

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ.

ЛЕКЦІИ,

ЧИТАНЫЯ ВЪ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМЪ ИНСТИТУТѢ

ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ I.

Г. Ф. Деппъ.

—

Спеціальная часть.

съ 14 чертежами въ текстѣ.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

—
1906.



1. 0 проектированіи паровыхъ котловъ.

Въ заданіе входятъ: система котла, родъ топлива, его влажность, составъ и теплотворная способность (K ед. m .), давленіе пара p въ котлѣ по манометру (избыточное = абсолютному за вычетомъ атмосфернаго въ kg/cm^2), количество Q пара, доставляемое котломъ въ 1 часъ (въ kg/h) и коэффициентъ полезнаго дѣйствія η котла.

Ходъ разсчета:

I) Сначала опредѣляютъ поверхность нагрѣва котла F (въ m^2) по паропроизводительности m поверхности нагрѣва:

$$F = \frac{Q}{m}.$$

Паропроизводительность поверхности нагрѣва m (т. е., количество пара, снимаемое въ 1 часъ съ 1 m^2 поверхности нагрѣва) колеблется сильно въ зависимости отъ степени форсированія котла (приблизно на $\pm 25\%$) и отъ системы котла. Обыкновенно принимаютъ:

Система котла.	Котлы съ кипяч. и подогрев.	Котлы английскіе.	Котлы съ дымогарн. трубками.	Котлы водотрубные.	Котлы скандинавскіе.	
					Верхній трубчатый.	Нижній (английскій).
m въ $\frac{kg}{h}$	25 — 30	20 — 25	12 — 15	10 — 12	8 — 10	25 — 35

Если заданное количество пара Q максимальное, получаемое при сильной форсировкѣ, то выбираютъ m ближе къ верхнему предѣлу. если же оно — нормальное, то m приближается къ нижнему предѣлу. Далѣе слѣдуетъ имѣть въ виду, что m должно быть тѣмъ меньше, чѣмъ больше η .

II) Паропроизводительность n топлива опредѣляется по формулѣ

$$n = \frac{\eta K}{\xi \lambda + (1 - \xi) q}.$$

Влажностью пара l — ξ обыкновенно пренебрегаютъ при разсчетахъ, если Q — нормальное количество пара, которое должно получаться безъ форсировки. Если же Q — максимальная производительность котла, то можно принять $\xi = 0,97$ до $0,95$ при водотрубныхъ котлахъ безъ сухопарника достаточной величины, для другихъ системъ $\xi = 0,99$ — $0,97$, хотя трудно указать точныя цифры въ виду недостатка опытныхъ данныхъ, заслуживающихъ полнаго довѣрія. q — теплота жидкости.

Полная теплота парообразования опредѣляется по формулѣ Реньо $\lambda = 606,5 + 0,305 t - t_1$. Здѣсь t — температура пара при абсолютномъ давленіи $p_1 = p + b$ (b — давленіе атмосферы въ kg/cm^2) и t_1 — температура питательной воды въ °C. Если другихъ данныхъ нѣтъ, то принимаютъ $b = 1,033 kg/cm^2$ и $t_1 = 0$. Въ нижеслѣдующей таблицѣ, составленной по Флимеру, указаны: температура пара t , полная теплота парообразования λ въ $ед. м.$, и весь Δ одного m^3 пара въ kg :

Абсолютное давленіе p_1 въ kg/cm^2 .	Температура пара $t^\circ C$.	Полная теплота парообразования λ въ $ед. м.$	Весь $1 m^3$ пара въ kg .	Абсолютное давленіе p_1 въ kg/cm^2 .	Температура пара $t^\circ C$.	Полная теплота парообразования λ въ $ед. м.$	Весь $1 m^3$ пара въ kg .
4	142,82	650,06	2,140	10,0	178,89	661,06	5,061
4,5	147,09	651,36	2,390	10,5	181,01	661,71	5,297
5,0	150,99	652,55	2,641	11,0	183,05	662,33	5,345
5,5	154,59	653,65	2,886	11,5	185,03	662,93	5,771
6,0	157,94	654,67	3,132	12,0	186,94	663,52	6,006
6,5	161,08	655,63	3,376	12,5	188,78	664,08	6,238
7,0	164,03	656,53	3,619	13,0	190,57	664,63	6,473
7,5	166,82	657,38	3,861	13,5	192,31	665,16	6,707
8,0	169,46	658,19	4,103	14,0	194,00	665,67	6,940
8,5	171,98	658,95	4,344	14,5	195,64	666,17	7,174
9,0	174,38	659,69	4,583	15,0	197,24	666,65	7,402
9,5	176,68	660,39	4,821	20,0	211,34	670,96	9,794

Болѣе подробныя таблицы см. Гютте и другія справочныя книги.

III) Расходъ B топлива въ часъ (въ $kg h$):

$$B = \frac{Q}{u}$$

Обычныя величины паропроизводительности топлива указаны въ слѣдующей таблицѣ:

Роль топлива.	Нефть.	Каменный Бурый		Торфь.	Дрова.
		у	г о з л ь.		
и	10 — 12	6 — 9	4 — 6	3 — 5	2 — 4

IV) Величина R площади рѣшетки (въ m^2):

$$R = \frac{B}{s}$$

s въ kg/m^2 есть количество топлива, сжигаемое въ часъ на $1 m^2$ пло-

щадя рѣшетки, и зависящее отъ форсировки топки. При нормальныхъ условияхъ можно считать:

Родъ топлива.	Каменный	Бурый	Торфъ и дрова.
	уголь.		
s въ kg/m^2	80 — 100	100 — 200	150 — 250

При сильной естественной тягѣ, можно увеличить цифры на 20%; при искусственной тягѣ, на 100% и больше.

V) Расчетъ форсунки (стр. 328 курса).

Нефтяное окно $f = \frac{B}{3600 \cdot 1000 \Delta_t \varphi v}$ въ m^2

или

$$f = \frac{0,28873}{\Delta_t \varphi v} \text{ въ } mm^2,$$

гдѣ

$$\Delta_t = \Delta_{15} \frac{1 + 15\alpha}{1 + 2t}$$

удѣльный вѣсъ остатковъ при температурѣ t вытекания; t можетъ быть принято около 50°; Δ_{15} колеблется отъ 0,9 до 0,92; коэффициентъ расширения нефтяныхъ остатковъ $\alpha = 0,0006$; произведение изъ коэффициента расхода φ и теоретической скорости v около 0,6 до 1 m/s (при форсункахъ, гдѣ распыливаніе производится паромъ; если же нефть вытекаетъ подъ давленіемъ сжатого воздуха при давленіи около 4 kg/cm^2 — форсунки Тентелевскаго завода, Гордѣева я пр., то φv около 20—22 m/s).

Площадь паровой щели f_1 можетъ быть опредѣлена изъ зависимости, данной Нэпиромъ:

$$f_1 = \frac{7000 q}{p + 1} \text{ въ } mm^2.$$

Здѣсь q kg — секундное количество пара, нужное для распыливанія. Оно равняется отъ 4 до 8% количества пара, доставляемаго котломъ въ тотъ же промежутокъ времени. Поэтому, можно утилизировать изъ даннаго количества пара не болѣе 0,96 Q до 0,92 Q (не говоря о томъ количествѣ пара, которое конденсируется въ паропроводѣ между котломъ и паровой машиной)

VI) Размѣры котла. Общій ходъ расчета заключается въ опредѣленіи длины котла по данной поверхности нагрѣва и по принятымъ: диаметру котла и отношенію поверхности нагрѣва къ полной поверхности цилиндрической части котла. Если при этомъ длина получится больше допускаемой (предѣломъ считаютъ: 10 m для простыхъ цилиндрическихъ котловъ, кипячильниковъ и подогревателей, 9,5 m — для англ. котловъ, и 5,5 m — для дымогарныхъ и водяныхъ трубъ), то увеличиваютъ m или диаметръ котла, если это возможно, или проектируютъ котелъ на часть (половину, треть и пр.) даннаго количества пара Q .

Этотъ послѣдній исходъ принимается также въ случаѣ, когда топка требуемыхъ размѣровъ не можетъ быть приспособена къ котлу (въ англійскихъ котлахъ).

1) *Котлы съ 1 подогревателемъ* (стр. 18 и слѣд.: черт. 966). Принимая, что дуга S равняется половинѣ периметра верхняго котла, получимъ:

$$F = \frac{1}{2} \pi D L + \pi d l$$

гдѣ D и L —диаметръ и длина котла, а d и l —подогревателя. После выбора D (0,8 до 1,5 m), d (0,5 до 0,7 m , вообще около $\frac{1}{2} D$) и принявъ $l = 0,8$ до $0,95 L$, определяемъ длину L , которую всегда считаемъ безъ днщъ по образующей цилиндра. Впоследствии, вычертивъ продольный и поперечные разрѣзы котла, можемъ вновь проверить поверхность нагрѣва, при чемъ длина дуги S берется по чертежу соот-

вѣтственно углу α , вмѣсто L и l берется та длина цилиндровъ, которая заключается въ дымоходахъ (полная длина за вычетомъ части ея, скрытой въ поперечныхъ стѣнахъ кладки), вычитается часть поверхности подогревателя, касающаяся къ перегородкѣ N и добавляется подвергающаяся дѣйствию газовъ поверхность задняго днща котла и соединительнаго патрубка. Такимъ образомъ получается болѣе точно величина дѣйствительной поверхности нагрѣва F' и соответственно ей истинная паропроизводительность m' поверхности нагрѣва. Если m' не превосходить допускаемой величины, то размеры можно считать принятыми правильно.

Диаметръ d соединительнаго патрубка берется меньше d , но не меньше 35—40 cm , для удобства осмотра.

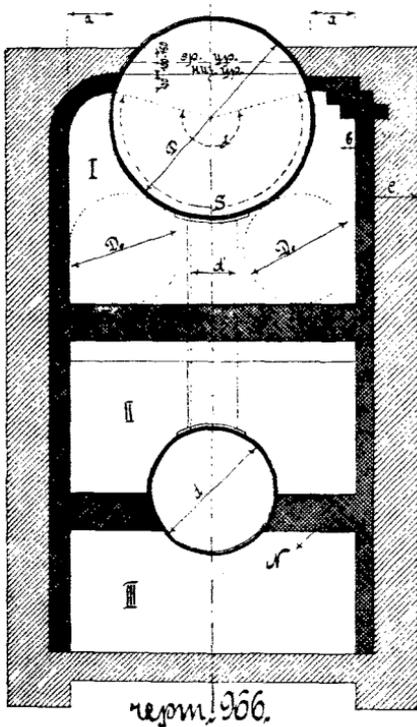
Ось главнаго котла наклоняется къ мѣсту прикрѣпленія продувнаго крана примѣрно на $\frac{1}{100}$; на черте-

жахъ наклонъ, по малости, обыкновенно не изображается. Оси подогревателей вмѣстѣ значительно болѣе наклонъ: $\frac{1}{50}$ до $\frac{1}{40}$.

Ширина перваго дымохода $= D + 2a$; величина a зависитъ отъ способа перекрытій канала: въ случаѣ сподика (лѣвая сторона черт. 966) отъ 100—400 mm ; въ случаѣ укладки уступами, отъ 100—120 mm ; въ последнемъ случаѣ размеръ b дѣлается около 40 mm , когда кирпичи положены плашмя, и до 100 mm , когда они поставлены на ребро.

Ширина A топки обыкновенно дѣлается равной ширинѣ перваго дымохода, но съ условіемъ, чтобы длина ея l_1 ($R = A l_1$) не превышала 1,5, въ крайнемъ случаѣ 2 m .

Разстояніе отъ рѣшетки до пола кочегарни дѣлается около 750 mm , а отъ рѣшетки до котла—около 500 mm для бурыхъ углей и для тощихъ каменныхъ углей, и до 800 mm для дровъ и для углей, дающихъ много газа.



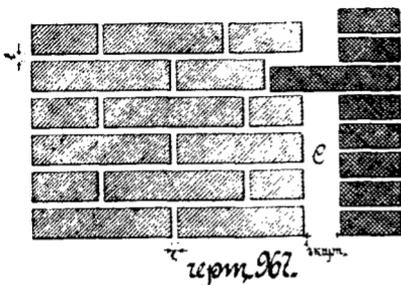
Разстояние отъ порога до котла—не менѣе 150—200 *mm*; высота порога надъ рѣшеткой=или больше 200 *mm*, въ крайнемъ случаѣ (въ англійскихъ котлахъ) 150 *mm*; площадь окна надъ порогомъ болѣе $\frac{1}{7} R$ и до $\frac{1}{9} R$.

Обыкновенно площади сѣченій перваго, втораго и третьяго дымоходовъ дѣлаются не менѣе чѣмъ $\frac{3}{2} R_0$, $\frac{5}{4} R_0$, и R_0 , если R_0 —живое сѣченіе рѣшетки, которое берется = $\frac{R}{4}$ до $\frac{R}{2}$, причемъ, однако же, дымоходы должны быть настолько просторны, чтобы осмотръ ихъ былъ всюду возможенъ. Это будетъ достигнуто, когда въ углахъ дымохода (черт. 966) можетъ быть вписанъ кругъ, касающійся стѣны и контура котла, и имѣющій діаметръ $D_0 = 400$ *mm* (въ крайнемъ случаѣ 300 *mm*).

Положеніе огневой линіи опредѣляется на основаніи такихъ соображеній: глубина ея подъ нижнимъ уровнемъ воды въ котлѣ должна быть, по закону, не менѣе 100 *mm* (для фабричныхъ котловъ); средній уровень принимается обыкновенно приблизительно на $\frac{1}{3} D$ ниже верхней образующей котла (въ котлахъ безъ жаровыхъ трубъ), и разстояние средняго уровня отъ нижняго дѣлается обыкновенно отъ 80 до 100 *mm* и больше.

Толщина *e* стѣнокъ кирпичной кладки берется отъ 2 до 2 $\frac{1}{2}$ и даже 3 кирпичей, включая сюда и слой огнеупорныхъ кирпичей тамъ, гдѣ они примѣняются (всюду въ первомъ дымоходѣ, и на боковыхъ стѣнкахъ во 2-мъ и 3-мъ).

Размѣры обыкновенныхъ кирпичей: 10 $\frac{1}{2}$ *d.* (6 *v.* = 267 *mm*) \times 5 $\frac{1}{4}$ *d.* (3 *v.* = 133 *mm*) \times 2 $\frac{3}{8}$ *d.* (1 $\frac{1}{2}$ *v.* = 67 *mm*), а огнеупорныхъ—9 \times 4 $\frac{1}{2}$ \times 2 $\frac{3}{8}$ *d.* (229 \times 114 \times 60 *mm*); толщину слоя раствора (черт. 967) надо по возможности уменьшать (*l*—до 12, *l*₁—до 10 *mm* для обыкновенныхъ и 4 и 2 *mm* для огнеупорныхъ кирпичей). Иногда примѣняютъ заграничный форматъ 250 \times 120 \times 65 *mm* для обыкновенныхъ и 250 \times



$\times 123 \times 70$ *mm* для огнеупорныхъ кирпичей. Перевязка между огнеупорною и обыкновенною кладками дѣлается какъ изображено на черт. 967, причемъ часто оставляется воздушный промежутокъ *C* около $\frac{1}{4}$ кирпича). На проектахъ обыкновенно не изображаютъ ни отдѣльныхъ кирпичей, ни воздушныхъ прослоекъ. Въ фасадахъ, для лучшей перевязки, употребляется крестовая кладка (изъ чередующихся тычковъ и ложковъ (см. черт. 968).

Опредѣливъ толщину стѣнокъ котла, какъ будетъ показано ниже, выбираютъ длину барабановъ (1 до 1,8 *m*) и опредѣляютъ число листовъ въ барабанѣ по вѣсу (уд. вѣсъ 7,6 до 7,8), считая не болѣе 800 *kg* вѣса въ одномъ листѣ (при большемъ вѣсѣ листа цѣна за

пудь можетъ быть назначена выше). Въ исключительныхъ елучаяхъ, заводы прокатываютъ листы значительно большаго вѣса (до 4000 *kg* и больше), причѣмъ ширина доходитъ до 2,2 *m*. — Швы располагаются, по возможности, вѣ дымоводовъ и такъ, чтобы чеканка была возможна хотя бы съ одной стороны. Когда газы идутъ въ одномъ опредѣленномъ направленіи, какъ у главнаго котла, барабаны дѣлаются не цилиндрическими, а коническими. Наклонъ α производящей барабановъ опредѣляется изъ условія, чтобы диаметры D_1 были постоянны у стыковъ (черт. 969), т. е.



а потому $tg \alpha = \frac{\delta}{l}$, если δ — толщина стѣнки, D — средній діаметръ барабана, а l — разстояніе поперечныхъ заклепочныхъ швовъ, между осями заклепокъ. Направленіе пламени указано на чертѣжѣ.

$$2D = D_1 + (D_1 + 2\delta) \text{ или } D = D_1 + \delta$$

Арматурныя части прикрѣпляются отчасти на переднемъ днищѣ (манометръ, водоуказательныя стекла и пробныя краны), отчасти на верху на послѣднихъ барабанахъ верхняго котла (питательная труба, паровой клапанъ), отчасти на первыхъ (предохранительные клапаны).

2) *Котлы съ 1, 2, ..., n подогревателями* при n_1 главныхъ котлахъ (Т. I 16—22). Поверхность нагрѣва опредѣляется по формулѣ

(Т. I 16—22). Поверхность нагрѣва опредѣляется по формулѣ

$$F = \frac{n_1}{2} \pi D L + n \pi d l.$$

Въ остальномъ ходѣ расчета такой же какъ выше.

3) *Котлы съ кипятилниками* (стр. 22 и Т. I 23, 24; II 26—33) Расчетъ существенно не отличается отъ предыдущихъ.

4) *Котелъ съ дымогарными трубками* (стр. 25—28; Т. II 34—39; XIV*).

Если n число дымогарныхъ трубокъ и d_1 ихъ внутренній діаметръ, и если пренебречь разностью между длиной котла и трубъ, то имѣемъ:

$$F = \frac{5}{8} \pi D L + n \pi d_1 L$$

D берется отъ 1,8 до 2,2 *m*, d_1 — чаще отъ 70 до 100 *mm*; число n опредѣляется изъ условія, чтобы сумма поперечныхъ сѣченій трубъ была не менѣ $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{8}$ площади рѣшетки; итакъ:

$$n \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{1}{5} R \text{ до } \frac{1}{8} R.$$

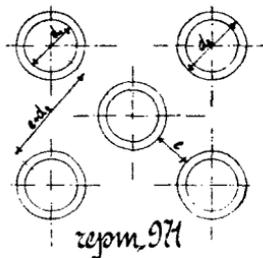
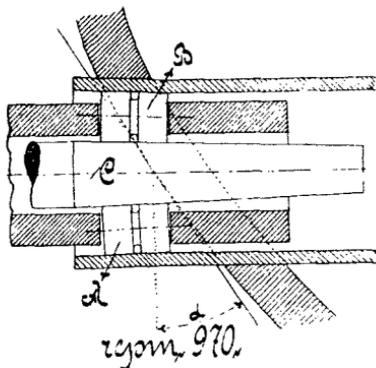
Наиболѣе употребительныя размѣры трубокъ слѣдующіе:

Внѣшній діаметръ d_2 въ <i>d</i> .	2 ³ / ₈	2 ¹ / ₂	2 ³ / ₄	3	3 ³ / ₄	4	4 ¹ / ₄	4 ¹ / ₂
„ „ „ въ <i>mm</i> .	60	63,5	70	76	95,0	102,0	108,0	114
Внутренній діаметръ d_1 „	54	57,5	64	70	88,5	94,5	100,5	106,5
Нормальная толщина стѣнки	3	3	3	3	3 ¹ / ₄	3 ³ / ₄	3 ¹ / ₂	3 ³ / ₄

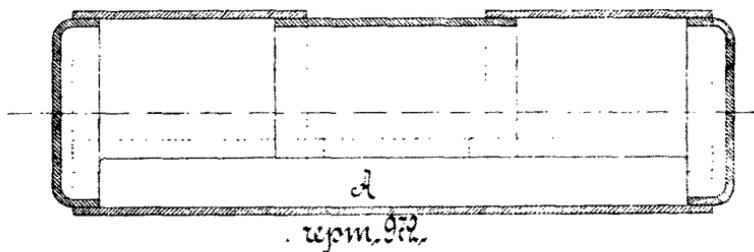
Иногда увеличиваютъ толщину стѣнки (до 5 *mm*).

L бываетъ до 5 и даже 5,5 *m*.

Днища—или плоскія (скрѣпленныя листовыми связями, анкерами или анкерными трубами), или сферическія, или плоскія съ сильными сферическими переходами. Такъ какъ трубки могутъ быть раскатаны только въ средней части выпуклыхъ днищъ, гдѣ касательная составляетъ съ нормалью къ трубѣ небольшой уголъ α (тангенсъ котораго, примѣрно, не болѣе $\frac{1}{9}$), то выпуклыя днища уступаютъ плоскимъ въ смыслѣ возможности помѣщенія большого числа трубок. На черт. 970 изображена дымогарная трубка, которая не можетъ быть раскатана обычными инструментами, такъ какъ коническій роликъ *A*, расположенный противъ ролика *B*, уже не дѣйствуетъ на стѣнку котла. Раз-



стояніе трубокъ отъ центра до центра (черт. 971) — $e + d$; e дѣлается не менѣе 25 до 30 *мм*. На плоскомъ днищѣ трубы могутъ быть расположены до самаго загиба. Обыкновенно распределяютъ трубки двумя группами, между которыми оставляютъ свободный проходъ для осмотра, шириною не менѣе 260 *мм*. Вычисливъ требуемое число трубокъ, распределяютъ ихъ согласно указаннымъ правиламъ и съ



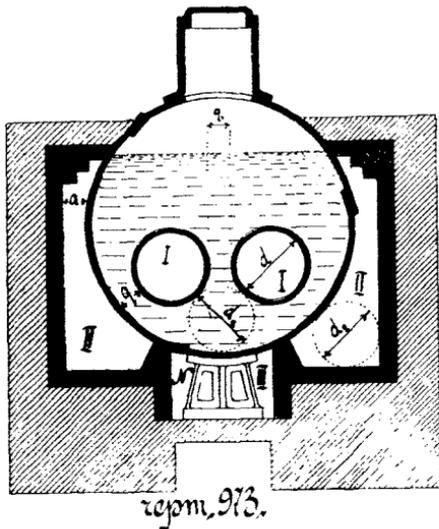
еоблюденіемъ закона объ относительномъ положеніи огневой линіи (верхнія образующія верхняго ряда трубокъ должны находиться ниже ея); если окажется, что нельзя размѣстить трубки, то надо увеличить діаметръ котла или уменьшить число трубокъ увеличеніемъ длины ихъ, или принять 2 котла вмѣсто одного. Иногда огневой листъ *A* дѣлается цѣльнымъ (черт. 972), причѣмъ его длина располагается параллельно оси котла.

5) *Котлы корваллійскіе* (стр. 77; Т. VII 119—120, 128; VIII 132, 136, 141; XLV 458—459; XLVI 460—462). Для опредѣленія величины поверхности нагрѣва имѣемъ формулу:

$$F = \frac{1}{2} \pi D L + 0,9 \pi d L.$$

Здѣсь D и L —діаметръ и длина котла, а d —діаметръ жаровой трубы. Коэффициентъ 0,9 введенъ въ виду того, что нижняя часть

жаровой трубы не вполнѣ утилизируется; часть ея, находящаяся подъ рѣшеткой, не входитъ въ составъ поверхности нагрѣва, а нижняя часть ея за порогомъ покрывается быстро золою и потому не участвуетъ въ передачу тепла — D варьируютъ въ предѣлахъ отъ 1,8 до 2,5 m , — d — отъ 0,6 до 0,9 m ; разстояніе q жаровой трубы до котла должно быть не меньше 150—200 mm для удобства сопряженія съ днищемъ (см. черт. 973).



Для соединенія съ жаровой трубой переднее днище снабжается воротникомъ, загибаемымъ наружу (Т. XXX 382) или внутрь; прежде пользовались для этой цѣли угловымъ желѣзомъ, свареннымъ кольцомъ и приклепываемымъ къ жаровой трубѣ и къ днищу. Заднее днище никогда не отгибается наружу, — иначе выступающая часть, не охлаждаемая водою, быстро перегораетъ.

Площадь рѣшетки опредѣляется формулою:

Площадь рѣшетки опредѣляется формулою:

$$R = dl.$$

Если окажется, что $l > 2 m$, то вмѣсто корнваллійскаго котла слѣдуетъ проектировать ланкаширскій. Если же L выходитъ $> 9,5 m$, то или прибавляютъ трубки Галловэ (стр. 471), считая на трубку поверхность нагрѣва въ $0,4 m^2$ (разстояніе осей 0,5 до 0,8 m) или Фицнера и Гампера (діам. 250 mm , разстояніе осей 400—600 mm), если это не помогаетъ, переходятъ къ расчету ланкаширскаго котла. — Барабаны — цилиндрическіе, число ихъ — нечетное — Длина звеньевъ жаровыхъ трубъ — 1 до 1,8 m ; въ случаѣ примѣненія трубокъ Галловэ, длина зависитъ отъ того, помѣщаются ли въ одномъ звенѣ одна, двѣ или 3 трубки. Подъ котломъ устраивается третій дымоходъ (иногда, впрочемъ, второй); ширина его = 0,5 D , а высота — не менѣе 0,5 m .

6) *Котлы ланкаширскіе* (Т. VII 124, VIII 133—135. 140. 142; XXV—XXVI. XXXIX). Поверхность нагрѣва опредѣляется по формулѣ:

$$F = \frac{1}{2} \pi D L + 1,8 \pi d L.$$

Берется $q > 150$ и q_1 отъ 160 до 300 mm , $d_1 > 400 mm$ (черт. 973), D — отъ 1,8 до 2,5 m , $d = 0,9 - 0,65 m$; $L < 9,5 m$. — Сборку облегчаютъ опоры N , площадь нижняго основанія которыхъ опредѣляютъ по вѣсу котла, считая (при 2 опорахъ) на каждую около $\frac{5}{8}$ вѣса котла, сложеннаго съ вѣсомъ заключающейся въ немъ воды, и допуская давленіе 6 kg/cm^2 на кладку. — Въ англійскихъ котлахъ выбирается диаметръ жаровой трубы, а потому площадь I сѣченія перваго дымохода уже опредѣлена, по ней опредѣляютъ площадь Π ($= \frac{5}{6} I$) и III ($= \frac{2}{3} I$), причемъ однако же эти двѣ площади должны быть не меньше получаемыхъ въ зависимости отъ площади рѣшетки (см. выше). **Весьма часто суживаютъ жаровую**

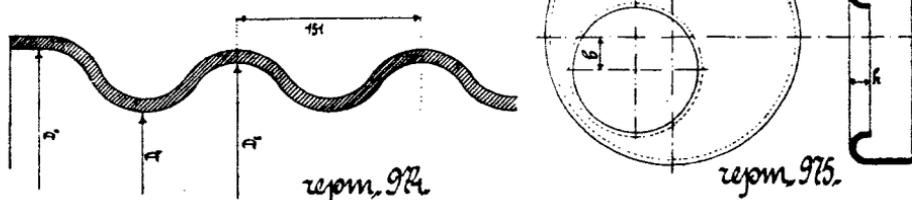
трубу къ концу, въ особенности, когда разстояніе между жаровыми трубами менѣе 26 *см* и потому нельзя сверху проникнуть въ пространство подъ трубами. Это уменьшеніе сѣченія можетъ быть сдѣлано до $\frac{11}{32} R$, и тогда можно принять $\Pi = \frac{5}{16} R$ и $\text{III} = \frac{1}{4} R$. Звенья жаровыхъ трубъ соединяются обыкновенно кольцами Адамеона (стр. 470), толщина которыхъ берется равною толщинѣ стѣнки жаровой трубы, но не менѣе 10 *мм*. Кольца на обѣихъ трубахъ располагаются въ перемежку.

Въ англійскихъ котлахъ часто примѣняютъ паровые колпаки; они очень удобны, такъ какъ къ нимъ могутъ быть прикрѣплены штуцера для парового и предохранительныхъ клапановъ. Діаметръ ихъ и высота равны и варьируются отъ 700 до 900 *мм*.

7) Котлы Шульцъ-Кнаудта съ боковою трубою (стр. 80; Т. VII 122—123; XXVII 377—378, XXVIII; XXIX). Изгвѣмъ зависимость:

$$F = \pi L \left(\frac{1}{2} D + \alpha d \right).$$

Здѣсь d —средній діаметръ волнистой трубы, т. е. $d = \frac{D_1 + D_2}{2}$ (черт. 974), а α —коэффициентъ, показывающій, на сколько поверхность волнъ больше поверхности основного средняго цилиндра. Принимаютъ $\alpha = 1,14$ для трубъ Фокса и 1,09 для трубъ Морисона. $D_2 - D_1$ дѣлается = 100 *мм*. За-



воды Шульцъ-Кнаудта и др. исполняютъ днища по опредѣленнымъ нормамъ, согласно слѣдующей таблицѣ (см. черт. 974 и 975).

D	D_0	D_2	D_1	d	a	b	H	λ
1600	985	900	800	850	125	125	230	125
1800	1140	1050	950	1000	145	100	250	130
2000	1280	1200	1100	1150	150	100	250	130
2200	1425	1350	1250	1300	180	140	300	140

8) Комбинированные котлы бываютъ слѣдующихъ типовъ (стр. 83 и слѣд.):

- англійскій съ трубчатымъ въ одномъ корпусѣ—котель *Ферберна*;
- англійскій внизу, трубчатый наверху; общее паровое пространство—котель *Тибейна*;
- англійскій внизу, трубчатый наверху; отдѣльные паровыя пространства;

д) кипятивники внизу, трубчатый наверху,—котель Менье;

е) английскіе внизу и наверху.

Получаются еще подраздѣленія, въ зависимости отъ того, применяются ли корнваллійскіе или ланкаширскіе котлы и съ гладкими или съ волнистыми трубами.

а) котлы Ферберна (Т. VIII 146—147).

Опредѣливъ общую поверхность нагрѣва по паропроизводительности $m = 14—16 \text{ kg/h}$, выбираютъ D и d и, принимая длину жаровыхъ трубъ около 2,5 до 3,5 m , а огневой коробки—около 0,6 до 1 m , опредѣляютъ число трубъ по площади рѣшетки, а длину ихъ (менѣе 5,5 m) по разности вычисленной величины поверхности нагрѣва и заключающейся въ жаровыхъ трубахъ и огневой камерѣ (для первоначальнаго расчета можно пренебречь поверхностью нагрѣва кожуха).—Всегда примѣняются двѣ жаровыя трубы.

б) Черт. 98—99 на стр. 86—87; Т VIII 153—154. Поверхность нагрѣва опредѣляется по $m = 14—16 \text{ kg/h}$.

Диаметры обоихъ котловъ дѣлаются обыкновенно равными; длина верхняго котла—3,5 до 5,5 m , а нижняго—на 1,5 до 2 m больше.

в) Т. VIII 155—156; XXXII. Опредѣляютъ поверхность нагрѣва каждого изъ котловъ отдѣльно, принимая, что нижній котель, если онъ корнваллійскій, даетъ 0,4 до 0,5 $Q \text{ kg/h}$ при $m = 25—35 \text{ kg/h}$, а верхній—0,6 до 0,5 $Q \text{ kg/h}$ при $m = 8—10 \text{ kg/h}$, если же нижній котель ланкаширскій, то онъ доставляетъ 0,6 до 0,7 $Q \text{ kg/h}$, а верхній—0,4 до 0,3 $Q \text{ kg/h}$.

д) Нижніе котлы даютъ около 0,45 $Q \text{ kg/h}$ при $m = 30—50 \text{ kg/h}$. См Т. III 43 и стр. 28.

е) Нижній котель даетъ 0,75 до 0,8 $Q \text{ kg/h}$ (Т. X. 180—181).

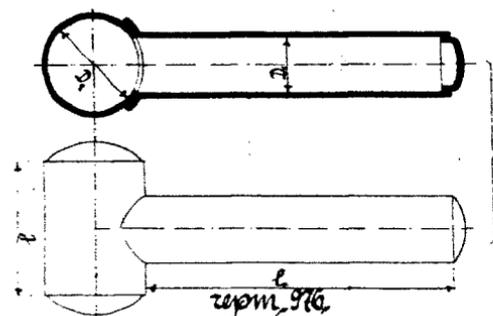
9) *Водотрубные котлы.*

При предварительномъ расчетѣ можно пренебречь поверхностью нагрѣва сухопарника: имѣемъ тогда:

$$F = n \pi d L.$$

Выбираемъ n (число трубок) и d (внѣшній диаметръ трубок, обыкновенно 95 или 102 mm). Если n_1 — число горизонтальныхъ рядовъ трубок, а n_2 — число трубъ въ горизонтальномъ ряду, то берутъ обыкновенно $n_2 = n_1 + 1$ или $n_2 = n_1 + 2$; $n = n_1 \cdot n_2$.

а) Котлы *Фицнера* Табл. XXI; черт. 976—977. Ширина камеры 173 mm , расстояние между осями трубок: горизонтальное—175 mm , вертикальное—150 mm ; внѣшній диаметръ трубок—95 mm , внутрен-



ней—88,5 mm ; наклонъ трубокъ 15° ($tg = 0,27$); $n_1 = 8$ до 12; диаметръ продольнаго парео-бирателя $D_1 = 800$ до 1100 mm , поперечнаго $D_2 = D_1 + 100$; на 1 m^2 свободной поверхности воды ($D_2 l + D_1 l_1$ на черт. 976 и $D_2 l + 2 D_1 l_1$ на черт. 977) считаютъ около 180—190 kg/h пара.

б) Котлы *Шухова*. Табл. XVIII и черт. 71—73 на стр. 63 и 64.

Каждая головка содержитъ 19 трубъ диаметромъ $\frac{76}{70} \text{ mm}$. Наклонъ трубъ 10° ($tg = 0,176$). Размѣры головокъ и сухопарниковъ постоянныя

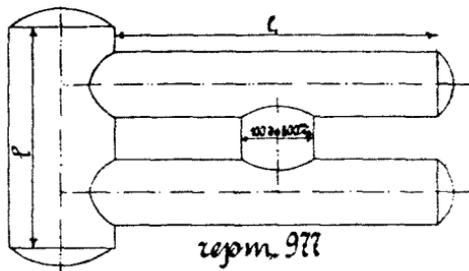
(см. чертежи). Число сухопарниковъ 1—2; число составныхъ элементовъ (пара головокъ и трубы) 1—3 для каждого сухопарника.

е) Котлы Бэбкока и Вилькокса; стр. 60—62. Табл. XIX; XX; XLVI. 291.

Диаметръ трубокъ — 102 до 108; расстояние осей трубокъ въ горизонтальномъ направленіи 179, по длинѣ коробки 155 *мм*. Наклонъ трубъ 15°.

д) Котлы двухкамерные. Табл. XXII 320—321; XXIV 322—327; стр. 65 и слѣд.

Наклонъ трубокъ 10°. Диаметръ обыкновенно ^{вс.} 88,5 *мм*; глубина камеръ внутри—160 *мм*. Расстоянія между осями трубокъ: 150 *мм* въ горизонтальномъ направленіи и 130 *мм* въ вертикальномъ. Диаметръ сухопарника 700—850 *мм*. При поверхности нагрева > 100 *м*² предпочитается конструкция черт. 624—628 (стр. 641—643), причемъ ширина камеръ внутри—200 *мм*. Диаметръ парособирателя—900 до 1600 *мм*, грязевика—600 до 800, вертикальной циркуляционной трубы—250 до 450 *мм*. Въ этихъ котлахъ съ простою и быстрою циркуляціею допускаютъ 200—250 *кг/ч* пара на 1 *м*² свободной поверхности воды.



д) Котлы однокамерные. Т. VI. 97—98; XXIII; стр. 70 и слѣд. Глубина камеры 300 *мм*; наружный диаметръ трубокъ - 108 *мм*; наружный диаметръ циркуляционныхъ трубокъ 40 *мм*; наклонъ трубъ—10°.

VII) Определеніе толщины стѣнокъ котла.

Цилиндрическая часть кожуха; давление внутреннее. Если D въ *мм* наибольшій внутренний диаметръ, K —сопротивленіе разрыву въ *кг/мм*², x —коэффициентъ безопасности, s въ ‰ крѣпость шва, то толщина стѣнки δ (въ *мм*) определяется по формулѣ (стр. 428):

$$\delta = \frac{p D x}{2 K s} + c.$$

Добавочный членъ c (на износъ) берется отъ 0 до 3 *мм*; обыкновенно $c = 1$. $x = 5-4$ (4 при особенно тщательномъ изготовленіи и продолговатыхъ швахъ съ накладками и машинной склепкѣ). $K = 30$ до 33 *кг/мм*² для сварочнаго и 34—36 *кг/мм*² для литого желѣза.

$s = 0,56$ для простого, 0,7 для двойного, 0,75—0,8 для тройного, 0,9 для четверного шва.

Толщина δ должна быть болѣе 7 *мм* для подчеканки. По толщинѣ δ определяются: диаметръ d заклепки, расстояние t между ними и расстояние e_1 заклепокъ отъ кромокъ листа (стр. 513), по эмпирическимъ формуламъ Баха.

А) Швы въ нахлестку: $e_1 = 1,5 d$; $d = \sqrt{50} \delta - 4$ *мм*

а) простой шовъ: $t = 2 d + 8$ *мм*;

б) двойной шовъ (зигзагообразный): $t = 2,6 d + 15$ *мм*; расстояние между рядами заклепокъ $e = 0,6 t$;

с) тройной шовъ: $t = 3d + 22 \text{ мм}$; $e = 0,5 t$.

В) Швы съ двумя накладками:

а) простой шовъ: $d = \sqrt{50\delta} - 5 \text{ мм}$; $t = 2,6 d + 10 \text{ мм}$; $e = 3 d$; $e_1 = 0,45 e$; толщина δ_1 накладки $= \left(\frac{5}{8} \text{ до } \frac{2}{3}\right) \delta$;

б) двойной зигзагообразный шовъ (черт. 464):

$d = \sqrt{50\delta} - 6 \text{ мм}$, $t = 3,5 d + 15 \text{ мм}$; $e_1 = 1,5 d$; $e = 0,5 t$; $\delta_1 = 0,8 \delta$; $e_2 = 0,9 e_1$;

е) тройной шовъ: $d = \sqrt{50\delta} - 7 \text{ мм}$; $t = 6 d + 20 \text{ мм}$; $e_1 = 1,5 d$; $e = \frac{3}{8} t$; $\delta_1 = 0,8 \delta$. Если $t > 8 \delta_1$, то края накладокъ снабжаются вырѣзками (стр. 504).

Во всѣхъ этихъ случаяхъ, t должно быть больше $2d$.—Затѣмъ переходятъ къ провѣркѣ, по размѣрамъ шва, прочности соединенія, по пзвѣстнымъ формуламъ:

$$s_1 = \frac{t-d}{t} 100$$

$$s_2 = \frac{\alpha \frac{\pi}{4} d^2 n K_2}{t \delta K_1} 100$$

и т. д., гдѣ n —число сѣченій заклепокъ, подвергающихся срѣзыванію. K_2 и K_1 сопротивленія на срѣзъ (у заклепокъ) и на разрывъ (для листа), а α —коэффициентъ, опредѣляемый по слѣдующей таблицѣ (стр. 506):

Замена жѣлза	Л и с т ы ж е л ѣ з а			
	Сварочнаго.		Литого.	
	Ш о в ь		Ш о в ь	
	Въ вальстку.	Съ 2 наклад.	Въ вальстку.	Съ 2 наклад.
Сварочнаго . . .	1	1,75	0,75	1,30
Литого	—	—	0,85	1,50

Обыкновенно считаютъ, что $K_1 = K_2$, такъ какъ на заклепки идетъ лучшее жѣлзо ($K_1 = 36$, $K_2 = 0,85$. $36 = 30,5$, а для листовъ— $K_1 = = 30 \text{ кг/мм}^2$).

Если s_1 и s_2 получается меньше s , принятаго при расчетѣ δ , то надо видоизмѣнить t и d , пока не будутъ удовлетворены условия, что $s_1 > s$ и $s_2 > s$.

2) Шаровая выпуклая поверхность при внутреннемъ давленіи (обыкновенное днище, стр. 429).

Если R_1 въ m радиусъ шарового отрѣзка и толщина стѣнокъ $= \delta$ въ m , то имѣемъ:

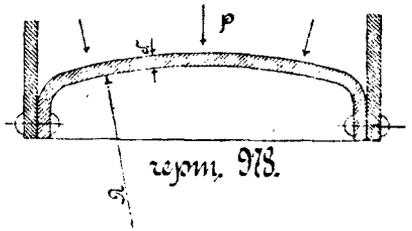
$$\delta_1 = \frac{p R x}{200 K}.$$

Обыкновенно принимаютъ $R = D$ (=наружному діаметру днища), а $\frac{K}{x}$ по слѣдующей таблицѣ:

для	сварочнаго жѣлза	литого жѣлза	мѣди	для днища съ вырѣзкой (для жаровой трубы)
$\frac{K}{x}$	4,5—5	6—6,5	2,5—4	7,5

3) Шаровая вогнутая поверхность при внутреннем давлении. Давление p_0 при деформации по опытам *Бажа* (черт. 978):

$$p_0 = \frac{200 \delta_1 K_0}{R}, \text{ гдѣ } K_0 = A - B \sqrt{\frac{R}{\delta}}$$



Коэффициенты A и B берутся изъ таблицы:

	A	B	
Мѣдь	25,5	1,2	Цѣльное.
Литое желѣзо	26	1,15	Одна часть.
.	24,5	1,15	Состоятъ изъ сегментовъ.

p_0 — коэффициенту p безопасности 2,5.

4) Цилиндрическая поверхность при вѣншнемъ давлении (стр. 432. 433. 472).

$$\delta_2 = \frac{p d}{2000} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{p l}{p (l + d)}} \right\} + c.$$

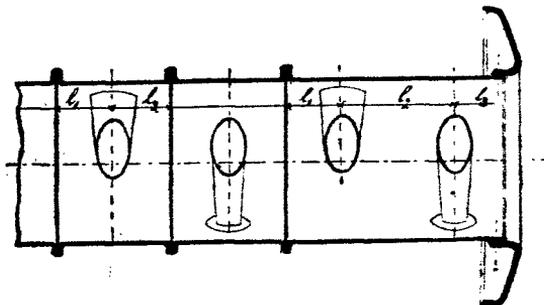
Здѣсь d въ *мм*—внѣшній діаметръ трубы, l —длина ея (въ случаѣ жаровой трубы—длина между скрѣпленіями), p —коэффициентъ = 100 до 80 для горизонтальныхъ и 70 до 50 для вертикальныхъ трубъ; вторія цифры берутся при сварныхъ трубахъ или въ случаѣ стыка съ 2 накладками; c берется по таблицѣ:

p	< 5	5—4	6—7	> 7
c	1,5	1,0	0,5	0

Въ послѣднее время предлагаютъ 2400 вмѣсто 2000 и $c = 2$.

Въ случаѣ примѣненія трубъ Галлова опредѣляютъ l такимъ образомъ (черт. 408 и 409):

Концевой барабанъ (черт. 408): если $l_3 > l_1 \dots \dots l = l_3 + l_2$
если $l_3 < l_1 \dots \dots l = l_1 + l_2$



Черт. 408.

Средній барабанъ:

если $l_1 > l_2 \dots \dots l = l_1 + \frac{1}{2} l_2$.

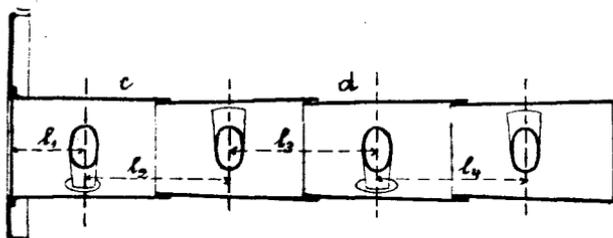
Барабанъ c (черт. 409):

$l = l_1 + l_2$.

Барабанъ d : $l_3 > l_4$

$l = l_2 + l_3$.

Толщина стѣнки волнистой трубы опредѣляется по формулѣ $\delta = \frac{pD'}{1000} + c$; $c = 0$ до 3 мм , гдѣ D' —наибольшій внутренній діаметръ трубы. Въ новѣйшее время предлагаютъ формулу: $\delta = \frac{pD'}{1200} + 2$.



Черт. 409.

5) Плоскія днища съ загнутыми краями (стр. 437):

$$\delta_3 = \left\{ D_1 - r \left(1 + \frac{2r}{D_1} \right) \right\} \sqrt{\frac{3p}{800K}}$$

Здѣсь δ_3 , r (радіусъ закругленія) и D_1 (внутренній радіусъ днища) выражены въ мм , а K —сопротивленіе матеріала разрыву—въ $\text{кг}/\text{мм}^2$. Эта формула применима только при малыхъ діаметрахъ (до 600 — 800 мм), напримѣръ, для днищъ паровыхъ колпаковъ, кипячильниковъ и пр.

6) Плоскія днища, скрѣпленныя распорными болтами (стр. 439 и слѣд.):

$$\delta_4 = \frac{c}{20} \sqrt{\frac{p}{\sigma(1 - 0,7 \frac{c}{d})}}$$

Здѣсь σ —напряженіе ляста въ $\text{кг}/\text{мм}^2$, а c —разстояніе между болтами въ мм —опредѣляется по формуламъ:

$$c = \sqrt{\frac{fs}{p}}$$

или

$$c = \delta_4 \sqrt{\frac{A}{p}}$$

приведеннымъ на стр. 497, причемъ A сколо 1800 для желѣзныхъ и 1020 для мѣдныхъ листовъ.

При примѣненіи болѣе сложной конструкціи видоизмѣняется формула, см. стр. 441 и 442.

Діаметръ распорныхъ болтовъ опредѣляется по нагрузкѣ, приходящейся на одинъ болтъ ($= pe^2$) при безопасномъ напряженіи $\sigma = 3,5$ до $5 \text{ кг}/\text{мм}^2$ для желѣза (болты сварные или цѣльные), $6 \text{ кг}/\text{мм}^2$ для литого желѣза и $3 \text{ кг}/\text{мм}^2$ для мѣди.

7) Анкерныя балки, скрѣпляющія нѣба топокъ (черт. 979—981).

Имѣемъ для изображеннаго случая зависимости:

$$R = P_a + P_b$$

причемъ, для боковыхъ балокъ N :

$$P_a = \left(\frac{1}{2} c + c_1 \right) \left(\frac{e + c_1}{2} \right) p$$

$$P_b = \left(\frac{1}{2} c + c_1 \right) ep,$$

а для среднихъ балокъ M :

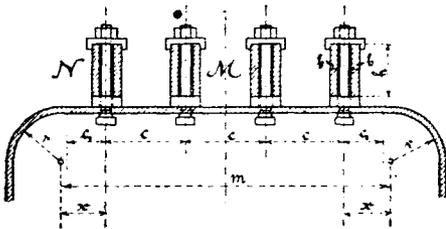
$$P_a = \left(\frac{e + e_1}{2} \right) c p \text{ и } P_b = c e p$$

Наибольшій моментъ силъ, дѣйствующій на балку, будетъ:

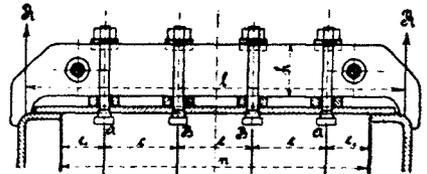
$$M = R \frac{(l - e)}{2} - P_a e$$

Для опредѣленія высоты h балки по толщинѣ $2b$ имѣемъ:

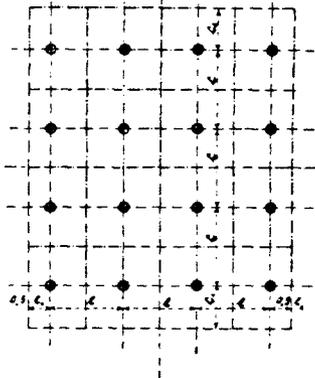
$$M = \sigma 2b \cdot \frac{h^2}{6} = \frac{b \sigma h^2}{3}$$



Черт. 980.



Черт. 979.



Черт. 981.

гдѣ $\sigma = \frac{K}{4}$; если K неизвѣстно, то допускаютъ $\sigma = 9 \text{ kg/mm}^2$.

Въ вышеприведенныхъ формулахъ c_1 соответствуетъ предѣлу нагрузки, передаваемой нѣбомъ топки боковымъ балкамъ; по Баху можно принять $c_1 = \frac{2}{3} x$.

8) Днища трубчатыхъ котловъ.

Толщина верхней части, не заключающей въ себѣ трубъ, опредѣляется какъ выше указано (пункты 2 и 6); при расчетѣ толщины плоской части надо имѣть въ виду слѣдующія условия:

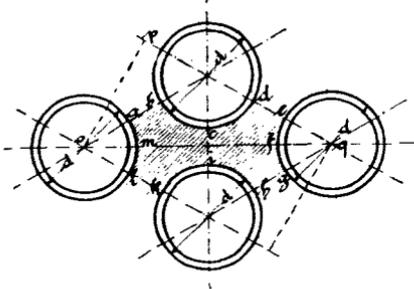
а) способъ развальцовки трубъ требуетъ извѣстную минимальную толщину δ_3 , которая, на основаніи данныхъ практики, опредѣляется по формуламъ $\delta_3 = \bar{\delta} + \frac{d}{8}$ для желѣзныхъ листовъ (литое желѣзо)

и $\delta_3 = 10 + \frac{d}{5}$ — для мѣдныхъ днищъ; указанныя данныя относятся къ случаю, когда внѣшній діаметръ d трубъ колеблется въ предѣлахъ отъ 38 до 102 mm (до 75 mm для мѣдныхъ днищъ);

б) для возможности повторенія развальцовки послѣ замѣны старой трубы новою требуется, чтобы сѣченіе трубной доски между 2 смежными трубками имѣло нѣкоторую наименьшую площадь, которая принимается въ желѣзныхъ листахъ отъ 180 mm^2 до 450 mm^2 при діаметрахъ d отъ 38 до 102 mm , и въ мѣдныхъ — отъ 340 до 850 mm^2 для d отъ 38 до 75 mm ;

в) трубки можно считать достаточными скрѣпленіями днищъ, если овѣ способны принять на себя давленіе пара, приходящееся на часть

днища, которую занимаютъ ихъ концы (черт. 982). Части *bcd*, *efg*, *hik* и *lma* четырехъ смежныхъ трубъ принимаютъ на себя давленіе fp , если f —площадь фигуры *abcdefghiklma*. Возбуждаемое при этомъ треніе на 1 *см* окружности трубы



Черт. 982.

$$\tau = \frac{pf}{\pi d}$$

должно быть достаточнымъ, чтобы указанная фигура не отдѣлилась отъ трубъ. Величина τ , зависящая отъ свойствъ матеріала и отъ способа и тщательности изготовленія, можетъ быть принята равной 25 kg/mm^2 .

Въ такомъ случаѣ площадка f не рассчитывается на изгибъ давленіемъ пара; въ сомнительныхъ же случаяхъ пользуются вышеприведенной формулой:

$$\delta_4 = \frac{e}{19} \sqrt{\frac{p}{\tau (1 - 0,7 \frac{d}{e})}}$$

въ которой коэффициентъ 20 замѣненъ числомъ 19; d —обозначаетъ внѣшній діаметръ трубъ, а e —сторону квадрата, образуемаго осями трубъ, а въ случаѣ ромба, какъ на черт. 982,

$$e = \frac{op + pq}{2}; \quad \tau \text{ берется} = \frac{K}{4,5}.$$

VIII) Дымовая труба и боровъ.

Сѣченіе борова берется живому сѣченію рѣшетки, но обыкновенно не меньше 0,5 *м* ширины \times 0,7 *м* высоты. Діаметръ d_0 трубы у устья рассчитывается по формулѣ:

$$\frac{V(L+1)}{3600} = \frac{\pi}{4} d_0^2 \cdot u' \frac{\Delta}{1 + \alpha T}.$$

Здѣсь L —количество воздуха въ *kg*, вводимое въ топку для сжиганія 1 *kg* топлива; среднія величины берутся изъ таблицы:

Родъ топлива.	Дрова.	Торфъ.	Бурый уголь.	Каменный уголь.	Нефть.
L въ <i>kg</i> .	2.48—9,6	1,9. 5,2—9,8	1,7. 7,1—12,2	1,7. 10,7—18,3	1,3. 14,2—18,3

Вторая цифра въ произведеніи—теоретическое количество L' воздуха, а первая—коэффициентъ избытка α ($L = \alpha L'$). Скорость u' берется = 3 до 4 *м/с* при одвомъ котлѣ и = 4—8 при батареѣ изъ 2—20. $\Delta = 1,290 \text{ kg/m}^3$ —вѣсъ 1 *м}^3* воздуха при 0° и 760 *мм* барометрическаго давленія. Температура T газовъ въ устьѣ трубы принимается для толстостѣнныхъ кирпичныхъ трубъ = 1 до 0,96, для тонкостѣнныхъ и желѣзныхъ съ футеровкою—0,92 до 0,86, а для желѣзныхъ безъ футеровки—0,76 до 0,70 температуры въ боровѣ; послѣдняя бы-

васть въ хорошихъ котлахъ при нормальной работѣ отъ 200 до 300°, и можетъ быть вычислена по формулѣ Редтенбахера или Ранкина (стр. 525—527, коэффициентъ передачи k —стр. 529).

Высота дымовой трубы H опредѣляется приблизительно по формулѣ Ланга (для случая топки углемъ, см. стр. 358):

$$H = \left(20 d_0 + 5 + 0,05 (l - 20) \right) \frac{700 - T''}{200 + T''}$$

Здѣсь l —длина дымоходовъ и борова до соединенія съ трубою, а T —средняя температура газовъ въ трубѣ.

Болѣе подробный расчетъ трубъ помѣщенъ въ слѣдующей главѣ.

IX. Арматура и гарнитура.

а) Диаметръ d въ mm предохранительнаго клапана опредѣляется по французской формулѣ (стр. 701)

$$d = 26 \sqrt{\frac{F'}{p + 0,6}}$$

или по формулѣ профессора Котурницкаго

$$d = \frac{0,6 Q}{h (p + b)}$$

гдѣ h —высота подъема (въ обыкновенныхъ клапанахъ—1—1,5 mm , въ клапанахъ съ увеличеннымъ подъемомъ—до $\frac{d}{4}$). Диаметръ берется не болѣе 100 mm . Проектируется, вмѣстѣ съ клапаномъ, и предохранительный кожухъ, требуемый закономъ о паровыхъ котлахъ.

б) Диаметръ d въ метрахъ пароваго клапана опредѣляется изъ зависимости

$$\frac{Q}{3600} = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot v \cdot \Delta, \text{ откуда } d = \sqrt{\frac{Q}{2830 v \Delta}} \text{ въ } m \text{ или } d = 19 \sqrt{\frac{Q}{v \Delta}} \text{ въ } mm.$$

гдѣ $v = 20$ —30 m/s скорость пара въ паропроводѣ, а Δ —вѣсъ 1 m^3 пара при абсолютномъ давленіи $(p + b)$ kg/cm^2 .

в) Диаметръ d продувнoga крана опредѣляется въ mm по формулѣ: $d = 1,25 \sqrt{Q}$.

д) Диаметръ питательнаго клапана d въ метрахъ получается изъ уравненія

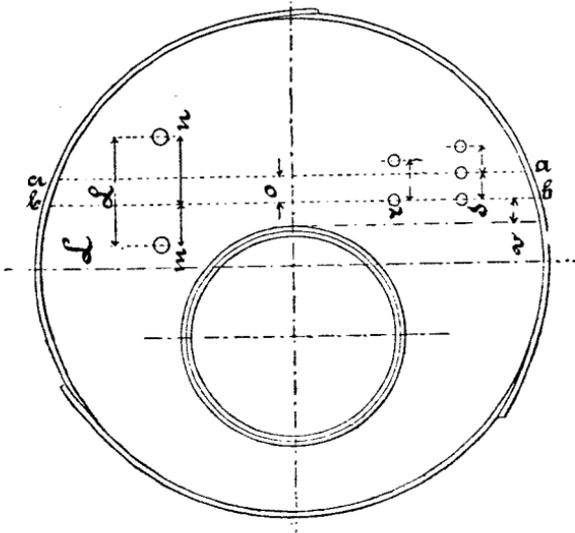
$$\frac{\pi d^2}{4} v \cdot 1000 = \frac{n Q}{3600}$$

$$d = \sqrt{\frac{n Q}{283000 v}} \text{ въ } m. \text{ или, въ } mm: d = 0,6 \sqrt{\frac{n Q}{v}}$$

Скорость $v = 0,3$ до 0,6; $n = 1$ до 3, т. е. питаніе производится все время безъ остановки или въ теченіе до $\frac{1}{3}$ времени (стр. 650).

е) Установка водоуказательныхъ приспособленій: для заводскихъ котловъ (черт. 751), если bb —самый низкій, а aa —нормальный уровни. то $v \cong 100 mm$; $o = 80$ —100 mm и больше; L —разстояніе осей коробокъ водоуказательныхъ стеколъ—260—340 mm ; середина стекла—между низкимъ и среднимъ уровнями (т. е., $m < n$); r —разстояніе верхняго изъ двухъ пробныхъ крановъ до нижняго, располагаемаго немного $> o$; при 3 кранахъ $s = o$.

г) Лазы—эллиптическіе съ осями 400×300 *mm*; обыкновенно ставятъ 2 лаза (наверху и внизу).



Черт. 751.

Х) Расчетъ перегрѣвателей.

Поверхность нагрѣва F_n пароперегрѣвателя, расположеннаго въ дымоходахъ, по Бернеру (Berner, die Erzeugung des überhitzten Dampfes, Berlin 1904. J. Springer) можетъ быть опредѣлена по формулѣ:

$$F_n = \frac{\alpha F c (t_2' - t_2'')}{t_1' - t_2'}$$

Въ этой формулѣ обозначаютъ:

t_2' и t_2'' — температуры перегрѣтаго и насыщеннаго пара;

t_1' и t_1'' — температуры газовъ при входѣ въ камеру перегрѣвателя и при выходѣ изъ нея;

$$t_m' = t_1' - t_2'$$

$$t_m = \frac{t_1' + t_1''}{2} - \frac{t_2' + t_2''}{2}$$

$$r = \frac{t_m'}{t_m} = 1 \text{ до } 1,25 \text{ (по опытамъ Бернера)}$$

m — паропроизводительность 1 m^2 поверхности нагрѣва въ kg/p ;

k — коэффициентъ передачи тепла = $0,4206 + 0,000365 \frac{t_2' + t_2''}{2}$ по формулѣ Маллара и Ле-Шателье;

c — теплоемкость перегрѣтаго пара при постоянномъ давленіи, принимаемая, по изслѣдованіямъ Маллара и Лешателье, равною $0,4206 + 0,000365 \frac{t_2' + t_2''}{2}$;

α = $\frac{m r}{k}$ по наблюденіямъ Бернера варьируетъ отъ 0,9 до 2, причемъ нижній предѣлъ соотвѣтствуетъ отношенію $\frac{F_n}{F} = \frac{1}{3}$, а верхній — $\frac{5}{4}$.

Площадь f трубъ перегрѣвателя, по которымъ паръ движется одновременно, получится изъ уравненія:

$$v \frac{Q}{3600} = f \cdot u.$$

Скорость движенія пара $u = 15 - 30 \text{ м/с}$, а удѣльный объемъ v опредѣляется изъ уравненія Цейнера при давленіи p и температурѣ t_2'' :

$$pv = 0,00509 (t_2'' + 273) - 0,193 p .$$

Примѣръ. Положимъ, что паръ надо перегрѣвать до 280° и что газы имѣютъ передъ перегрѣвателемъ температуру 450 . Давленіе пара $= 6 \text{ кг/см}^2$, и температура насыщеннаго пара $164,03$.

Имѣемъ:

$$t_2'' = 164; \quad t_2' = 280^\circ; \quad t_1' = 450^\circ; \quad c = 0,5.$$

Принимая $\alpha = 1$ и $F = 60 \text{ м}^2$, имѣемъ:

$$F_n = \frac{60 \cdot 0,5 (280 - 164)}{450 - 280} = 20,5 \text{ м}^2$$

$$\frac{F_n}{F} = \frac{20,5}{60} \approx \frac{1}{3} .$$

Принимая $u = 15 \text{ м/с}$, получимъ:

$$v = \frac{0,00509}{9} (280 + 273) - \frac{0,193}{7} \cdot 7^{0,25} = 0,3$$

$$f = \frac{1200 \cdot 0,3}{3600 \cdot 15} = 0,0066 \text{ м}^2 = 6600 \text{ мм}^2$$

Принимая трубы внутренняго діаметра 32 мм , съ площадью сѣченія $804,25 \text{ мм}^2$, найдемъ, что батарея должна состоять изъ $\frac{6600}{804,25} \approx 8$ трубъ.

XI) Примѣръ расчета котла.

Дано: $Q = 1200 \text{ кг/ч}$; $p = 6 \text{ кг/см}^2$; котель ланкаширскій, уголь съ $K = 7500 \text{ ед. м.}$; $\eta = 0,7$; Q —нормальное количество пара.

Разсчитать:

Поверхность нагрѣва $F = \frac{1200}{20} = 60 \text{ м}^2$ (см. стр. 1 спец. части).

Паропроизводительность топлива

$$n = \frac{\eta K}{\xi \lambda + (1 - \xi) q} = \frac{0,7 \cdot 7500}{606,5 + 0,305 \cdot 164,03 - 0} = 8$$

если принять, что $\xi = 1$ и $t_1 = 0$, и для $p_1 = p + b = 7 \text{ кг/см}^2$.

Расходъ топлива $B = \frac{1200}{8} = 150 \text{ кг/ч}$.

Площадь рѣшетки $R = \frac{150}{100} = 1,5 \text{ м}^2$ (см. стр. 3).

Въ случаѣ примѣненія нефтяныхъ остатковъ: если $K = 10500 \text{ ед. м.}$, то паропроизводительность $= 11,2$ и $B = \frac{1200}{11,2} = 107 \text{ кг/ч}$; нефтяное отверстіе въ случаѣ форсунки Шухова:

$$f = \frac{107 \cdot 1000^2}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,881 \cdot 0,6} = 56,2 \text{ мм}^2,$$

причемъ принято:

$$t = 50^\circ; \quad \Delta_1 = 0,9; \quad \Delta_{30} = 0,9 \cdot \frac{1 + 15 \cdot 0,0006}{1 + 50 \cdot 0,0006} = 0,881; \quad f v = 0,6 \text{ м/с}$$

откуда внутренній діаметръ нефтяного окна $d = 8 \text{ mm}$ (черт. 983). Расходъ пара на пульверизацію въ секунду, если принять, что для этого требуется 5% доставляемаго котломъ пара,



$$q = \frac{5}{100} \cdot \frac{1200}{3600} = 0,0167 \text{ kg/s.}$$

Площадь отверстия парового канала:

$$f_1 = \frac{7000 q}{p+1} = \frac{7000 \cdot 0,0167}{6+1} = 16,7 \text{ mm}^2$$

Принявъ внутренній діаметръ парового канала въ 12 mm, получимъ внѣшній діаметръ его d_1 изъ зависимости:

$$\frac{\pi}{4} (d_1^2 - 12^2) = f_1 = 16,7$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 16,7 + 12^2} = 12,9 \text{ mm.}$$

Выбравъ діаметры котла и жаровой трубы равными 2,4 и 0,8 m, получимъ длину котла изъ формулы:

$$L = \frac{F}{0,5 \pi D + 1,8 \pi d} = 6,75 \text{ m.}$$

Опредѣлимъ толщину стѣнокъ котла:

$$\text{Кожухъ: } \delta = \frac{p D x}{2 K z} + c = \frac{6 \cdot 2400 \cdot 4,5}{2 \cdot 30 \cdot 70} + 0,6 = 16 \text{ mm,}$$

если для ланкаширскаго котла $D = 2400 \text{ mm}$, $x = 4,5$, $K = 30$ для сварочнаго желѣза, $z = 70\%$ и $c = 0,6$.

Продольный шовъ примемъ двойнымъ. Діаметръ заклепокъ d и разстояніе ихъ t будутъ

$$d = \sqrt{50} \cdot 16 - 4 = 28,3 - 4 \approx 24 \text{ mm}$$

$$t = 2,6 \cdot 24 + 15 = 77,5 \text{ mm;}$$

$$z_1 = 100 \frac{t-d}{t} = 100 \frac{77,5-24}{77,5} = 68,50\%; \quad z_2 = \frac{1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 24^2 \cdot 2}{77,5 \cdot 16} \cdot 100 = 77,5\%,$$

причемъ принято: $K_1 = K_2$, $\alpha = 1$, $n = 2$. Оказывается, что $z_1 < z_2$ а потому надо уменьшить d ; на примѣръ, взявъ $d = 23,5$, получимъ

$$z_1 = 100 \cdot \frac{77,5-23,5}{77,5} = 70\% \text{ и } z_2 = \frac{\pi \cdot 23,5^2 \cdot 2}{4 \cdot 77,5 \cdot 16} \cdot 100 = 69,6 \approx 70\%.$$

Если произвести расчетъ по Баху на треніе (стр. 511–513), то опредѣлили бы касательную силу $S_1 t$ (стр. 425), дѣйствующую на длинѣ t и потому приходящуюся, въ данномъ случаѣ двойнаго продольнаго шва, на двѣ заклепки. Мы получили бы:

$$S_1 t = \frac{p D t}{2} = \frac{6 \cdot 2400 \cdot 7,75}{2} = 5580 \text{ kg.}$$

или на одну заклепку 2790 kg, а потому усиліе q на 1 mm² площади сѣченія заклепки будетъ:

$$q = \frac{S_1 t}{2t} = \frac{2790}{433,7} = 6,4 \text{ kg/mm}^2$$

если площадь сѣченія f заклепки = $0,25 \pi \cdot 23,5^2 = 433,7 \text{ mm}^2$.

Полученное значеніе q годится, такъ какъ оно меньше 6,5 kg/cm², допускаемаго обществами по наблюденію за котлами (стр. 512).

Днище (выпуклое, съ вырѣзомъ для жаровой трубы, см. стр. 12):

$$\delta_1 = \frac{p D x}{200 K} = \frac{6 \cdot 2400}{200 \cdot 7,5} = 9 \text{ мм.} \approx 12 \text{ мм (по соображеніямъ практики).}$$

Въ случаѣ цѣльнаго днища (безъ вырѣза) получили бы для литого желѣза:

$$14,5 \frac{5,0}{6,5} = 11,2.$$

Днище (вогнутое)

$$\frac{200 \delta_1 K_0}{R} = p_n = \frac{p_0}{p} \cdot p; \quad \frac{p_0}{p} p = 2,5 \cdot 6 = 15; \quad \text{принимая } \delta_1 = 15,5 \text{ и } R = 2400,$$

получимъ:

$$K_0 = 26 - 1,15 \sqrt{\frac{2400}{15,5}} = 11,6 \quad \text{и} \quad \delta_1 = \frac{15 \cdot 2100}{11,6 \cdot 200} = 15,49 \text{ мм.}$$

Разсчетъ въ предположеніи литого желѣза.

Жаровая труба. Пусть $d = 800 \text{ мм}$, $l = 1000 \text{ мм}$

$$\delta_2 = \frac{6 \cdot 800}{2000} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{87 \cdot 800}{6(800 + 1000)}} \right\} + 0,5 = 8,5 + 0,5 = 9 \text{ мм.}$$

Днище сухопарника: $D_1 = 800 \text{ мм}$, $r = 50$, $K = 36 \text{ кг/мм}^2$

$$\delta_3 = \left\{ 800 - 50 \left(1 + \frac{100}{800} \right) \right\} \sqrt{\frac{3 \cdot 6}{800 \cdot 36}} = 1,86 \approx 19 \text{ мм.}$$

Если бы въ котлѣ имѣлись плоскія днища, скрѣпленные распорными болтами, при $d = 15 \text{ мм}$, $e = 100 \text{ мм}$ и $\tau = 6 \text{ кг/мм}^2$, то получили бы:

$$\delta_4 = \frac{e}{20} \sqrt{\frac{p}{\tau (1 - 0,7 \frac{d}{e})}} = \frac{100}{20} \sqrt{\frac{6}{6 (1 - 0,7 \frac{15}{100})}} = 5,3 \text{ мм}$$

Для возможности подчеканки слѣдовало бы взять 7 мм .

Предохранительный клапанъ:

$$d = 26 \sqrt{\frac{F}{p + 0,6}} = 26 \sqrt{\frac{60}{6,6}} = 82 \approx 80 \text{ мм}$$

или:

$$d = \frac{0,6 Q}{h(p+1)} = \frac{0,6 \cdot 1200}{1,27 \cdot 7} = 82 \approx 80 \text{ мм.}$$

Паровой клапанъ:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{2330 \tau \Delta}} = \sqrt{\frac{1200}{2830 \cdot 20 \cdot 3,12}} = 0,075 \text{ м.}$$

Питательный клапанъ:

$$d = \sqrt{\frac{u Q}{2830 \cdot \tau \cdot 1000}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1200}{2830 \cdot 0,3 \cdot 1000}} = 0,053 \text{ м} \approx 55 \text{ мм.}$$

Продувной кранъ:

$$d = 1,25 \sqrt{Q} = 1,25 \sqrt{1200} = 43 \approx 45 \text{ мм.}$$

Дымовая труба:

$$\text{Диаметръ } d_0 = \sqrt{\frac{B(L+1)4}{\pi 3600} \cdot \frac{1+\alpha T}{\Delta u}}.$$

Пусть $T_0 = 300''$ (темп. въ боровѣ), $T = \frac{7}{8} \cdot 300 = 260$.

$$T' = 280; d_0 = \sqrt{\frac{150 \cdot 19,3}{2820 \cdot 1,29 \cdot 3} \cdot \frac{533}{273}} = 0,71 \approx 0,70 \text{ м.}$$

$$\text{Высота } H = (20 \cdot 0,70 + 5 + (50 - 20) \cdot 0,05) \cdot \frac{700 - 280}{200 + 280} = 18 \text{ м}$$

которую полезно увеличить до 20 м.

$$\text{Потеря въ трубу (стр. 197): } Q_6 = \frac{19,3 \cdot 0,24 \cdot 300}{7500} = 0,186 \text{ или } 18,6\%.$$

II. Подробный расчет дымовой трубы.

Даны:

поверхность нагрева котла F в m^2 ,
 площадь колосниковой решетки R в m^2 ,
 расход данного состава топлива в час B kg .

Задача заключается: 1) в определении площади сечения устья трубы; 2) в подсчете высоты трубы H по одной из эмпирических формул; 3) в проверке полученной высоты на основании сопротивлений течению газов, и 4) в определении устойчивости трубы и расчете возникающих в кладке напряжений.

1) Площадь сечения устья $f_d = \frac{\pi}{4} d_0^2$ определяется из уравнения:

$$3600 f_d \cdot u' = B (1 + L) \frac{1 + \alpha T'}{\Delta}$$

в котором скорость u' газов в устье берется равной 3—4 m/s при одном котле и 4—8 m/s при батареях котлов; полное количество L воздуха, вводимого в топку для сжигания одного kg топлива, указано на стр. 193 курса паровых котлов; $\Delta = 1,29 kg/m^3$ — вес $1 m^3$ воздуха при 0° и давлении в $760 mm$; $\alpha = \frac{1}{273}$ — коэффициент расширения воздуха (с распространением его на дымовые газы); T' — температура газов в устье, T_1 в борове. Температура T_1 бывает в хороших устройствах от 200 — 300° , и во всяком случае на 30 — 40° больше температуры воды в котле, и может быть вычислена по теории Редтенбахера или Рэнкина. *Лампа* принимает $\frac{T'}{T_1} = 1$ до $0,96$ для толстостенных, $0,92$ до $0,86$ для тонкостенных кирпичных труб и для железных труб с футеровкою, а $0,76$ до $0,7$ для металлических труб без футеровки.

2) Высота дымовой трубы H считается от горизонтальной плоскости, проходящей через середину колосниковой решетки (или ось форсунки) до устья. Она может быть определена по формулам *Лампа*:

$$H = [20 d_0 + 5 + 0,05(l - 20)] \frac{700 - T'}{200 + T'}$$

или же

$$H = (15 d_0 + 2,5 u' + \tau l - 160 k_1) \frac{700 - T'}{200 + T'}$$

В этих формулах обозначают:

d_0 — диаметр устья трубы, в m ;

l — длину дымоходов и борова, в m ;

$T' = \frac{1}{2} (T + T_1)$ — среднюю температуру газов в трубах;

γ — коэффициентъ, зависящій отъ размѣровъ дымоходовъ; берутъ 0,15 для паровозныхъ, 0,11 — для водотрубныхъ котловъ и 0,04 — при широкихъ дымоходахъ и правльныхъ закру- гленияхъ;

k_1 — внутренний наклонъ трубы = 0,01 до 0,02.

Менѣе точна формула *Штруллера*:

$$H = 6 \sqrt[3]{F}.$$

Диаметръ d_1 на высотѣ цоколя опредѣляютъ по d_0 и k_1 . — По эстетическимъ соображеніямъ полезно соблюдать неравенства $30d_0 > H > 20d_0$.

3) Полученную указанными формулами высоту повѣряемъ, опредѣляя величину сопротивленій N и пользуясь формулою:

$$H = \frac{2gN(1 + \alpha T') + u_1^2}{2g\alpha \frac{T' - t}{1 + \alpha t} - \lambda \frac{a}{f} u_1^2}.$$

Въ этомъ уравненіи обозначаютъ:

t — температуру атмосфернаго воздуха;

$u_1 = u \frac{1 + \alpha T' f a}{1 + \alpha T' f}$ — скорость газовъ при средней температурѣ T' и въ среднемъ сѣченіи f трубы;

a — въ m периметръ средняго сѣченія трубы;

λ — коэффициентъ тренія (около 0,01);

$N = N_1 + N_2 + N_3$ — сумму сопротивленій теченію газовъ по топкѣ, дымоходамъ и борову, выраженныхъ высотой столба воздуха при 0° и атмосферному давленію;

N_1 — сопротивленіе при прохожденіи воздуха черезъ слой топлива; по *Грасюфу* $N_1 = C(1 + L)s^2$, гдѣ s въ m высота слоя топлива, а C коэффициентъ, опредѣляемый изъ таблицы:

	Каменный уголь.	Бурый уголь.	Бокс.	Дрова а торфъ.
C	25	25	4	13

$N_2 = \frac{\lambda}{2g} \sum \frac{u^2}{1 + \alpha t} \cdot \frac{la}{f}$ — сумму сопротивленій тренія въ дымоходахъ, причѣмъ u , t , l , a , f относятся къ опредѣленному сѣченію;

$N_3 = \frac{1}{2g} \sum \frac{\xi u^2}{1 + \alpha t}$ — сумму сопротивленій при суженіи, расширеніи сѣченія, поворотѣ канала, движеніи газовъ чрезъ рѣшетку или за- слонку и пр.

4) Послѣ провѣрки высоты H трубы приступаемъ къ расчету ея на устойчивость ¹⁾.

Будемъ придерживаться слѣдующихъ обозначеній:

$\omega = 125 - 250 \frac{kg}{m^2}$ — давленіе вѣтра на 1 m^2 плоскости (вертикальной, если положимъ, что направленіе вѣтра горизонтально);

¹⁾ Дальнѣйшее изслѣдованіе составлено по докладу, прочитанному студентомъ П. Г. Куликовскимъ въ 1903-мъ г. въ научно-техническомъ кружкѣ студентовъ-технологовъ въ С.-Петербурѣ.

$\psi = 0,5-1,0$ = коэффициентъ, зависящій отъ формы поперечнаго сѣченія трубы (см. таблицу);

$D = 2R$ = любой наружные диаметры для круглой трубы и диаметры вписанныхъ круговъ для восьмиугольной и квадратной;

$D_0 = 2R_0$ = верхній метры вписанныхъ круговъ для восьмиугольной и квадратной;

$t = C(D^2 - d^2)$ = площадь разсматриваемаго сѣченія (см. таблицу);

$r_1 = C_1 R \left(1 + \frac{r^2}{R^2}\right)$ } радиусы ядра разсматриваемаго сѣченія (max. и min.), см. таблицу;

$r_2 = C_2 R \left(1 + \frac{r^2}{R^2}\right)$ }

$h = \frac{R + 2R_0}{R + R_0} \cdot \frac{H}{3}$ = высота надъ даннымъ сѣченіемъ центра тяжести трапеціи — проекція части трубы надъ даннымъ сѣченіемъ на вертикальную плоскость;

$P = \omega \psi F$ = давленіе вѣтра на часть трубы надъ даннымъ сѣченіемъ, гдѣ F = площадь упомянутой трапеціи (см. таблицу);

G = вѣсъ разсматриваемой части трубы;

$\Delta = 1600-2000$ = вѣсъ 1 m^3 кладки въ kg ;

$\varepsilon = 1,6-2,4$ = запасъ устойчивости.

Въ помѣщаемой ниже таблицѣ помѣщены значенія тѣхъ величинъ, которыя различны между собой, смотря по формѣ трубы и по принятому направленію вѣтра. Таблица составлена по книгѣ Пича (Fr. Pietzsch, der Fabrikschornstein, Freiberg, 1896).

Сѣченіе:	кольцевое		восьмиугольное		квадратное	
	Любое.	Перпенд. къ грани трубы.	По діагонали многоугольника.	Перпенд. къ грани трубы.	По діагонали многоугольника.	
F	$(R + R_0) H$	$(R + R_0) H$	$1,082(R + R_0) H$	$(R + R_0) H$	$1,414(R + R_0) H$	
ψ	$\frac{2}{3}$	0,70711	0,64645	1	0,5	
C	$\frac{\pi}{4}$	0,82842		1.		
C_1	0,25	0,264	—	0,333	—	
C_2	0,25	—	0,244	—	0,236	

Необходимое и достаточное условіе, при которомъ труба устойчива:

$$G \cdot R = \varepsilon \cdot P \cdot h = P_1 \cdot h$$

т. е. моментъ M_2 собственного вѣса трубы относительно горизонтальной осп—касательной къ кругу наружнаго контура сѣченія трубы или вообще проходящей черезъ крайнюю точку этого контура—въ ε разъ больше опрокидывающаго момента M_1 давленія вѣтра около той же оси. Пичъ въ своей книгѣ принимаетъ $G \cdot R = P_1 \cdot h$, намѣренно увеличивая P въ ε разъ, и даетъ формулу, которою выражается площадь поперечнаго сѣченія трубы при этомъ условіи. Предлагаемъ слѣдующій выводъ этой формулы.

Чтобы во всѣхъ сѣченіяхъ трубы соблюдалось равенство моментовъ $M_1 = P_1 h$ и $M_2 = G R$, необходимо, чтобы было $dM_1 = dM_2$. Имѣемъ:

$$M_1 = P_1 h = \frac{\omega \psi \varepsilon (R + 2 R_0) H^2}{3} = M_2 = GR$$

Далѣе:

$$R = R_0 + Hk \quad r = r_0 + Hk_1$$

Здѣсь $k = 0,02 - 0,04 =$ внѣшній и $k_1 = 0,01 - 0,02 =$ внутренней уклоны трубы, т. е. tg -сы угловъ BC и AD (черт. 985) съ вертикалью.

Подставивъ $R = R_0 + Hk$, дифференцируемъ по H :

$$dM_1 = \frac{\omega \psi \varepsilon}{3} [2H(3R_0 + Hk) + H^2 k] dH = P_1 \cdot dH$$

$$dM_2 = GdR + RdG = (Gk + R\Delta f) dH$$

ибо

$$G = \Delta \cdot \int_0^H f \cdot dH$$

Приравнивая и сокращая по dH , найдемъ:

$$Gk + R\Delta f = P_1$$

откуда и получаемъ формулу Пича:

$$f = \frac{P_1 - Gk}{\Delta R} \quad 1)$$

Отложивъ (черт. 984) въ любомъ масштабѣ H_s — высоту трубы до цоколя или до земли, если она безъ цоколя, и проведя черезъ каждыя 2—6 m^2 горизонтали, отложимъ на нихъ въ любомъ линейномъ масштабѣ площади f , вычисляемыя по приведенной формулѣ, гдѣ G, D, R — имѣютъ указанныя значенія, а толщину l стѣнки у устья приходится брать по предлагаемой таблицѣ:

$$\text{При } 0,6 \text{ м} < d_n < 1,5 \text{ м} \quad \dots \quad D_n = d_n + 0,3 \quad (l = 0,15 \text{ м})$$

$$\text{„ } 1,5 \text{ „} < d_n < 2 \text{ „} \quad \dots \quad D_n = d_n + 0,4 \quad (l = 0,20 \text{ м})$$

$$\text{„ } 2 \text{ „} < d_n \quad \dots \quad D_n = d_n + 0,5 \quad (l = 0,25 \text{ м})$$

Въ сѣверной полосѣ Россіи часто увеличиваютъ l на 10—15 cm . Для k и ε приведены на стр. 28—31 таблицы, въ которыхъ предлагается и f , вычисленное для круглыхъ трубъ. При необходимости повѣрить f , или измѣнить k , т. е. отказаться отъ пользованія таблицами, формулу лучше всего взять въ такомъ видѣ:

$$f = \frac{\alpha H (3\beta^2 + 3\beta H + H^2)}{(\beta + H)^2}$$

гдѣ:

$$\alpha = \frac{2 \varepsilon \omega \psi}{3 \Delta}$$

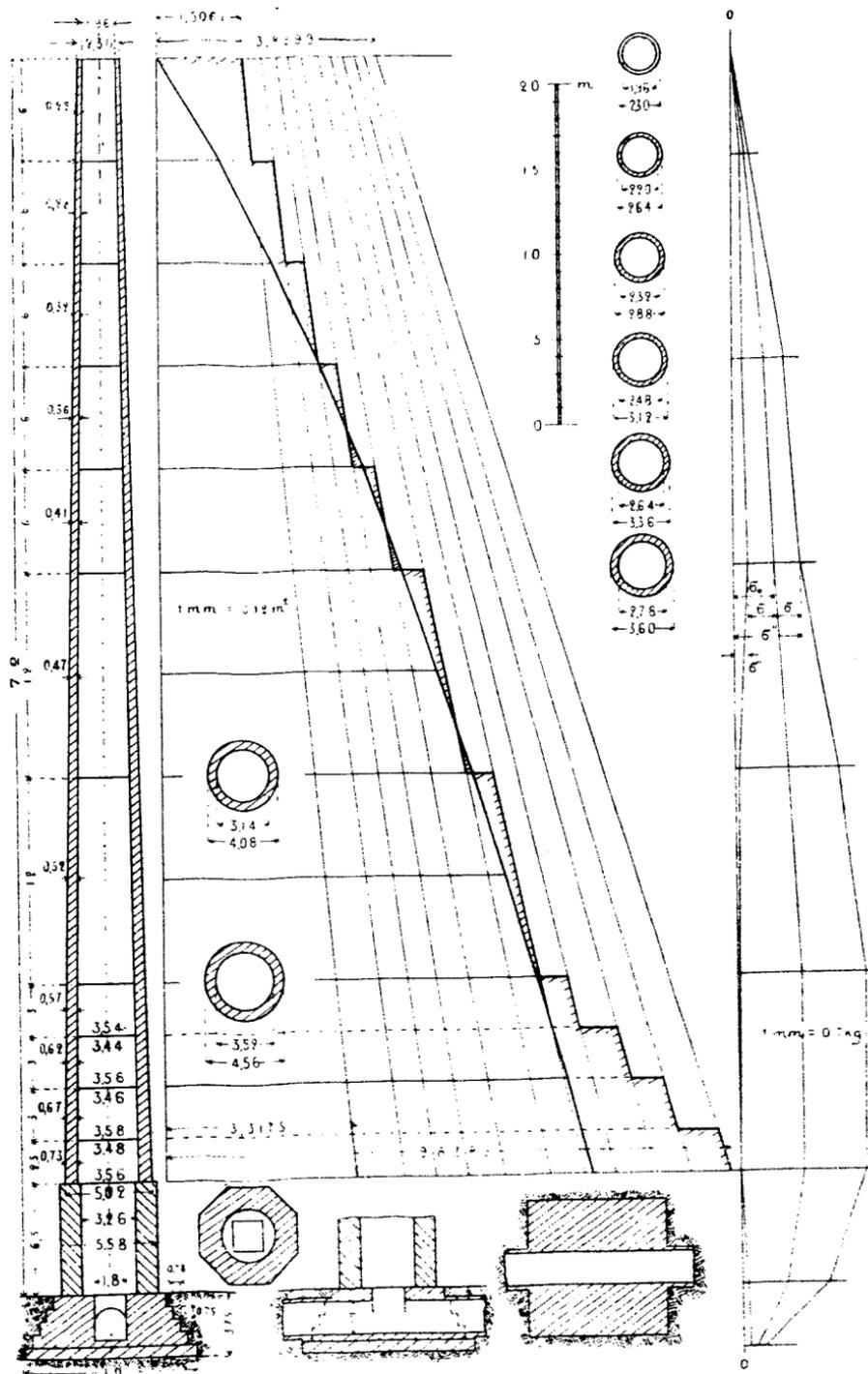
$$\beta = \frac{R_0}{k}$$

Итакъ, отложимъ на горизонталяхъ вычисленныя значенія f , и соединивъ ихъ кривой, получимъ графически объемъ кладки, теоретически необходимый для устойчивости трубы съ принятымъ запасомъ. Это будетъ площадь, ограниченная осями ординатъ и абсциссъ и кривою f . Но сѣчение трубы не измѣняется непрерывно, кладка состоитъ изъ поясовъ съ одинаковой толщиной стѣнокъ и диаграмма даетъ возможность выбрать наивыгоднѣйшія высоты этихъ поясовъ.

1) Пичъ обозначаетъ черезъ k удвоенный tg угла, образуемаго внѣшней образующей трубы съ вертикалью.

2) На черт. 984 расстоянія горизонталей — 6 m для трубы высотой въ 72 m .

Относительно толщины стѣнокъ замѣтимъ, что, если пользоваться



Черт. 884.

лекальнымъ кирпичемъ, который, по сообщенію ниж. Руссурма въ С.-Петербургѣ, имѣеть длину (по радиусамъ трубы) 100, 140, 180,

220 и 270 *mm* при ширинѣ 190 и толщинѣ 100 *mm*¹⁾, то толщину стѣнокъ сверху придется выбирать не 150, 200 и 250 *mm*, какъ указано выше, а соответственно уменьшать или увеличивать. Вообще возможны такія толщины стѣнокъ трубы въ разныхъ поясахъ въ *см*: 10, 14, 18, 20, 22, 24, 27, 28, 30, 32, 34, 36, 37, 38, 40 и выше 40 *см*. всѣ послѣдовательныя числа кромѣ 43 и 53 (безъ слоя раствора).

Предположимъ теперь, что толщина стѣнокъ трубы сверху до низу одинакова и равна *l см*. Отложимъ на верхней горизонтали $f_0 = \frac{\pi}{4} [D_0^2 - (D_0 - 2l)^2]$, на нижней: $f_1 = \frac{\pi}{4} [D_1^2 - (D_1 - 2l)^2]$. Соединимъ точки отложенія прямой линіей; она покажетъ, какъ измѣнялось бы *f* вдоль по оси трубы, если бы толщина стѣнокъ была сверху до низу *l см*. Затѣмъ проведемъ такую же прямую, предполагая, что толщина стѣнокъ — *b см*, больше чѣмъ *l* на 4—5—6 *см* и вычислимъ $f_0 = \frac{\pi}{4} [D_0^2 - (D_0 - 2b)^2]$ и $f_1 = \frac{\pi}{4} [D_1^2 - (D_1 - 2b)^2]$ и т. д. Эти прямыя мы проводимъ до тѣхъ поръ, пока они не перестанутъ врѣзываться въ площадь кривой *f*. Затѣмъ выбираемъ высоту поясовъ (см. чертежъ 984), не опасаясь и врѣзыванія въ площадь кривой, наблюдая только, чтобы для всякаго сѣченія трубы сумма выступающихъ заштрихованныхъ площадокъ была болѣе суммы врѣзавшихся въ площадь кривой *f*.

Площадь, ограниченная осями, верхнею и нижнею горизонталями и ломанною—представитъ графически дѣйствительный объемъ кладки.

Слѣдующія таблицы, составленныя *Пичемъ* для $D_0 = 1$ до 2,5 *m*, для $k = 0,02$ до 0,025 и для $\varepsilon = 1,6$ до 2,4, даютъ прямо величины *f* при различныхъ высотахъ *H*.

		$D_0 = 1,00$ $k = 0,025$ $\varepsilon = 1,6$	$D_0 = 1,10$ $k = 0,025$ $\varepsilon = 1,6$	$D_0 = 1,20$ $k = 0,025$ $\varepsilon = 1,6$			
<i>H</i>	<i>D</i>	<i>f</i>	<i>D</i>	<i>f</i>	<i>D</i>	<i>f</i>	<i>H</i>
0	1,00	0	1,10	0	1,20	0	0
2	1,10	0,3040	1,20	0,3067	1,30	0,3083	2
4	1,20	0,5621	1,30	0,5694	1,40	0,5760	4
6	1,30	0,7870	1,40	0,8010	1,50	0,8133	6
8	1,40	0,9887	1,50	1,0097	1,60	1,0278	8
10	1,50	1,1731	1,60	1,2001	1,70	1,2245	10
12	1,60	1,3438	1,70	1,3772	1,80	1,4074	12
14	1,70	1,5044	1,80	1,5438	1,90	1,5792	14
16	1,80	1,6573	1,90	1,7014	2,00	1,7422	16
18	1,90	1,8033	2,00	1,8525	2,10	1,8980	18
20	2,00	1,9444	2,10	1,9934	2,20	2,0477	20
22	2,10	2,0816	2,20	2,1389	2,30	2,1926	22
24	2,20	2,2146	2,30	2,2760	2,40	2,3333	24
26	2,30	2,3455	2,40	2,4101	2,50	2,4706	26
28	2,40	2,4739	2,50	2,5408	2,60	2,6049	28
30	2,50	2,6000	2,60	2,6701	2,70	2,7366	30

¹⁾ Вѣсъ одного кирпича, со включеніемъ раствора 3,96; 5,40; 6,84; 8,28; 10,08 *kg*.

$D_0 = 1,30$ $k = 0,025$ $\epsilon = 1,8$			$D_0 = 1,40$ $k = 0,025$ $\epsilon = 1,8$		$D_0 = 1,50$ $k = 0,02$ $\epsilon = 1,8$		$D_0 = 1,60$ $k = 0,02$ $\epsilon = 1,8$		
H	D	f	D	f	D	f	D	f	H
0	1,30	0	1,40	0	1,50	0	1,60	0	0
2	1,40	0,3489	1,50	0,3506	1,58	0,3563	1,68	0,3574	2
4	1,50	0,6544	1,60	0,6602	1,66	0,6608	1,76	0,6639	4
6	1,60	0,9272	1,70	0,9381	1,74	0,9707	1,84	0,9846	6
8	1,70	1,1747	1,80	1,1914	1,82	1,2517	1,92	1,2639	8
10	1,80	1,4024	1,90	1,4249	1,90	1,5060	2,00	1,5250	10
12	1,90	1,6143	2,00	1,6425	1,98	1,7486	2,08	1,7707	12
14	2,00	1,8134	2,10	1,8472	2,06	1,9761	2,16	2,0033	14
16	2,10	2,0024	2,20	2,0413	2,14	2,1922	2,24	2,2245	16
18	2,20	2,1826	2,30	2,2266	2,22	2,3987	2,32	2,4359	18
20	2,30	2,3559	2,40	2,4045	2,30	2,5969	2,40	2,6369	20
22	2,40	2,5232	2,50	2,5762	2,38	2,7878	2,48	2,8344	22
24	2,50	2,6856	2,60	2,7426	2,46	2,9733	2,56	3,0234	24
26	2,60	2,8438	2,70	2,9045	2,54	3,1514	2,64	3,2067	26
28	2,70	2,9983	2,80	3,0625	2,62	3,3255	2,72	3,3849	28
30	2,80	3,1497	2,90	3,2190	2,70	3,4954	2,80	3,5587	30
32	2,90	3,2917	3,00	3,3689	2,78	3,6614	2,88	3,7284	32
34	3,00	3,4449	3,10	3,5181	2,86	3,8240	2,96	3,8945	34
36	3,10	3,5829	3,20	3,6650	2,94	2,9837	3,04	4,0575	36
38	3,20	3,7318	3,30	3,8100	3,02	4,1405	3,12	4,2175	38
40	3,30	3,8700	3,40	3,9533	3,10	4,2950	3,20	4,3750	40

$D_0 = 1,70$ $k = 0,02$ $\epsilon = 2$			$D_0 = 1,80$ $k = 0,02$ $\epsilon = 2$		$D_0 = 1,90$ $k = 0,02$ $\epsilon = 2$		$D_0 = 2,00$ $k = 0,02$ $\epsilon = 2$		
H	D	f	D	f	D	f	D	f	H
0	1,70	0	1,80	0	1,90	0	2,00	0	0
2	1,78	0,3982	1,88	0,3992	1,98	0,4001	2,08	0,4008	2
4	1,86	0,7637	1,96	0,7671	2,06	0,7703	2,16	0,7731	4
6	1,94	1,1017	2,04	1,1087	2,14	1,1151	2,24	1,1209	6
8	2,02	1,4166	2,12	1,4278	2,22	1,4380	2,32	1,4473	8
10	2,10	1,7117	2,20	1,7275	2,30	1,7420	2,40	1,7554	10
12	2,18	1,9899	2,28	2,0106	2,38	2,0297	2,48	2,0471	12
14	2,26	2,2537	2,36	2,2793	2,46	2,3031	2,56	2,3252	14
16	2,34	2,5048	2,44	2,5355	2,54	2,5640	2,64	2,5906	16
18	2,42	2,7449	2,52	2,7806	2,62	2,8139	2,72	2,8449	18
20	2,50	2,9756	2,60	3,0161	2,70	3,0540	2,80	3,0896	20
22	2,58	3,1978	2,68	3,2431	2,78	3,2859	2,88	3,3255	22
24	2,66	3,4126	2,76	3,4625	2,86	3,5095	2,96	3,5537	24
26	2,74	3,6208	2,84	3,6752	2,94	3,7265	3,04	3,7749	26
28	2,82	3,8233	2,92	3,8820	3,02	3,9374	3,12	3,9699	28
30	2,90	4,0205	3,00	4,0833	3,10	4,1438	3,20	4,1992	30

$D_0 = 1,70$ $k = 0,02$ $\varepsilon = 2$			$D_0 = 1,80$ $k = 0,02$ $\varepsilon = 2$		$D_0 = 1,90$ $k = 0,02$ $\varepsilon = 2$		$D_0 = 2,00$ $k = 0,02$ $\varepsilon = 2$		
H	D	f	D	f	D	f	D	f	H
32	2,98	4,2131	3,08	4,2799	3,18	4,3433	3,28	4,4035	32
34	3,06	4,4016	3,16	4,4721	3,26	4,5392	3,36	4,6031	34
36	3,14	4,5863	3,24	4,6605	3,34	4,7312	3,44	4,7985	36
38	3,22	4,7676	3,32	4,8453	3,42	4,9194	3,52	4,9902	38
40	3,30	4,9459	3,40	5,0269	3,50	5,1043	3,60	5,1783	40
42	3,38	5,1214	3,48	5,2056	3,58	5,2862	3,68	5,3634	42
44	3,46	5,2945	3,56	5,3816	3,66	5,4652	3,76	5,5454	44
46	3,54	5,4652	3,64	5,5553	3,74	5,6417	3,84	5,7248	46
48	3,62	5,6338	3,72	5,7267	3,82	5,8159	3,92	5,9017	48
50	3,70	5,8006	3,80	5,8960	3,90	5,9879	4,00	6,0764	50

$D_0 = 2,10$ $k = 0,02$ $\varepsilon = 2,4$			$D_0 = 2,20$ $k = 0,02$ $\varepsilon = 2,4$		$D_0 = 2,30$ $k = 0,02$ $\varepsilon = 2,4$		$D_0 = 2,40$ $k = 0,02$ $\varepsilon = 2,4$		
H	D	f	D	f	D	f	D	f	H
0	2,10	0	2,20	0	2,30	0	2,40	0	0
2	2,18	0,4819	2,28	0,4827	2,38	0,4834	2,48	0,4840	2
4	2,26	0,9309	2,36	0,9337	2,46	0,9363	2,56	0,9388	4
6	2,34	1,3514	2,44	1,3573	2,54	1,3627	2,64	1,3678	6
8	2,42	1,7472	2,52	1,7568	2,62	1,7657	2,72	1,7739	8
10	2,50	2,1213	2,60	2,1351	2,70	2,1479	2,80	2,1599	10
12	2,58	2,4765	2,68	2,4948	2,78	2,5118	2,88	2,5278	12
14	2,66	2,8149	2,76	2,8379	2,86	2,8597	2,96	2,8796	14
16	2,74	3,1384	2,84	3,1663	2,94	3,1924	3,04	3,2170	16
18	2,82	3,4488	2,92	3,4816	3,02	3,5124	3,12	3,5414	18
20	2,90	3,7475	3,00	3,7852	3,10	3,8207	3,20	3,8542	20
22	2,98	4,0357	3,08	4,0782	3,18	4,1184	3,28	4,1564	22
24	3,06	4,3145	3,16	4,3618	3,26	4,4066	3,36	4,4490	24
26	3,14	4,5848	3,24	4,6368	3,34	4,6861	3,44	4,7329	26
28	3,22	4,8475	3,32	4,9041	3,42	4,9578	3,52	5,0089	28
30	3,30	5,1033	3,40	5,1644	3,50	5,2225	3,60	5,2778	30
32	3,38	5,3530	3,48	5,4182	3,58	5,4806	3,68	5,5400	32
34	3,46	5,5968	3,56	5,6663	3,66	5,7396	3,76	5,7962	34
36	3,54	5,8354	3,64	5,9091	3,74	5,9795	3,84	6,0469	36
38	3,62	6,0694	3,72	6,1470	3,82	6,2213	3,92	6,2924	38
40	3,70	6,2990	3,80	6,3804	3,90	6,4585	4,00	6,5333	40
42	3,78	6,5247	3,88	6,6098	3,98	6,6914	4,08	6,7699	42
44	3,86	6,7467	3,96	6,8354	4,06	6,9206	4,16	7,0025	44
46	3,94	6,9655	4,04	7,0575	4,14	7,1461	4,24	7,2313	46
48	4,02	7,1811	4,12	7,2765	4,22	7,2695	4,32	7,4568	48
50	4,10	7,3939	4,20	7,4924	4,30	7,5874	4,40	7,6791	50
52	4,18	7,6041	4,28	7,7057	4,38	7,8037	4,48	7,8984	52
54	4,26	7,8118	4,36	7,9164	4,46	8,0174	4,56	8,1150	54
56	4,34	8,0173	4,44	8,1247	4,54	8,2285	4,64	8,3290	56
58	4,42	8,2208	4,52	8,3309	4,62	8,4374	4,72	8,5406	58
60	4,50	8,4222	4,60	8,5350	4,70	8,6442	4,80	8,7500	60

$D_0 = 2,50$ $k = 0,02$ $\varepsilon = 2,4$			$D_0 = 2,50$ $k = 0,03$ $\varepsilon = 2,4$		
H	D	f	H	D	f
0	2,50	0	32	3,78	5,5268
2	2,58	0,4847	34	3,86	5,8569
4	2,66	0,9410	36	3,94	6,1114
6	2,74	1,3724	38	4,02	6,3607
8	2,82	1,7816			
10	2,90	2,1710	40	4,10	6,6052
12	2,98	2,5427	42	4,18	6,8453
14	3,06	2,8986	44	4,26	7,0813
16	3,14	3,2401	46	4,34	7,3131
18	3,22	3,5688	48	4,42	7,5421
20	3,30	3,8858	50	4,50	7,7675
22	3,38	4,1923	52	4,58	7,9898
24	3,46	4,4893	54	4,66	8,2098
26	3,54	4,7774	56	4,74	8,4262
28	3,62	5,0576	58	4,82	8,6405
30	3,70	5,3305	60	4,90	8,8526

Выбравъ высоты поясовъ и толщины стѣнокъ, опредѣляемъ напряженія въ самомъ нижнемъ сѣченіи трубы (обыкновенно надъ цоколемъ, такъ какъ стѣнки послѣдняго дѣлаются значительно толще и напряженія въ сѣченіи на уровнѣ земли—меньше).

Напряженіе въ случаѣ тяжелаго изгибаемаго стержня:

$$\frac{G}{f} \pm \frac{My}{J} = \sigma_0 \pm \sigma$$

Въ нашемъ случаѣ

$$M = Ph \ ; \ \frac{J}{y} = W = f \cdot \rho$$

гдѣ ρ —радіусъ ядра, въ чемъ легко убѣдиться, для цилиндрическаго стержня, изъ тождества

$$W = \frac{\pi(R^4 - r^4)}{4R} = \pi(R^2 - r^2) \cdot \frac{R^2 + r^2}{4R} = f \cdot \rho$$

Слѣдовательно, напряженіе съ подвѣтренной стороны:

$$\sigma' = \sigma_0 + \sigma = \frac{G}{f} + \frac{Ph}{f\rho} = \frac{G}{f} \left(1 + \frac{a}{\rho}\right)$$

а съ навѣтренной:

$$\sigma'' = \sigma_0 - \sigma = \frac{G}{f} - \frac{Ph}{f\rho} = \frac{G}{f} \left(1 - \frac{a}{\rho}\right)$$

гдѣ a —разстояніе точекъ приложенія равнодѣйствующей силъ P и G отъ центра теченія трубы (см. черт. 333).

Легко видѣть, что $a = \frac{Ph}{G}$ и что если $a > \rho$, то σ будетъ отрицательно, т. е. съ навѣтренной стороны появятся растяженія.

Необходимо замѣтить, что при опредѣленіи $\sigma = \frac{Ph}{f\rho}$, мы считаемъ уже P такимъ, каково оно на самомъ дѣлѣ, т. е.

$$P = \omega \psi F, \text{ гдѣ } \omega = 125 \frac{kg}{m^2}$$

и не смѣшиваемъ его съ нарочно увеличеннымъ въ ε разъ P_1 , которое принималось при опредѣленіи

$$G = \frac{P_1 h}{R} = (\varepsilon \omega) \psi \frac{(R + 2R_0) H^2}{3R}$$

т. е. вѣса трубы, необходимаго для ея устойчивости.

Допускаются напряженія (абсолютныя величины)

$$\sigma'' \leq 7 kg/cm^2; \sigma' \leq 0,5 kg/cm^2$$

При наилучшемъ кирпичѣ и цементномъ растворѣ допускаютъ большее σ'' , именно $11 kg/cm^2$. Предполагая тихую погоду во время постройки, рискуютъ увеличивать и σ' , такъ что крайними допускаемыми напряженіями считаютъ ¹⁾

$$\sigma'' = 11 kg/cm^2; \sigma' = 1,5 kg/cm^2$$

Безопаснѣе однако держаться нижнихъ предѣловъ. Въ случаѣ, если получаются слишкомъ большія напряженія, надо увеличить толщину стѣнокъ внизу (что и сдѣлано въ примѣрѣ расчета), если же это мало вліяетъ, то иногда приходится и повторить расчетъ, измѣнивъ принятый k , а слѣдовательно и построивъ новую кривую f , а также прямая.

Строго говоря, необходимо повѣрить напряженія во вѣсхъ сѣченіяхъ, гдѣ измѣняется толщина кладки, или, по крайней мѣрѣ, опредѣлить a и ρ для каждаго такого сѣченія, изъ уравненія коихъ видно, гдѣ являются растяженія. Опредѣленіе a требуетъ вычлененія M и G , при чемъ послѣдній можетъ быть найденъ, какъ сказано выше, графически; аналитически же

$$M = \frac{\omega \psi}{3} (R + 2R_0) H^2 = \approx 28 (R + 2R_0) H^2 \text{ (для круглыхъ трубъ).}$$

Вѣсъ пояса

$$G_n = \pi Z_n l_n (R_{n-1} + r_n) \Delta$$

гдѣ Z_n — высота пояса, l_n толщина стѣнки, R_{n-1} наружный верхшій и r_n — внутренній нижній радиусы ²⁾. Сложивъ вѣса поясовъ, лежащихъ выше

¹⁾ Для клинкера Пичъ считаетъ $\sigma'' = 15 kg/cm^2$.

²⁾ Помощаемъ крѣпко выводъ этой формулы (черт. 985): по правилу Гюльдена объемъ пояса трубы

$$J_n = \text{пл. } (ABCD) 2\pi PO$$

$$\text{Но площадь } ABCD = (B_n - r_n) Z_n = l_n \cdot Z_n,$$

$$\text{а } PO = \frac{R_{n-1} + r_n}{2} \text{ или } \frac{R_n + r_{n-1}}{2},$$

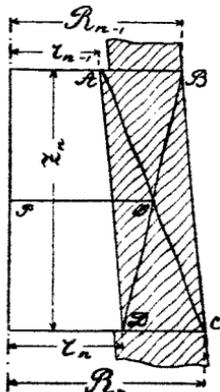
какъ средняя линія трапеція.

Слѣдовательно

$$J_n = \pi Z_n l_n (R_{n-1} + r_n)$$

а вѣсъ пояса

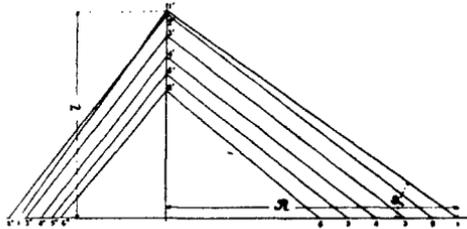
$$G_n = J_n \Delta$$



разсматриваемаго сѣченія, находимъ G и дѣлиемъ: $a = \frac{M}{G}$. Радиусы ядра сѣченія

$$\rho = \frac{R}{4} \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right) \text{ (для круглой трубы)}$$

могутъ быть найдены предлагаемымъ ниже графическимъ построениемъ (черт. 986). Проведя двѣ взаимно перпендикулярныя прямыя, откладываемъ на одной наружные радиусы R сѣченій, для которыхъ ищемъ ρ , на другой внутренне радиусы r тѣхъ же сѣченій; отложенныя точки нумеруемъ. Затѣмъ строимъ рядъ прямоугольныхъ треугольниковъ, соединяя, напр., точки 1—1' и возстановляя въ точкѣ 1' перпендикуляръ къ линіи 1—1'.



Черт. 986.

Отрѣзокъ 1—1', аналогично и 2—2', 3—3' измѣряемъ въ томъ же линейномъ масштабѣ и полученное число умножаемъ на коэффициенты C_1 и C_2 (см. стр. 25).

Пояснимъ это. Линія 1—1' = $\sqrt{R^2 + r^2}$, линія 1—1'' = $\frac{1-1'}{cs \varphi} = \frac{\sqrt{R^2 + r^2}}{R} = \frac{R^2 + r^2}{R \sqrt{R^2 + r^2}}$. Значитъ, остается умножить эту линію на приведенные коэффициенты и получаемъ всѣ ρ .

Найдя напряжения, откладываемъ ихъ отъ вертикали 0—0 (черт. 984 справа) на соответственныхъ горизонталяхъ, именно: откладываемъ вправо σ_0 , а отъ полученной точки въ обѣ стороны ε , получаемъ $\varepsilon'' = \sigma_0 + \varepsilon$ и $\varepsilon' = \sigma_0 - \varepsilon$. Это построение, предложенное Пичемъ¹⁾, наглядно изображаетъ, какъ мѣняются напряжения въ кладкѣ.

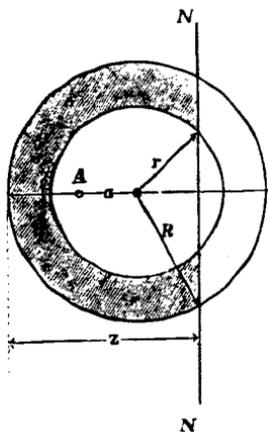
Значительно сложнее расчеты въ случаѣ, когда матеріалъ не допускаетъ растяженій. Тогда шовъ раскрывается (черт. 342), въ передачѣ напряжений участвуетъ зантрихованная площадка, и напряженіе на сжатіе варьпруеть отъ 0 (по линіи NN) до ε'' . Дальнѣйшія вычисленія облегчаются таблицами, составленными профессоромъ *Кожомъ*, содержащими, для различныхъ отношеній $\frac{d}{D}$ и $\frac{a}{R}$, получаемыя для нихъ пзъ соответствующихъ сложныхъ формулъ (стр. 391) величины $\frac{\varepsilon}{R}$ и $\frac{\varepsilon'}{r_s}$. Итакъ (см. черт. 342), если мы хотимъ опредѣлить напряжения въ кладкѣ, предполагая, что шовъ раскрывается по всей той площади, гдѣ появляется растяженіе, то надо попытками выбрать отношеніе $\frac{d}{D}$ такъ, чтобы оно было равно, или весьма близко къ значевіямъ $\frac{d}{D}$ въ верхней графѣ таблицъ Кека (ниже на стр. 36—39). Выбравъ $\frac{d}{D}$, вычислимъ

$$G = \frac{\pi \lambda}{3} H (R^2 + R_0 R + R_0^2 - r^2 - r_0 r - r_0^2)$$

$$a = \frac{M}{G}; \quad M = P \cdot h = 3(R + 2R_0) H^2$$

¹⁾ Protocoll der 31 Delegierten- und Ingenieur-Versammlung des Internationalen Verbandes der Dampfkessel-Überwachungs-Vereine zu Zürich am 7 und 8 Juli 1902. Im Selbstverlage des Verbandes. 1902.

Затѣмъ въ вертикальной графѣ, соответствующей нашему $\frac{d}{D}$ и въ горизонтальной строкѣ, соответственно нашему $\frac{a}{R}$, находимъ отношеніи $\frac{z}{R}$ и $\frac{\sigma'''}{\sigma_0}$, гдѣ



Черт. 342.

z — та часть діаметра, на которой нѣтъ растяженій (см. черт. 342), а $\frac{\sigma'''}{\sigma_0}$ известное отношеніе наибольшаго напряженія къ напряженію отъ собственнаго вѣса $\sigma_0 = \frac{G}{f_z}$, которое еще неизвѣстно и вычисляется такъ: зная z , вычерчиваемъ рассматриваемое сѣченіе, чтобы опредѣлить φ_1 и φ_2 , дуги внѣшней и внутренней окружностей, принадлежащія *заштрихованной* площади f_z , затѣмъ вычисляемъ f , какъ разность площадей двухъ сегментовъ:

$$f_z = f_1 - f_2 = \frac{R^2}{2} \left(\frac{\varphi_1 \cdot \pi}{180} - \sin \varphi_1 \right) - \frac{r^2}{2} \left(\frac{\varphi_2 \cdot \pi}{180} - \sin \varphi_2 \right).$$

Напр., при $r = 1,5$ м, $R = 2$ м, $\varphi_1 = 225^\circ$, $\varphi_2 = 280^\circ$, получимъ:

$$f_z = \frac{2^2}{2} \left(\frac{225\pi}{180} + 0,7071 \right) - \frac{1,5^2}{2} \left(\frac{280\pi}{180} + 0,98481 \right) = 2,6625$$

Или по таблицамъ Hütte (Изданіе 1905 г., I ч., стр. 34) вычисляемъ *незаштрихованную* площадь и вычитаемъ ее изъ площади всего кольца.

При указанныхъ выше данныхъ получимъ:

$$f_z = \frac{\pi}{4} (4^2 - 3^2) - (2^2 \cdot 0,82454 - 1,5^2 \cdot 0,20573) = 2,6625.$$

Вычисливъ f_z , находимъ $\sigma_0 = \frac{G}{f_z}$ и по выписанному отношенію $\frac{\sigma'''}{\sigma_0}$ опредѣляемъ σ'' = наибольшее сжатіе на крайнемъ швѣ. Проф. Ламъ считаетъ допустимыми слѣдующія значенія σ'' въ kg/cm^2 :

H	15	30	45	60	75	90	120	150
σ''	7,2	9,5	11,8	14,0	16,3	18,5	23,0	27,5

Таблицы проф. Кека сведены въ одну и распространены въ предлагаемой таблицѣ, взятой изъ доклада инж. Пича на сѣздѣ обществъ по наблюденію за котлами, въ Цюрихѣ, въ 1902 г.

Пусть, напримѣръ, надо вычислить напряженія въ нижнемъ сѣченіи трубы $R = 1,46$, $r = 0,94$, $H = 30$, $R_0 = 0,86$, $r_0 = 0,64$, $\Delta = 2000$.

Получаемъ:

$$G = \frac{\pi \cdot 2000 \cdot 30}{3} \left[1,46^2 + 0,86^2 + 1,46 \cdot 0,86 - 0,94^2 - 0,64^2 - 0,94 \cdot 0,64 \right] = 140214 \text{ kg}$$

причемъ не приняты во вниманіе уступы кладки; примемъ $G = 140000 \text{ kg}$.

$$M = \beta (R + 2 R_0) H^2 = 28 \cdot 3,18 \cdot 900 = 80 136$$

$$a = \frac{M}{G} = \frac{80 136}{140 000} = 0,5724$$

$$\frac{a}{R} = 0,392 ; \frac{r}{R} = 0,644$$

Въ таблицѣ находимъ при $\frac{a}{R} = 0,4$; $\frac{r}{R} = 0,64$:

$$\frac{z}{R} = 1,88 ; \frac{\sigma'''}{\sigma_0} = 2,14 .$$

Вычертивъ сѣченіе и отложивъ на діаметръ $z = 2,745$, проводимъ перпендикуляръ къ діаметру и опредѣляемъ транспортиромъ уголъ $\varphi_1 = 55^\circ$, затѣмъ:

$$f_2 = f_1 - f_3 = \frac{\pi}{4} (2,92^2 - 1,88^2) - 1,46^2 \cdot 0,07039 = 3,7707 \text{ m}^2 = 37707 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_0 = \frac{G}{f_2} = \frac{14 0000}{37707} = 3,713 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma''' = 2,14 \cdot 3,713 = 7,946 \text{ kg/cm}^2$$

Допуская же растяженія, мы получили бы:

$$f = \pi (1^2,46 - 0^2,86) = 4 \text{ m}^2 = 40000 \text{ cm}^2$$

$$W = \frac{\pi}{4,142} (142^4 - 86^4) = 1886400 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_0 = \frac{140000}{40000} = 3 \text{ kg/cm}^2 ; \sigma = \frac{8013600}{1886400} = 4,248 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma'' = 7,248 \text{ kg/cm}^2 ; \sigma' = - 1,248 \text{ kg/cm}^2 .$$

Оказывается, что $\sigma'' < \sigma'' - \sigma'$, почему проф. Ламъ допускаетъ, въ обыкновенныхъ случаяхъ, замѣну σ''' алгебраическою суммою $\sigma'' - \sigma'$ (въ данномъ случаѣ, 8,496). Допускаемая имъ растяженія опредѣляются формулою:

$$\sigma' = - 1,3 (1 + 0,013 H) .$$

Въ таблицахъ Кека (стр. 36—39) наиболѣе употребительныя цифры окаймлены черными ливіями.

Таблица № 11, андо

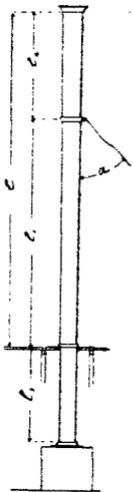
наименован Пичемъ.

a R	$\frac{d}{D} = 0.64$		$\frac{d}{D} = 0.66$		$\frac{d}{D} = 0.68$		$\frac{d}{D} = 0.70$		$\frac{d}{D} = 0.72$		$\frac{d}{D} = 0.74$		$\frac{d}{D} = 0.76$		$\frac{d}{D} = 0.78$		$\frac{d}{D} = 0.80$		$\frac{d}{D} = 0.825$		$\frac{d}{D} = 0.875$		$\frac{d}{D} = 0.90$		$\frac{d}{D} = 1.00$			
	$\frac{z}{R}$	$\frac{\sigma'''}{\sigma}$	$\frac{z}{R}$	$\frac{\sigma'''}{\sigma}$	$\frac{z}{R}$	$\frac{\sigma'''}{\sigma}$	$\frac{z}{R}$	$\frac{\sigma'''}{\sigma}$	$\frac{z}{R}$	$\frac{\sigma'''}{\sigma}$	$\frac{z}{R}$	$\frac{\sigma'''}{\sigma}$																
0.30		1.85		1.85		1.82		1.82		1.79		1.79		1.76		1.76		1.73		1.73		1.70		1.67		1.60		1.60
0.325		1.92		1.92		1.89		1.89		1.85		1.85		1.82		1.82		1.79		1.79		1.73		1.73		1.67		1.67
0.35		1.98		1.98		1.95		1.95		1.92		1.92		1.89		1.85		1.85		1.82		1.79		1.79		1.70		1.70
0.375		2.07		2.04		2.01		2.01		1.98		1.98		1.95		1.95		1.92		1.89		1.85		1.82		1.76		1.76
0.40	1.88	2.14	1.89	2.10	1.91	2.10	1.93	2.07		2.04		2.04		2.01		1.98		1.98		1.95		1.92		1.89		2.79		2.79
0.425	1.81	2.23	1.83	2.20	1.85	2.17	1.87	2.17		2.14		2.10		2.07		2.07		2.04		2.01		1.98		1.95		1.85		1.85
0.45	1.75	2.29	1.77	2.26	1.79	2.26	1.81	2.23	1.83	2.20	1.85	2.17		1.86	2.14	1.88	2.14	1.90	2.10	2.07	2.01	1.98	1.95	1.98	1.92	1.92	1.92	1.92
0.475	1.67	2.39	1.69	2.36	1.71	2.32	1.73	2.29	1.75	2.26	1.78	2.26		1.79	2.23	1.82	2.20	1.84	2.17	2.14	2.07	2.01	1.98	1.95	2.04	1.95	1.95	1.95
0.50	1.60	2.51	1.62	2.45	1.64	2.42	1.66	2.39	1.68	2.36	1.71	2.32		1.73	2.29	1.76	2.26	1.78	2.23	1.81	2.20	1.86	2.13	1.89	2.10	2.00	2.01	2.01
0.51	1.57	2.54	1.59	2.51	1.61	2.45	1.63	2.42	1.65	2.39	1.68	2.36		1.70	2.32	1.73	2.29	1.75	2.26	1.78	2.23	1.83	2.17	1.86	2.14	1.97	2.01	2.01
0.52	1.53	2.61	1.56	2.54	1.58	2.51	1.60	2.48	1.62	2.45	1.65	2.42		1.67	2.36	1.70	2.32	1.72	2.29	1.75	2.26	1.80	2.20	1.83	2.17	1.95	2.04	2.04
0.53	1.50	2.64	1.52	2.61	1.54	2.58	1.56	2.51	1.58	2.48	1.61	2.45		1.63	2.42	1.66	2.39	1.68	2.36	1.71	2.29	1.77	2.23	1.80	2.20	1.92	2.07	2.07
0.54	1.46	2.70	1.49	2.64	1.51	2.61	1.53	2.58	1.55	2.51	1.58	2.48		1.60	2.45	1.63	2.42	1.65	2.39	1.68	2.32	1.74	2.26	1.77	2.23	1.90	2.10	2.10
0.55	1.43	2.76	1.46	2.70	1.48	2.67	1.50	2.61	1.52	2.58	1.55	2.54		1.57	2.48	1.60	2.45	1.62	2.42	1.65	2.36	1.71	2.29	1.74	2.26	1.87	2.10	2.10
0.56	1.39	2.83	1.42	2.76	1.44	2.73	1.46	2.67	1.49	2.64	1.51	2.58		1.54	2.54	1.56	2.48	1.59	2.45	1.62	2.42	1.68	2.32	1.71	2.29	1.84	2.14	2.14
0.57	1.36	2.89	1.39	2.83	1.41	2.80	1.43	2.73	1.45	2.67	1.48	2.64		1.50	2.58	1.53	2.54	1.55	2.51	1.58	2.45	1.65	2.35	1.68	2.32	1.81	2.17	2.17
0.58	1.32	2.95	1.35	2.89	1.37	2.86	1.39	2.80	1.42	2.73	1.44	2.67		1.47	2.64	1.49	2.58	1.52	2.54	1.55	2.48	1.61	2.42	1.64	2.36	1.77	2.20	2.20
0.59	1.29	3.02	1.32	2.95	1.34	2.89	1.36	2.83	1.38	2.80	1.41	2.73		1.43	2.67	1.46	2.64	1.48	2.61	1.51	2.54	1.58	2.45	1.61	2.39	1.74	2.23	2.23
0.60	1.25	3.11	1.28	3.05	1.30	2.95	1.32	2.89	1.35	2.86	1.37	2.80		1.40	2.73	1.42	2.70	1.45	2.64	1.48	2.58	1.55	2.48	1.58	2.42	1.71	2.26	2.26
0.61	1.21	3.17	1.24	3.11	1.26	3.05	1.28	2.98	1.31	2.92	1.33	2.86		1.36	2.80	1.38	2.73	1.41	2.70	1.44	2.61	1.51	2.51	1.54	2.45	1.68	2.29	2.29
0.62	1.17	3.27	1.20	3.20	1.22	3.14	1.24	3.05	1.27	2.98	1.29	2.92		1.32	2.86	1.34	2.83	1.37	2.76	1.40	2.70	1.47	2.58	1.51	2.51	1.64	2.32	2.32
0.63	1.14	3.39	1.17	3.30	1.19	3.24	1.21	3.14	1.23	3.08	1.26	3.02		1.28	2.95	1.31	2.89	1.33	2.85	1.37	2.76	1.44	2.61	1.47	2.54	1.61	2.36	2.36
0.64	1.10	3.49	1.13	3.39	1.15	3.30	1.17	3.24	1.19	3.17	1.22	3.08		1.24	3.02	1.27	2.95	1.29	2.89	1.33	2.80	1.40	2.67	1.44	2.61	1.57	2.39	2.39
0.65	1.06	3.61	1.09	3.52	1.11	3.42	1.13	3.33	1.15	3.24	1.18	3.17		1.21	3.08	1.23	3.02	1.25	2.95	1.29	2.86	1.36	2.73	1.40	2.64	1.54	2.42	2.42
0.66	1.02	3.71	1.05	3.61	1.07	3.52	1.09	3.42	1.11	3.33	1.14	3.24		1.16	3.17	1.19	3.11	1.21	3.02	1.25	2.92	1.32	2.76	1.36	2.70	1.50	2.45	2.45
0.67	0.98	3.86	1.01	3.74	1.03	3.64	1.05	3.55	1.07	3.46	1.10	3.33		1.12	3.24	1.15	3.17	1.17	3.11	1.21	3.02	1.28	2.83	1.32	2.76	1.46	2.51	2.51
0.68	0.94	3.99	0.96	3.86	0.98	3.77	1.00	3.64	1.03	3.55	1.05	3.46		1.08	3.33	1.10	3.27	1.13	3.17	1.17	3.08	1.24	2.89	1.28	2.83	1.43	2.54	2.54
0.69	0.90	4.15	0.92	3.99	0.94	3.90	0.96	3.77	0.99	3.64	1.01	3.55		1.04	3.46	1.06	3.36	1.09	3.24	1.13	3.14	1.20	2.95	1.24	2.86	1.39	2.58	2.58
0.70	0.86	4.34	0.88	4.18	0.90	4.05	0.92	3.90	0.95	3.77	0.97	3.68		1.00	3.55	1.02	3.46	1.05	3.33	1.09	3.24	1.16	3.02	1.20	2.92	1.35	2.64	2.64
0.71	0.82	3.52	0.84	4.37	0.86	4.21	0.88	4.05	0.91	3.93	0.93	3.80		0.96	3.69	0.98	3.55	1.01	3.46	1.05	3.33	1.12	3.08	1.16	2.98	1.31	2.67	2.67
0.72	0.78	4.74	0.80	4.56	0.82	4.40	0.84	4.24	0.87	4.08	0.89	3.93		0.92	3.80	0.94	3.68	0.97	3.55	1.01	3.42	1.08	3.17	1.12	3.08	1.27	2.73	2.73
0.73	0.75	5.00	0.77	4.78	0.78	4.62	0.80	4.43	0.83	4.24	0.85	4.12		0.88	3.96	0.90	3.80	0.93	3.68	0.97	3.55	1.04	3.27	1.07	3.14	1.23	2.80	2.80
0.74	0.71	5.22	0.73	5.03	0.74	4.84	0.76	4.62	0.79	4.43	0.81	4.27		0.84	4.12	0.86	3.93	0.89	3.80	0.93	3.64	1.00	3.36	1.03	3.24	1.19	2.86	2.86
0.75	0.67	5.53	0.69	5.31	0.70	5.09	0.72	4.87	0.75	4.65	0.77	4.46		0.80	4.27	0.82	4.12	0.85	3.96	0.89	3.77	0.96	3.46	0.99	3.33	1.15	2.89	2.89
0.76		5.87		5.65		5.37	0.68	5.15	0.71	4.90	0.73	4.68		0.75	4.46	0.77	4.27	0.80	4.12	0.84	3.93	0.91	3.58	0.95	3.42	1.11	2.95	2.95
0.77		6.31		6.03		6.75	0.64	5.47	0.67	5.18	0.69	4.93		0.71	4.68	0.73	4.49	0.75	4.30	0.79	4.08	0.87	3.71	0.90	3.52	1.07	3.05	3.05
0.78		6.75		6.44		7.13	0.60	5.81	0.62	5.50	0.64	5.22		0.66	4.96	0.68	4.68	0.71	4.46	0.75	4.24	0.82	3.83	0.86	3.64	1.02	3.11	3.11
0.79		7.26		6.88		7.53	0.56	6.22	0.58	5.87	0.60	5.56		0.62	5.22	0.64	4.96	0.66	4.68	0.70	4.46	0.78	3.96	0.81	3.77	0.98	3.17	3.17
0.80		7.76		7.38		7.91	0.52	6.66	0.54	6.28	0.56	5.91		0.57	5.56	0.59	5.25	0.61	4.96	0.65	4.65	0.73	4.12	0.77	4.02	0.94	3.27	3.27

Въ дальнѣйшемъ ярведемъ примѣры расчета желѣзныхъ и кирпичныхъ трубъ.

Расчетъ желѣзной трубы.

Для общности рассмотримъ расчетъ трубы, часть которой защищена отъ дѣйствія вѣтра зданіемъ, въ которомъ она находится. Труба внизу опирается на кладку цоколя; наверху, близъ устья, къ ней прикрѣплены желѣзныя тяги подь угломъ $\alpha = 45^\circ$ къ вертикали. Примемъ слѣдующія обозначенія (черт. 987):



- l_1 = высота трубы отъ крыши зданія до мѣста прикрѣпленія тягъ = 24 m
 l_2 = " " отъ того же мѣста до верха = 11 m
 l_3 = " " отъ мѣста установки на цоколѣ до крыши = 10 m
 l = $l_1 + l_2$ = высота трубы надъ крышей = 35 m
 D = внѣшній діаметръ трубы = 1,20 m
 D_1 = внутренній " " = 1,176 m
 δ = толщина стѣнки = 12 mm
 ω = давленіе вѣтра на 1 m² = 150 kg
 P = давленіе вѣтра на часть трубы высотой l
 P_1 = " " " " " " " " l_1
 P_2 = " " " " " " " " l_2
 R = горизонтальная составляющая реакціи тягъ въ kg
 Z = натяженіе тяги въ kg = $\frac{R}{\sin \alpha}$

Черт. 987.

$$f = \text{сѣченіе тяги} = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ гдѣ } d = \text{діаметръ тяги}$$

$$\sigma_z = \text{допускаемое напряженіе отъ изгиба въ } kg/cm^2$$

$$\sigma = \text{на сжатіе}$$

$$P_1 = \omega \cdot \frac{1}{4} D l_1 = 150 \cdot 0,67 \cdot 1,2 \cdot 24 = \approx 3000 \text{ kg}$$

$$P_2 = \omega \cdot \frac{1}{4} D l_2 = 150 \cdot 0,67 \cdot 1,2 \cdot 11 = \approx 1400 \text{ "}$$

$$P = P_1 + P_2 = 4400 \text{ kg}$$

$$Z = \frac{2}{3} \omega D \frac{l(l_2 + \frac{1}{2} l)}{\sin \alpha (l_2 + l)} = \frac{2 \cdot 150 \cdot 1,2}{3} \cdot \frac{35(10 + 17,5)}{0,707(10 + 24)} = 4800 \text{ kg}$$

$$f = \frac{Z}{\sigma_z} = \frac{4800}{600} = \approx 8 \text{ cm}^2$$

откуда $d = 31,9 \text{ mm}$.

Примемъ внутренній діаметръ въ мѣстахъ, гдѣ нарѣзка, $d_1 = 32,68 \text{ mm}$; внѣшній діаметръ будетъ $d = 38,1 \text{ mm} = 1\frac{1}{2} \delta$.

Наибольшій изгибающій моментъ давленія вѣтра

$$M = \frac{P_1 l_1}{8} = W \cdot \sigma_z, \text{ гдѣ } W = \text{мом. сопротивленія}$$

$$W = \frac{P_1 l_1}{8 \sigma_z} = \frac{3000 \cdot 2400}{8 \cdot 600} = 1500 \text{ cm}^3 = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - D_1^4}{D},$$

чему удовлетворяетъ $D_1 = 118 \text{ cm}$, а потому $2\delta = 20 \text{ mm}$. Принявъ же, по практическимъ соображеніямъ (см. стр. 406), $\delta = 12 \text{ mm}$, опредѣлимъ появляющееся напряженіе по формулѣ

$$\sigma_z = 9,16 \frac{D}{D^4 - D_1^4} = \frac{9,16 \cdot 1,2}{1,2^4 - 1,176^4} = \approx 68 \text{ kg/cm}^2.$$

Сжатие же σ будетъ, если G — вѣсъ трубы, а 7800 kg — вѣсъ 1 m^3 желѣза:

$$\sigma = \frac{G}{f} = \frac{7800\pi(D^2 - D_1^2)(l + l_3)}{4 \cdot \frac{\pi}{4}(D^2 - D_1^2) \cdot 100^2} = \frac{7800 \cdot 45}{100^2} = 35,1 \text{ kg/cm}^2,$$

а потому $\sigma_2 + \sigma = 103,1 \text{ kg/cm}^2$, что значительно меньше допускаемой величины.

Примѣръ разчета устойчивости круглой кирпичной трубы.

Для примѣра, проведемъ разчетъ кирпичной трубы, представленной на черт. 984.

Сѣченіе трубы — кольцевое

Сѣченіе цоколя — кругъ въ восьмиугольникѣ.

Матеріаль — кирпичъ ($\Delta_s = 2000$) Матеріаль — кирпичъ ($\Delta_z = 1700$)
(клинкеръ) (клинкеръ)

Въ послѣдующемъ представленъ не ходъ разчета, ясный изъ предыдущаго, но сопоставлены окончательно результаты.

Размѣры въ м:

Высота трубы надъ цоколемъ H_s	= 65,5	Высота цоколя H_z	= 6,5
Верхній внутр. діаметръ d_0	= 1,96	Внѣш. діам. его D_z	= 5,58
„ наружн. „ D_0	= 2,40 ¹⁾	Внутр. „ „ d_z	= 3,26
Нижній внутр. „ d_1	= 3,56	Внѣшній уклонъ k	= 0,02
„ наружн. „ D_1	= 5,02	Внутр. уклонъ k_1	= 0,012

Объемъ и вѣсъ трубы.

№ пояса.	Z_n Высота.	R_{n-1} Верхній нар. р.	r_n Нижній внутр. р.	$R_{n-1} + r_n$	l_n Толщина стѣны.	$M_n = \pi Z_n l_n$ Объемъ пояса.	$G_n = \Delta \cdot M_n$ Вѣсъ пояса.	Сумма вѣсовъ.
	m	m	m	m	m	m^3	kg	kg
1	6	1,20	1,10	2,30	0,22	9,54	19080	19080
2	6	1,32	1,16	2,48	0,28	13,09	26180	45260
3	6	1,44	1,24	2,68	0,32	16,17	32340	77600
4	6	1,56	1,32	2,88	0,36	19,55	39100	116700
5	6	1,68	1,39	3,07	0,41	23,73	47460	164160
6	12	1,80	1,57	3,37	0,47	59,71	119400	283560
7	12	2,04	1,76	3,80	0,52	74,50	149000	432560
8	3	2,28	1,77	4,05	0,57	21,75	43500	476060
9	3	2,34	1,78	4,12	0,62	24,07	48140	524200
10	3	2,40	1,79	4,19	0,67	26,46	52920	577120
11	2,5	2,46	1,78	4,24	0,73	24,31	48620	625740

Вѣсъ трубы безъ цоколя G_s = 625 740

Вѣсъ цоколя G_z = 192 790

Вѣсъ фундамента G_f = 461 210

Вѣсъ бетонной постели . G_b = 127 500

Полный вѣсъ сооруженія G_n = 1 407 240 kg

Для вычерчиванія діаграммы Пича принято:

$$\Delta = 2000 \text{ kg/m}^3; \psi = \frac{2}{3}; \varepsilon = 2,4; \omega = 300 \text{ kg/m}^2;$$

¹⁾ На черт. 984 ошибочно поставленъ размѣръ 2,30.

Высоты поясовъ и толщины стѣнокъ выбраны съ большимъ запасомъ для избѣжанія появленія растяженій.

Кривая деформаций f .

H въ m	$f = \frac{P_1 - kG}{\Delta R}$ въ m	Отложено: mm	H въ m	$f = \frac{P_1 - kG}{\Delta R}$ въ m	Отложено: mm
6	1,0942	8,9	42	5,4159	44,2
12	2,0222	16,5	48	5,9654	48,6
18	2,8331	23,1	54	6,4920	52,9
24	3,5592	29,0	60	7,0000	57,1
30	4,2222	34,4	65,5	7,4561	60,8
36	4,8375	39,5			

Прямая деформаций f .

Верхнее сѣченіе. $H = 0 \quad D_0 = 2,4 \text{ м}$				Нижнее сѣченіе. $H = 65,5 \text{ м} \quad D_1 = 5,02 \text{ м}$		
l въ m	d_0 въ m	f_0 въ m^2	Отложено: mm	d_1 въ m	f_1 въ m^2	Отложено: mm
0,22	1,96	1,5067	12,3	4,58	3,3175	27,0
0,28	1,84	1,8649	15,2	4,46	4,1695	34,0
0,32	1,76	2,0910	17,1	4,38	4,7249	38,5
0,36	1,68	2,3072	18,8	4,30	5,2703	43,0
0,41	1,58	2,5632	20,9	4,20	5,9779	48,7
0,47	1,46	2,8497	23,2	4,08	6,7182	54,8
0,52	1,36	3,0712	25,0	3,98	7,3513	59,9
0,57	1,26	3,2770	26,7	3,89	7,8686	64,2
0,62	1,16	3,4671	28,3	3,78	8,5702	69,9
0,67	1,06	3,6414	29,7	3,68	9,1561	74,7
0,73	0,94	3,8299	31,2	3,56	9,8385	80,2

Постоянныя, входящія въ формулы на стр. 43, указаны въ ниже-слѣдующей таблицѣ:

Постоянныя.

	Кольцевое сѣченіе.		Восьмиугольное сѣченіе.		Квадратное сѣченіе.	
	α	β	α	β	α	β
125 въ kg/m^2	83	28	89	30	125	42
150 "	100	33,3	107	35,5	150	50
250 "	134	44,7	142	47,3	250	66,7
115 + 0,6 H	77 + 0,4 H	25 + 0,13 H	82 + 0,42 H	27,2 + 0,14 H	115 + 0,6 H	38,3 + 0,2 H

Примера въ различныхъ сѣченихъ.

Высота, считая сверху.	$H = 65,5$	$H = 54$	$H = 42$	$H = 30$	$H = 18$	$H = 6$
R_0 въ m Верхній наружный радиусъ.	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
R въ m Нижній наружный радиусъ.	2,51	2,28	2,04	1,80	1,56	1,32
r въ m Нижвий внутрений радиусъ.	1,78	1,76	1,57	1,39	1,24	1,10
$P = \alpha (R + R_0) H$ въ kg . Давленіе вѣтра.	20169	15597	11295	7470	4123	1255
$M = \beta (R + 2R_0) H^2$ въ $kg\ m$ Моментъ давленія вѣтра.	539824	382113	219300	80640	35925	3750
G въ kg Вѣсъ разм. частя трубы.	625740	432560	283560	164130	77600	19080
$a = \frac{M}{G}$ въ m Разст. точки прил. равнод. силъ P и G отъ центра сѣченія трубы.	0,943	0,883	0,773	0,491	0,463	0,196
$\rho = \frac{1}{4} R \left(1 + \frac{r^2}{R^2}\right)$ въ m Рад. ядра разм. сѣченія.	0,943	0,900	0,812	0,719	0,636	0,559
$f = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$ въ m^2 Площ. разм. попер. сѣч.	9,8385	6,5999	5,3304	4,1089	2,8151	1,6636
$\sigma_0 = \frac{G}{f \cdot 10^4}$ въ kg/cm^2 Напряженіе отъ собств. вѣса.	6,36	6,55	5,33	3,99	2,76	1,15
$\sigma = \frac{M}{f \cdot \rho \cdot 10^4}$ въ kg/cm^2 Напряженіе отъ изгиба.	6,36	6,37	5,07	2,73	2,01	0,40
Сумма напряженій $\sigma' = \sigma + \sigma_0$ (съ подв. ст.).	+ 12,72	+ 12,92	+ 10,40	+ 6,72	+ 4,77	+ 1,55
$\sigma'' = \sigma - \sigma_0$ (съ нвж. ст.).	0	+ 0,18	+ 0,26	+ 1,26	+ 0,75	+ 0,75

Цоколь.

Фундаментъ.

Размѣры и вѣсъ.		Размѣры и вѣсъ.	
Внѣшній діаметръ . D_z въ m	5,58	Четыре квадратныхъ призмы	b_1 6,62 m
Внутр. діаметръ . . . d_z »	3,26		b_2 7,40 m
Высота H_z »	6,5		b_3 8,18 m
			b_4 8,96 m
Объемъ J_z въ m^3	113,406	высотой по h_f	0,75 m
Вѣсъ 1 m^3 кладки Δ въ kg . .	1700	$J =$ объему канала для газовъ п части борова въ фундаментѣ.	
Вѣсъ G_z въ m^3	192790	$J = (1,8^2 \cdot 2,6 + 3,25 \cdot 5,6 +$ $+ 1,8 \cdot 1,5 \cdot 6,78 \dots \dots \dots$	28,73 m^3
		$J_f = (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 +$ $+ b_4^2)h_f - J \dots \dots \dots$	155,6 m^3
		$J_t =$ объемъ земли на фунд. .	115,7 m^3
		$J_b =$ объемъ бетонной постели.	75,0 m^3
		Полный объемъ	
		$J_f = J_f + J_t + J_b \dots \dots$	346,3 m^3
		Вѣсъ $G_f + G_b \dots \dots$	588710 kg
		Вѣсъ 1 m^3 кладки	1700 kg

И н а р я ж е н і я .

Въ нижнемъ сѣчені цоколя.	Въ плоск. соприкосн. съ грунтомъ.
$M_z = \omega \left[(R + R_0) H_s (h + H_z) + D_z H_z \frac{H_z}{2} \right]$ въ $kg \cdot m$	$M_f = \omega \left[(R + R_0) H_s (h + H_z + H_f) + D_z H_s \left(\frac{H_z}{2} + H_f \right) \right]$ въ $kg \cdot m$
$G_s + G_z \dots \dots \dots$ въ kg	$G_0 = G_s + G_z + G_f + G_b$ въ kg
$\alpha_z = \frac{M_z}{G_s + G_z} \dots \dots$ въ m	$\alpha_f = \frac{M_f}{G_0} \dots \dots \dots$ къ m
$\rho_z = \frac{1}{R_s} \frac{0,547 D_z^4 - 0,0491 d_z^4}{0,8284 l_s^2} - \frac{0,7854 d_z^2}{\dots}$ въ m	$\rho_f = 0,118 \text{ bb} \dots \dots \dots$ "
$f_z = 0,928 D_z^2 - \frac{\pi d_z^2}{4} \dots \dots$ въ m^2	$f_f = b^2 b \dots \dots \dots$ въ cm^2
$\sigma_0 = \frac{G_s + G_z}{f_z \cdot 10^4} \dots \dots$ въ kg/cm^2	$\sigma_0 = \frac{G_0}{f_f} \dots \dots \dots$ въ kg/cm^2
$\sigma = \frac{M_z}{f_z \cdot \rho_z \cdot 10^4} \dots \dots$ "	$\sigma = \frac{M_f}{f_f \cdot \rho_f} \dots \dots \dots$ "
$\sigma'' = \sigma_0 + \sigma \dots \dots$ "	$\sigma'' = \sigma_0 + \sigma \dots \dots$ "
$\sigma' = \sigma_0 - \sigma \dots \dots$ "	$\sigma' = \sigma_0 - \sigma \dots \dots$ "

Примѣръ полного расчета дымовой трубы.

Опредѣлимъ сопротивленія теченію газовъ у котла съ 54 дымогарными трубками и съ поверхностью нагрѣва въ $49,9 \text{ м}^2$ (Т. XIV и черт. 14 въ 4 текстѣ).

Для этого надо знать T_0 = температуру горѣнія и T_m = среднюю температуру въ каждомъ дымоходѣ, а также скорость теченія въ немъ газовъ.

Положимъ, что котель отапливается бурымъ углемъ (примѣръ на стр. 191); $K = 5280 \text{ ед. м.}$

Температура горѣнія T_0 опредѣляется по формулѣ:

$$T_0 = \frac{K - sK - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) + (cL + c')t}{\sum mc}$$

Члены, входящіе въ это выраженіе, обозначаютъ:

K — теплотворную способность топлива, за вычетомъ теплоты, теряющейся въ парахъ m_2 . Если $m_2 = 0,541$, то $K' = 5280 - 600 m_2 = 4956 \text{ ед. м.}$

$s = 0,19$ — коэффициентъ лучеиспусканія; $sK = \approx 991 \text{ ед. м.}$

Допустимъ слѣдующія потери: $Q_1 + Q_2 = 3,0\%$ (въ остаткахъ), $Q_3 + Q_4 = 0,9$ (вслѣдствіе неполноты горѣнія), $Q_5 = 2,20\%$ (вслѣдствіе лучеиспусканія въ топкѣ); всего $\sum_1^5 Q = 6,1\%$ отъ K , т. е. $\frac{6,1 \cdot 5280}{100} = 320 \text{ ед. м.}$

$L = 12,19 \text{ кг}$ — количество воздуха, которое подводится къ одному кг топлива; $C = 0,24$ — теплоемкость воздуха, а $c' = 0,2$ — теплоемкость топлива; $t = 15^\circ$ — температура притекающаго воздуха; $(cL + c')t = 47 \text{ ед. м.}$

$\sum mc$ обозначаетъ сумму произведеній количествъ газовъ, входящихъ въ составъ продуктовъ горѣнія и ихъ теплоемкостей (см. стр. 141), а именно:

$$\begin{aligned} m_1 &= 2,083 \text{ кг } CO_2 & c_1 &= 0,189 + 0,000095 T_0 \\ m_2 &= 0,541 \text{ кг } H_2O & c_2 &= 0,410 + 0,000206 T_0 \\ m_3 &= 9,315 \text{ кг } N & c_3 &= 0,239 + 0,000050 T_0 \\ m_4 &= 1,171 \text{ кг } O & c_4 &= \frac{7}{8} c_3 = 0,209 + 0,000044 T_0 \\ m_5 &= 0,08 \text{ кг } \text{зола} & c_5 &= 0,2 \end{aligned}$$

На основаніи этого имѣемъ

$$\sum mc = 3,103 + 0,000826 \cdot T_0.$$

Тогда

$$T_0 = \frac{3645 + 47}{3,103 + 0,000826 \cdot T_0};$$

откуда

$$T_0 = \frac{-3,103 + \sqrt{9,6286 + 4 \cdot 3692 \cdot 0,000826}}{0,001652} = 950^\circ \text{ C.}$$

Температуры въ дымоходахъ расчитаемъ, принявъ по *Редтенбахеру*:

$$T_1 = t + (T_0 - t) e^{-\frac{\psi}{\rho}}; \quad \psi = \frac{k F}{P \cdot c},$$

гдѣ T_1 — температуръ въ концѣ дымохода, T_0 — въ началѣ его, t — температура кипѣнія воды при данномъ давленіи, e — основаніе не-

неровыхъ логариемовъ, k = коэффициентъ теплопередачи, который въ данномъ случаѣ примемъ = 17, $P = (L + 1) B = 115 \cdot 13,19 = 1516,85 \text{ kg}$ — вѣсъ продуктовъ горѣнія, и c = теплоемкость послѣднихъ = $\frac{\Sigma mc}{L + 1}$; F = поверхность нагрѣва.

Въ топкѣ

$$c_0 = \frac{3,103 + 0,000826 \cdot 950}{13,19} = 0,295.$$

Въ боровѣ, принимая $T_3 = 200$

$$c' = \frac{3,103 + 0,000826 \cdot 200}{13,19} = 0,247.$$

Принимаемъ среднюю $e = \frac{0,295 + 0,247}{2} = 0,271.$

Вычленимъ постоянную:

$$M = \frac{k}{P \cdot e} = \frac{17}{115 \cdot 13,19 \cdot 0,271} = 0,041$$

Затѣмъ имѣемъ для каждаго дымохода:

дымоходъ	I	II	III
F	= 4,64	39,42	5,84
MF	= 1,919	1,6302	0,2415
$x = e^{-MF}$	= 0,825	0,196	0,786

Температуры въ концахъ дымоходовъ, если $t = 174,4^\circ \text{C}$ для давленія пара въ 8 kg/cm^2 :

$$T_1 = t + (T_0 - t) \cdot e^{-MF_1} = 174,4 + 775,6 \cdot 0,825 = 815''$$

$$T_2 = t + (T_1 - t) \cdot e^{-MF_2} = 174,4 + 640,6 \cdot 0,196 = 300''$$

$$T_3 = t + (T_2 - t) \cdot e^{-MF_3} = 174,4 + 125,6 \cdot 0,786 = 273''.$$

Среднія температуры:

$$\text{въ I дымоходѣ } T'_m = 883'',$$

$$\text{во II } \quad \quad \quad T''_m = 558'',$$

$$\text{въ III } \quad \quad \quad T'''_m = 287''.$$

Теперь можно вычислить точнѣ среднія теплоемкости газовъ и вторично разсчитать температуры. Имѣемъ:

$$c_1 = \frac{3,103 + 0,000826 \cdot 883}{13,19} = 0,29$$

$$c_{II} = \frac{3,103 + 0,000826 \cdot 558}{13,19} = 0,27$$

$$c_{III} = \frac{3,103 + 0,000826 \cdot 287}{13,19} = 0,26.$$

Обозначая черезъ M' величину $\frac{17}{115 \cdot 13,19} = 0,0112$, получимъ:

$$x'_1 = e^{\frac{M' F_1}{c_1}} = e^{-0,0112 \frac{4,64}{0,29}} = e^{-0,1792} = 0,836$$

$$x'_2 = e^{\frac{M' F_2}{c_{II}}} = e^{-0,0112 \frac{39,42}{0,27}} = e^{-1,6352} = 0,195$$

$$x'_3 = e^{\frac{M' F_3}{c_{III}}} = e^{-0,0112 \frac{5,84}{0,26}} = e^{-0,2361} = 0,790.$$

Отсюда получаемъ окончательно:

$$T_1 = 174,4 + (950 - 174,4) 0,836 = 823^{\circ}$$

$$T_2 = 174,4 + (823 - 174,4) 0,195 = 301^{\circ}$$

$$T_3 = 174,4 + (301 - 174,4) 0,790 = 274^{\circ}$$

и среднія температуры будутъ 886,5; 562 и 287,5° C.

Въ виду незначительности разницы между этими и равѣ вычисленными величинами, можно остановиться на этихъ цифрахъ.

Теперь по чертежу определяемъ поперечное сѣченіе дымоходовъ въ разныхъ мѣстахъ, а также длину и периметръ дымоходовъ и скорость теченія газовъ. Мы имѣемъ:

a) надъ порогомъ

$$f_0 = 0,454 \text{ m}^2; T_0 = 950^{\circ} \text{ C}; T_0 + 273 = 1223$$

$$u_0 = \frac{B(L+1)(1+\alpha T_0)}{3600 \cdot \Delta \cdot f_0} = \frac{115 \cdot 13,19}{3600 \cdot 1,3 \cdot 273} \cdot \frac{273 + T_0}{f_0} = \\ = 0,001187 \cdot \frac{1223}{0,454} = 3,20 \text{ m}$$

b) за порогомъ (I дымоходъ)

$$f_1 = 0,718 \text{ m}^2; a_1 = 3,95 \text{ m}; l_1 = 3,3 \text{ m}; T_m = 886,5^{\circ} \text{ C}; T_m + 273 = \\ = 1159,5^{\circ} \text{ C}$$

$$u_1 = 0,001187 \cdot \frac{1159,5}{0,718} = 1,92 \text{ m}$$

c) передъ трубками (поворотъ)

$$f_1' = 0,785 \text{ m}^2; T_1 = 823^{\circ} \text{ C}; T_1 + 273 = 1096^{\circ} \text{ C}$$

$$u_1' = 0,001187 \cdot \frac{1096}{0,785} = 1,66 \text{ m}$$

d) въ трубкахъ (II дымоходъ, діаметръ ихъ 75 mm)

$$f_2 = 54 \cdot 0,004418 = 0,2386 \text{ m}^2; T_m' = 562^{\circ} \text{ C}; T_m' + 273 = 835^{\circ} \text{ C};$$

для одной трубки $a_3 = 0,2356 \text{ m}; f_2 = 0,004418 \text{ m}^2; l_2 = 3,1 \text{ m};$

$$u_2 = 0,001187 \cdot \frac{835}{0,2386} = 4,15 \text{ m}$$

e) за трубками (поворотъ)

$$f_2' = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ m}^2; T_2 = 301^{\circ} \text{ C}; T_2 + 273 = 574^{\circ} \text{ C}$$

$$u_2' = 0,001187 \cdot \frac{574}{0,4} = 1,70 \text{ m}$$

f) III дымоходъ

$$f_3 = 0,195 \cdot 2 = 0,39 \text{ m}^2; T_m'' = 287,5^{\circ} \text{ C}; T_m'' + 273 = 560,5^{\circ} \text{ C};$$

$0,5 f_3 = 0,195 \text{ m}^2; 0,5 a_3 = 2,55 \text{ m};$ съ одной стороны котла;

$$l_3 = \approx 5,5 \text{ m}$$

$$u_3 = 0,001187 \cdot \frac{560,5}{0,39} = 1,71$$

g) Воровъ

$$f_4 = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ m}^2; a_4 = 2,6 \text{ m}; l_4 = 40 \text{ m}; T_3 = 274^{\circ} \text{ C}; T_3 + \\ 273 = 547^{\circ} \text{ C};$$

$$u_3' = 0,001187 \cdot \frac{545}{0,4} = 1,62$$

если принять температуру на концѣ борова въ 261°, то $T_m''' = 267,5^{\circ}$ и средняя скорость газовъ въ борова $u_4 = 1,61 \text{ m}$.

Сопротивленія.

I. Протекающіе черезъ слой угля (принято $\alpha = 0,18$).

$$N_1 = 25 (L+1) \cdot \alpha^2 = 25 \cdot 13,19 \cdot 0,0324 = 10,684 \text{ m}$$

II. Трение о етѣнки дымоходовъ и борова

$$N_2 = \frac{\lambda}{2g} \sum \frac{u^2}{1 + \alpha T_m} \cdot \frac{la}{f} = \frac{\lambda}{2g} \sum n_i.$$

Подставляя приведенныя выше числа, получаемъ

$$n_1 = \frac{3,69 \cdot 33 \cdot 3,95 \cdot 273}{1159,5 \cdot 0,718} = 15,704$$

$$n_2 = \frac{17,25 \cdot 3,1 \cdot 0,2356 \cdot 273}{835 \cdot 0,004418} = 932,653$$

$$n_3 = \frac{2,924 \cdot 5,5 \cdot 2,55 \cdot 273}{563 \cdot 0,195} = 101,984$$

$$n_4 = \frac{2,591 \cdot 40 \cdot 2,6 \cdot 273}{540,5 \cdot 0,4} = 340,233$$

$$\sum n_i = 1390,574$$

$$N_2 = \frac{1390,574 \cdot 0,01}{19,62} = 0,709 \text{ м.}$$

III. Внезапныя измѣненія сѣченія дымоходовъ

$$N_3 = \frac{1}{2g} \sum \frac{\xi u^2}{1 + \alpha T_m}$$

a) Суженіе надъ порогомъ; примемъ по *Вейсбаху* ¹⁾ $\xi = 0,505$.

Скорость уже вычислена = 3,2 м; $T_0 = 950^\circ \text{ C.}$ и т. д.

$$n_1 = \frac{0,506 \cdot 10,24 \cdot 273}{1223} = 1,154.$$

b) Расширеніе за порогомъ

$$\begin{aligned} f_0 &= 0,454 \text{ м}^2 & \xi &= \left(\frac{f_1}{f_0} - 1 \right)^2 = \left(\frac{0,718}{0,454} - 1 \right)^2 = 0,336 \\ f_1 &= 0,718 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

$$n_2 = \frac{0,336 \cdot 3,69 \cdot 273}{1159,5} = 0,292.$$

c) Расширеніе на поворотѣ

$$\begin{aligned} f_1 &= 0,718 \text{ м}^2 & \xi &= \left(\frac{0,785}{0,718} - 1 \right)^2 = 0,0086 \\ f_1' &= 0,785 \text{ м}^2 \end{aligned}$$

$$n_3 = \frac{0,0086 \cdot 2,76 \cdot 273}{1096} = 0,006.$$

d) Суженіе при входѣ въ трубки при скорости входа

$$0,001187 \frac{1095}{0,2386} = 5,46$$

принимая опять $\xi = 0,505$:

$$n_4 = \frac{0,505 \cdot 29,81 \cdot 273}{1096} = 3,750.$$

e) Расширеніе при выходѣ изъ трубокъ

$$f_2 = 0,2386 \text{ м}^2; f_2' = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ м}^2; \xi = \left(\frac{0,4}{0,2386} - 1 \right)^2 = 0,68^2 = 0,46$$

$$n_5 = \frac{0,46 \cdot 2,89 \cdot 273}{574} = 0,632.$$

$$\sum n_i = 1,154 + 0,292 + 0,003 + 3,750 + 0,632 = 5,834$$

$$N_3 = \frac{1}{2g} \sum n_i = \frac{5,834}{19,62} = 0,297 \text{ м.}$$

¹⁾ Weisbach. Ingenieurmechanik 1875. Band I. S. 1034.

4) Повороты:

а) изъ I дымохода въ II:

$$u_1' = 1,66 \text{ м}; T_1 + 273 = 1096^{\circ} \text{ C}; \xi = 2$$

$$n_1 = \frac{\xi u'^2}{1 + \alpha T_1} = \frac{2 \cdot 2,76 \cdot 273}{1096} = 1,375.$$

б) изъ II дымохода въ III:

$$u_2' = 1,7 \text{ м}; T_2 + 273 = 574; \xi = 2$$

$$n_2 = \frac{2 \cdot 2,89 \cdot 273}{574} = 2,759.$$

в) изъ III дымохода въ боровъ (два поворота):

$$u_3' = 1,62 \text{ м}; T_3 + 273 = 547^{\circ} \text{ C}; \xi = 2$$

$$n_3 = \frac{2 \cdot 2,624 \cdot 273}{547} = 2,622.$$

г) изъ борова въ дымовую трубу:

$$u_4 = 0,001187 \cdot \frac{534}{0,4} = 1,58 \text{ м}; T_4 + 273 = 534^{\circ} \text{ C}; \xi = 1,5$$

$$n_4 = \frac{1,5 \cdot 2,5 \cdot 273}{534} = 1,915$$

$$\sum n = 1,375 + 2,759 + 2,622 + 1,915 = 8,671$$

$$N_4 = \frac{1}{2g} \sum u = \frac{8,671}{19,62} = 0,442$$

Сумма всѣхъ сопротивлений

$$N = \sum N_i = 10,684 + 0,709 + 0,297 + 0,442 = 12,132$$

Очевидно, рѣшающее значеніе имѣетъ сопротивленіе слоя топлива, высота котораго нарочно принята значительною для обезпеченія хорошей тяги.

Опредѣленіе H и d₀.

Пусть имѣется 8 такихъ котловъ, тогда:

$$B = 115 \cdot 8 = 920 \text{ кг/ч}; P = 920 \cdot 13,19 = 12135 \text{ кг/ч}.$$

Примемъ, что температура газовъ при выходѣ изъ трубы $T = 0,98 T_s = 256$, гдѣ T_s = температуръ въ боровѣ = 261.

Вычисления ведемъ въ указанномъ ранѣе порядкѣ; имѣемъ; принимая $u' = 3,9$:

$$T' = \frac{T + T_s}{2} = \frac{256 + 261}{2} = \approx 258,5; T' + 273 = 531,5^{\circ} \text{ C}.$$

$$f_d = \frac{P(1 + \alpha T')}{3600 \cdot \Delta \cdot u'} = \frac{12135 \cdot 529,5}{3600 \cdot 1,3 \cdot 3,9 \cdot 273} = 1,2868.$$

$$\text{Отсюда } d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} f_d} = 1,28;$$

$$H = \left[20 d_0 + 5 + 0,05 (l - 20) \right] \frac{700 - T'}{200 + T'} = \frac{31,7 \cdot 441,5}{458,5} = \approx 30 \text{ м}$$

если принять:

$$l = 3,3 + 3,1 + 5,5 + 40 = \approx 52 \text{ м}; k_1 = 0,01.$$

$$d_1 = d_0 + 2k_1 H = 1,28 + 0,02 \cdot 30 = 1,88 \text{ м}$$

Средніе діаметръ и сѣченіе

$$d = \frac{d_0 + d_1}{2} = \frac{1,28 + 1,88}{2} = 1,58; f = 1,9607; a = 4,964 \text{ м}$$

Для провѣрки температуры T пользуемся формулою Грасгофа:

$$T = t + (T_s - t) e^{-\psi}$$

въ которой $\psi = \frac{k\alpha H}{Pc}$, причѣмъ $k = 1,2$ = коэффициенту передачи тепла стѣнке домової трубы, а a = периметру 4,964 м среднего сѣченія.

Имѣемъ:

$$c = \frac{3,103 + 0,000826 \cdot 258,5}{13,19} = 0,25$$

$$\psi = \frac{k\alpha H}{Pc} = \frac{1,2 \cdot 4,964 \cdot 30}{12135 \cdot 0,25} = 0,059$$

$$x = e^{-\psi} = e^{-0,059} = 0,9428$$

Температуру t воздуха примемъ = 27, такъ какъ высокая температура атмосферы влѣяетъ въ сторону увеличенія H . Получаемъ:

$$T = 27 + 234 \cdot 0,9428 = 248.$$

Въ виду недостаточнаго совпаденія найденнаго T съ принятымъ въ началѣ, поправимъ T' и u' . Получимъ:

$$T' = \frac{248 + 261}{2} = 254,5; \quad T' + 273 = 527,5$$

$$u' = \frac{12135 \cdot 527,5}{3600 \cdot 1,3 \cdot 1,287 \cdot 273} = 3,89 \text{ m/s.}$$

Теперь можно вычислить H по формулѣ

$$H = \frac{2gN(1 + \alpha T') + u'^2}{2g\alpha \frac{T' - t}{1 + \alpha t} - \lambda \frac{\alpha}{f} u'^2},$$

гдѣ $2g = 19,62$; $N = 12,13$; $1 + \alpha T' = 1 + \frac{54,5}{273} = 1,9322$; $1 + \alpha T = 1 + \frac{248}{273} = 1,908$; $1 + \alpha t = 1 + \frac{27}{273} = 1,095$; средняя скорость u'' газовъ въ трубѣ опредѣляется изъ уравненія

$$u'' = u' \frac{1 + \alpha T'}{1 + \alpha T} \cdot \frac{f_a}{f} = \frac{3,89 \cdot 1,9322 \cdot 1,2868}{1,908 \cdot 1,9607} = 2,585$$

$$H = \frac{19,62 \cdot 12,13 \cdot 1,9322 + 6,6822}{\frac{19,62 \cdot 227,5}{1,095 \cdot 273} - 0,01 \frac{4,964}{1,9607} \cdot 6,6822} = \frac{466,903}{14,932} = 31,23 \text{ m.}$$

Принимая во вниманіе, что труба должна быть выше сосѣднихъ зданій, высота которыхъ пусть будетъ 35 m , будемъ считать высоту трубы до земли: $H_1 = 37 \text{ m}$.

Высота цоколя пусть будетъ $\frac{H_1}{5} = \approx 7 \text{ m}$

Раздѣлимъ кладку трубы на 5 поясовъ по 6 m каждый, толщину стѣнокъ выберемъ такую, чтобы послѣднія могли быть сложены изъ лекальнаго кирпича, длина котораго (по радіальному направленію) можетъ быть

100, 140, 180, 220 и 270 mm .

Толщину стѣнокъ вверху выберемъ = 0,22 m , внизу 0,54 m (сообразно съ имѣющимся лекальнымъ кирпичомъ) и сначала опредѣлимъ напряженія въ нижнемъ сѣченіи конической части трубы (черт. 988).

Верхній нар. радіусъ $R_0 = 0,86$, нижній нар. — $R_1 = 1,48$

„ внутр. „ „ $r_0 = 0,64$, „ внут. — $r_1 = 0,94$

Площадь сѣченія кладки внизу $\pi(R_1^2 - r_1^2) = 4,1154 \text{ m}^2$.

Вѣсъ трубы (отъ верхушки до цоколя):

$$G = \frac{\pi \cdot 2000 \cdot 30}{3} \left[1,48^2 + 0,86^2 + 1,48 \cdot 0,86 - (0,94^2 + 0,64^2 + 0,94 \cdot 0,64) \right]$$

$$G = \approx 144940 \text{ kg.}$$

Изгибающій моментъ вѣтра:

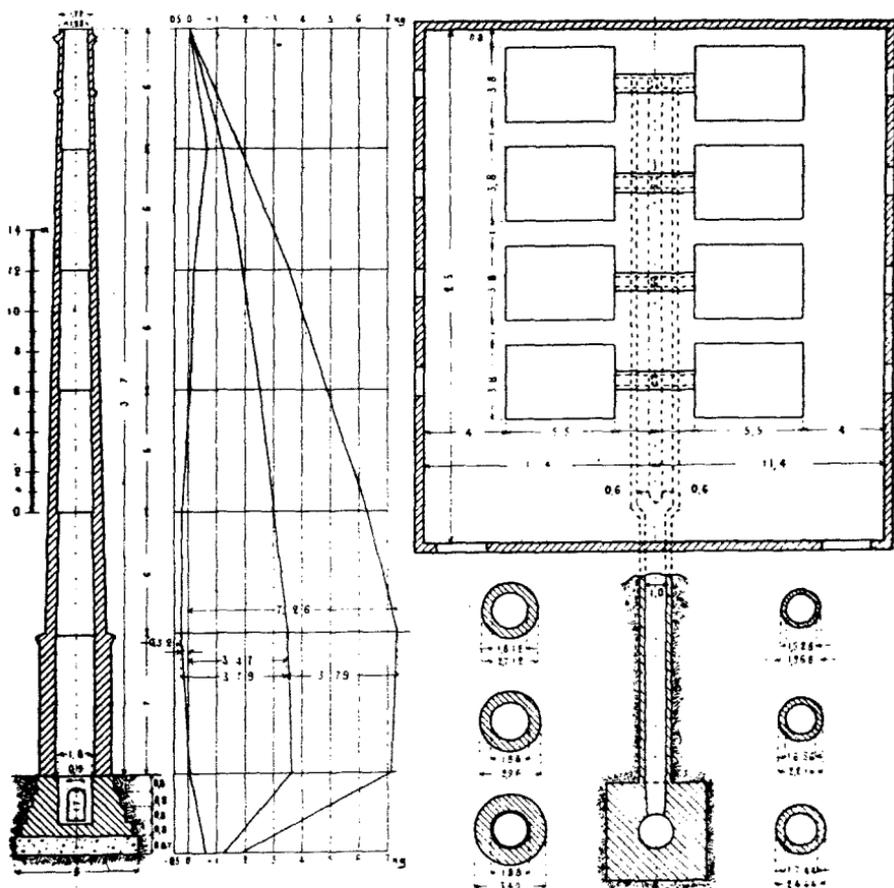
$$M = Ph = \frac{\omega \psi H^2 (R_1 + 2R_0)}{3} = \frac{125 \cdot 2 \cdot 900 \cdot 3,2}{3 \cdot 3} = \approx 80000 \text{ mkg}$$

Разстояніе точки приложенія равнодѣйствующей силъ P и G отъ центра сѣченія трубы:

$$a = \frac{M}{G} = \frac{80000}{144940} = \approx 0,5519 \text{ m}$$

Радиусъ ядра сѣченія:

$$\rho = \frac{R_1^2 + r_1^2}{4 R_1} = \frac{1,48^2 + 0,94^2}{4 \cdot 1,48} = \approx 0,5195 \text{ m}$$



Черт. 988.

Такъ какъ $a > \rho$, то появятся растяженія съ навѣтренной стороны:

$$\sigma' = \sigma_0 \left(1 - \frac{a}{\rho} \right) = \frac{144940}{41154} \left(1 - \frac{0,5519}{0,5195} \right) = -0,218 \text{ kg/cm}^2$$

что допустимо.

Такимъ же образомъ производится расчетъ для всѣхъ поясовъ.

Постоянныя, входящая въ формулы на стр. 52.

ω	Кольцевое сѣченіе.		Восьмиугольное сѣченіе.		Квадратное сѣченіе.	
	α	β	α	β	α	β
125 kg/m ²	83	28	89	30	125	42
150 >	100	33,3	107	35,5	150	50
250 >	134	44,7	142	47,3	250	66,7
115 + 0,6 H	77 + 0,4 H	25 + 0,13 H	83 + 0,42 H	27,2 + 0,14 H	115 + 0,6 H	38,3 + 0,2 H

Въ слѣдующей таблицѣ сопоставлены результаты вычисленія напряженій въ нижнихъ основаніяхъ ярусовъ, причемъ принято $\omega = 125 \text{ kg/m}^2$.
Опредѣленіе же вѣса поясовъ указано ниже въ особой таблицѣ.

Высота, считая сверху.	$H = 30$	$H = 24$	$H = 18$	$H = 12$	$H = 6$
R_0 (m) Верхній наружный радіусъ.	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
R (m) Нижній наружный радіусъ.	1,480	1,356	1,232	1,108	0,984
r (m) Нижній внутрєнный радіусъ.	0,940	0,906	0,872	0,828	0,764
$P = \alpha (R + R_0) H$ (kg) Давленіе вѣтра.	5830	4410	3120	1960	920
$M = \beta (R + 2 R_0) H^2$ Моментъ давленія вѣтра.	80 640	51 380	26 780	11 402	2 726
G (kg) Вѣсъ разсматриваемой части трубы.	142 484	95 742	59 470	32 598	13 470
$a = \frac{M}{G}$ (m) Разст. точки прѣд. равнод. свлѣ P и G отъ центра сѣченія трубы.	0,5659	0,5366	0,45031	0,2957	0,2024
$\rho = \frac{1}{4} R \left(1 + \frac{r^2}{R^2} \right)$ (m) Радіусъ ядра сѣченія.	0,5187	0,4900	0,4325	0,4325	0,4012
$f = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$ (m ²) Площадь поперечнаго сѣченія.	4,1054	3,1931	2,3880	1,7290	1,2050
$\sigma_0 = \frac{G}{f \cdot 10^4}$ (kg/cm ²) Напряженіе отъ собств. вѣса.	3,47	3,00	2,49	1,89	1,29
$\sigma = \pm \frac{M}{f \cdot \rho \cdot 10^4}$ (kg/cm ²) Напряженіе отъ изгиба.	3,79	3,28	2,42	1,65	0,57
$\sigma' = \sigma_0 + \sigma$ (съ подвѣтр. ст.)	+ 7,26	+ 6,88	+ 4,91	+ 3,54	+ 1,86
$\sigma' = \sigma_0 - \sigma$ (съ навѣтр. ст.)	- 0,32	- 0,28	+ 0,87	+ 0,24	+ 0,72

Ц о л о в ь .

• У с л о в и я .

Размѣры и вѣсъ.		Размѣры и вѣсъ.		
Внѣшнй диаметр . D_z въ m	3,40	Четыре квадратных $\left. \begin{matrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{matrix} \right\}$ призмы высотой по 0,8 m	3,6 4,2 4,8 5,4	
Внутреннй диаметр d_z "	1,88		Объем канала для газовъ въ m^3 $J' = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 1,8^2}{4} \cdot 2,5$	6,362 m^3
Высота H_z "	7			Объем борова въ m^3 $J'' = f_4 \cdot l = 1,44 \cdot 1,65$
Объемъ J_z въ m^3	45,74		Объем буговой кладки въ m^3 $J_f = (b^2_1 + b^2_2 + b^2_3 + b^2_4) h_f - J' - J''$	
Вѣсъ G_z въ kg	91480	Вѣсъ въ kg $G_f = 2000 J_f$	115000	
		Бетонная постель шир. въ b_b m	6	
		" " выс. h_b "	0,87	
		Вѣсъ $G_b = 1800 \cdot b_b \cdot h_b$ въ kg	93960	

И с п о л н е н и я .

Въ нижнемъ сѣченя покая.		Въ плоск. сопркосн. съ грунтомъ.	
$M_x = \omega \psi \left[(R+R_0) H_s (h+H_z) + D_z \cdot H_z \cdot \frac{H_z}{2} \right]$ въ kgm	128000	$M_f = \omega \psi \left[(R+R_0) H_s (h+H_z) + H_f \right] + D_z \cdot H_z \left(\frac{H_z}{2} + H_f \right)$ въ kgm	160000
$G_s + G_x$ въ kg	233964	$G_0 = G_s + G_z + G_f + G_b$ въ kg	442924
$a_x = \frac{M_x}{G_s + G_x}$ въ m	0,5475	$a_f = \frac{M_f}{G_0}$ въ m	0,361
$\rho_x = \frac{(D^2_z + d^2_z)}{8 D_x}$ "	0,5549	$\rho_f = 0,118 b_b$ "	0,708
$f_x = \frac{\pi}{4} (L^2_z - d^2_z)$ въ cm^2	65345	$f_f = b^2_b$ въ cm^2	360000
$\sigma_x = \frac{G_s + G_x}{f_x \cdot 10^4}$. въ kg/cm^2	3,58	$\sigma_0 = \frac{G_0}{f_f}$ въ kg/cm^2	1,230
$\sigma = \frac{M_x}{f_x \cdot \rho_x \cdot 10^4}$ "	3,54	$\sigma = \frac{M_f}{f_f \cdot \rho_f}$ "	0,627
$\sigma^+ = \sigma_0 + \sigma$ "	+ 7,12	$\sigma^+ = \sigma_0 + \sigma$ "	+ 1,857
$\sigma' = \sigma_0 - \sigma$ "	+ 0,02	$\sigma' = \sigma_0 - \sigma$ "	+ 0,603

Объемъ и вѣсъ трубы.

№ пояса.	Z_n Высота. m	R_{n-1} Верхній нар. р. m	r_n Нижній внутр. р. m	$R_{n-1} + r_n$ m	l_n Толщина стѣнки. m	$J_n = \pi Z_n l_n$ ($R_{n-1} + r_n$) Объемъ пояса. m^3	$G_n = \Delta \cdot J_n$ Вѣсъ пояса. kg	Сумма вѣсовъ. kg
1	6	0,860	0,764	1,624	0,22	6,735	13470	13470
2	6	0,984	0,828	1,812	0,28	9,564	19128	32598
3	6	1,108	0,872	1,980	0,36	13,436	26872	59470
4	6	1,232	0,906	2,138	0,45	18,136	36272	95742
5	6	1,356	0,940	2,296	0,54	23,371	46742	142484

	Вѣсъ сооружения.	Материалъ.	Вѣсъ 1 m^2 материала.
Трубы безъ цоколя.	$G_s = 142\ 484\ kg$	кирпичъ	2000 kg
Цоколя	$G_c = 91\ 480\ \gg$	»	»
Фундамента	$G_f = 115\ 000\ \gg$	»	»
Постели	$G_b = 93\ 960\ \gg$	бетонъ	1800 kg

Опредѣлимъ теперь коэффициенты полезнаго дѣйствія η_1 , η_2 , η топки, поверхности нагрѣва и котла и потерю тепла, уносимаго газами въ дымовую трубу.

Имѣемъ:

$$\eta_1 = \frac{5280 - 324 - 320 + 47}{5280 + 47} = \frac{4683}{5327} = 0,879.$$

$$\text{Здѣсь } 5280 - 324 = 4956 \text{ ед. т.} = K; \quad 320 \text{ ед. т.} = \sum_1^5 Q \text{ и } 47 \text{ ед. т.} = (cL + e') t.$$

Тотъ же коэффициентъ можетъ быть полученъ и по формулѣ:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \frac{K + PC (T_0 - t) + t (cL + e')}{K + t (cL + e')} \\ &= \frac{991 + 13,19 \cdot 0,29 (950 - 15) + 47}{5280 + 47} = \frac{4683}{5327} = 0,879. \end{aligned}$$

Далѣе, имѣемъ:

$$\begin{aligned} \eta_2 &= \frac{PC (T_0 - t_1) + sK + t (cL + e')}{\eta_1 [K + t (cL + e')]} \\ &= \frac{13,19 \cdot 0,29 (950 - 275) + 991 + 47}{0,879 (5280 + 47)} = \frac{3620}{4682} = 0,775. \end{aligned}$$

Отсюда:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,879 \cdot 0,775 = 0,682.$$

Въ котлѣ выпарено воды отъ сжиганія каждаго kg угля въ 1 часъ:

$$n = \frac{\eta (K + (cL + e') t)}{\lambda} = \frac{3620}{637} = 5,7\ kg,$$

а потому доставляется котломъ въ 1 часъ:

$$Q = nB = 5,7 \cdot 115 = 655 \text{ кг/ч пара}$$

или на 1 m^2 поверхности нагрѣва

$$m = \frac{nB}{F} = \frac{655}{49,9} = 13,1 \text{ кг/ч.}$$

Потеря тепла въ газахъ будетъ:

$$Q_6 = PCT, = 13,19 \cdot 0,24 \cdot 275 = 870 \text{ ед. т.}$$

Такъ какъ $\sum_1^5 Q = 320$, то потери вслѣдствіе засасыванія атмосфернаго воздуха въ дымоходѣ и чрезъ передачу воздуху будутъ:

$$\begin{aligned} Q_7 + Q_8 &= 5280 - 324 - 320 - 870 - 3620 \\ &= 5280 - 5134 = 146 \text{ ед. т.} \end{aligned}$$

Такимъ образомъ получимъ:

$$\begin{aligned} Q_1 + Q_2 &= 3\% & Q_3 + Q_4 &= 0,9\% \\ Q_5 &= 2,2\% & Q_6 &= 16,68\% \\ Q_7 + Q_8 &= 2,82\% & Q_9 &= 6,20\% & Q_e &= 68,2\%. \end{aligned}$$

Здѣсь Q_9 —потеря уносимой парами теплоты парообразованія, а $Q_e = \eta \lambda$ — теплоту утилизируемой въ котлѣ.

Этотъ примѣръ показываетъ, что желающимъ проектировать котель съ подробнымъ вычисленіемъ температуръ въ топкѣ и въ дымоходахъ удобнѣе включить въ заданіе вмѣсто коэффициента полезнаго дѣйствія η —коэффициентъ теплопередачи k . Тогда, выбравъ или коэффициентъ η_1 или же $\sum_1^5 Q$, проектирующій опредѣляетъ температуры, коэффициенты η_1 (или $\sum_1^5 Q$), η_2 и η и паропроизводительности топлива n и поверхности нагрѣва m .



¹⁾ Хорошимъ пособіемъ можно рекомендовать выпускъ II Извѣстій механическаго Института Императорскаго Московскаго Техническаго Училища: В. М. Грамелецкій. Графическій расчетъ пароваго котла. Москва. 1905.

III. Литературныя замѣтки и дополненія къ курсу.

Указанныя на стр. 364—369 источники приведены въ сокращенномъ видѣ, напр. Zt. означает Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure; Колл. обр.—Г. Денъ, Коллекція образцовъ котельной порчи, и т. д. Крокъ того введемъ слѣдующія сокращенія: Dpf — Dampf, K — Kessel, Общ. в. и. з. и. — Общество по наблюденію на котлахъ, Verhandlungen—Verhandlungen des Vereins zur Förderung des Gewerbleißes in Preussen, Eng.—Engineer, Engg.—Engineering, P. P. V. — Protocolle des St.-Petersburger Polytechnischen Vereins, Österr. — Zeitschrift der D.-K.-Untersuchungs- und Versicherungsgesellschaft, Bay.—Zeitschrift des Bayerischen Revisionsvereins, З. И. Р. Т. О.—Звѣсти Императорскаго Русскаго Техническаго Общества, В. О. Т.—Вѣстникъ Общества Технологовъ. Остальныя сокращенія едрали нуждаются въ поясненіи.

Стр. Строки

	св.	сп.	
2	—	—	§ 1. Статистика котловъ въ Россіи см. А. А. Брандтъ. Очеркъ исторіи паровыхъ машинъ. Спб. 1892.—Сводъ данныхъ о фабричной и заводской промышленности въ Россіи за 1889 г.
2	9	—	Данныя Mulhall. Dampf. Hergang. von R. Mittag. Berlin. 1891. 1097.
3 и 4	—	—	Черт. 1 и 2. Haeder 120.
13 и 14	—	—	Черт. 3 и 4. Hirsch 565.
13	—	6	Н. П. Петровъ. Курсъ практич. механики Ник. Инж. Акад.
14	—	—	Черт. 5. Scholl. 26.
15	—	—	Черт. 6. J. Laurent. Pl. 1.
19	8	—	Черт. 7 и 8. Associations françaises. 149.
"	—	15	Черт. 9 Колл. обр. 100.
21	15	—	Черт. 10—12. По чертежамъ завода бр. Бромлей въ Москвѣ.
22	—	22	Черт. 13 Колл. обр. 39.
"	—	4	Т. I 23. Т. II 30 и 31.
"	—	12 и 7	Т. I 22. 1 8. } Гутовскій Т. I—IV.
24	9	13	Т. II 30—33.
27	—	2	Черт. 14. Т. XIV. 262—264 Vorlegeblätter des Magdeburger Kesselvereins.
28	6	—	Черт. 15 и 16. Locom. 1893. 4 и 5.
"	—	10	Черт. 17 и 18. По черт. завода Montpet.
29	1	—	Черт. 19—21. Mitth. 1893. 259.
31	—	15	Черт. Т. IV. 70. XXXI. 386—388. Lüders, D.-K.-anlage d. Leipziger Baumwollspinnerei. Zt. 1891. 1232 Т. XXXIV.
"	—	—	п. 3. Mitth. 1892. 114 Vinçotte. Mitth. 1895. 56. Замѣчанія Флетчера, Каріо и Шнейдера. По Кнаудту въ 1894 г. случилось въ Германіи 35 взрывовъ, изъ нихъ 11 водотруби. котловъ. Если число водотр. котловъ 14%, взрывовъ этихъ котловъ д. было бы быть 5, а число пострадавшихъ—5 вѣсто 9.
"	—	—	п. 4. см. Knaudt Zt. 1892. 1227. Вироченъ въ Österr. 1892. 83 приводится примѣръ воеф. пол. д. 80% при влажн. пара 3,3%.
34	—	—	п. 5. Потому Шнейдеръ (Mitth. 1891. 147) считаетъ не болѣе 10 $\frac{kg}{k}$ пара съ 1 m^2 пов. нагр. при отсутствіи сухопарника и 15 $\frac{kg}{k}$ въ присутствіи такового. См. Zt. 1892. 1227 1897. 37.
35	2	—	Dr. Alban. Die Hochdruckmaschine, 1843. Zt. 1897. 1226.
"	3	—	Черт. 22. 23. Steam 25.
"	16	—	Черт. 24. 25. Scholl 56.
36	—	II	Черт. 26 и 27. Прейссураатъ фирмы Бельвая; черт. 28—29—Головъ. Котлы Бельвая.

Стр. Строка

	ст.	ст.	
39	15	—	Черт. 30 и 31. Головъ. Котлы Бельвиля.
42	—	11	Черт. 37 и 38. По заводскому чертежу.
45	—	3	Черт. 39—41. По указанимъ Н. И. Тверского.
47	—	22	Т. VI. 111. Черт. 42 и 43 по преискуранту завода Гульдшинскаго.
48	—	11	Черт. 44 и 45. Тиме. Новости Парижской выставки. Т. X.
49	5	—	Т. IV. 75. Преискурантъ завода Л. Кнапа въ Лондовѣ.
"	—	7	Черт. 46—54. Т. XVI. 272—278. По чертежамъ завода Вальтера и К ^о . въ Калькѣ.
52	26	—	Черт. 55—57. Т. XVII. 279—280а съ чертежей завода де-Нэйера.
54	—	19	Т. V. 77 и 78. Die D.-K. a. d. Weltausst. Chicago. Mitth. 1894. 65—87.
56	—	10	Черт. 59—64. По студенческимъ проектамъ на основаніи черт. зав. Фицнера и Гампера.
"	—	14	Черт. 58. Т. Турчиновичъ. Паровые котлы Babcock и Wilcox. З. И. Р. Т. О. 1891. 58. См. также М. Курбановъ. Электричество. 1892 № 7. З. И. Р. Т. О. 1892 № 11.18.
60	21	—	Черт. 65. Т. XIX. Т. XX. 292—304. XLVI. 291 по черт. Спб. Металлич. Завода См. М. Курбановъ. Электрич. 1892, № 7.
"	26	—	Т. XX. 305—309 по черт. Путиловск. завод.
"	—	5	Черт. 70. Krauss. Unfälle b. Betrieb v. Wasserrohrkesseln. Oesterr. Zt. 1896. 21.
"	—	14	Черт. 68 и 69. Sanvage 408 и 411.
"	—	25	Черт. 66 и 67. Steam 35 и 37.
63	4	—	Т. V. 79 и 80. Т. XVIII. Черт. 71—73. По преискурантамъ завода А. Бари.
"	1	—	П. Худяковъ. Паровые котлы инжен.-мех. В. Г. Шухова. Бюллетени Полит. Об-ва 1893/4. Москва. 1894.
65	—	4	Черт. 74 и 75. По преискуранту завода Бреда.
"	6	—	Черт. 76 и 77. По преискуранту завода А. Бютнера.
"	17	—	Черт. 78 и 79. По преискуранту завода Симовиса и Ланца.
"	—	5	Черт. 80 и 81. По преискуранту завода Гёрига и Лейкса.
67	2	—	Черт. 82. По чертежу завода Вальтера.
68	3	—	Черт. 83. Mitth. 1894. 83 черт. 84 по преискуранту завода Шкоды.
69	—	14	Т. V. 91 и 92. Дюбюа. См. Zt. 1897. 810. 1903. 333. Mitth. 1895. 412. 1896. 238. 285. 1897. 357. 1902. 938. 1903. 48. 321. Österr. 1895. 125—Dpf. 1895. 859.
70	—	17	Гоуардъ см. Reiche, Wiener Ausstellung S. 161.
72	3	—	Черт. 85—88. Neuere D.-K.-Konstr. Т. 27.
73	1	—	Черт. 89. Т. XXIII. 331—335 по преискуранту и черт. завода Вальтера.
"	20	22	Черт. 90—91. По чертежамъ завода Вальтера.
"	—	1—3	Черт. 92—94. Т. V. 100 и 101. По преискуранту Гере.
"	—	19	Т. V. 99. Neuere D.-K.-Konstr. Т. 28.
74	—	12	Т. V. 102 и 103. Т. XXIV. 336—341 по черт. завода Розера.
75	—	18	Т. VI. 89 и 90. Hintermayer. D. Prager Landesausstellung. Österr. 1891. 210.
"	16	—	Т. V. 104 и 405 по объявлен. Геринга.
76	6	—	Т. V. 106 по объявл. зав. Букау.
"	21	—	Т. VII. 107 и 108. Нижегородская Выст. В. О. Т. 1896.
"	—	11	Т. VI. 112 и 113 по объявл. зав. Бреды.
77	—	8	Данныя с проектированіи. Österr. 1894. 9.—Отчеты Манчестерскаго Об-ва 1889. 1890.
79	—	5	Обмуровка см. Zt. 1897. 332. Испытанія см. Mitth. 1897. 196. Österr. 1898. 74.
"	—	12	Т. XXV. XXVI. 342—348 по чертежамъ инж. Флстчера.
80	—	15	Черт. 95. Т. VII. 122 и 123. XXVII. 377 и 378. XXVIII. XXIX.

Стр. Строка
св. сн.

- XXX. 379—381. По прејскуранту и черт. завода Шульцъ-Кнаудта въ Эссент.
- 80 17 — Т. VII. 132 по объявл. зав. Христиансена.
- ” 18 — Т. VIII. 133. Диамет. трубъ 10 *d*. Удобства осмотра и очистки трубъ.
- ” 22 — Т. VIII. 134. Нижегородская выставка. В. О. Т. 1896. Диамет. трубокъ 3 *d*.; разст. осей 98 *mm*.
- ” — 21 Т. VII. 122 и 123 Котель на Франкфуртской Электр. Выстави. 1891 г. на 12 *at*; $F = 60 \text{ m}^2$; $R = 2 \text{ m}^2$.
- 81 6 — Zt. 1893. 939; по опытаиъ Давцигской верфи волнистыя трубы деформируются только при 65—75 *at*. Ленць примѣнялъ въ 1883 г. волнистыя тонки для паровозовъ при рабоч. давл. 17 *at*.
- 82 20 — Т. XXVII. 349—356 по черт. завода Яра.
- ” 24 — Т. VII. 131. XXX. 382—385 Abel. Verwendung v. Grosswasserraumkesseln. Mitth. 1894. T. 1.
- — 14 Т. VII. 129 и 130 по объявл. зав. Фрембса,
- 83 9 — По объявлен. зав. Зейферта.
- 20 — Т. VIII. 137—139. По черт. Магдебургскаго общ. наблюд. за котлами.
- 84 8 — Черт. 96. Т. VIII. 143 по прејскур. завода А. Лейнвебера въ Глейвицѣ.
- ” — 10 Черт. 97. Bericht des Schweizer D.-K.-Revis.-Ver. 1883. 90.
- 85 4 — Т. IX. 144 и 145. Neuere D.-K.-Konstr. T. 18.
- 86 8 — Черт. 98 и 99. Schneider. Die Kohlenstaubfeuerung. Mitth. 1895 381.
- 87 11 — Черт. 100. Lolling. Heft D. 1.
- 88 — 7 Т. XXXI. 389—393 по черт. Магдеб. об-ва н. з. к.
- ” — 8 Черт. 101 и 102. P. P. V. 1894. 55.
- 90 9 — Черт. 103. A. Hering. Neuere Systeme von Grosswasserraumkesseln. Zt. 1889. T. 2.
- ” — 5 Naage. Mitth. 1896. 121.—Perelli. Mitth. 1903. 709.
- 91 — 14 Черт. 104. J. Hirsch. 595.
- 93 — 22 Bay. 1903. 43. 55.
- 94 6 — Черт. 105. Hirsch. 604.
- 96 1 — Черт. 106. Berichte des Schweizer D.-K.-Revis.-Ver. 1883. 95.
- ” — 14 Черт. 107—109. Scholl. 36.
- 97 2. — Черт. 110. Колл. обр. 78.
- 98 — 1 Величина шотланд. котла опредѣляется наибольшимъ вѣсомъ (90—100 тоннъ), обусловл. подъемною силою крановъ въ котельной и на верфи (Kraft, 1903. 280).
- ” 2 — Черт. 111—115. Колл. обр. 13. 14. 101.
- ” 3 — Гутовскій 113 и слѣд.
- 99 — 22 Т. X. 190. 191. Busley. D. W.-R.-K. d. D.-schiffe. Zt. 1896. 1085 и слѣд.
- 100 — 1 Zt. 03. 1797.
- ” — 3 Черт. 116. Sauvage 398.—Черт. 117. 118 по черт. завода Никлосса.
- 101 — 3 Т. XI. 194—196. Busley. D. W.-R.-K. d. D.-schiffe. Zt. 1896. 1085 и. слѣд. см. Г. Боровскій, Море и его жизнь. Апр. 1904.—Mitth. 1903. 1. Считаютъ въ котлахъ шотландскихъ на 1 тонну вѣса котла съ водою 12—18 индик. силъ при естеств. и 20—28 при искусственн. тагѣ; въ котлахъ нарвовозныхъ 21 до 26 и 30 до 50; въ котлахъ Торникрофта 80 до 100 силъ.
- 102 14 — Т. XI. 197 и 198. Neuere W.-R.-K. Mitth. 1894. 104.
- ” — 20 Busley см. также испытанія котловъ Бельвиля и др. Mitth. 1897. 97. Österr. 1896. 117.—Zt. 1896. 1038. 1198. 1897. 917. 1070. 1145.
- 103 — 18 Т. XI. 199—201. D. K. a. d. Weltausstellung Chicago. Mitth. 1894. 65—87.
- ” — 4 Т. XI. 200 и 201. По врейсаур. завода Clonbrock.

Стр.	Строка	
	св.	сп.
103	11	— По опытамъ на Voltigeur, произведеннымъ въ июль 1880 г. подъ предсѣд. адмирала Halligon.
104	—	— § 42. Т. X. 182 и 183. XI. 258 и 259. XII. 212. Tschopp. Die in Berlin betriebenen Kleinmotoren. Mitth. 1889. 60—62.
105	—	22) Черт. 119 и 120. Т. XI. 256. С. Leonhardt. Über Schlangenrohr-
106	11	5) Dampferzeuger. Mitth. 1889. 4—6.
107	—	5 Т. XI. 204. Versuche mit Schmidt'schen Heissdampfmotoren Mitth. 1894. 341.
108	—	6 Черт. 121. Radinger. Bericht über d. Ausstellung zu Philadelphia.
110	17	— Простые верт. котлы см. Perelli, Verwendung der Abgase. Mitth. 03. 706.
111	4	— Т. VII. 109—110. Черт. 122 по преискуранту зав. Лентнера.
"	—	7 Т. XIII 241 по преискуранту Абосскаго желъзодѣлательнаго завода.
"	—	8 Черт. 123 по преискур. завода Каголь.
"	—	11 Zt. 1891. 45.
112	11	— Эти котлы системы Hohlfield описаны Österr. 1891. 206.
114	7	— Т. XII. 228 по преискурантамъ завода А. А. Бари.
"	16	— Т. XII. 229 и черт. 124 и 125 по чертежамъ завода А. Бари.
"	—	3 Черт. 126—128 по черт. механич. зав. Д. Зиновьева.
115	18	— Т. XII. 223 по объявл. завода Мѣлена.
"	—	7 Т. XII. 220 по преискур. зав. Ветчинкиныхъ.
117	—	14 Черт. 129. Bellens 215. Трубки изобрѣтены Перкинсомъ въ 1831 г. По опытамъ Штапфера и Баре (D. Stapfer и M. Baret) производи- тельность ихъ только 10 l/h , нѣба же 60 l/h съ 1 m^2 поверх.
"	8	— Т. XIII. 233—336. Нижегород. выст. В. О. Т. 1896. 219 и слѣд.
118	19	— Черт. 130 и 131 Scholl 46.
"	—	10 Т. XIII. 237. Черт. 132 по чертежамъ Путпловск. зав.
"	—	13 Изготовл. на Aachener D.-Motorenfabrik Arndt & Marichal. Mitth. 1902. 62.
"	—	18 Часто ржавѣють верхнія днища. Zt. 1903. 163.
119	—	9 Т. XII. 213 по объявленіямъ зав. Баулинга.
122	—	20 Кух см. Reiche, Wiener Ausstellung. 25.
124	4	— Опыты Фавра и Зильбермана см. Ann. Phys. Chim. 3-e série 1852 t. XXXIV. 357 и слѣд. t. XXXVI. 5.—Исслѣдованія Вертело. Ann. Phys. Chim. 5-e Sér. XXIII. 177.—Thomsen. Thermochem. Untersuchungen II. 52.
128	—	— § 50. Zt. 1882. 115. Mitth. 1893. 23. 35. Dingier. Polyt. Journal 1891. 280. 63. Mahler. Génie civil. 1892. 182.
131	13	— Черт. 133. Jüptner 145.
"	—	19 Muspratt-Stohmann, Handbuch d. techn. Chemie. 1892. 249 и слѣд.— Jüptner 150 и слѣд.—Dr. Ferd. Fischer, Chem. Technologie d. Brennstoffe 392.
132	16	— Черт. 134. В. Лугининъ 70.
"	—	11 Mitth. 1893. 38.
134	24	— Steam 55.
"	17	— Кизякъ формируется, 1000 шт. вѣзаетъ 90 пуд., паропроизвод. 1,33, при горѣніи получ. неприятный дымъ и много пыли. Цѣна въ Оренбургѣ въ 1903 г. 7—10 руб. за 1000 шт.
"	—	3 Mitth. 1893. 38.
135	—	15 Исслѣдованіе Violette, директора порохового завода Esquerdes см. Ann. Ph. Chim. XXXIX.
"	16	— Mitth. 1893. 38.
136	—	— § 55. Ann. Ph. Ch. 3 Sér. XXXII, 304.
137	14	— З. И. Р. Т. О. 1890.
"	35	— 57. См. Н. Я. Никитинскій, Торфъ и разработка его на топливо.

Стр. Строка

св. сн.

Москва. 1885.—Э. В. Коріандеръ, Матеріалы къ торфовѣдѣнію Баваріи. З. И. Р. Т. О. 1888, вып. 6—7.—Его же, Матеріалы къ торфовѣдѣнію Австріи. Тамъ же.

- 138 1 — По Мальцеву (справочная книга).
 " 2 — Péclet 38.
 139 14 17 Fr. Mohr, Geschichte der Erde. Bonn. 1875. См. также Dr. Мнск, Chemie der Steinkohle. 1891.
 140 — 17 Péclet 39. 10 т.
 " 3 — Отчетъ Моск. Тех. Уч. 1885/6, стр. 9.
 " 20 — Иосса, Металлургія 165.
 " 14 — Die Landwirtschaft in Oberbayern. 1885. 322. Hirsch 289.
 " — 17 Jüptner.
 148 14 — Gruner, Traité de métallurgie. Dunod. Paris. 1875.
 150 20 — О приемкѣ угля см. Hirsch 333 и слѣд. — Mitth. 1894. 447.
 — — 16 R. Peters, Ueber d. Heizeffect d. Brennmaterialien. Zt. t. II, III—IV.
 151 14 — По сообщенію Миттермайера (Р. Р. V. 1900), въ Баваріи встрѣчаются угли съ содержаніемъ сыры до 8%; вредное вліяніе на котель замѣчалось только при подогревателяхъ съ противотомомъ. По Kraft (1901. 268) вредное вліяніе бываетъ только при $S > 2\%$.
 " — 11 Демьяновъ 55.
 " — 19 См. Vigneux 20.—Jüptner 15.
 152 18 — О самовозгораніи см. Zt. 1894. 1106. 1442.—В. О. Т. 1894. 70.—Mitth. 1904. 108. 1891. 220.
 153 5 — О храненіи угля на судахъ. Mitth. 1903. 880.—Dpf. 1892. 731.
 151 — — 73 Примѣненіе кокса см. Uhland, Prakt. Masch.-Konstr. 1886. 105.—Mitth. 1894. 344.
 155 — — О брикетахъ см. Jünemann. Die Briquetteindustrie 1881.
 " 15 — Вау. 1897. 94.
 157 — 12 Comptes rendus. LXVI. 442—453 (іюль 1868). LXVIII. 349. 485—502. 686. LXXII. 193.
 " — 17 Гулишамбаровъ.
 159 — — § 79. Höfer, Das Erdöl.—Тумскій. Технологія нефти.
 162 13 — Mitth. 1903. 83; 1904. 44.
 163 — 18 Jüptner 188.
 164 — 6 Черт. 135. Fallenstein. Т. XIV.
 165 9 — Черт. 136—141. C. Jung, Ueber Hochofengasfänge. Zt. 1884. 1008. 1009.
 168 — 1 См. также Ebelmen, Oeuvres, t. II. 477.—Ferrini 177.
 " 27 — Pohlig, Die Hochofenanlage der Soc. anon. des Hauts-Fourneaux de Rumelange. Zt 1888. 1045.
 171 — — § 88. Zt. 1894. 1319. 1899. 1405. Rigasche Ind. 1900. 161. Jüptner 191.
 172 — — § 89. Zt. 1891. 1275. 1890. 99. 1833. 92.
 174 — 22 Dpf. 1898. 315.
 175 9 — Черт. 142. Ser 489. Zt. 1883. 730. 1884. 69. 533 и 1885. 101. 833.
 176 1 — См. Regnault, Recherchés sur la composition de l'air atmosphérique. Ann. Ph. Chim. 1852. 3 Série. t. XXXVI 485.
 178 4 — См. Comptes rendns. 1882. t. XCIV. Стр. 589.
 181 — — § 95. Объ опредѣленіи CO_2 см. Dr. Hempel. Mitth. 1896. 122.—Вау. 1898. 33.—Mitth. 1898. 264.—Dsch. Dingler 103. 55—59.
 185 — 15 Lewicki 18 и слѣд.
 188 — 17 Теплоемкость c_p для CO_2 , O_2 , N_2 и H_2O вычислена Mitth. 1903. 42. См. Н. Куриновъ, З. И. Р. Т. О. 1893. Май. Его же, Вычисленія темпер. горѣнія. Горн Журн. 1892. Ноябрь—Журн. Р. Хим. Об. 1890. 493.—Mallard et le Chatelier, Recherches ex.

Стр.		Строка	
св.	сн.		
		périn. et théoriques s. l. combustion des mélanges explosifs. Séances de la Soc. Franç. de physique. 1888. 235.	
199	17	—	Zt. 1892. 838.
201	—	7	Valérins 16. Péclet 12.
203	—	23	Jüptner 100.
"	—	26	H. S-te Claire Deville, Recherches s. l. décomposition et la dissociation. Archives des Sciences physiques. 1860. 2-e sér. t. IX. 51. См. также Bulletins de la Soc. chim. de Paris. 1863. 120. 443.—1865. t. III. 366. t. V. 104.—1874. T. XXI. 419.
204	—	21	Violle, Comptes rendus. t. 96. 116, 1218, 1358.—Berthelot et Violle, Ann. Ph. Chim. t. IV. 74. 1885.
205	—	6	H. Valérins. P. I. 22.
"	—	17	Техн. Ос. 1893 IV. 136.—Uhland, Prakt. Masch. Konstr. 1893. № 9. 65.
214	—	23	Scheurer-Kestner, Ann. Ph. Chim. 1870. XX.
215	24	—	Locom. 1891. 153.
216	10	—	Bull. de Mulhouse. 1863. 454.
"	17	—	Stammer, Dpf. in d. Zuckerindustrie. 51.
217	—	17	Черт. 143—145. По черт. Магдебургскаго Общ. по н. за к.
219	—	15	Черт. 146 и 147. Vigrenx Pl. 35.
"	—	2	Черт. 148 и 149. Locom. 1891. 35.
220	—	15	Черт. 150. Lewicki. T. XVI.
221	4	—	Черт. 151—155 и T. XLVII. 466—494 по черт. Магдебургскаго Общ. по н. за к.
223	—	—	§ 114. Mitth. 1896. 468.
224	—	10	Черт. 156 и 157 см. Mitth. 1904. 329. Верхняя рѣшетка круче, на ней происходитъ возгонка газовъ.
225	25	—	Черт. 158. По прейскуранту конторы Топфа въ Эрфуртъ.
"	—	5	Черт. 159 и 160. Ser 459.
226	—	14	Черт. 161—164. См. Österr. 1892. 130. Zt. 1894. 108. Dpf. 1894. 486.
229	—	9	Черт. 165—169. По черт. конторы А. Вегенера въ Берлинъ.
232	—	1	Черт. 170 и 171. P. Zwiauer. Über Kohlenstaubfeuerungen. Österr. 1895. 73.
234	12	—	Черт. 172. По черт. механ. зав. Р. Шварцкопфа въ Берлинъ.
236	10	—	Черт. 174 и 175. См. Mitth. 1896. 255 283.
237	20	—	Черт. 176. Cario, Mitth. über Neuerungen an Roststäben. Mitth. 1891. T. 15.
"	—	16	Mitth. 1887. № 8.
239	—	8	T. XLIX. 516. По черт. зав. де-Нэйеръ.
"	—	10	Черт. 177. Sauvage 264.
240	—	3	Черт. 178. По объявленіямъ зав. Тоста въ Цвикау.
241	11	—	Черт. 179. По объявленіямъ зав. Тоста.
"	—	9	Черт. 180. По черт. зав. Виденбрюка и Вильмса.
242	—	6	Черт. 182—184. Reiche. I. 150. 151.
243	—	22	Черт. 185. Taborsky 64.
247	1	—	Черт. 189—191. По черт. зав. Д. Зиновьева.
248	16	—	Черт. 192. Hirsch 408.
"	—	24	Черт. 193—195. По прейскуранту зав. Топфа.
250	—	12	Valérins 141.
"	11	—	Э. И. Р. Т. О. 1892. № 4. 41. — Dingler. 1891. Bd. 281. См. также Polyt. Centralblatt. 1870. 631. Jüptner 75. Österr. 1898. 170.
252	—	21	Bach, Zt. 1883. 469. См. также Bach, Zt. 1883. 177. — Weinlig, Zt. 1884. 915. — Bach, Zt. 1896 492.
254	—	3	При опытахъ <i>Берта</i> получилось болѣе всего дыма при сжиганіи 200, меньше всего при 54 kg/m^2 угли въ часъ при 6 м 16 m^2 воздуха. Valérins 141.

Стр.	Строка		
	св.	сн.	
255	10	—	Черт. 196 и 197. По черт. завода Фицнера и Гампера.
256	4	—	Черт. 198. Carlo, Über Flammrohrdefekte. Mitth. 1891. T. 1.
—	—	7	Черт. 199. По черт. зав. Фицнера и Гампера. п. с. Mitth. 1896. 168.
257	—	3	Черт. 200—202. По черт. Спб. Металлич. зав.
259	—	2	T. LI. 528—531, 535—543. По черт. зав. Wm. & Ts. Yates, Blackburn. Apr. 1885. 532—534. По черт. Jos. Clayton Millwright Preston. Apr. 1884. Площадь восьми вентиляционныхъ отверстій $8(8 \cdot \frac{3}{8} + \pi(\frac{1}{4})^2) = 52 \delta^2$ въ передней стѣнкѣ, а въ задней (baffle-plate): $24 \cdot \frac{1}{2} \pi(\frac{1}{4})^2 = 20 \delta^2$.
260	7	—	Черт. 203 и 204. Naage, Das Rauchen der Fabrikamine. Mitth. 1883. T. 14.
"	—	28	Предложение Уатта. Zt. 1886. 643.
263	9	—	Bull. de Mulhouse. 1860.—Г. Денпъ, О конкурсахъ для кочегаровъ.
266	1	—	Черт. 205. Hirsch 425. Черт. 206. Ser 436.
"	—	18	Черт. 207. Smoke nuisance and its regulation.—Frankl. Inst. Vol. 144, 401 и 145, 1.
"	—	3	Черт. 208. Fallenstein. T. XVII.
267	24	—	Черт. 209—212. По черт. завода Вальтера и К ^о и Neuere Dampf-Kesselkonstruktionen. T. 39.
270	9	—	T. XXXIX—XLIV. 428—454. По черт. зав. Лесснера.—Черт. 213. 214. Mitth. 1894. 322.
273	1	—	Черт. 215. Scholl 96.
"	—	2	Черт. 216. См. Технич. Сборн. 1896. 209.—Zt. 1897. 1339.—Mitth. 1903. 625.
276	10	—	Zt. 1902. 1908. Черт. 217. Smoke nuisance. Frankl. Inst. Vol. 145. 1.
277	3	—	Черт. 218—220. T. XXX. 379—381. По черт. зав. Шульцъ-Кнаудта.
278	—	4	Черт. 221. Sauvage 266.
279	—	9	Черт. 222—224. По объявленіямъ фирмы Тостъ.
"	8	—	T. XL. 425—427. Ковальскій. Топка для пар. котловъ. В. О. Т. 1896. Л. I, II.
282	19	—	T. XLIV. 455—457. Neuere D.-K.-Konstruktionen. T. 44
283	17	—	О введеніи дополнит. воздуха см. также Combes, Ann. d. mines. T. XI. 149—210.—Péclet, Vol. 1. 354.—Conche, Ann. des mines. 1863. 366.—Bull. de Mulhouse. 1863. 249.
"	19	—	Черт. 225. Ser 427.
"	25	—	Черт. 226. Rauchverbrennung. Mitth. 1885. T. 1.
"	—	1	Черт. 227—232. По черт. фирмы Коввце и К ^о .
286	—	6	Черт. 233 и 234. По черт. Путиловскаго завода.
288	9	—	Черт. 235. Naage, Das Rauchen d. Fabrikamine. Mitth. 1883. T. 14.
"	—	24	T. XXXVIII. 418 и XXXIX. 421—424. XLI. 419 и 420. По черт. Спб. Металлич. зав. См. Dpf. 1888. 186. 1891. 307.—Mitth. 1883. 6. 72.—Glinzer, Die Rauchplage. 1891. 6.
289	6	—	Dpf. 1890. 184.
"	—	21	Mitth. 1883. 53.
"	—	22	Zt. 1890. 72.
291	—	14	Черт. 236. Leistungsversuche a. e. D.-K. mit Schmelzer-Lanberscher Feuerung. Bay. 1897. 42.
292	5	—	T. XXXVI. 413. 414 и XXXVII. 415. Neuere D.-K.-Konstruktionen. T. 37.
295	18	—	Черт. 237—339. Hirsch, Pl. VI
"	4	—	Bull. Mulhouse. 1866. 49.
297	3	—	Locomot. 1892. 178.
298	—	9	Черт. 240 и 241. Гулншамбаровъ 218.
"	11	—	Revue ind. 18. Mars. 1893.—Zt. 1893. 914.
299	—	6	Черт. 242. Ser 462.

Стр.	Строка.		
	св.	си.	
299	—	4	Черт. 243. Гулишамбаровъ 82.
300	—	11	Черт. 244. Busley, Die Verwendung flüss. Brennstoffe. Zt. 1887. Т. 37—40.
"	—	4	Черт. 245 отсюда же.
301	24	5	Черт. 246 и 247. Гулишамбаровъ 109. 76.
303	2	—	Черт. 248. По экземпляру, имѣющемуся въ музеѣ Т. И.
305	3	9	Черт. 251—253. Гулишамбаровъ 142.
308	13	16	Черт. 261—263. Гулишамбаровъ 143.
"	—	5	Черт. 264—266. По чертежамъ С. Данилина.
311	—	16	Черт. 269 По экземпляру, находящемуся въ музеѣ Т. И.
312	6	—	Черт. 270. Ser. 465.
"	13	—	Черт. 271. По черт. зав. А. Барк.
313	5	—	Черт. 272 и 273. Гулишамбаровъ 103. 104.
314	4	—	Черт. 274—276 С. А. Негыкса. Форсунка съ двойной пульверизацией. Бюллетени Моск. Полит. Общ. 1897. № 5.
315	2	—	Наклоны нижней грани—40°, верхней—35°. При продолжительномъ испытаніи (106 час.) получена испарительность (при 0°) въ 12, 8.
316	6	—	Черт. 277 и 278. По черт. И. Твардовскаго.
"	—	7	Черт. 279 и 280. Гулишамбаровъ. 133 и 134.
318	18	—	Черт. 281 и 282. Гулишамбаровъ 127.
319	4	1	Черт. 283. Т. XXXV. 410. По чертеж. завода Л. Нобель.
320	15	—	Черт. 284. Отъ В. И. Береснева. Безд. сожиган. XXVIII. 192.
"	—	1	Черт. 285 съ натуры.
321	—	22	Черт. 286—288. Тиме. Безшумное нефт. отопл. Тентелевскаго зав. Горн. журналъ 1895 № 1.
"	—	4	Черт. 289. Безд. сожиг. Т. XXXI. Черт. 290—294. P. P. V. 1895. 38—41. N. v. Lösch. Über neuere Masutfeuer.
325	—	12	Черт. 295. По черт. конторы Д. Свенсона.
"	—	11	Черт. 296 и 297. По черт. зав. А. Бари.
330	—	18	Черт. 299. Lewicki. Т. 3. 16.
331	7	—	Черт. 300. Lewicki. Т. 2. 16.
332	6	—	Черт. 301 и 302. Безд. сожиг. Т. XXXVII.
"	—	5	Черт. 303—305. Reiche. 1. 81—84.
334	23	—	Черт. 306—308. Бочаровъ. Бюлл. Полит. Общ въ Москвѣ.
336	13	—	Т. XLV и XLVI. 458—465. Безд. сожиг. Т. XXXII—XXXIV. 219—222.
337	—	22	Черт. 309. Н. Гюсса. Матер. для изуч. горнозав. промышл. Горный журналъ 1889. III. 267.
"	—	5	Черт. 310—312. Lewicki. Т. XX.
339	5	—	Черт. 313—316. Lewicki. Т. XII.
340	—	17	Черт. 317. Sauvage. 300.
342	1	—	Черт. 318 По черт. Выксуясваго завода.
—	—	5	См. также Dpf. 1888. 298.
343	5	—	Черт. 319—325. И. Тиме. Соврем. состояніе техники на южно-русскихъ горныхъ заводахъ. Т. XII и XXIV.
347	—	13	Черт. 326—328. И. Тиме. Соврем. сост. техники на южно-горн. заводахъ. Т. X.
354	2	—	Т. LIII. 568—570. По чертежамъ СП. Металлич. зав
"	9	—	Черт. 329 и 330. Vigneux. Pl. 35.
"	14	—	Черт. 331. По чертеж. Путиловскаго завода.
358	—	21	Mitth. 1894. 970.
359	—	17	Mitth. 1894. 970.
360	—	15	Rig. Ind. Ztg. 1898 275. Scientific American, 1898. 308.
373	25	—	Демьяновъ 158.
387	1	—	Черт. 336—339. Lang. 96—96.
388	—	5	Dpf. 1892. 473.

ЛИТЕРАТУРНЫЯ ЗАМѢТКИ И ДОПОЛНЕНІЯ КЪ КУРСУ.

Стр.		Строка.		
	св.	сн.		
389	1	—	Черт. 340 съ натуры.	
"	17	—	См. Демьяновъ 176.	
391	15	—	Черт. 342. Lang 102.	
393	21	—	Pinzger. Zt. 1876. 717.—Черт. 343—344. Reiche I. 78.	
"	—	19	Lang 112.	
396	—	—	§ 172—175. Lang 134.	
402	—	9	T. XLVIII. 499—501. 505 и 506 по черт. М. Берлова; 495—498— по чертежамъ, предоставленнымъ А. Гатцукомъ.	
403	—	19	Черт. 348. Über neuere Schornsteinbauten. Uhlands Masch.-Konstr. 1890. 64.	
"	—	16	Черт. 349. По черт. фирмы А. Кустодисъ.	
404	4	—	По прейскуранту А. Кустодиса.	
405	7 и 14	—	Черт. 351—353. The Locom. 1893. 113.	
"	—	15	Черт. 354. Steam 62.	
"	—	7	Черт. 355. The Locom. 1893. 114.	
407	—	3	Черт. 356—361. Über neuere Schornsteinbauten. Uhlands Maschinen- konstr. 1890. 64.	
410	—	10	Черт. 364. Fr. Pietsch 24.	
414	—	8	Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Kgr. Sachsen 1890. Dpf. 1892. 501 и слѣд.	
415	4	—	Österr. Zt. 1893. 25. — Eng. Nov. 11. 1892. — Технич. Сбор. 1893. 508. — Verh. d. V. z. Beförd. d. Gewerbebeisses. 1845.	
"	—	4	Eng 11. Nov. 1892. — Dingler 1893. 1. 24. — Österr. Zt. 1893. 25. — Génie civil. 1893. XXII. № 24. — Технич. Сб. 1893. 509.	
"	—	10	Hirsch 474.	
416	—	17	Eng. IX. 138.	
"	18	—	Dpf. 1893. 1018. 1894. № 50. 1895. 45.	
421	—	6	Черт. 366—374. Изъ прейскурантовъ зав. Бр. Кёртингъ.	
423	—	8	Rigasche Ind.-Ztg. 1895. 40.	
431	1	—	Черт. 378. Очеркъ дват. II отд. З. И. Р. О. 1897. V. 19.	
"	12	—	Черт. 379. 380. Versuche, ausgeführt auf der Kais. Werft zu Danzig. Mitth. 1893. T. 7.—Zt. 1891. 1239.	
437	—	7	Черт. 383—385. Zt. 1897. 1163 и слѣд.	
440	6	—	Черт. 386—392. Bach. D. Berechnung flacher Kesselwandungen. Zt. 1894. 341—345.	
442	—	4	Haeder 104. Daniel Kinnear Clark. The Steam engine. London 1891. II. 622.	
443	—	17	Петровъ. Практическая механика.	
"	—	23	Zt. 1897. 1225.	
444	—	27	Fairbairn. Useful informations for Engineers II Ser.	
445	1	—	Journal of the Franklin Institute 1837. — 1874. 38.	
"	17	—	Lehner. Mitth. 1895. 49.	
446	14	—	Iron age 1890. 585. — Zt. 1891. 388.	
"	—	9	Martens. Zt. 1891. 443.	
447	—	23	Österr. Zt. 1898. 145.	
448	7	—	Mitth. 1896. 488.	
"	—	18	Österr. 1897. 17.	
450	—	4	Zt. 1892. 78.	
451	—	6	Lehner 1892. 455.	
"	—	16	Mitth. 1893. 397.	
452	—	7	Черт. 394. The Locom. 1893. 162. 1895. 1.	
455	—	78	Черт. 396. Vigreux. Pl. 32.—Опыты Унаниа. Zt. 1890. 214.— Опыты Лешателье. Dpf. 1890. 225.	
456	—	—	§ 197. Опыты Фрайклиновскаго ин-та: Report of the Committee of	

<i>Стр.</i>		<i>Строка.</i>		
св.	св.			
				the Franklin Institute on the Explosion of steam boilers. Philadelphia 1837. Zt. 1880. 121.
457	—	7		Dpf. 1896. 1261. — Verhandlungen 1896 № 9.
464	23	—		Черт. 396—402. Гершульцъ. Производство котельныхъ работъ. P. P. V. 1893. 66—76.
465	—	74		Vinçotte. Mitth. 1892. 114.
466	8	—		Mitth. 1894. 444.
470	3 и 22	12		Черт. 403—405. The Locom. 1896. 17—20. 1892. 147.
471	9	—		Черт. 406—407. The Locom. 1896. 20. 1892. 143.
—	—	8		Черт. 408 и 409. Vorschläge f. d. Berechnung d. Materialstärken neuer D.-K. Mitth. 1891. 119—121.
473	—	6		См. N. P. Burgh. Practical Treatise on boilers & boiler making. London 1873. E. K. F. N. Spon. 48. Charing Cross.
"	—	22		Zt. 1903. 1723.—Худяковъ. Отчетъ Моск. Техн. Учили. 188 5/4.
474	—	3		Черт. 410. 412—415. Knaudt. Über d. Längselasticität v. D. K.-Feuerungen. Österr. 1892. T. I.
"	—	10		Черт. 411. По объявленію зав. Фарлей.
"	—	—		п. 9. Dingler. 1891. IV. 221. Zt. 1890. 180. 1893. 5.
478	2	—		Черт. 416. Munro 67.
"	13	—		Stahl u. Eisen. 1893. 82.
"	—	3		Zt. 1893. 764.
479	3	—		Черт. 418 и 419. Демьяновъ. 252.—Thielmann. D.-K. I. 72.
480	1	—		Черт. 420. Taborsky. 248.—Черт. 421 и 422 съ натуры. Экз. въ Музеѣ Т. II.
482	5	—		Черт. 423. Taborsky. 251.
"	14	—		Черт. 424. Sauvage. 273.
"	—	19		Черт. 425. Hirsch 605.
"	—	5		Черт. 426. Die Befestigung der Böhren von D.-K. Mitth. 1893. 71 и слѣд.
483	6	16		Черт. 427—432. The Locom. 1893. 130—133.
484	—	—		и. 4. Черт. 433. Hirsch. 599.—Черт. 435. Martens. Untersuchung über den Widerstand etc. Mitth. 1888. 14.
486	—	2		Mitth. 1888. 15.
"	—	18		Черт. 437. Taborsky. 257.
491	2	—		Черт. 438. Sauvage. 372.—Zt. 1893. 5.
"	—	2		Mitth. 1891. 101.
"	—	20		Черт. 439 и 440. Munro 56—59.
493	—	7		Черт. 441—448. The Locom. 1893. 139—141.
496	5	—		Черт. 449 и 450. Reiche. II. 124.
"	—	13		Черт. 451. Pfeifer. Einwirkung etc. Mitth. 1893. 166.
499	3	—		Черт. 453. Reiche II. 125.—Черт. 454. Vorschläge f. d. Berechnung d. Materialstärken. Mitth. 1891. 121.
500	—	—		§ 203. Österr. 1898. 22.—Zt. 1897. 23.
504	2	—		458—461. Munro 86 и 87.
505	5	—		Черт. 462—465. Bach. Maschinenelemente. 155—159.—Черт. 466. Haeder. 72 и 73.
514	—	11		Черт. 467. Haeder. 73.
515	5	—		Черт. 468. См. The Locomot. 1891. № 7.—Mitth. 1897. 402.
516	—	—		§ 205. Dpf. 1899. 1528.
517	15	—		Черт. 470 и 471. Колл. обр. 107.
"	—	4		Черт. 472—474. Стромейеръ. 293 и 294.
521	—	19		Dpf. 1889. 698.
523	—	19		См. опыты Dr. Wiebe и R. Schnirkus. Zt. f. Instrumentenkunde. 1896. 233.—Dpf. 1897. 202.
525	—	4		Демьяновъ. 298 и слѣд.

Стр.		Строка.	
	св.	сн.	
529	—	17	Österr. 1898. 31.
539	2	—	Черт. 478. Hirsch. 511.
540	1	—	Bull. de Mulhouse 1859/60. 297.
"	10	—	Черт. 479—481. Hirsch. Expér. sur les coups de feu. Bull. Soc. Encour. de l'Ind. nat. 1890. 302.
543	—	18	Демьяновъ. 347.
544	9	—	Mitth. 1891. 46.
549	7	—	См. Bay. 1899. 9. — Dpf. 1896. 456.
550	—	19	Dpf. 1896. 223.
"	5	—	Boyer-Guillon. Etude sur la solubilité du sulfate de chaux, Annales du Conservatoire des Arts et métiers. 1901. Paris.
"	25	—	Coüsté: Comptes rendus. 1852. № 5. — Dingler. Bd. 125. 258. — Fresenius: Dingler. Bd. 127. 281. Journal f. prakt. Chemie. 1853. № 2.
551	20	—	Черт. 482. Hirsch. Expériences. Bull. Soc. d. Encourag. 1890. 302.
552	—	8	The Locom. 1892. 109.
"	—	3	Bay. 1898. 39—42.
554	—	1	E. Wehrenpfennig. Über die Untersuchung und das Weichmachen des Kesselspeisewassers. Wiesbaden 1893. C. W. Kreidel.
"	—	20	Dpf. 1893. 969. См. также Dpf. 1891. 301. 325. 1894. 1123. — Mitth. 1897. 124.
555	—	23	Fritz Krauss. Epuraton des eaux d'alimentation de chaudières à vapeur. Paris. 1900.
"	—	—	§ 215. Dr. L. Elsner. Zusammenstellung der bisher angewendeten Mittel, die Entstehung des Kesselssteins zu verhüten. Berlin. Springer 1854.
556	—	8	Техн. Сб. 1893. 150.
"	—	15	Dpf. 1879. 629. 630. См. Mitth. 1898. 524.—Bay. 1898. 97.—1899. 71. 1903. 16. — Österr. 1904. 46.
557	11	—	Dpf. 1894. 61. — См. Dpf. 1888. 230.
"	25	—	Dpf. 1893. 867.
"	—	22	Rigasche Ind.-Ztg. 1891. 11.
558	—	—	п. 4. Dr. F. Fischer. Zt. 1877. 79.
"	—	—	п. 5 Горный журн. 1887. L 163.—Zt. 1877. 79 и слѣд.
559	—	9	Черт. 483 по прейскуруанту зав. Монтюпе.
"	—	4	Черт. 484. 485 по прейскуруанту зав. Жюйна.
"	—	—	п. 5 см. Busley. Zt. 1891. 1411. — 1892. 1521. — Dpf. 1890. 563. 624. — 1895. 913.
"	—	—	п. 6. E. Schmidt. Note sur un procédé de vidange à froid des générateurs Amiens 1897. T. Jeunet. Bay. 1899. 3.
561	11	—	Черт. 486 и 487 по прейскуруанту зав. Монтюпе.
"	—	1	Черт. 488. Hirsch. 937.
"	—	2	Опыты съ вкладками Поплера см. Zt. 1870. 300. См. Pohlhausen.
562	15	—	Никитинскій. 53. Zt. XIII. 423. Reiche. Wiener Ausstell. 55.
"	—	2	Техн. Сб. 1893. 150.
563	—	—	п. 9. Revue ind. 1899. 161. Dpf. 1899. 468.
564	2	—	Черт. 489. E. Scheidt. Über Apparate z. Reinigen d. Speisewassers. P. P. V. 1894. 85. 97. — Черт. 490. Пшевицъ. Мех. очистк. сист. Гочкиса. В. О. Т. 1899. 64.—Umland. Prakt. Maschkonstr. 893. № 12. 94.
565	16 2 и 20	—	Черт. 491—493. Scheidt. Über Apparate z. Rein. d. Speisew. P. P. V. 1894. 85—97. Mitth. 1886. 68.
"	14	—	Zt. 1895. 683.
567	6	—	Черт. 494—496. Scheidt. Über App. z. Rein. d. Speisew. P. P. V. 1894. 85—97.

<i>Стр.</i>		<i>Строка.</i>	
	св.	св.	
567	—	—	§ 216. см. Zt. 1890. 1116.—Mitth. 1896. 186.—1892. 10.—Wehrenpfennig. Über die Untersuchung etc.
568	—	11	Gyssling. Mitth. 1888. № 5.
569	—	6	Fritz Krausa. L'épuration etc.
571	—	23	Черт. 497 Magdeburger Flugbl. 1894. № 8. См. Verhandlungen. 1885. 126 и слѣд.
"		8	— Mitth. 1892. 9.
572	2	—	Черт. 498. Нижегородск. выст. В. О. Т. 1896. 219 и слѣд.
"	22	—	О хлористомъ магнии. Dpf. 1899. 630. Mitth. 1899. 25.
573	5	—	Черт. 499. Ренць. 234.
"	—	25	E. Schieh. Das Wasser und der Kesselstein. Münster in W.
574	—	5	Черт. 501 и 502. Scheidt. Über App. z. Bein. d. Speisen. P. P. V. 1894. 85—97. см. Nimax Zt. 1888. 359.
576	—	3	Черт. 503 и 504. Scheidt. Über Appar. z. Rein. d. Speisen. P. P. V. 1904. 85—97.
577	—	21	Черт. 505 и 506. P. P. V. 1904. 85—97. См. Zt. 1888. 115.
580	—	3	Черт. 507. По прејскуранту зав. Монтюпе.
582	1	—	Черт. 508 и 509. Scheidt. Über Appar. z. Rein. d. Speisen. P. P. V. 1894. 85—97.
"	—	3	Stammer. Dpf. i. d. Zuckerfabrik.
584	—	3	Черт. 511 и 512. Ренць. 229. 231.
"	—	6	Zt. 1890. 65.
"	—	17	Техн. Сборн. 1892. 104. Mitth. 1889. 7—9.
"	8	—	См. Zt. 1884. 868.—1890. 65.—Dpf. 1890. 546.—1896. 853.
585	—	10	Черт. 513 и 514 по прејскур. фирмы Филиппа.
586	1	—	Горн. Журн. 1886. 452.
"	4	—	Fischer. Chem. Technol. d. Wassers. 243.
"	—	2	Mitth. 1888. 58.
"	—	7	13. Bericht d. Württemb. D.-K.-Revis.-V.
"	—	15	Конпинъ. Вредное вліяніе накипи въ пар. котл. и способы ея уничтоженія. 1880 Изъ Горн Журнал. 1880, №№ 7 и 8.
587	1	—	Mitth. 1894. 468.
"	5	—	St. Petersburger Zeitung. 1895. Industrie-Beilage № 3.
"	—	16	Cario. Mitth. 1893. 113.—Dpf. 1890. 546.
589	8	—	Черт. 515. Ренць 252.
"	27	—	Черт. 516 по объявленіямъ фирмы Дидье-Лемера.
590	—	11	Черт. 517. Нижегород. выст. В. О. Т. 1896.
"	—	10	Черт. 518. Колл. обр. 110.
591	5	—	Черт. 519. Assoc. franç. 296. Черт. 520. Ренць. 118.
"	12	—	Черт. 521. Колл. обр. 111.
"	18	—	Черт. 522. Ренць 119.
592	4	—	О вліяніи фосфора. Magdeburger Flugbl. 1897, № 4.
593	—	17	J. Schwartz. Österr. Zt. 1895. 92.
595	1 и 6	7	Черт. 523. 526. Колл. обр. 8, 11 и 15.
596	2	—	Черт. 527. Колл. обр. 16.
"	—	3	Черт. 528. Assoc. franç. 158.
"	—	1	Rigasche Ind.-Ztg. 1892. 101.
597	—	25	M. Schmeltzer. Beschädigungen d. D.-K. im Betriebe. Rigasche Ind.-Ztg. 1892.
598	6	—	Черт. 529. Assoc. franç. 173.
"	—	10	Dpf. 188. 255 см Zt. 1890. 962.
599	5	—	Черт. 530. The Locom. 1894. 194.
"	—	13	Черт. 531—534. The Locom. 1894. 66—69.
600	—	3	Черт. 535—538. Schäden an D.-K. L 34—36.
601	9 и 21	—	Черт. 539. 540. Schäden an D.-K. 35. 36.

Стр.	Строка.		
	св.	сн.	
601	—	12	Черт. 541 и 542. Колл. обр. 106.
602	—	11	Черт. 543. A. Olry. Corrosions par pustules. Ann. des Mines. 9-e série, t. V. 1894.
"	—	24	Bay. 1903 176.—Mitth. 1903. 818. 840. 1039.—Dpf. 1897. 227. Österr. 1900. 71.
"	—	—	§ 221. P. Bonet. Corrosions intérieures des générateurs. Congrès international de surveillance. 1900.
603	1 и 6	—	Черт. 544—545. Pfeifer. Mitth. 1893. 166.
"	—	2	Schwartz. Dpf. 1893. 53. Wochenschr. d. Österr. Ing.-Ver. 1889. № 6.
"	—	25	Bull. de la Soc. Ind. de Mulhouse. 1871.—Memoirs of the literary and philosophical society of Manchester. 3. sér. 5 vol.
604	—	10	Черт. 546. Dr. Biel. P. P. V. 1894. 49.
"	—	18	Никитинскій. Отчетъ Императорскаго Моск. Техн. Учил. 1884/5.
606	—	17	Черт. 547—549. Schäden an Dampfkesseln. II. 22 a 23.
607	14	—	Черт. 550 и 551. Reiche. II 29—31.
608	7	—	Черт. 553 и 554. Reiche. II 27 и 28.
609	1	—	О хлорист. магния. Bour. Congrès des assoc. de Propr. d'Appar. à vapeur 1886.—Zt. 1989. 431.—1890. 901. О хлорист. кальция Dubiau. Congrès des assoc. 1892. См. Compère. Congrès des assoc. 1893.
610	25	—	Черт. 555. Scholl 36.
611	—	5	Cario. Dpf. 1891. 283.—1893. 107. Mitth. 1893. 91. См. также Я. Никитинскій. Отчетъ Импер. Моск. Техн. Учил. 1884 5.
"	23	—	Olry. Bull. de l'assoc. des. Propr. d'app. à var. du Nord. 1897. 47.
612	—	5	Черт. 556 и 557. Колл. обр. 48.
"	—	10	Zt. 1891. 201.
613	—	21	Dr. H. Claassen Die Einwirkung grösserer Zuckermengen in Dampfkesseln Mitth. 1902. 615 См. Mitth. 1898. 125.
"	2	—	Черт. 558 и 559. Pfeifer. Einwirkungen der Luft etc. Mitth. 1893. 166 и 167.
"	13	—	Mitth. 1896. 190.—Dpf. 1896. 100.
"	21	—	Bull. de la Soc. scientifique industrielle de Marseille. 1886. t. XIV.
"	24	—	Cario. Mitth. 1899. 74.—1898. 125.—Dpf. 1892. 1272.—1893. 53.
614	11	7	Черт. 560 и 561. Assoc. franç. 205. 291.
615	2	—	Черт. 562. Колл. обр. 59, см. Dpf. 1893 1067.
"	—	1	Черт. 563 и 564. Ренцъ 287.
616	11	—	Черт. 565 и 566. The Locom. 1896, I и 2.
"	—	—	§ 222 Rigasche Ind.-Ztg. 1892. 100.
617	3	—	Черт. 567. Колл. обр. 67.
"	14 и 19	—	Черт. 568. 569. Assoc. franç. 81. 85.
"	—	7	Черт. 570. Колл. обр. 68.
"	—	5	Черт. 571. Assoc. franç. 75.
"	—	—	п. 3. см. Zt. 1896. 1285.—Mitth. 1898. 201.
618	5 и 17	20	Черт. 572—274. Колл. обр. 70 и 71.
"	—	—	п. 4 Bay. 1898. 15.—1899. 3. 9.—Österr. 1899 1 и 2.
619	10	—	Черт. 575. Assoc. franç. 98.
"	15	—	Черт. 576. H. Bellmer. Mitth. 1884. 22.
"	18	—	Черт. 577. Assoc. franç. 95.
"	—	5	Черт. 578. Schäden an D.-K. II. 33.
620	2	—	Черт. 579—582. Cario. Über Flammrohrdefekte. Mitth. 1891. T. 1.
"	—	1 и 27	Черт. 583—584. Assoc. franç. 242 и 163.
621	16	—	Черт. 585. Assoc. franç. 42.
"	—	15	Черт. 586. Mittheilungen 1894, 10 и Magdeburger Flngbl. 1894, № 3.
622	4 и 14	—	Черт. 587—588. Колл. обр. 78 и 79.
"	—	18	Черт. 589. Ренцъ 90.
"	—	10	Черт. 590. Колл. обр. 94.

Стр. Строка.

	ст.	ст.	
623	—	12	C. Bach. Einbeulung cyl. Kesselwandungen. Zt. 1894. 1420. 1423.— C. Bach. Stark deformirtes Feuerrohr. Zt. 1896 315, см. также Zt 01. 300.
„	10	—	Черт. 593. Колл. обр. 81.
626	—	12	Черт. 594—598. Гершунъ. Случай деформациі топочн. трубъ. Р. P. V 1892. 140—143.
627	19	—	Черт. 599—602. Случай деформ. жаров. трубъ. В. О. Т. 1899. 441—442.
„	—	10	Черт. 603. Колл. обр. 79.
„	—	1	Черт. 604. Assoc. franç. 278.
628	5	—	Черт. 605. Assoc. franç. 274.
„	—	6	Черт. 606. Ренць 55.
629	—	3	Черт. 607. Колл. обр. 102.
630	2	—	Черт. 608. The Locom. 1891. 65.
„	8	—	Черт. 609—611. Schäden an D.-K. I. 36
631	—	18	Черт. 612. Ренць 247
632	—	21	Черт. 613—615, 617—619. Krauss. Die Cirkulation in Wasserrohr- kessel'n. Österr. Zt. 1898. 90 и f.
635	—	5	Черт. 616. Ch. Bellens. Sauvage 322.
610	—	1	Черт. 620 и 621. D. D.-K. a. d. Weltausstellung in Paris. P. P. V. 1900. Fig. 18 и 19.
641	1	—	Черт. 622, 623. Тамъ же F. 73. 74.—См. Bellens. Les chaudières à l'Expos. 79. 97.
643	19 и 21	—	Черт. 624—628. Тамъ же F. 56. 57. 94—96.
645	—	5	Черт. 629 и 630 Ренць 109.
„	—	1	Черт. 631 и 632. Собр. черт. для студ. Сер. IV.
647	5	—	Черт. 633. 634. Wilda. Neuerungen a. D.-K.-Armaturen Mitth. 1894. 49.
648	9	—	Черт. 635. The Locom. 1891. 39.
„	—	3	T. LIV. 582—585 по черт. зав. Штейнмюллера.
„	—	11	T. LIV. 586—594 по черт. Спб. Металлич. з
„	—	16	По Гутовскому диаметръ не меньше $2\frac{1}{2}$ \varnothing . и еще больше при большой длинѣ, чтобы не происходило загрязненія.
„	14	—	Cario. Dpf. 1891. 283.
649	17	—	Черт. 636. По преискуранту завода Пиклосса.
„	—	14	L. E. Fletcher. Red hot furnace crown experiments. Manchester 1889. Mitth. 1891. 160.
650	—	3	T. XXXII. 396. Pohlhansen.
651	—	19	Черт. 637. The Locom. 1891. 130. См. Dpf 1896. 228.
652	—	14 и 2	Черт. 638—639. The Locom. 1894. 146 и 147.—Случай деформациі благодаря закупориваюшю клапана см. Mitth. 1897. 199.
653	7	—	Черт. 640. Сборн. черт. для студ. Сер. IV.
„	—	8	Черт. 641—644. Изъ преискуранта зав. Лангензипена.
654	—	22	Черт. 645 и 646. По черт. Спб. Металлич. завода.
655	3	—	Черт. 647. Ренць 111.
656	16	—	Черт. 648. Hütte. 1877. T. I.
657	—	8	Черт. 650. В. Р., Зам. о парозап. впапанахъ. В. О. Т. 1899. 56—58.
„	13	—	T. L. 526 и 527. По черт. Спб. Металлич. зав.
658	—	20	Черт. 651. В. Р., Зам. о парозап. впапанахъ В. О. Т. 1899. 56—58.
„	—	18	Черт. 652—654. Изъ преискуранта зав. Лангензипена.
659	—	22	По преискуранту зав. Гопкинсона.
„	—	23	Изъ каталога завода Шарман.
„	—	24	L. C. 1—3. По черт Спб. Металлич. зав.
660	—	14	Черт. 657—659. The Locom. 1892. 113.
„	16	—	Mitth. 1899. 23.

Стр.	Строка.	св.	сн.	
661	—	—	—	§ 230. Самозап. клап. см. Wilda. Mitth. 01. № 48 и 04. № 1.— Г. Делпъ, Самозап. клап. З. Н. Р. Т. О. 1904. VIII.—Bayer. 1898. 43.
662	4	—	—	Catalogue de la maison Lethuillier-Pinel. Ronen. 1894. 143—147.
"	5 и 19	—	—	Тамъ же.—См. Zt. 1894. 1432.
"	—	5	—	Черт. 660—663. В. Р., Зам. о парозап. клан. В. О. Т. 1899. 56—58.
663	—	10	—	Черт. 664. Selbsttätiges Absperrv. Schumann. Zt. 1898. 1280.
"	—	1	—	Черт. 665—668. По прейскурунту завода Гюбнера и Майера. Черт. 669 и 670 съ натуры.
666	10	—	—	Черт. 671. По объявленію Л. Пиля.
667	1	—	—	Черт. 672. По объявленію Стинесса.
"	9	—	—	Черт. 673 и 674. Reischle. Dampftechnisches von der Pariser Aus- stellung. Bay. 1900. 95.
"	—	13	—	По черт. зав. Dehne.
668	—	15	—	Черт. 670—680. Eberle. Dampfdruckverminderungsventile. Bayr. 1899. 85—96.
670	—	9	—	Черт. 681. По черт. зав. Бельвиля.
673	4	—	—	Черт. 682.
674	2 и 8	6	—	Черт. 683—684. 686. } Изъ прейскурунта зав. Лангензиена
676	1	—	—	Черт. 687—691. По черт. зав. Лангензиена.
"	—	7	—	Черт. 692. The Locom. 1897. 70. - Mitth. 1896. 123.
677	17 и 10	—	—	Черт. 693—694 съ натуры.
679	6	—	—	Черт. 695. Тиме. Курсъ котловъ Т. 24.
—	—	9	—	Черт. 696 изъ прейскур. зав. Лангензиена.
680	10	—	—	Черт. 700 и 702. Ренцъ 139 и 140.—Черт. 701. Ломшаковъ 164.
"	—	6	—	Техникъ. 1885. № 65.
681	5	—	—	Черт. 703. Ренцъ 140.
"	10	—	—	Черт. 697. Ренцъ 139. Черт. 698 изъ каталога зав. Лангензиена.
"	—	6	—	Черт. 704. 705. Ренцъ 142. 144.—Черт. 706. The Locom. 1895. 83.
683	2 и 23	—	—	Черт. 707—708. Преискур. зав. Лангензиена.
"	—	24	—	Черт. 709. Ломшаковъ 164.
"	—	22	—	Черт. 710 изъ прейскур. зав. Лангензиена.
684	13	—	—	Hirsch 651.
685	—	13 и 15	—	Черт. 712, 713 и 718 изъ прейскур. зав. Лангензиена.
688	7	—	—	Л. А. 1, 2 по чертеж. зав. Лангензиена, слѣдующіе—по чертеж. Спб. Металлпч. зав. и по экземпляру, имѣющемуся въ музеѣ Т. II.
"	—	6	—	The Locom. 1892. 98.
689	22	—	—	Cario. Konstruktion u. Behandl. v. Sicherheitsventilen. Mitth. 1883.
"	—	5	—	Черт. 719—721 по объявленіямъ зав. Розенкрааца.
691	19 и 21	—	—	Черт. 722—723. Н. Pfeifer. Über Fehler an Sicherheitsventilen. Mitth. 1894. 25.
692	—	18	—	По даннѣмъ Спб. Металлич. зав.
"	16	—	—	60 kg по Mitth. 1893. 92 в 50 kg по Изамберу. Mitth. 1893. 112.
693	10	—	—	По чертеж. Вл. Н. Гутовскаго.
"	—	7	—	Изамберъ. Mitth. 1893. 112.
694	1	—	—	Черт. 726. Thrnston.—The Locom. 1893. № 7.
695	1	—	—	Черт. 727. Hirsch 682.
"	—	13	—	Черт. 728. Sauvage 489.
696	8	—	—	Черт. 729—733. Cario. Konstr. u. Behandlung v. Sicherheitsventilen. Mitth. 1883. Т. 2.
697	1	—	—	Черт. 734. Taborsky 138.
"	15	—	—	Черт. 735. Muuro 14.
"	—	14	—	Черт. 736 съ натуры, по экземпляру, имѣющемуся въ музеѣ Т. II.
"	—	6	—	Черт. 737—738. Демьяновъ 546—548.

Стр.	Строка.	
	св.	сн.
699	1	— Техн. Сбор. 1892. 310.
700	3	— П. Котурницкій. З. И. О. Т. О. 1892. Янв. 27.
"	—	12 Опыты Тремери. Annales des Mines. 1841, 3-e série t. XX. 343.
701	17	— Engg. 1874. Vol. 18. 445. 463. Report on Safety valves. — Опыты шотландской комиссiи.
"	—	22 Österr. 1880 v. Burg. Über die Wirksamkeit der Sicherheitsventile.
702	—	9 Napier. Engg. 14 June 1872.—Bankine. Eng. Nov. & Dec. 1869.
703	5	— Zeuner. Tech. Thermodynamik. 1890. II. Bd. 167.
"	—	7 П. Котурницкій. Къ вопросу о размѣрахъ предохранительн. клап. З. И. Р. Т. О. 1892, № 1. 27.
704	6	— Формула англ. торг. пат. The Locom. 1892. 98.
705	—	7 Черт. 739. Sauvage 490.
"	—	8 Couche. Matériel roulant & exploit. technique des chemins de fer T. III. 931. Pl. XX. 16.—Vicaire, notice sur une soupape de sureté de M. Th. Adams de Manchester. Ann. des Mines. 1881. T. XIX. 92.
706	—	5 Черт. 741. Sauvage. 491.
707	2	— Черт. 742. Österr. 1895, 112. Schwarz. Über neuere amerik. Sicherheitsventile.
—	—	2 Черт. 743 по прейскуранту Аштона.
708	16 и 20	— Черт. 744—745. Dalchow. Betrachtungen über Sicherheitsventile. Mitth. 1900. 257.
709	8	— Черт. 746—748. Cario. Hochhubsicherheitsventile. Mitth. 1900. 451.
710	—	22 По объявл. зав. Штрубе.
711	6	— Черт. 749. Scholl. 169.
712	—	— § 240. Пробные краны появились во время Сэвери. Österr. 1893. 1.
713	—	— п. 4. Совѣтуютъ примѣнять смазку, состоящую изъ 50 g каучука, 100 g воска и 200 g сала. Dpf. 1893. 85.
714	9	— Черт. 752—756 изъ прейскур. зав. Лангенципена.
"	—	11 Черт. 757. Ренцъ 132.
"	—	4 Черт. 758 изъ прейскур. зав. Лангенципена.
715	15	— Черт. 759 и 760. По черт. Путиловск. зав.
"	—	2 Черт. 761. Ренцъ 118.
716	17	— Engg. 15. Dec. 1891.
717	—	3 Черт. 762—764. Geiger. Über Wasserstandszeiger. Bayer. Zt. 1898. 64.
"	—	19 Dpf. 1893. 426.
718	—	14 Geiger. Über Wasserstandszeiger. Bayer. Zt. 1898. 74.
"	—	4 Dpf. 1893, 426.
719	—	26 Dpf. 1891, № 2.
720	7	— Mitth. 1903. 103. См. Техн. Сб. 1903. 93.
723	1	— Черт. 769. 770. 773. Изъ прейскуранта зав. Лангенципена.
"	—	— Черт. 771. Ренцъ 121.
"	—	— Черт. 782. По прейскур. зав. Ю. Бланке.
724	1	— О поломкѣ трубокъ. Österr. 1894. 159.—О приспособ. для защиты рабочихъ. Zt. 1893. 661. Österr. 1893. 87 сл. 131.
"	26	— Черт. 775 и 776. По прейскурант. зав. Розенкранца.
725	1	— Черт. 777 по прейскур. зав. Гошквисона.
726	16	— Черт. 778 и 779 по объявленiямъ зав. Рейзерта.
"	—	18 Черт. 780—783 изъ прейскур. зав. Шумана.
728	1	— Черт. 784 в 785 по прейскур. зав. Нахтигала. Dpf. 1890. 202.
"	—	17 Черт. 786 и 787 по черт. фирмы Рёвера.
729	—	11 Подробности см. Mitth. 1897. 406.
730	10	— Черт. 788 не прейскур. зав. Рейзерта.
"	—	7 Черт. 790 по объявлен. зав. Шварццофа.—Черт. 789. Сопрега.

<i>Стр.</i>		<i>Строка</i>		
св.	св.			
				Des moyens de pager aux conséquences des rupt. des tubes de niveau d'eau T. 1.
731	7	—	Л. Е. 1—4.	Черт. 791 по объявл. зав. Бонца.
732	16	—	Черт. 792 и 793	по объявлен. зав. Шварцкофа. Ренць 125 и 126.
733	7	—	Черт. 794	по объявл. зав. Клингера.
"	—	—	§ 242.	Конструкция поплавковъ см. The Locom. 1891. 145.
734	3	—	Черт. 795.	Scholl 150.
735	21	—	Черт. 799.	801 по прейскур. зав. Летюлье.
736	—	2	Черт. 802	по объявленіямъ фирмы Шодрэ.
737	17	—	Черт. 803 и 804	съ натуры.
739	1	—	Черт. 805.	Т. LIII. 566 и 567. Pohlhausen. Bl. 36. 53.
"	—	9	Черт. 806.	Ренць 146.
740	—	6	Черт. 807	по чертежу Варш. ж. д.
741	—	13	Черт. 808 и 809	изъ прейскур. зав. Лапгеизипена.
744	22	—	Черт. 812	изъ объявл. зав. Шварцкофа.
745	12	—	Черт. 813 и 814	по прейскур. зав. Розенкранца.
746	—	4	Черт. 815.	Ренць 171.
747	—	26	Черт. 816.	Taborsky 153.
748	—	25	Т. 527	Pohlhausen. Bl. 36.
749	15	—	Т. XXIII.	328 и 329 Pohlhausen. Bl. 36.
"	—	3	Т. XXXIV.	407 и 408. Pohlhausen. Bl. 36.
750	2	—	Черт. 817	по прейскур. зав. Шульцъ-Кнаудта.
751	3	—	Черт. 818.	Munro 53.
"	13	—	Т. XXV.	342. По объявленіямъ зав. Макъ-Нейя.
752	—	21	Т. XXXII.	394, 395. Pohlhausen Bl. 36.
753	4	—	См. Mitth.	1904. 332.
"	11	—	Черт. 822.	Taborsky 150.—Черт. 823—827. The Locom. 1894. 114. 115.
754	—	2	Dampfleitungen für hohe Drücke.	Zt. 1900. 1481. см. также Zt. 1896. 1279.
756	15	—	См. Protocoll der 31. Delegiertenversammlung.	1902. 63.
—	19	—	Zt. 1892.	(57.—P. P. V. 1896. 68.
762	13	—	Черт. 829.	По объявленіямъ фирмы Феррумъ
—	—	15	Черт. 830.	Vaug. 1900. 95. Reischle, Dampftechnisches von der Pariser Ausstellung.
—	—	13	Черт. 831.	По прейскуранту зав. Зейферта.
763	1	—	Черт. 832.	Съ натуры.
—	9	—	Черт. 833.	По чертежамъ зав. Мёвье.
764	12	12	} Пзъ Гедера.	
765	3 и 11	—		
"	—	21	Черт. 834.	По прейскуранту зав. Зейферта.
766	1	—	Черт. 835.	836. По объявленіямъ зав. Dehne.
"	—	21	Черт. 837.	По прейскуранту зав. Зейферта.
767	6	—	Черт. 838.	Scherbeck. Rohrleitungen f. überh. D. Mitth. 1902. 201.
"	—	25	Прейскурантъ Зейферта.—§ 246.	Mitth. 1896. 6.334—Dpf. 1896. 481.
768	22	—	Pasquay.	Wärmeschutz.
770	—	10	Черт. 839.	Stach. Entwicklung d. Dampfüberhitzung. 100.
771	—	26	Черт. 840.	По объявленіямъ товар. „des lièges agglomérés“.
772	7	—	Черт. 841.	Котлы на парижской выст. В. О. Т. 1900.
"	21	—	Черт. 842 и 843.	По объявлен. заводовъ Земпеля и Вернебурга
"	—	8	Черт. 844.	Pohlhausen. Bl. 50.
773	3	—	Черт. 845.	846. По прейскур. завода Гольдена.
774	—	1	Черт. 847.	По прейскур. Зейферта.
775	9	—	Черт. 848.	849. Eade. Les installations méca. 45—46.
—	—	14	Черт. 850—852.	По черт. В. Хлбшинова.
780	11	—	И. Холмогоровъ.	В. О. Т. 1903.

Стр.	Строка		
	св.	сн.	
780	—	5	Черт. 853. 854. По прейскур. зав. Гольдена.
781	7	—	Черт. 855. 856. Нижегород. выст. В. О. Т. 1896. 219 и сл.
"	—	1	T. LV. 595. 596. Pohlhausen, Bl. 53.
"	—	6	Mitth. 1902. 392; 1904, 65.
"	—	8	Mitth. 1890. 131. См. также Mitth. 1891. 100.
"	—	18	T. LV. 597—599. Pohlhausen. Bl. 53.
"	—	19	Прейскурантъ Зейферта.
783	13	—	Черт. 858. По черт. завода Атласъ.
"	—	7	Черт. 859—861. Парижская выст. В. О. Т. 1900.
"	—	8	Mitth. 1891. 101.
785	—	23	Черт. 862.) Bellens. Les chaudières à l'Expos. 85.
"	—	22	Черт. 863.)
"	—	—	Черт. 864. Compiègne. Essais de vaporisation. Compte rendu du XXI Congrès. 1898.
786	12	—	Черт. 865—874. По черт. завода Атласъ.
790	—	3	T. LVI. 602—605. По черт. завода бр. Бромлей.
"	1	—	См. Zt. 1897. 161.
791	—	4	Случай разрыва болта въ конструкціи по типу А, лишавшій жизни 2 рабочихъ, см. Österr. Zt. 1902. 121.
"	16	—	Черт. 875. 876. Парижская выст. В. О. Т. 1900.
796	—	5	Krauss. Österr. 1903. 5.
797	2	—	Черт. 877—879. 882—886. Schwörers Ueberhitzer. Österr. Zt. 1893. 101—103.—Черт. 880. 881. Schenkel. Der Schwörer-Ueberhitzer. Österr. Zt. 1897. 7.—Черт. 886. Bericht. d. Elsäss. Ver. Mitth. 1893. 200.
799	11	—	Черт. 887—889. Die Ueberhitzung d. Dampfes u. d. Uehlerische Ueberh. Öst. Zt. 1892. 133.
"	—	13	Черт. 890—892. По черт. зав. Атласъ.
800	—	15	Черт. 893—896. Радцигъ. Механ. лабор. Дрезденскаго Полит. В. О. Т. 1898. 234.
801	—	1	Черт. 897—900. Schenkel. Die Hering'schen Dampfueberhitzer. Österr. Zt. 1896. 123.
802	—	5	Черт. 901—902. Познеръ. Парижская выст. В. О. Т. 1901.
803	1	1	Черт. 903. 904. Schenkel. Die Hering'schen Dampfueberh. Österr. Zt. 1896. 123.
805	10	—	Черт. 905—908. Reischle. Die Verwendung ueberh. D. z. Maschinenbetriebe. Bauz. Zt. 1897. 73.
806	—	7	Черт. 909—910. Парижск. Выст. В. О. Т. 1900.
807	4	—	Черт. 911. 912. Познеръ. Парижская выст. В. О. Т. 1901.—Compiègne. Les chaud. et machines à l'Expos. Mém. de la Soc. des Ing. civils de France. Pl. 3.
808	1	—	Черт. 913. Bellens. Les chaudières à l'Expos. 81.
809	22	—	Черт. 914. Compiègne. Les chaud. et mach. à l'Expos. Mem. de la Soc. des Ing. civ. Pl. 3.
"	—	15	Черт. 915. 916. Изъ объявленія изобрѣтателя.
811	11	—	Черт. 917. 918. Съ природы.
812	—	5	Черт. 919. 520 по прейскуранту зав. Зейферта.
813	—	—	§ 250 Dpf. 1896. 854. Mitth. 1896. 263 и Bayer. Zt. 1899. 26.
815	3	—	Черт. 921. Ренцъ, 100.
817	1	—	Черт. 922—933. Изъ прейскуранта зав. Оддессе.
819	3	—	Насосы Оддессе. В. О. Т. 1904.
820	—	1	Черт. 934. 935. По чертеж. зав. Вельвиля.
821	—	4	Черт. 936. Тиме. Курсъ котловъ Т. Ю.
"	—	6	См. Dpf. 1899. 1468.
823	—	14	Черт. 937. Нижегородск. выст. В. О. Т. 1896. 219.

Стр.	Строка		
	св.	сп.	
824	4	—	Черт. 938—940. По черт. завода Бельвиля.
"	—	5	Черт. 941. 942. Ренцъ. 105.
825	8	—	Черт. 943. Ренцъ 96.
826	2	—	Черт. 944. 945. } Жилинъ. Паростр. приб. В. О. Т. 1901. 22 и слѣд.
827	13	—	Черт. 946. }
828	15	—	Черт. 947. Hirsch. Pl. 17.
"	—	23	Черт. 948. 949. Жилинъ. Пароструйн. приб. В. О. Т. 1901. 22 и слѣд.
"	—	—	Черт. 950. Ренцъ. 98.
831	23	—	Черт. 951. Жилинъ. Пароструйн. приб. В. О. Т. 1901. 22 в слѣд.
"	—	16	Черт. 952—955. Съ натуры.
835	—	20	Черт. 956. А. Кондратьевъ. Курсъ паровыхъ котловъ.
839	—	—	§ 254 см. Ренцъ. Варывы паров котловъ СП. 1894. Гутовскій-Руководство для изслѣдованія безопасн. пар. котловъ. Вейв. бергъ. Паров. котлы; причины взрывовъ. Москва 1888. Thurston. Steam boiler explosions. New-York. 1888.
"	—	10 и 9	Mitth. 1883. 64.—1884. 167.
"	—	7	Österr. 1898. 94.
"	14	—	О расходъ пара см. American Machinist. 1893. N-York. 13 Apr. и Dingler, Bd. 185. Heft 6, по кот. въ инжекторахъ 1 <i>kg</i> пара доставляетъ 14 <i>kg</i> , а въ насосахъ—98 <i>kg</i> воды.
840	—	10	Österr. Zt. 1896. 63—Zt. 1894. 1409.
841	—	4	Черт. 957. 958. Ренцъ. 202. 203.
842	1	—	Сравненіе съ силою пороха. Biga'sche Ind. Ztg. 1895. 381.
"	—	6	Опыты Guthrie. Österr. 1898. 165.
843	—	7	Fletcher. Report of the Manchester Steam Users Association. 1869.
"	7	—	О теоріи Дюфура см. Dr. Kohu. Zt. 1870. 218.
"	—	—	п. 1. Подобный случай см. Dpf. 1897. 2.
845	—	—	Bericht des D.-K.-R.-V. Berlin. 190 ¹ / ₂ .
"	1	—	Правила д. руководства при пожарахъ Dpf. 1896. 487.
"	2	—	Mitth. 1896. 190.
"	9	—	Österr. 1898. 165.
"	13	—	Діам. 760 <i>mm</i> , длина 2,06 <i>m</i> . Тамъ же.
848	4	—	Mitth. 1896. 190
"	—	15	См. также Mitth. 1896. 164.
852	—	13	См. Mitth. 1896. 288. Съ 1877 по 1887 г. въ Германіи взрывы котловъ принадл. Общ. 3,8 ⁰ / ₁₀ всѣхъ взрывовъ, а число котловъ—10 ⁰ / ₁₀ числа всѣхъ котловъ. Число взрывовъ на 10,000 котловъ уменьшилось отъ 3,9 (187 ⁵ / ₉) до 2,8 (189 ⁰ / ₃).
"	3	—	Mitth. 1896. 288.
855	7	—	Черт. 960. Sauvage. 381.—Черт. 961. Ломшаковъ. Испытаніе котловъ. 176 сл.—Черт. 962—965. Очервъ дѣит. II отд. Э. И. Р. Т. О. 1897. V. 30—32.
"	—	—	§ 257 см. Техн. Сб. 1894. № 12.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	<i>Стр.</i>
I. О проектировании передела котловъ	1
II. Подробный расчетъ дымовой трубы	23
III. Литературныя замѣтки и дополненія къ курсу	57