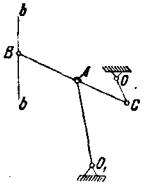
$$OC=AC=BC=\frac{AB}{2}.$$

В этом механизме точка B движется по прямой HH. Данный механизм является направляющим, но не шарнирным, т. к. в нем имеется в точке A поступательная пара, и указывается как имеющий практич. применение.

Решение задачи о приближенных Ш. н. м. сводится к решению задачи о нахождении в звене механизма точек, траектории которых были бы близки к прямой линии. Т. к. точки

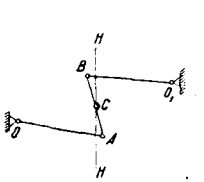


Фиг. 11.

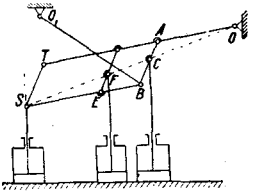


Фиг. 12.

звена, лежащие в данный момент на окружности поворотного круга или близ него, имеют для этого момента радиусы кривизны своих траекторий равными бесконечности или близкими к ней, то нахождение точек, движущихся по приближенно прямолинейным траекториям, м. б. выполнено следующим графич. приемом. Пусть требуется найти подобную точку на звене AB, движущемся концами по своим траекториям. Берем крайние положения A_1B_1 и A_3B_3 (фиг. 7) и какое-либо промежуточное A_2B_2 звена AB и строим для всех этих положений поворотные круги с центрами O_1, O_2 и O_3. Точки звена, к-рые за все эти положения двигаются приближенно прямолинейно, должны лежать

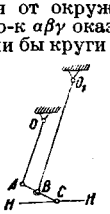


Фиг. 13.

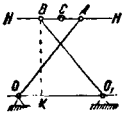


Фиг. 14.

или на построенных окружностях или вблизи них. Для определения этих точек совмещаем положения A_1B_1, A_2B_2 и A_3B_3 вместе с поворотными кругами так, чтобы совпали крайние точки звена (фиг. 8). При этом выделится участок $\alpha\beta\gamma$, одновременно принадлежащий трем поворотным кругам. Выбрав в этом тр-ке точку δ, равно отстоящую от всех поворотных кругов, и вычертив ее траекторию, получим, что эта траектория будет почти прямой, т. к. точка δ за все три положения весьма близко находится от окружностей поворотных кругов. Если тр-к $\alpha\beta\gamma$ оказался бы чрезмерно большим или если бы круги не пересеклись между собой,



Фиг. 15.

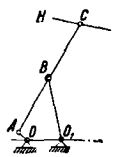


Фиг. 16.

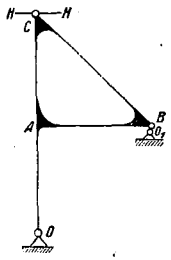
то необходимо было бы исследовать другие положения отрезка AB. При выборе точки δ в точках α, β или γ получаем прямолинейное движение за два соответствующих момента. На фиг. 9 показан приближенный Ш. н. м. системы Эванса, полученный из точного (фиг. 6)

путем замены поступательн. пары парой вращательной в точке O_1 и звеном O_1A, имеющим значительную длину. В этом механизме незначительные перемещения точки A от A_1 влево дают значительные перемещения точки B по траекториям, весьма близким к прямой. Этот механизм находит себе применение в различных самопишущих приборах. Ведущая точка C звена AB Ш. н. м. сист. Эванса м. б. выбрана и не по середине звена AB, а ближе к точке B (фиг. 10), или же, как это показано на фиг. 11 и фиг. 12, за точками A и B.

К приближенным Ш. н. м. принадлежат механизмы Уатта (фиг. 13 и 14); см. *Параллелограм Уатта*. Здесь по приближенным прямым двигаются точки C, F и S. На фиг. 15 дан Ш. н. м. сист. Уатта с центрами O и O_1, лежащими по одну сторону от прямой HH. В этом

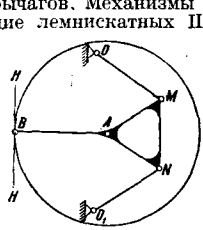


Фиг. 17.

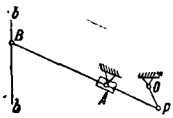


Фиг. 18.

механизме все соотношения остаются теми же, но точка C делит внешним образом отрезок AB на части, обратно пропорциональные длинам рычагов. Механизмы Уатта часто носят название лемнискатных Ш. н. м., так как точки звена AB имеют своими траекториями лемнискаты.



Фиг. 19.



Фиг. 20.

Акад. Чебышевым был предложен целый ряд механизмов, из к-рых нек-рые необходимо отметить. Перекрестный шарнирный направляющий механизм дан на фиг. 16 с наиболее удобными соотношениями звеньев:

$$OO_1 : OA : O_1B : AB = 4 : 5 : 5 : 2.$$

При движении механизма середина звена AB—точка C—описывает траекторию на большом протяжении, мало отличающуюся от прямой. Опустив из точки B на OO_1 перпендикуляр BK, нетрудно убедиться, что стороны тр-ка BKO_1 относятся между собой, как

$$KO_1 : BK : BO_1 = 3 : 4 : 5.$$

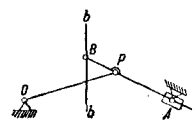
На фиг. 17 изображено т. н. прямило Чебышева. Точка C механизма движется по приближенной прямой HH при перемещении точки A по нек-рой дуге. Наиболее удобным соотношением является следующее:

$$AB = BC = BO_1 = 64; \quad OA = 11 \text{ и } OO_1 = 25.$$

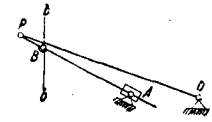
На фиг. 18 изображен непрерывный трансформатор Чебышева. Точка C механизма движется по прямой HH при перемещении точки B по целой окружности около точки O_1. Наиболее удобным соотношением является следующее:

$$OA = AB = AC = 100; \quad OO_1 = 141 \text{ и } O_1B = 5.$$

Тр-к ABC жесткий с прямым углом при точке A. На фиг. 19 показан механизм тр-ка



Фиг. 21.

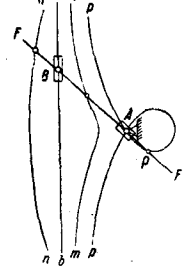


Фиг. 22.

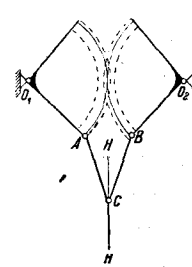
Робертса. Прямолинейную траекторию описывает точка B. Ведущими точками являются точки M и N, расположенные внутри малой окружности Кардана, симметрично относительно диам. BA.

Необходимо отметить нек-рые направляющие механизмы, в к-рые кроме шарниров входят и пары поступательные. К числу этих механизмов относится группа конхоидальных направляющих механизмов (фиг. 20, 21 и 22). Эти механизмы имеют прямолинейно движущимися точки B и основаны на том, что если звено FF (фиг. 23) движется так, что проходит через неизменный центр A, а его точка B движется по нек-рой прямой bb, то отдельные точки прямой FF описывают кривые mm, nn, pp, называемые конхоидами, имеющие различные очертания в зависимости от выбора точки на звене AB. Если, обратно, заставить прямую FF проходить через точку A, а какую-либо точку, напр. P, двигать по конхоиде pp, то точка B будет двигаться по прямой. Участки конхоид м. б. без больших погрешностей заменены дугами окружностей, тогда получаем ряд различных схем механизмов (фиг. 20, 21, 22). Впервые эти механизмы были построены Рейхенбахом. К числу направляющих механизмов, с введением одной высшей пары, относится механизм Картрайта (фиг. 24). Здесь прямолинейное движение точки C осуществляется введением двух зубчатых секторов. В этом механизме $O_1A = O_2B$, $AC = BC$ и оба сектора равны между собой.

Обратными Ш. н. м. называются механизмы, полученные из Ш. н. м. путем обращения движения. Если в каком-либо механизме



Фиг. 23.

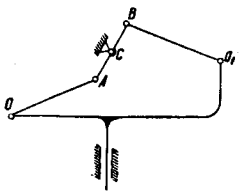


Фиг. 24.

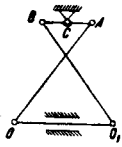
какая-либо точка движется прямолинейно-поступательно относительно неподвижного звена, то можно, закрепив эту точку, получить прямолинейно-поступательное движение звена, ранее бывшего неподвижным. Таким образом были

получены обратные Ш. н. м. систем Эванса, Картрайта, Чебышева и др. На фиг. 25 дан обратный механизм Уатта, а на фиг. 26 обратный механизм Чебышева.

Среди пространственных Ш. н. м. необходимо отметить сферические Ш. н. м. В этих механизмах отдельные точки двигаются не по прямым, а по дугам, лежащим в различных плоскостях, секущих сферич. поверхность. Теория их построения сводится к отысканию вышеуказанных ранее приемов точек плоского механизма, имеющих своими траекториями

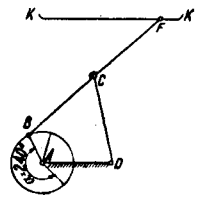


Фиг. 25.

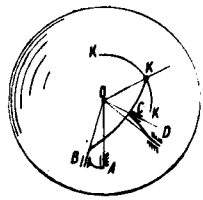


Фиг. 26.

приближенные прямые, и к переносу полученных механизмов с сохранением выбранных соотношений на сферу. Все точки, к-рые в плоскости механизма двигались по прямой, в перенесенном на сферу механизме будут перемещаться по дугам окружностей сферы. Подобным образом м. б. построены сферические механизмы, аналогичные вышеуказанным плоским. Из числа сферич. Ш. н. м. можно указать механизм, предложенный И. Артоболевским. Этот механизм на плоскости (фиг. 27) аналогичен прямилу Чебышева (фиг. 17) и отличается от него соотношением звеньев $AB : AD : BC : CD : CF = 11 : 25 : 32 : 32 : 32$, а также тем, что прямолинейная часть траектории точки F параллельна неподвижному звену AD и соответствует повороту кривошипа AB на 240°. На сфере этот механизм описывает дугу KK (фиг. 28), имеющую различную величину в зависимости от выбранного радиуса сферы.



Фиг. 27.



Фиг. 28.

Из указанных Ш. н. м. практическую важность представляют только немногие, так как обилие шарниров делает эти механизмы легко расшатываемыми, что отзывается на точности их движения. Их применение ограничивается главным образом областью приборостроения и теми случаями, когда необходимо преобразовать вращательное движение в поступательное без применения поступательных кинематических пар.

Лит.: Мерцалов Н., Кинематика механизмов, М., 1916; Зернов Д., Прикладная механика, Л., 1925; Рузский Д., Кинематика машин, Киев, 1908; Чебышев П., «Изв. Петербургской академии наук», СПБ, 1881; Лурье А., К теории приближенных шарнирных направляющих механизмов, «Журн. прикладной физики», М.—Л., т. 2, вып. 3—4; Лойцянский Л., О нек-рых свойствах движения Watt'a, «Изв. Ленинградского политехнич. ин-та», Л., 1927, т. 30; Артоболевский И., Синтез и кинематич. анализ сферич. механизмов, «Труды ин-та с.-х. машиностроения», 1933, вып. 1; Darboux G., «Bull. des sciences mathématiques», P., 1879, t. 3, p. 151.

И. Артоболевский.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ К XXV т. Т. Э.

Автохром 167.
Активаторы 35.
Активин 530.
Александольского формула 195.
Алит 654.
Алонжи 734.
Амид муравьиной кислоты 78.
Аммоний цианистый 723.
Аммония перхлорат 527.
Ангидрид фосфористый 134.
Аномалия Дента 812.
Антраценовый зеленый 711.
Апотеции 16.
Апохроматы 161.
Аргумент функции 411.
Арканзас 426.
Аскусы 16.
Астигматизм 160.
Астрафлоксин 716
Ауксохромы 612.
Аффиксы 813.
Ахромат 159.
Аэрация 60.
Аэрокартограф 206.
Аэрофотоаппараты 151.
Аэрофотография 168.

Базидии 16.
Бактерии 14.
Баланс 796, 808.
Барабаны рыхлительные (для хлопка) 498.
Барат 637.
Бассейны коррекционные 679.
Башмак (фундамент) 403.
Белила цинковые 753.
Бензил хлористый 529.
Бензилиден хлористый 529.
Бензоил хлористый 529.
Бильд-аппарат 168.
Бихроматы 604.
Бленды 151.
Блоки (глыбы) 636.
Блуждающие подземные токи 401.
Бокситы 686.
Бордосская жидкость 386.
Бразилеин 635.
Бразилин 632, 635.
Браунит 675.
Бромомасляный способ печати 165.
Бромоцианирование 719.
Бунзена-Роско закон 258, 259.
Бургундская жидкость 386.
Бюгель 810.

Варочная кислота 640, 641.
Вашпта 426.
Вело-цемент 659.
Вельц-процесс 753.
Виллемит 742, 757.
Виноградное масло 371.
Вираж-фиксаж 164.
Вирирование 164.
Вирусные болезни 16.
Виско 626.
Вискоза 637.
Вискоцелле 636.
Витроцелле 636.
Вода цеолитная 703.
Водород фосфористый 132.
Волосок 808.
Вольтметр катодный 783.
Воробьевит 636.
Ворохоочистители 497.
Вспениватели 39.
Вытягивание лент 468.
Вытяжка 470.
Выход квантовый 276.
Вычетов теория 415.
Вязкость удельная 625.

Галоидгидрины 533.
Галопирование 825.
Гармоники 420.
Гексахлорбензол 532.
Гексахлорэтан 529.
Гелиотроп 427.
Гелиоцел 636.
Гематеин 632, 634.
Гематит 47.
Гематоксилин 634.
Геодезическая основа 200.
Геометрия проективная 248.
Гермизан 386.
Гиббса-Гельмгольца уравнение 431.
Гидрооксис хрома 603.
Гидрохиноны 434.
Гидроцинкит 758.
Гинье зелень 610, 611.
Гипохлориты 525.
Глиномес 869.
Готовальня 857.
Градирни 566.
Графика лучевая 250.
Гребенные машины 464.
Гренадил 632.
Грибы ржавчинные 18.
Грундбукса 576.
Грязевик 587.
Гульдена теорема 692.
Гуна набивка 576.

Давление критическое 707.
Дагерротипия 161.
Дагор 160.
Дезинтеграторы 641.
Деление частоты 787.
Делительная фотоэлектрическая машина 296.
Демаргаринизация 450.
Депрессанты 35.
Дешифрирование 202.
Диспергирование 39.
Диссоциация оптическая 265.
Дисторсия 160.
Дифосген 529.
Дифтордифенил 385.
Дихлорбензолы 523.
Дихлоргидрины 533.
Дихлорэтилен 529.
Дициан 711.
Дициандиамид 713.
Древесина белая 633.

Жавелевая вода 525.
Железное дерево 632.
Железные шляпы 756.
Железняк хромистый 603, 608.
Железо хлористое 528.
Железо хлорное 528.
Желтуха 16.

Завитки 507.
Закаточные машины 441.
Замок 743.
Замораживание фруктов 370.
Заполнители 367.
Зелени цинковые 753.
Землеобработник 303.
Землефреза 298.

Иглы паровые 409.
Известняки 686.
Известняк доломитизированные 42.
Изофталевая кислота 380.
Изохронизм 804.
Икс-единица 425.
Инверсия 883.
Инверсоры 883.
Индикаторы напряжения 783.
Индикаторы тока 782.
Индоцианины 716.
Интегратор 176.
Интервалометр 153.
Инфекция 16.
Иприт 529.

Каламин 758
Калий двухромовокислый 605.
Калия перхлорат 527.
Кальций цианистый 723.
Камень накладной 815.
Камень покровный 815.
Камень сквозной 815.
Кампеш 634.
Канаас 426.
Канпя (судостр. отд.) 554.
Капустная кила 19.
Карбэтоксихинин 541.
Кардочесальная машина 462.
Кардочесание 462.
Кармашки слив 19.
Карнеол 426.
Картофельная болезнь 20.
Кассеты 149, 162.
Катера теорема 805.
Кахолонг 426.
Кахчолонг 426.
Квантовый выход 708.
Кварц-агат 427.
Кварц-халцедон 427.
Квасцы аммиачнохромовые 604.
Кео 56.
Кернер 595.
Кехлина формула 471.
Киноварь зеленая 611.
Кипораабиватель 453.
Клапаны компрессора 575.
Клапп-камеры 143.
Кларифуаль 636.
Клетчатка 638.
Колесо барабанное 796.
Колесо вексельное 798.
Колесо секундное 798.
Колинеар 160.
Коллектор 33.
Колодцы чикагские 396.
Колоштейи 822.
Комбайны-сборщики 492.
Комплексная степень 414.
Компрессор 572.
Консоли 335.
Константа 412.
Конус 151.
Корка фабричная 432.
Коробочкоудалитель 498.
Корпус фотографического аппарата 151.
Косинуса закон 170.
Коттон-пиккер 493.

Коттонстеарин 450.
Коэфициент адмиралтейский 549.
Коэфициент истечения 114.
Коэфициент постели 389.
Коэфициент усиления 287.
Кранца набивка 576.
Красное дерево 633.
Красноломкость 621.
Крейцмейсель 596.
Кремнефтористоводородная кислота 384.
Кремний четыреххлористый 526.
Креозотовое масло 387.
Кронокт 601.
Крон баритовый 611.
Крон свинцовый 610.
Крон цинковый 611, 753.
Кронциркуль 845.
Кронциркуль-заклепочник 855.
Кронштейн 335.
Крупон 835.
Крючковый часовой ход 818.
Крэна набивка 576.
Ксантоза 16.
Купорос цинковый 742.
Купрокс 281.
Кусачки 595.
Кок 737.

Лаки автомобильные 649.
Лаки ацетилцеллюлозные 650.
Лаки для кожи 649.
Лаки из бензилцеллюлозы 650.
Лаки из этилцеллюлозы 650.
Лаки изоляционные 651.
Лаки комбинированные 650.
Лаки нитроцеллюлозные 648.
Лаки цапоновые 649.
Лаки целлоновые 650.
Ламберта закон 170.
Лекальное дело 598.
Лепидин 434.
Лимонит 47.
Листочкоудалитель 497, 502.
Лопата механическая 298.
«Лучистые грибки» 14.
Люксметр 178.
Люмен 171.
Люменметр 176.
Люмен-секунда 171.

Малюсса закон 172.
Маслина 376.
Масло хлопчатниковое 449.
Маслоотделитель 586.
Масляный способ печати 165.
Масштабный коэфициент 197.
Маятник 803.
Маятник конический 796.
Маятник рабский 831.
Медный купорос 387.
Мельница трехкамерная 678.
Металлы ударно-хрупкие 624.
Метафосфаты 137.
Метафосфорная кислота 136, 137.
Метахлораль 530.
Метенилхлорид 536.
Метилхлоркарбонат 540.
Метилхлорсульфат 539.
Метка размыкания 613.
Метод аддитивный 167.
Метод вычитания 167.
Метод сложения цветов 167.
Метод субтрактивный 167.
Микрофотография 168.
Микрофотометр 189.
Миксамеба 14.
Миксомонада 14.
Мильдью 20.
Миндаль 365.
Многосвязная область 413.
Модуляторы света 219.
Мозаичность листьев 16.
Мокикский камень 427.
Мокрица сверлящая 399.
Монитор (фонарь зданий) 58.
Монолейн 190.
Монохлорбензол 531.
Монохроматор 285.
Морин 632, 635.
Мормона формула 54.
Моховик 427.
Муравьиная кислота 536.

Намотка пряжи 478.
Нарезка винтовая 598.
Насадка широкополосная 155
Науглероживание 675.
Независимая переменная 411.
Нектарины 365.
Непрерывная переменная 411.
Нитриды 675.
Нитрирование 675.
Новакулит 426.

Обманка цинковая 732, 755, 757.
Обрезка строгая 769.
Объективы 160.
Односвязная область 413.
Озобром 165.
Озотиция 165.
Окровавленный камень 427.
Округлитель 441.
Оксисульфиды фосфора 134.
Опенер Буклея 456.
Опенер Крейтона 453.
Ортостигмат 160.
Ортофосфорная кислота 136.
Остановы 803.
Отдубина 417.
Отпечаток трансформированный 24
Отражение света 180.
Охладитель 572.

Падение ходового колеса
Палисандр 632.
Паппа теорема 692.
Парабола кубическая 412.
Параллакс горизонтальный стереоскопический 233.
Параметрическое уравнение 704.
Параформальдегид 72.
Пассаж 821.
Паукера формула 398.
Пендельфедер 806.
Пенообразователи 39.
Пентахлорбензол 532.
Пентахлоратан 529.
Период индукции 707.
Перкинса трубки 443.
Перспектограф 252.
Перхроматы 605.
Пескометы 91.
Печать гуммиарабиковая 165.
Печи хлебопекарные 442.
Печи шахтные 680.
Печь вращающаяся 681.
Пинавердол 716.
Пинатипия 165, 167.
Пинацианол 716.
Пиролюзит 47.
Пирослизевая кислота 416.
Пирофосфорная кислота 136.
Плавни 40.
Плазма 426.
Пластик 507.
Пластика рисунка 221.
Пластинки ортохроматические 163.
Пластинки панхроматические 163.
Платина 797.
Пленки тонкие (невидимые) 280.
Полимеры формальдегида 77.
Полисульфиды 386.
Полифосфорная кислота 137.
Полоида 701.
Поля проекции 69.
Понур 50.
Поркюпайн-опенер 458.
Портланд-цемент 652.
Поток попутный 542.
Предел охлаждения 570.
Предпрядение 569.
Преципитат 136.
Припас 870.
Притирка 597.
Притяжка 825.
Пришабривание 865.
Продольно-фрезеровальные станки 343.
Протары 160.
Проход (пассаж) 821.
Прядение 473.
Пульпа 737.
Пурификация 738.
Пуссьера 734, 746.
Пятиокись фосфора 134.
Пятистость 18.

Разложение изображения 213.
Раймовка 734.
Райофан 636.
Рама компрессоров 578.
Распыливание аккумуляторное 112.
Распыливание пневматическое 101.
Распыливание струйное 105.
Распылитель гильзовый 101.
Расстойка 437.
Реакция сенсибилизированная фотохимическая 264.
Реверс 326.
Реверсивный механизм 326.
Редистилляция 735.
Резинотипия 165.
Резонанс электрический 782.
Резонанс электромеханический 781.
Резонаторы 781.
Резьбо-фрезеровальные станки 350.
Рейсмус 594.
Рейсфедер 852.
Рейсфедер-кривоножка 854.
Рейсшина 849.
Реле фотоэлектронное 294.
Рентгенография 168.
Решетка настилальная 453.
Решетка питательная 453.
Ржавчина (грибки) 182.
Ринмана зелень 755.
Рифлера часовой ход 820.
Ролики 882.
Ролька 809.
Роман-цемент 651.
Роса ложномучнистая 19.
Роса мучнистая 19.
Ртуть хлористая 528.
Ртуть хлорная 528.

Сальник 576.
Сандал белый 634.
Сани (sled) 491.
Сапрофиты 13.
Сапфирин 426.
Сардер 426.
Сатиновое дерево 634.
Световая энергия 170.
Световой клапан Вента 219.
Световой поток 170.
Светокопирование 158.
Свеча 171.
Свечение 781.
Сдваивание лент 468.
Седло 335.
Сельфактор 480.
Сенсибилизаторы 163.
Сенсибилизация фотокатодов 280.
Сера хлористая 528.
Сердолик 426.
Серебро хлористое 528.
Серная кислота 386.
Сернал печень 386.
Сернистый ангидрид 387.
Сертиссер 773.
Сесквисульфид 134.
Сети электрочасовые 834.
Сидан 636.
Сидан-идоль 636.
Сидерит 47.
Сила света 170.
Силикат циркония 84.
Сильфрап 636.
Сирцит 84.
Скатол 730.
Склерозия 16.
Скобки 798.
Скручивание листа 770.
След попутный 542.
Слединг 491.
Слизевики 857.
Слой запорный 281.
Служба карантина 27.
Служба учета 27.
Смесеобразование топлива 117.
Смитсонит 758.
Снепинг 491.
Соапсток 450.
Сода 386.
Соединения поверхностные химические 39.
Созревание эмульсии 162.
Сопротивление волновое 542.
Сопротивление остаточное 542, 545.
Сопротивление судна 541.
Сопротивление трения 542.
Сортировка листа 769.
Сортировочные устройства 294.
Спектр молекулярный 260.
Спектр полосатый 260.
Спектрофотометры 184.
Спираль брегетовская 811.
Спирт фуриловый 416.
Спорангий 15.
Спорынья 19.
Спуск хронометрический 618.
Старение 625.
Стереоавтограф 235.

Стереокомпаратор 233.
Стереопланиграф 206.
Стереофотограмметрия 141.
Стильб 171.
Стол фрезеровального станка 326.
«Стоячие волны» 166.
Структура анормальная 670.
Структура нормальная 670.
Судоходство туерное 706.
Сулема 386.
Сульфурил хлористый 528.
Суперфосфат 136.
Сурьма пятихлористая 528.
Сурьма хлористая 528.
Сфалерит 742, 755. 757.

Тальбота закон 173.
Тейлора формула 550.
Тейлора шар 180.
Телескопы 497.
Телестереограф 215.
Телефотографии 213.
Термоген 495.
Тессар 160.
Тестоделители 442.
Тестомесилки 439.
Тетраоксиметилен 77.
Тетрафосфорная кислота 137.
Тетрахлорбензолы 532.
Тетрахлорэтан 529.
Тетрахлорэтилен 529.
Тетрахроматы 604.
Толгофан 636.
Тонирование 164.
Тоншнейдер 869.
Точка росы 570.
Трансляция слоев 621.
Транспарит 636.
Транспортир 595, 859.
Трансформатор частоты 787.
Трафареты 859.
Трескуны 653.
Треугольники чертежные 849.
Трехцветная фотография 166.
Трибки 797.
Трифосфорная кислота 137.
Трихлорбензолы 532.
Трихлорметан 536.
Трихлорметилбензол 529.
Трихлорнитрометан 538.
Трихлорэтилен 529.
Трихроматы 604.
Троостит 758.
Трутовики 20.
Тубус-фотометр 175.
Турман-вакуум 492.
Турмы 642.

Увахромия 167.
Увитиновая кислота 381.
Углерод четыреххлористый 529.
Углы захвата 68.
Углы телесные 178.
Угол импульса 819.
Угол покоя 820.
Угол притяжки 823.
Удвоитель частоты 787.
Узелки 597.
«Уиртип» 191.
Улитка 618, 803.
Умножитель частоты 787.
Униметр 182.
Уретан 541.
Успулун 386.
Утоколор 166.
Утомление цианистых растворов 719.
Утроитель частоты 787.

Фашинизация грядок 495.
Федеркерн 802.
Фейрчайльд 154.
Фенилуретан 541.
Ферментация листа 770.
Феррариса двигатель 828.
Феррохром 601.
Ферроцирконий 760.
Физетин 635.
Флорентин 28.
Флотационные опыты 34.
Флюатирование 384.
Флюсование 744.
Фокус 159.
Фокусное расстояние 159.
Фонари шедовые 58.
Формалин 72, 386.
Формальдегид 387.
Фосген 529.
Фосфаты 136.
Фосфиды 133.
Фосфины 137.
Фосфониевые кислоты 138.
Фосфор белый 128.
Фосфор красный 129.
Фосфор металлический 130.
Фосфористая кислота 135.
Фосфорная кислота 135.
Фосфорноватая кислота 135.
Фосфорноватистая кислота 135.
Фот 171.
Фотогеодезия 207.
Фотограмметрия 232.
Фотографирование с самолета 207.
Фотография воздушная 168.
Фотография измерительная 168.
Фотография стереоскопическая 168.
Фотодиссоциация 265.
Фотометр 175.
Фотометрическая скамья 173.
Фотометрическое тело 176.
Фотопроводимость 277.
Фоторедуктор 256.
Фотосхема 196.
Фототопография 207.
Фотоэлектрическая поверхность 176.
Фотоэффект 277.
Фот-секунда 171.
Франклинит 757.
Фрезерные станки 303.
Фрезеровальные копировальные станки 351.
Фталевый ангидрид 381.
Фталилхлорид 381.
Фторонафталин 385.
Фтороп севдокумол 385.
Фтороформ 385.
Фузея 618.
Фумигация 385.
Фунгисиды твердые 385.
Фундаменты под молоты 406.
Фуроин 416.
Фурфуригидрамид 416.
Фустин 635.
Футор 797.

Характеристика функций 411.
Хинальдин 434.
Хинигидрат 432.
Хиноцианины 716.
Хиолит 384.
Хладагент 572.
Хлебозавод 446.
Хлопкоуборочные машины 493.
Хлоральалкоголят 530.
Хлоральгидрат 529, 530.
Хлорангидрид угольной кислоты 125.
Хлораты, 526.
Хлорацетон 529.
Хлорацетофенон 522.
Хлориды 528.
Хлористая кислота 526.
Хлориты 526.
Хлорная кислота 527.
Хлорноватая кислота 526.
Хлорноватистая кислота 525.
Хлороформ 529.
Хлоро-хромовая кислота 605.
Хлорпикрин 529.
Хлорсульфоновая кислота 528.
Хлоруксусные кислоты 529.
Ховгарда формула 550.
Хода часовые 818.
Холодноломкость 621, 625.
Хольцхаузена формула 471.
Хризокал 740.
Хризопраз 426.
Хризотил-асбест 600.
Хроматы 604.
Хромил хлористый 605.
Хромиты 603.
Хромовые желтые 610.
Хромовый ангидрид 604.
Хромогены 632.
Хромон 27.
Хромпик 605.
Хронометровый ход 523.
Хрупкость тепловая 625.
Хрупкость ударная 621.

Цветная фотография 166.
Цевочная машина 635.
Целит 654.
Целлглас 636.
Целлит 636.
Целлофуаль 636.
Цеменэит 740.
Цементация газом 674.
Центр качания 805.
Центр масс 688.
Церахит 426.
Цетофан 636.
Цех ходовой 773.
Циан хлористый 529.
Цианогруппа 712.
Цианион 712.
Цианирование 674.
Цианотипия 165.
Цибетон 730.
Циклон 540.
Цилиндровый ход 821.
Цикльсбс 678.
Цимофан 600.
Цинкаты 741.
Цинк-грау 753.
Цинкит 741, 757.
Цинковая желтая 753.
Цинковая зелень 611.
Цинковая пыль 731.
Цинковая серая 753.
Цинковые цветы 758.
Циркуль 854.
Цитрусовые растения 362, 376.

Чай байховый 770.
Чай желтый 770.
Чай зеленый 770.
Чай кирпичный 770.
Чай плиточный 770.
Чай цветочный 770.
Часовые хода 818.
Червячный ход 143.
Чертежные машины 850.
Чертилка 594.
Че-чун-ча 861.
Чингалак 492.
Число зерновой структуры 79.
Число солевое 637.

Шаблоны 859.
Шабрение 865.
Шабровка 597, 865.
Шар Ульбрихта 176.
Шарики 882.
Шейки 627, 630.
Шерардизация 745.
Широкоугольник 160.
Шихта самоплавная 43.
Шкала метражная 142.
Шкаф бродильный 442.
Шламм 679.
Шоопирование 746.
Шпат цинковый 758.
Штангенциркуль 856.
Штангенциркуль разметочный 595.
Штативы 150.
Штриховое изображение 214.

Эйхинин 432, 541.
Эквивалентности фотохимический закон 259.
Экгауст-опенер 458.
Экспозиция 162.
Экстра-высокие вытяжки 476.
Эластификация 637.
Электромагнит коррекционный 832.
Электронатирание 751.
Электрооптический затвор Керра 220.
Элемент изображения 213.
Эпифитотия 13.
Эпихлоргидрин 533.
Эри теорема 816.
Эрностар 160.
Этилхлоркарбонат 541.
Этилхлорсульфат 539.

Юглоновая кислота 612.

Ядро древесины 633.
Якоря 798.
Ярность 170.
Яшма 427.