С. К. Конюхов, проф. СТИ.

Аппараты для подогревания воды и их расчет.

Пользование подогретой водой находит в жизни большое применение. Подогретая вода нужна нам для отопления; ею пользуемся мы в банях, ваннах, в прачешных, в кухне и вообще в домашнем обиходе. В больших размерах такая вода нужна в железнодорожных депо для промывания котлов.

Еще большее применение находит такая вода в текстильной промышленности. Так например, для получения волокна из льняной тресты, последнюю вымачивают в течение 3—4 суток в мочилах, при температуре 22°—32° С.

Наконец, в широких размерах пользуются подогретой водой в химической промышленности.

Так, выщелачивание сырого содового плава для получения раствора соды большой концентрации производится подогретой до 40°С водой, что дает возможность получить раствор в 24°—25° В.

Выщелачивание свекловичной резки в диффузорах производится успешно горячей водой при температуре не выше 85°С. При этом происходит с большой или меньшей скоростью (в зависимости от природы свеклы, характера резки и других условий) непрерывная экстракция сахара из клеток свекловичной ткани.

Подобных примеров можно привести очень много. Это объясняется тем, что огромное число процессов химических и физических протекает более интенсивно с ростом температуры. В химических процессах считается за правило, что скорость реакции увеличивается примерно в 2 раза при повышении температуры на 10°С. Иногда эту скорость выражают формулой: $U=\sqrt{T}$, где T абсолютная температура.

Принципы, на которых строятся подогревательные аппараты, и конструкция этих аппаратов не сложны. Вполне естественно было бы ожидать, что и расчет таких аппаратов не должен быть замысловатым. Механические основания для такого подсчета будут сводиться с одной стороны, к определению толщины стенок аппарата в зависимости от давления, а с другой, нужно принять во внимание возможность получения плотной и прочной клепки. Котельное железо берется в этом случае не меньше 8 мм.

Более важной стороной расчета подогревательных аппаратов является определение надлежащей поверхности нагрева, ибо правильный подсчет этой поверхности гарантирует целесообразную работу установки.

Все подогревательные аппараты для воды делятся прежде всего на два класса: 1) периодически действующие и 2) непрерывно действующие.

В аппаратах периодически действующих руководящую роль при подсчете поверхности нагрева играет количество нагреваемой жидкости. Профессор Депп называет эти аппараты «котельными приборами».

В аппаратах непрерывного действия всегда предполагается, что количество подводимой для нагрева жидкости равно количеству отводимой жидкости. Измерение этих количеств относится к единице времени.

Далее нагревательные аппараты делятся на аппараты с одним и с двумя токами. Последние в свою очередь можно подразделить на аппараты прямоточные и аппараты с противотоком и вихревые.

Пусть нагревающим веществом у нас будет пар.

Исходным уравнением для определения поверхности нагрева является следующее: $W = Q\ (t'_1 - t'_2)$.
где W представляет количество теплоты, передаваемое воде, Q — вес воды, t'_1— —конечная, t'_2—начальная температура воды.

По Ритчелю поверхность нагрева вычисляется так:

$$F = \frac{W}{\vartheta_{m}.k}$$

Здесь ϑ — представляет среднюю разницу температур. Гаусбранд называет средней температурой теплообмена произведение $\vartheta_e \, \vartheta_a$, где ϑ_a — представляет максимальную разницу в температурах на одном конце поверхности нагрева (ϑ_e — минимальная разница в температурах на другом конце поверхности нагрева).

Что касается множителя K, то его пока назовем коэффициентом пропорциональности.

Если бы знать значение ϑ_e и K, то определение поверхности нагрева не представляло бы никаких затруднений.

Назовем температуру пара при входе в аппарат через t_1, а ту же температуру пара при выходе из аппарата через t_2.

Тогда средняя разница температур может быть вычислена по такой приблизительной формуле:

$$\vartheta_m = \frac{(t_1 + t_2)}{2} - \frac{(t'_1 + t'_2)}{2}$$

Однако, целесообразнее воспользоваться в этом случае более точной формулой, даваемой Грасгофом:

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_a - \vartheta_e}{L\, g_n \frac{\vartheta_a}{\vartheta_e}}$$

Разница в результатах вычисления ϑ_m по этим формулам может выразиться 15%.

Поэтому, когда дело идет о больших установках, то лучше сразу же применять логарифмическую формулу.

Следующая таблица, составленная Гаусбрандом, дает значительное облегчение при вычислении ϑ_m по логарифмической формуле:

Если	$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}$	=0.0025	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
то	$\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a}$	=0.166	0.188	0.215	0.251	0.277	0.298	0.317	0.335	0.352	0.368	0.378
Если	$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}$	=0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	—
то	$\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a}$	=0.391	0.405	0.418	0.430	0.440	0.451	0.461	0.466	0.478	0.489	—
Если	$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}$	=0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	—
то	$\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a}$	=0.500	0.509	0.518	0.526	0.535	0.544	0.583	0.624	0.658	0.693	—
Если	$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}$	=0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
то	$\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a}$	=0.724	0.756	0.786	0.815	0.843	0.872	0.897	0.921	0.953	0.982	1.00

Дальше видно будет, как пользоваться этой таблицей.

Выясним теперь значение и смысл коэффициента пропорциональности K. Его более правильно назвать коэффициентом теплопередачи.

Если обратиться к литературным данным по этому вопросу, то мы сразу натолкнемся на ряд совершенно несогласных величин.

По Hütte $k = 300-600$ при передаче теплоты от пара к некипящей воде.

Для токого же точно условия другие авторы (Рекнагель, Фишер, Ритчель) дают $K = 800-1000$.

Клингер берет $K = 500$, а у Пекле приведены данные по Тома и Лерану, которые полагают $K = 1720$.

Таким образом, разница для крайних пределов выражается почти что в 500%.

Если бы за этими числами не стояли имена крупных авторитетов, то можно было бы с легким сердцем приписать несогласие грубости измерений. И все-таки остался бы не решенным вопрос: кому верить?

Лучшим выходом из затруднения тут, конечно, явился бы опыт, столь излюбленное и столь восхваляемое средство для получения правильного ответа на запрос жизни.

Но можно пойти и другим путем.

Пусть черт. 1 представляет часть кривой поверхности нагрева в разрезе. Эта поверхность или стенка изготовлена из совершенно однородного материала, ограничена параллельными боками и около нее совершенно нет движения воздуха.

Обозначим через F поверхность, отдающую теплоту со стороны СД,
F_1 — поверхность, принимающая теплоту стороной АВ,
t_0 и t — температуры воздуха около СД и АВ,
τ_0 и τ_1 — температуры на поверхностях СД и АВ,
наконец, α_1 и α_2 коэффициенты отдачи и получения теплоты. Эти коэффициенты означают количество теплоты, которые отдаются и воспринимаются в час одним квадратным метром при разности температур нагретых поверхностей и воздуха в один градус.

В идеальном случае все количество теплоты W, отдаваемое поверхности F, будет восприниматься поверхностью F_1.

Таким образом, можно написать

$$W = F.\alpha_1\ (\tau_0 - t_0) \text{ и } W = F_1.\alpha_2\ (t - \tau).$$

Отсюда найдем:

$$\tau_0 = t_0 + \frac{W}{F\alpha_1} \text{ и } \tau_1 = t - \frac{W}{F_1\,\alpha_2}.$$

Выделим в стенке слой толщиной dx в расстоянии x от СД по нормали к поверхности СД (а значит и к АВ). Слой этот будет представлять идеально тонкую стенку, расположенную концентрично бокам СД и АВ и ограниченную боками с поверхностями f (разница между этими поверхностями будет выражаться величиной второго порядка).

Через слой с поверхностью f будет проходить в течение одного часа такое же количество теплоты, которое отдается и воспринимается поверхностями F и F_2.

Назовем через δ толщину стенки в mtr, через ϑx температуру в вырезанном слое и через λ — коэффициент теплопроводности материала стенки, иначе говоря, количество теплоты, которое передается в час через слой толщиной в один метр, площадью в один кв. метр при разности температур в один градус.

При установившемся тепловом токе будет:

$$W = \lambda.x\frac{d\,\vartheta x}{d\,x} \text{ или } d\,\vartheta\,x = \frac{W.d\,x}{f.\lambda}.$$

Не трудно видеть, что для $x=o$, $\vartheta_x=\tau_0$; для $x=\delta$ величина $\vartheta_x=\tau_2$. Следовательно,

$$\tau_2-\tau_0=\frac{W}{\lambda}\int_0^\delta \frac{dx}{f}.$$

Подставим в это уравнение значение τ_0 и τ_2. Тогда получим

$$t_1-\frac{W}{F_1\alpha_2}-t_0-\frac{W}{F\alpha_1}=\frac{W}{\lambda}\int_0^\delta \frac{dx}{f}.$$

Отсюда находится величина W

$$W=\frac{t_1-t_0}{\frac{1}{F_2\alpha_2}+\frac{1}{F\alpha_1}+\frac{1}{\lambda}\int_0^\delta \frac{dx}{f}}$$

Если стенка, через которую передается теплота, плоская, то $F_1=F_2=f$. В таком случае выражение для W получает вид

$$W=\frac{(t_1-t_0)F}{\frac{1}{\alpha_1}+\frac{1}{\alpha_2}+\frac{\delta}{\lambda}}=kF(t_1-t_0)$$

где K определяется из уравнения:

$$\frac{1}{K}=\frac{1}{\alpha_1}+\frac{1}{\alpha_2}+\frac{\delta}{\lambda}\quad\ldots\ldots\ldots\ldots\quad(a)$$

Вот эта зависимость между K и другими величинами, входящими во вторую часть уравнения, и должна служить основой для подсчета поверхности нагрева подогревательных приборов.

По новейшим данным для конденсирующегося водяного пара $\alpha_1=10000$.

Величина α_2 означает коэффициент передачи теплоты к нагреваемой воде. Согласно Джоулю его можно определить из уравнения

$$\alpha_2=300+1800\sqrt{V_f}$$

здесь V_f означает скорость нагреваемой воды.

Если принять во внимание, что в уравнении (a) фигурируют помимо α_1 и α_2 еще δ—толщина стенки нагреваемого тела, что тут налицо λ, означающий проводимость материала, и α_2 зависит от скорости нагреваемой воды, то ясным станет большая полнота факторов для определения величины K.

Иногда в руководствах встречаются формулы более упрощенного вида для определения K.

Так, тот же Джоуль дает уравнение:

$$K=1700\sqrt[3]{V_f}\quad(б).$$

Молле, на основании опытов Сэра, приводит такую формулу:

$$K=3300\sqrt[3]{V_f}\quad(в).$$

В обоих этих формулах V_f означает скорость нагреваемой воды, но, как видно, опыты Сэра дают величину К почти что в два раза большую.

Расхождение результатов объясняется тем, что Джоуль оперировал при своих опытах с вертикальными трубками малого диаметра, а Сэр экспериментировал с горизонтальными трубками, при которых нагреваемые частицы воды могут быстрее удаляться со стенок поверхности нагрева и давать доступ для новых частиц воды. Что касается вертикальных трубок, то при наличии их каждая частица жидкости должна подниматься по нагреваемой поверхности и более задерживаться на ней.

Это объяснение находит себе оправдание в опытах Николя, который установил, что нагревание жидкости происходит при горизонтальных трубках примерно в полтора раза интенсивнее, чем при вертикальных.

Это замечание относится только к котельным приборам и открытым сосудам. У аппаратов же с двумя токами (параллельными или противотоками) направление движения принужденное и в значительной мере обусловливается выбором скоростей токов.

Кроме упрощенных формул Джоуля и Молье имеется еще более сложная формула, предложенная Гаусбрандом.

$$K = 750 \sqrt{V_d} \sqrt[3]{0{,}007 + V_f} \cdot 0{,}66 \quad (г)$$

В этой формуле V_d — означает скорость пара, а V_f — скорость воды. Числовой множитель 0,66 берется из чисто практических соображений, чтобы увеличить в конечном итоге поверхность нагрева и тем учесть непринятые во внимание при расчете обстоятельства, как например, образование накипи на стенках, значительно уменьшающей степень передачи теплоты от нагретой стенки к воде. Что касается коэффициента 750, то он представляет значение К, отнесенное к одному квадратному метру при разнице температур в 1 °C.

Природа материала, из которого готовится поверхность нагрева, учитывается так: в формуле Гаусбранда предполагается, что материалом служит медь. Для латуни нужно ввести еще множитель 0,95, для железа 0,75, для свинца 0,50.

Следующая таблица, взятая у Вольфрума (Chem. Praktikum), дает значения коэффициента К для медных трубок по формуле Гаусбранда.

V_f в mtr	V_d в mtr.					
	1	2	4	6	9	12
	Коэффициент К.					
0.001	150	210	300	375	450	525
0.008	187	262	375	448	562	655
0.020	225	315	450	563	675	788
0.035	262	367	524	655	786	917
0.056	300	425	600	750	900	1050
0.085	337	475	674	842	1011	1179
0.117	375	528	750	937	1125	1312
0.160	412	580	824	1030	1236	1412
0.210	450	634	900	1110	1350	1575
0.266	487	685	975	1230	1461	1704
0.500	600	846	1200	1500	1800	2100
1.000	750	1057	1550	1925	2350	2625

Тот же Вольфрум дает зависимость между длиною трубок и диаметром их в свету в такой форме:

$$\frac{l}{d} = 1{,}2 \frac{c.\gamma}{\vartheta_m} \cdot \frac{\sqrt{V_d}}{\sqrt[3]{0{,}07 + V_f}}$$

Здесь l — длина трубок, d — внутренний диаметр, c — теплота парообразования для 1 кг. пара, γ — вес одного кубического метра пара, ϑ_m — средняя разница температур, V_d — скорость пара входная, V_f — скорость нагреваемой воды.

Разберем теперь, как пользоваться всеми вышеприведенными соображениями для подсчета поверхности нагрева и других величин и какой получается при этом результат.

Пример I. Нагревательный аппарат работает по принципу противотоков и имеет поверхность нагрева 58 кв. метров. При непрерывной и планомерной работе он доставляет в час 880.000 W. E. (тепловых единиц). Пар имеет упругость 0,1 атмосферы. Вода нагревается с 55° C до 89° C. Поверхностью нагрева служат латунные трубки.

Так как этот пример взят из практики, то поверим приложимость теоретических выводов к подсчету.

Определим прежде всего ϑ_m по приближенной формуле.

Температура пара при упругости 0,1 атмосферы или все равно при 1,1 абсолютной атмосфере будет 374,8 — 273 = 101,8 (см. Hütte. Справочная книга, т. I изд. 9-е 1916 г.). Без большой погрешности можно положить, что пар сохраняет эту температуру и по выходе из трубок. А в таком случае:

$$\vartheta_m = \frac{(t_1 + t_2)}{2} - \frac{(t'_1 + t'_2)}{2} = 101{,}8 - 72 = 29{,}8.$$

Здесь принято:

$$t_1 = t_2 = 101{,}8^\circ;\ t'_1 = 89^\circ \text{ и } t'_2 = 55^\circ.$$

Найдем эту же величину ϑ_m по логарифмической формуле:

$$\vartheta_e = 101{,}8 - 89 = 12{,}8;\ \vartheta_a = 101{,}8 - 55 = 46{,}8.$$

Отношение:

$$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = \frac{12{,}8}{46{,}8} = 0{,}274.$$

Теперь будем пользоваться таблицей Гаусбранда, в которой ищем число $\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}$, близко подходящее к 0,274. Ближайшим меньшим числом будет 0,250, а следующим большим будет 0,300. Разница между этими числами будет 0,300 — 0,250 = 0,050, а разница между 0,274 и 0,250, будет 0,024.

Величина $\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a}$, соответствующая $\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = 0{,}250$, будет 0,544, а для $\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = 0{,}300$ величина $\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a} = 0{,}583$. Таким образом, разность между этими величинами $\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a}$ будет 0,583 — 0,544 = 0,039. Теперь не трудно найти путем интерполирования поправку:

$$x : 0{,}039 = 24 : 50;\ \ x = 0{,}018$$

Следовательно, истинное значение $\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a}$ будет:

$$\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a} = 0{,}544 + 0{,}018 = 0{,}562.$$

Отсюда $\vartheta_m = 0{,}562\ \vartheta_a = 0{,}562 \times 46{,}8 = 26{,}3016$ или $26{,}3$.

Займемся теперь определением величины K.

Так как у нас известна величина $W = 880.000$ тепловых единиц, известна площадь нагрева и, кроме того, мы определили в начале ϑ_m, то у нас на лицо все данные для определения фактического коэффициента теплопередачи.

$$W = F\,\vartheta_m\,K\,;\ K = \frac{W}{F\,\vartheta_m}$$

Подставляя числовые величины, получим:

$$K = \frac{880.000}{58.26{,}3} = 577$$

$$K = \frac{880.000}{58.29{,}8} = 509$$

Посмотрим, что дают нам формулы.

Формулу (а) напишем в таком виде:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_1}{2}}$$

Здесь $\delta_1 = 0{,}0005$ мтр. Это толщина отложения осадков.

$$\alpha_1 = 10.000.$$

По таблице Вольфрума путем интерполирования найдем, что $V_f = +\,0{,}052$

Применяя формулу Джоуля, получим:

$$\alpha_2 = 300 + 1800\sqrt{0{,}052} = 300 + 400 = 710.$$

Толщина стенки латунных трубок взята 0,001 метра.

Теплопроводность латуни (см. Hütte часть I стр. 412) $\lambda = 72$—108, т. е. в среднем 90.

Следовательно,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{10000} + \frac{1}{710} + \frac{0{,}001}{90} + \frac{0{,}0005}{2}} = 576.$$

По формуле (б)

$$K = 1700\,\sqrt[3]{0{,}052} = 634{,}5.$$

По формуле (с)

$$K = 3300\,\sqrt[3]{0{,}052} = 1231{,}7.$$

Наконец, по формуле Гаусбранда нужно предварительно знать скорость пара V_d. Теоретически эту скорость можно определить по уравнению:

$$\Delta_d = V_d\ \gamma_d\,\frac{\Pi\,d^2}{4}\cdot 3600,$$

где D в килограммах вес протекающего пара, γ_d — вес в килограммах одного кубического метра, d — диаметр трубы.

Вольфрум дает такую сводную таблицу для скорости пара V_d в трубках разного диаметра:

Диаметр трубки для пара в свету мм. (d)	Скорость пара в mtr/sec (V_d)
25	8.5
30	9
35	9.5
40	10,5
45	11
50	11.5
60	13
80	14,5
100	15.

Длина трубы = 20 метров, а давление пара 1—6 атмосфер.

Вторая таблица дает вес пара, проходящего через такие трубки (в килогр.) при разных давлениях.

α_d	V_d	D					
		6	5	4	3	2	1 атмосф.
25	8,5	50	42	34	26	18	—
30	9	75	63	51	39	27	—
35	9,5	107	90	73	55	38	—
40	10,5	155	130	106	81	55	—
45	11	205	173	140	107	73	38
50	11,5	265	223	181	138	95	49
60	13	431	363	291	224	153	80
80	14,5	855	720	684	446	345	159
100	15,5	1429	1201	977	746	509	275

Так как диаметр трубок берется 25 мм., то $V_d = 8{,}5$ метра.

Подставляя это значение в формулу Гаусбранда, получим:

$$K = 750 \sqrt{8{,}50} \cdot \sqrt[3]{0{,}007 + 0{,}052} \cdot 0{,}66 \cdot 0{,}95 = 534.$$

Подсчитаем теперь площади нагрева по формуле, принимая $\vartheta_m = 29{,}8$ и $\vartheta_m = 26{,}3$; величину же K берем по формулам (а), (б), (в) и (г).

Тогда получим:

$$F = \frac{W}{K \cdot \vartheta_m}$$

(а)	(б)	(в)	(г)	
51,27	47	24,2	55,3	$\vartheta_m = 29{,}8$
59	52,8	27,2	62,5	$\vartheta_m = 26{,}3$

Из этого видно, насколько близко подходят результаты вычислений по разным источникам к действительности.

Как видно, пользование логарифмической формулой для определения ϑ_m и определение K по формулам (а) и (г) дает конечные выводы очень хорошие, а потому этими формулами и нужно пользоваться при расчете поверхности нагрева подогревателей.

Пример II. Аппарат имеет поверхность нагрева $F = 28$ кв. метров. Он должен доставлять 1.025.000 W. E. (единиц теплоты) в час для нагревания воды от 70° C до 100° C. Упругость пара 1,5 атм.

Определим предварительно два варианта ϑ_m.

Так как температура пара при давлении 1,5 атмосферы (или 2,5 абс. атм.) $= 126{,}7$, то

$$\vartheta_m = \frac{(126{,}7 + 126{,}7)}{2} - \frac{(100 + 70)}{2} = 41{,}7.$$

По логарифмической же формуле получим

$$\vartheta_e = 126{,}7 - 100 = 26{,}7; \quad \vartheta_a = 126{,}7 - 70 = 56{,}7.$$

Отсюда

$$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = \frac{26{,}7}{56{,}7} = \backsim 0{,}471.$$

Берем приближенное значение $\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = 0{,}45$ и соответствующее значение $\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a} = 0{,}693$. Интерполированием находим поправку $x = 0{,}018$.

Значит, $\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a} = 0{,}693 + 0{,}018 = 0{,}711$.

Значение $\vartheta_m = 0{,}711 \cdot \vartheta_a = 0{,}711 \times 56{,}7 = 40{,}3$.

Вычислим теперь коэффициент K по четырем уравнениям.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_1}{2}}$$

Здесь, опять $\alpha_1 = 10000$; $\alpha_2 = 300 + 1800\sqrt{V_f}$. Так как трубки здесь взяты диаметром в 40 мм., то $V_d = 10{,}5$ мт.

По Фогту и Нольте при обогревании паром, текущим по трубам, водяное пространство должно быть таким по величине, чтобы вода оставалась в подогревателе не более 12—15 минут. Площадь сечения труб берется в 2 раза больше сечения трубы, подводящей пар (мятый), а поверхность труб должна составлять 0,08 поверхности нагрева котла. Если вода движется по трубкам, то времени требуется вдвое менее, но зато увеличивают поверхность трубок вдвое. (Pohlhausen Dampfkesselanlagen S.171, Zweite Auflage).

Коэффициент K на основании данных получает значения:

$$K = \frac{1.025.000}{28 \cdot 41{,}7} = 877; \qquad K = \frac{1.025.000}{28 \cdot 40{,}3} = 987.$$

Подставляя эти значения в формулу Джоуля, будем иметь:

$$877 = 1700 \sqrt[3]{V_f}\ ; \ \ 987 = 1700 \sqrt[3]{V_f}\ .$$

Отсюда получаем:

$$V_f = 0{,}137 \text{ и } V_f = 0{,}140.$$

Берем поэтому из таблицы Вольфрума ближайшее значение для $V_f = 0{,}160$. Значение α_2 будет:

$$\alpha_2 = 300 + \sqrt{0.160} \cdot 1800 = 1020.$$

По формуле (а)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{10000} + \frac{1}{1020} + \frac{0{,}001}{100} + \frac{0{,}0005}{2}} = 746.$$

По формуле (б)

$$K = 1700 \sqrt[3]{0{,}160} = 923.$$

По формуле (в)

$$K = 3300 \sqrt[3]{0{,}160} = 1792.$$

По формуле (г)

$$K = 750 \cdot \sqrt{10{,}50} \cdot \sqrt[3]{0{,}007 + 0{,}16} \cdot 0{,}66 \times 0{,}95 = 838.$$

Теперь найдем площадь нагрева для $\vartheta_m = 41{,}7$ и $\vartheta_m = 40{,}3$ и различных значений K

$$F = \frac{32{,}95 \quad 26{,}63 \quad 13{,}58 \quad 29{,}62}{34 \quad 29{,}55 \quad 14{,}05 \quad 30{,}34} \quad \frac{\vartheta_m = 41{,}7}{\vartheta_m = 40{,}3}$$

Отсюда видно, что формула Гаусбранда для определения K дает результаты наиболее благополучные; формула Моллье дает площадь нагрева сильно уменьшенную.

Пример III. Требуется нагреть 20.150 метров воды от 19°C до 90°C Поверхностью нагрева служат 21 медных трубки диаметром в 60 мм. и длиною 1,2 метра. Поверхность нагрева равняется таким образом 9,5 кв. метра. Упругость пара равняется 0,15 атмосферы или 1,15 абс. атм. По таблицам найдем температуру пара 103°C.

При диаметре паропроводных трубок в 60 мм. $V_d = 13$ мт.

Определяем ϑ_m:

$$\vartheta_e = 103 - 90 = 13; \quad \vartheta_a = 103 - 19 = 84$$

$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = 0{,}155$. Этому значению $\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}$ соответствует $\vartheta_m = 0{,}456 \times 84 = 38{,}30$.

Число калорий, получаемых паром будет:

$$(90 - 19)\ 20150 = 1.430.650.$$

В таком случае K будет иметь величину:

$$K = \frac{W}{\vartheta_m F} = \frac{1430650}{38{,}3 \times 9{,}5} = 3932.$$

По формуле же Гаусбранда получим такое значение:

Так как в таблице Вольфрума нет значений K выше 2625, то воспользуемся формулой:

$$\frac{1}{d} = \frac{1{,}2 \cdot c\gamma}{\vartheta_m} = \frac{\sqrt[3]{V_d}}{\sqrt{0{,}007 + V_f}}.$$

или:

$$\frac{120}{6} = \frac{1{,}2 \cdot 537{,}45 \cdot 0{,}6618}{38{,}3} \cdot \frac{\sqrt[3]{13}}{\sqrt{0{,}007 + V_f}}.$$

После перемножения получим:

$$20 \sqrt[3]{0{,}007 + V_f} = 26{,}18. \qquad \text{Отсюда } V_f = 2{,}19.$$

Если подсчитать K по формуле Гаусбранда, то получим $K = 3510$, что значительно отличается от 3932.

Чтобы ближе подойти к действительности, нужно увеличить скорость V_d. Возьмем следующее число 14,5. Тогда получим по формуле Гаусбранда 3715.

Инженер К. Шубарт дает для K такие значения:

$$K \text{ наблюд.} = 3870; \quad K \text{ вычисл.} = 3600.$$

Разница в итогах получается потому, что К. Шубарт берет $V_f = 1{,}98$ и $\vartheta_m = 38{,}38$. Однако, этих чисел я не получил.

Для вычисления W мы пользовались до сих пор уравнением.

$$W = \frac{t_1 - t_0}{\frac{1}{F_1 \alpha_1} + \frac{1}{F \alpha_2} + \frac{1}{\lambda} \int_0^{\delta} \frac{dx}{f}}$$

Это уравнение для плоской стенки переходит в такое:

$$W = \frac{(t_1 - t_0)\, F}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}}$$

В нагревательных аппаратах с двумя токами очень важным является вопрос, какому принципу нужно отдать предпочтение.

Если техническая задача сводится к тому, чтобы довести нагреваемую воду до возможно высокой температуры, то всегда нужно останавливаться на аппаратах с противотоком. Если этого нет, то останавливаются на аппаратах с параллельными токами, потому что в них поверхность нагрева от большой разницы в температурах выходит меньше.

На практике, однако, и в этом случае берут часто аппараты с противотоком для достижения возможно высокой температуры воды, благодаря чему, как например при питании паровых котлов, можно получить небольшое количество воды, воспринимающей тепло. В свою очередь это уменьшение количества нагреваемой воды отражается на величине питательных насосов. Естественно, что при этом понижаются расходы на привод, что дает компенсацию в расходах по амортизации дорого стоющих аппаратов с противотоком.

Остановимся на примере. Пусть у нас имеется водо-водяная поверхность нагрева. Температура нагревающей воды пусть будет $+90\,^\circ C$, а обратной воды $+70\,^\circ C$. Нагреваемую воду нужно довести с $+10\,^\circ C$ до температуры $+80\,^\circ C$. В этом случае нужно применить прибор, работающий по принципу противотока, потому что нагреваемая вода должна течь к месту входа обогревающей воды.

При пользовании принципом параллельных токов, можно расчитывать на нагревание только до $+60\,^\circ C$.

Средняя температура теплообмена найдена для этих случаев так:

A. Противоток.

$$\begin{matrix} \vartheta_e = 80 - 70 = 10 \\ \vartheta_a = 90 - 10 = 80 \end{matrix} \quad \frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = 0{,}125.$$

По таблице Гаусбранда найдем:

$$\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a} = 0{,}418 + 0{,}006 = 0{,}424.$$

Следовательно,

$$\vartheta_m = 0{,}424 \times 80 = 33{,}92 = \backsim 34.$$

B. Параллельные токи

$$\begin{matrix} \vartheta_e = 90 - 60 = 30 \\ \vartheta_a = 70 - 10 = 60 \end{matrix} \quad \frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = 0{,}5.$$

По таблице Гаусбранда найдем:

$$\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a} = 0{,}724; \vartheta_m = 0{,}724 \times 60 = 43{,}44.$$

Отсюда ясно, что при параллельных токах поверхность нагрева будет меньше.

Если требуется доставить противотоком 3.000.000 тепловых единиц воде, нагреваемой от $10\,^\circ C$ до $80\,^\circ C$, то воды нагревающей потребуется:

$$\frac{3.000.000}{(80 - 10).1000} = 42{,}85 \text{ куб. метр.}$$

При нагревании от $+10\,^\circ C$ до $60\,^\circ C$ параллельным током потребуется:

$$\frac{3.000.000}{(60 - 10).1000} = 60 \text{ куб. метр.}$$

Эти количества и должен поставлять соответствующий подогреватель.

Для аппаратов с параллельными токами потребуется расходовать больше энергии на подачу воды, чем при аппаратах с противотоком. Поэтому-то аппараты последнего типа, несмотря на их большую стоимость, предпочитаются аппаратам с параллельными токами.

Следует еще сказать несколько слов по поводу нагревательных аппаратов, работающих в один ток и комбинированных одноточных вихревых аппаратах, каковыми являются котельные приборы и открытые сосуды с змеевиком.

Возьмем опять для обогревания воды пар и небольшую скорость воды, каковая наблюдается в этих аппаратах.

Эта незначительная скорость воды сильно отражается на понижении коэффициента теплопередачи, вызывает бурление воды. В большинстве случаев аппараты эти работают периодически и, таким образом, количество жидкости, предназначенной для подогревания является величиной постоянной. Если наблюдать за поверхностью нагрева в таких аппаратах, то можно заметить более значительную циркуляцию воды у входа, чем у выхода. Особенно заметно это явление, когда вода кипит. Отсюда ясно, что упругость и температура пара в разных местах прибора различны. Упругость пара в конце очень мала (близка к нулю), она постепенно увеличивается с увеличивающимся нагреванием и переходит, наконец, в неизменяемую форму. Из этого следует, что диаметр и длина труб должны находиться в определенном отношении.

Принимая во внимание это соображение, Ритчель и Браббе расчитывают змеевики, принимая в соображение падение упругости.

Ту же мысль проводит и Гаусбранд, высказывая положение, что отдаваемая нагревающей трубкой теплота должна быть равна теплоте подводимого пара, т. е.,

$$F.K.\vartheta_m = \frac{\Pi d^2}{4} V d.3600.c.\gamma.$$

Здесь C—означает теплоту испарения, γ—вес куб. метра пара. Скорость воды принимается в аппаратах сравнительно не большая, $V_f = 0{,}02 - 0{,}3$ метра, при чем малые числа относятся к большим сосудам и небольшим температурам жидкости, примерно $\leq 60°$ C.

При небольших сосудах и более высоких температурах 60°—100° C нужно брать большие числа.

Если скорость воды неизвестна, тогда для определения K можно воспользоваться такой формулой:

$$K = 0{,}65.225\sqrt{V d} \backsim 0{,}65.450\sqrt{V d}.$$

Если подставить значение F и K в ранее написанную формулу, то получим:

$$\Pi d.l.0{,}65.225\sqrt{V_d}\ .\vartheta_m = \frac{\Pi d^2}{4} V_d\, 3600.c.\gamma.$$

Отсюда получим:

$$\frac{l}{d} = \frac{5{,}95\sqrt{V_d}\ .c.\gamma}{\vartheta_m} \quad \text{и}$$

$$\frac{l}{d} = \frac{3{,}08\sqrt{V_d}\ .c.\gamma}{\vartheta_m}.$$

Часто встречается такое соотношение:

$$\frac{l}{d} = \frac{5{,}5\sqrt{V_d}\ .c.\gamma}{\vartheta_m}.$$

Пример 3. Пусть необходимо выбрать нагреватель для 2.000 литров воды, которую необходимо нагреть с 10° до 90° C в течение полутора часа. Поверхность нагрева представляет медный змеевик, у которого наружный диаметр трубки = 76 мм., а внутренний 70 мм. Общая длина трубки змеевика 14 мтр. Поверхность нагрева будет:

$$\Pi d l = 3{,}14.0{,}076.14 = 3{,}34 \text{ м.}^2$$

$$\Pi d l = 3{,}14.0{,}07\ .14 = 3{,}077 = \backsim 3{,}1 \text{ кв. мтр.}$$

Напряжение пара 0,4 атм. или 1,4 абс. атмосферы. Возьмем $V_d = 17$ и $V_f = 0{,}166$. Скорость $V_f = 0{,}166$ представляет число, близкое к среднему значению нормальных скоростей (колебания 0,02—0,3). Что касается $V_d = 17$, то выбор ее нужно оправдать.

Определим сначала ϑ_m. Температура пара при абсолютной упругости 1,4 атмосферы будет 108,7.

Следовательно:

$$\vartheta_e = 108{,}7 - 90 = 18{,}7 \qquad \frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = \frac{187}{987} = 0{,}189.$$
$$\vartheta_a = 108{,}7 - 10 = 98{,}7$$

По таблице Гаусбранда найдем:

$$\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a} = 0{,}489; \ \vartheta_m = 0{,}489 \times 98{,}7 = 48{,}26.$$

Далее по Hütte (часть I. стр. 444, IX издание 1916 г.) находим:

Теплота испарения — 533,7.

Вес 1 куб. метра пара — 0,7955.

Подставляя эти значения в формулу, получим:

$$\frac{1}{d} = \frac{5{,}5 \times 533{,}7 \times 0.7955}{47{,}16} \sqrt{V_d} = \frac{1400}{7} = 200$$

или $9652 = 2335 \sqrt{V_d}$; $V_d = 17{,}05$.

Количество теплоты, передаваемое воде паром при нагревании с 10° C до 90° C в течение часа, будет равно

$$W = \frac{2000\ (90 - 10) \cdot 2}{3} = \backsim 107.000 \ \text{W. E.}$$

Таким образом, коэффициент теплопередачи будет:

$$K = \frac{170 \cdot 000}{48{,}26 \times 3{,}1} = \backsim 715.$$

По формуле Hütte

$$K = \frac{1}{\frac{1}{10000} + \frac{1}{1032} + \frac{0{,}003}{335} + \frac{0{,}0005}{2}} = \backsim 709.$$

По формуле Гаусбранда:

$$K = 0{,}65 \cdot 225 \sqrt{V_d} \ \text{до} \ 0{,}65 \cdot 450 \sqrt{V_d}$$

т. е.

$$K = 0{,}65 \cdot 225 \sqrt{17} = 603.$$

$$K = 0{,}65 \cdot 450 \sqrt{17} = 1206.$$

Часто применяется такая формула Гаусбранда:

$$K = 0{,}65\,\Pi . 250 \sqrt{V_d} = 670.$$

Займемся теперь вопросом, какому диаметру трубок, проводящих пар или воду для подогревания воды, нужно отдать предпочтение: большому или малому.

Если нужно передать в час определенное количество тепловых единиц, то исходным уравнением для расчета этой задачи является следующее:

$$\text{W. E/час.} = \Pi\, d\, l\ (T - t) K. \quad (a).$$

Здесь: d — диаметр трубки в метрах

l — длина трубки в метрах

T — средняя температура внутри трубки

t — средняя температура снаружи трубки

K — коэффициент теплопередачи в час 1 кв. метром поверхности нагрева при разности температур в 1° C.

Значение коэффициента K было взято таким:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Уравнение (a) представляет не что иное, как упрощенное уравнение Фурье.

Более точным уравнением будет такое:

$$W.\,E./\text{час.} = \Pi\, d\, l\, (T - t) \cdot \frac{1}{\frac{1}{d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\lambda} Lg_n \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{d_2 \alpha_2}}.$$

Это уравнение относится к цилиндрическим трубкам, чаще всего встречающимся на практике. В более точном уравнении обозначают: α_1 и α_2 коэффициенты теплопередачи в час 1 кв. метра при разности температур в 1° C; λ — коэффициент теплопроводности в час одного метра при разности температур в 1° C; δ — толщина стенки трубки в метрах. Числа α_1 α_2 и λ выражены в тепловых единицах.

Точная формула переходит в упрощенную, если положить $d_i = d_a$ и

$$Lg_n \frac{d_a}{d_i} = 2\,\delta \cdot d.$$

Для исследования упрощенная формула имеет более компактный и легко обозреваемый тип, а сущность выводов не изменяется. Поэтому и займемся изучением простой формулы. Из структуры этой формулы ясно, что при определенной длине трубки l, определенной разности температур T — t и коэффициента K, тепловая мощность трубки прямо пропорциональна диаметру трубки. Таким образом, увеличивая или уменьшая d, мы будем увеличивать и уменьшать тепловую мощность трубки.

Для единицы длины трубки получается:

$$\frac{W.\,E.}{l} = K.\ \Pi\, d\ (T - t)$$

а для единицы площади трубки

$$\frac{W.\,E.}{\Pi\, d\, l} = K\ (T - t)$$

Следовательно, если $\Pi\, d\, l = \text{Const}$, то тепловая мощность остается неизменной.

Если необходимо передать 100.000 W. E. от воды к воде, когда K = 400, при разности температур 50°C, то можно было взять длину трубок в 100 метров и диаметром 0,0127 (1/2″), или длину трубок 50 метров и диаметром в 0,025 метра или 25 метров и диаметром 0,0508 (2″). Такой произвол выбора трубок для нагревательной поверхности имел бы свою хорошую сторону, предоставляя возможность проектирующему остановиться на том сорте трубок, который более дешев, который имеется под руками и т. д.

Это заключение нашло себе подтверждение в опытах Стантона, Сэра, Иоссе, Тана, Джоуля. При определении величины К эти исследователи дают материал для определения α_2, где большую роль играет скорость V_f. Стоит только взять формулы Молье (Сэра) и Джоуля, чтобы подтвердить эту мысль.

Согласие в наблюдениях большого числа исследователей (за исключением Пекле) кажется должно было бы дать почву для уверенного применения формул на практике. Однако, практика и показала впервые, что в теории что-то обстоит не совсем благополучно. В одних случаях результаты получались лучше, в других хуже, а так как эти результаты переводятся в жизни на язык экономики, то пришлось снова взяться за изучение решенного вопроса путем углубления опытов. Так возникли исследования Гольборна, Диттенбергера, Аустина, Энглиша, Донкина.

В формуле Стантона появляется диаметр трубки

$$W E = \frac{V^{m-1}}{d^{2-m}} (T - t)(1 + \lambda T)(1 + \beta t) \frac{к.p^{2-m}}{4}$$

(см. Z. d. V. d. Jng. Forschungshft 108—109)

В этом случае получилось

$$\alpha_2 = C. \frac{p^{2-m}}{d^{2-m}} V^{m-1}.$$

Величина m имеет значение такое

$$m = 1{,}84.$$

К такому же точно выводу подошел и Нуссельт, построивший свою теорию передачи тепла на законе Стокса—Кирхгофа.

По Нуссельту:

$$\alpha_2 = 1\lambda \cdot \frac{V^n}{d^{1-n}} \left(\frac{S}{\eta}\right)^n \left(\frac{Cp\,\eta}{\lambda}\right)^m$$

Далее Зенекен точными опытами, произведенными в лаборатории профессора Кнобляуха в Мюнхене, установил следующие зависимости:

$\alpha_2 = 735 \frac{V^{0,7}}{d^{0,3}} (1 + 0{,}014\, T_i)$ для шероховатых железных труб при передаче теплоты от металла к воде;

$\alpha = 1020 \frac{V^{0,69}}{d^{0.31}} (1 + 0{,}006\, T_i)$ для шероховатых железных труб при передаче теплоты от воды к металлу.

Здесь T_i — температура стенки трубки.

Показатели у скорости и у диаметра дополняют друг друга до единицы. У других исследователей имеются иные показатели у d.

Так например, у Ритчеля: $d^{0,16}$; у Гольборна $d^{0,13}$ $d^{0,18}$; у Пенсгена $d^{0,164}$. Напротив того, Вамслерс дает такой же результат, как и Зенекен.

Эмпирическая формула Вамслерса имеет такой вид:

$$K = \frac{p\,(t_1 - t_2)^{0.233}}{d^{0.3}}.$$

Здесь p представляет постоянную величину, равную для чугуна 0,97, для сварочного железа 0,91, для меди 1,04. Величина t_1 означает температуру поверхности трубки, а t_2 — температуру окружающего воздуха.

Если у нас имеется случай нагревания воды помощью горячей воды, то формула Зенекена приобретает такой вид:

$$W \cdot \mathbf{E} = \Pi\, d\, l (T - t) \cdot \frac{1}{1020 \frac{V^{0,69}}{d^{0,31}} (1 + 0,006\, T) + \frac{\delta}{\lambda} + 735 \frac{V^{0,7}}{d^{0,3} (1 + 0,14\, t)}}.$$

Эта формула может быть значительно упрощена, если принять во внимание ее приложение к нагреву воды в подогревательных приборах или аппаратах. Начать с того, что скорость самое большее допускается 0,1 — 0,2 mtr/sec. (нагревающей воды), а скорость воды нагреваемой не выше 1—1,5 mtr/sec. Далее относительно температур стенок трубки можно положить из чисто практических соображений, что $T = 70°C$ (кругло), а $t = 40°C$.

При таких ограничениях получим:

$$\frac{I}{\alpha_1} = \frac{d^{0,3}}{500} \text{ и } \frac{I}{\alpha_2} = \frac{d^{0,3}}{1500}.$$

Если ввести эти значения в раньше написанную формулу, то она приобретет очень простой вид:

$$W . E = \backsim \Pi\, d\, l (T - t). \frac{1}{\frac{d^{0,3}}{400} + \frac{\delta}{\lambda}}.$$

Упрощение можно повести и далее, так как $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,003}{50}$ очень малая дробь, так что окончательно получим:

$$W.E = \backsim 400\ \Pi\, l (T - t)\, d^{0,3}.$$

Наглядно влияние диаметра трубки на величину отдаваемой теплоты при соприкосновении с воздухом (при различных температурах) можно видеть из диаграммы (чер. 2). Эта зависимость дается д-ром Вамслером.

На диаграмме (черт. 3) дана связь между величиной коэффициента теплопередачи α и диаметром трубки по Тен Бошу.

Наконец, диаграмма (черт. 4) дает наглядное представление о количестве тепловых единиц, передаваемых одним квадратным метром поверхности нагрева в час, при разности температур в 1° С, в зависимости от диаметра трубки

Эта зависимость дается д-ром Зенекеном и в основу ее положены условия: $V_1 = 0,1$, $V_2 = 1$ m/sa, $T = 70°$ С. $t = 40°$ С. Передача теплоты происходит от воды к воде.

Во всех диаграммах легко наблюдается одна и таже тенденция: количество теплоты, передаваемой поверхности нагрева, падает с возрастанием диаметра трубок.

Следовательно, при применении трубок меньшего диаметра требуется для получения того же самого теплового эффекта меньшая поверхность нагрева.

На диаграмме д-ра Зенекена имеется еще кривая покупной стоимости одного погонного метра труб различных диаметров (в мирное время). Эта зависимость дана д-ром Пфлейдерером в 1914 году. Оказывается, что расходы на монтаж труб, начиная от диаметра в 100 мм., увеличиваются значительно заметнее, чем тепловая мощность погонного метра трубы, т. е. и тут выходит выгоднее применять трубы малого диаметра.

Наконец, по этой же диаграмме видно, что, например, при увеличении диаметра трубы в четыре раза (от 50 мм. до 200 мм.) тепловая мощность одного погонного метра при разнице температур (T. D) в 1°С увеличивается только вдвое или немного больше (от 100 W. E до 240 W. E), между тем удельная тепловая мощность или отдача теплоты одним квадратным метром трубчатой поверхности нагрева падает от 535 W. E. до 356 W. E. кв. метра, т. е. на 33%.

Иногда тепловая мощность выражается не в тепловых единицах (W. E), а в киловаттах. Переход от тепловых единиц к киловаттам производится по уравнению:

$$1 \text{ киловатт-час} = 864 \text{ W. E.}$$

$$1 \text{ киловатт} = \frac{864 \text{ W. E.}}{\text{час.}}$$

Поэтому совершенно неправильно написано в «Kalender für Gesundheitstechniker H Recknagel'я (издание 28—1924 г.) такое соотношение:

1 киловатт-час=864. W. E час.!!

Можно пользоваться также таким соотношением:

1. W. E = 4184 ватт секунд.

На черт. 5—18 показаны различные видоизменения подогревателей воды, построенных по принципу противотоков. Конструкции настолько ясны, что совершенно не нуждаются в каком либо пояснении и описании.

Однако, этими конструкциями не исчерпывается все то многообразие подогревателей, как более сложного вида, так и более простых, которые встречаются на практике.

В следующей статье мы постараемся собрать по возможности все, что нам известно по этому вопросу, отнюдь не претендуя, однако, на исчерпывающую полноту.

Теперь же обратимся к черт. 19, представляющему прибор, изобретенный бельгийским инженером A. Heintz и носящий название «Сатуратор без давления» (Satourateur sans pression)

Действие этого прибора сводится к следующему: пар поступает после парораспределительного винтиля в трубу H, коробку K и через клапан S в кольцевое пространство и далее в трубу. При этом происходит засасывание содержимого в коробке K. Тут на лицо имеется просто инжектор, через который проходит пар, увлекающий воздух, в нагревательную систему. Пройдя эту систему, отработавший пар всасывается тем же инжектором J, вместе с воздухом и конденсационной водой в трубу N. Смесь воздуха и пара устремляется вверх в коробку K, а более тяжелая вода стекает в отводную трубу L. Так как труба L сообщается с атмосферой, то вся система носит название открытой, так что давление в ней не превышает атмосферного. Если случится, что давление поднимается выше атмосферного, то избыток пара выйдет через ту же трубу наружу. И обратно, если давление в системе падает ниже атмосферного, то атмосферный воздух устремится в трубу L и произведет повышение давления. При помощи клапана S, помещающегося в коробке K, можно менять относительные количества пара и воздуха, и получить надлежащую температуру в сети в пределах от 10° до 95° С. Автоматичность регулирования притока пара в эту систему достигается применением «термической рессоры» (T. R). Между клапаном S и рукояткой C, могущей перемещать клапан при помощи винта B, вставляется полая стальная изогнутая трубка, наполненная легко кипящей жидкостью. Когда клапан S открыт на определенный приток пара в систему, в сети устанавливается определенная температура. Если бы температура пара повысилась (например, при повышении упругости пара в котельной), то это должно отозваться на температуре в сети. Наиболее чувствительная часть сети—термическая рессора—сейчас же расширяется и передвигает клапан влево, отчего сужается щель для прохода пара. И обратно.

Отсюда видно, что открытым сатуратором Гейнце достигается: 1) циркуляция пара в системе, 2) отводится конденсационная вода и 3) регулируется температура в сети.

На обогревательные нужды может идти пар любого напряжения, начиная от 1/3 атмосферы. Ни толчков, ни ударов, ни отстаивания воды в системе не замечается.

На фиг. 19 в дается схема сатуратора с давлением.

Работа этого сатуратора идет в таком порядке. Пар, пройдя распределительный клапан A, идет к вентилю B и по трубе MN в инжектор R. Пройдя инжектор пар вступает в обогреваемую им систему (барабаны, плиты, подогреватели, сушилки, двойное дно приборов и т. д.), а с другого конца этой системы вместе с конденсационной водой он идет в горшок S через штуцер E.

Здесь конденсационная вода стекает на дно и отводится штуцером F отводчиком наружу, а пар засасывается действием инжектора R по трубе KL и вновь идет в работу.

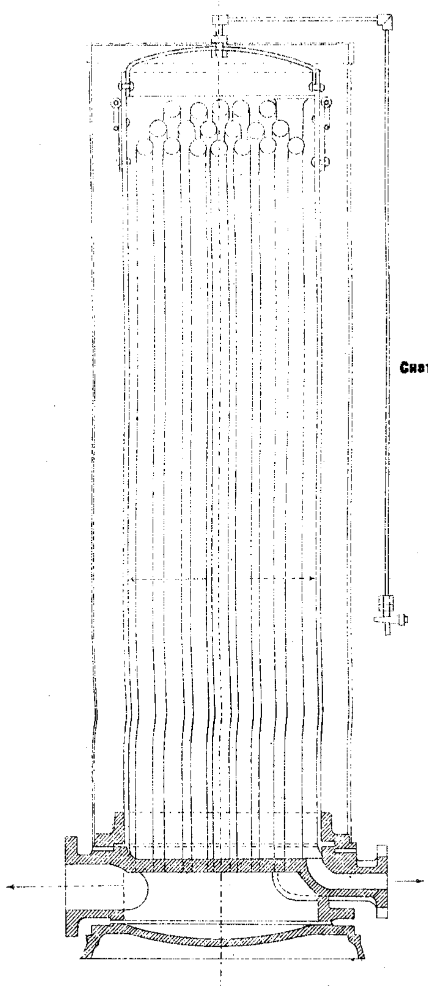
Здесь точно также имеется термическая рессора, перемещающая клапан B, расположенный на крышке горшка S. Термическая рессора регулирует как температуру в сети, так и давление, путем передвижения клапана B. Таким образом регулятор с давлением выполняет следующие функции: 1) дает быструю циркуляцию пара в обогревательной системе, 2) вследствие большой скорости циркулирующего пара конденсационная вода быстро сгоняется со стенок, передающих теплоту и 3) строго регулируется количество пара, вступающего в систему. Все это вызывает повышение теплопередачи, а значит, ускоряет процесс обогревания, сушки, увеличивает скорость передвижения просушиваемого материала, как например, при сушильных барабанах, плиточных сушилках, шлихтовальных и других машинах.

В записках Иваново-Вознесенского Отделения Русского Технического Общества (1911 г. № 1) В. Темкин дает такую таблицу:

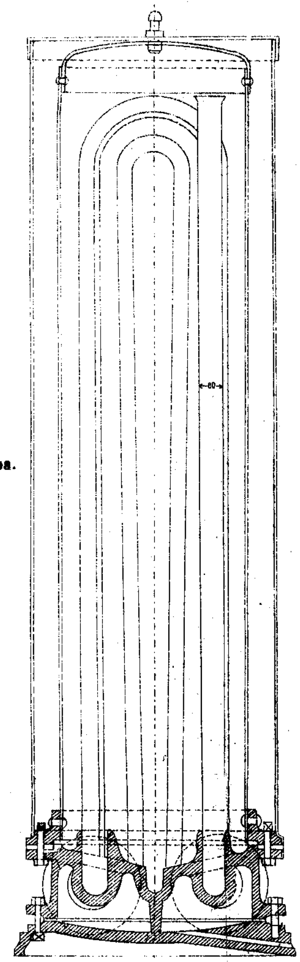
Название фабрики	Продолж. испытаний	Род сушильных машин	Увеличение производства	Экономия в расходе пара
Ткацкая фабр. А. В. Смирнова	5 час.	Шлих. бараб.	17,7%	16,94%
„ „ Ив. Гарелина	6 час.	—	7%	20,6%
„ „ Н. Гарелина	6 час.	—	—	15,6%
„ „ Горбунова	8 час.	—	18%	15,5%
Ситцев. Рябов. М-ра в Москве	8 час.	Плиточная сушилка	—	33%
Ситц. Т-ва Н. Дербенева	6 час.	Бараб. горизонт.	30%	20%
„ „ Небурчилова	3 час.	Плит. сушил.	14,2%	12,1%
Т-во Данилов. сахаро-рафинадного завода	50 мин.	Подогреват. камера	24%	25,6%
Конфет. фабр. Динг	4 час.	Пастил. суш.	—	20,3%
„ „ Эйнем	4 час.	—	—	13,1%
Ситцев. фабр. Кацевича	6 час.	Барабаны вертикальные	14%	15%

К СТАТЬЕ ПРОФ. С. К. КОНЮХОВА

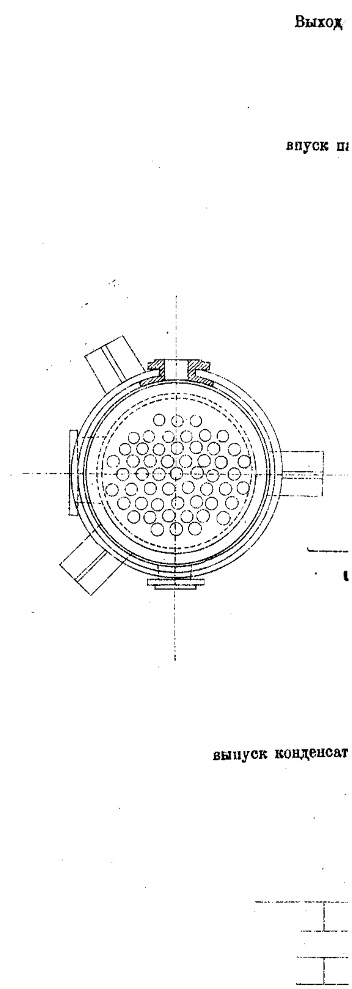
АППАРАТЫ ДЛЯ ПОДОГРЕВАНИЯ ВОДЫ.



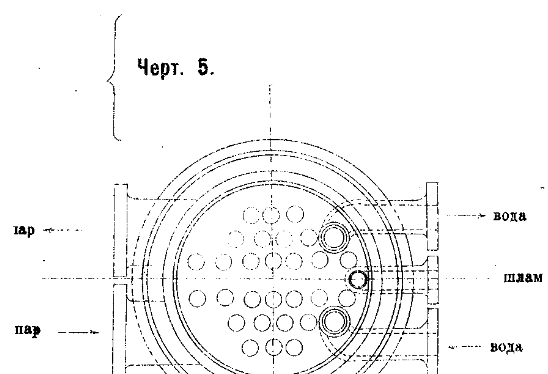
Система Битнера.

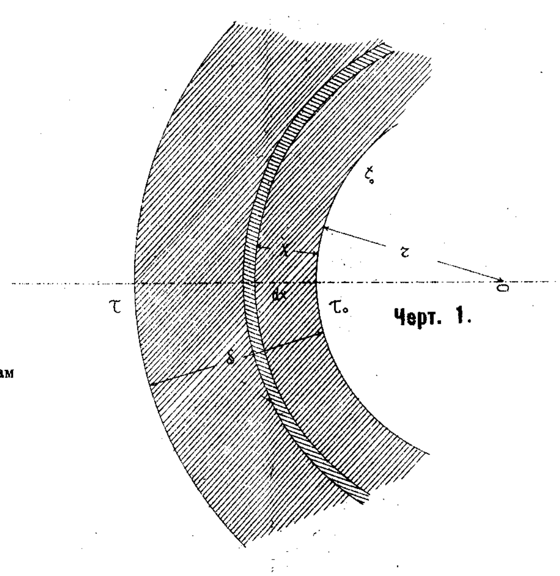


Черт. 6.



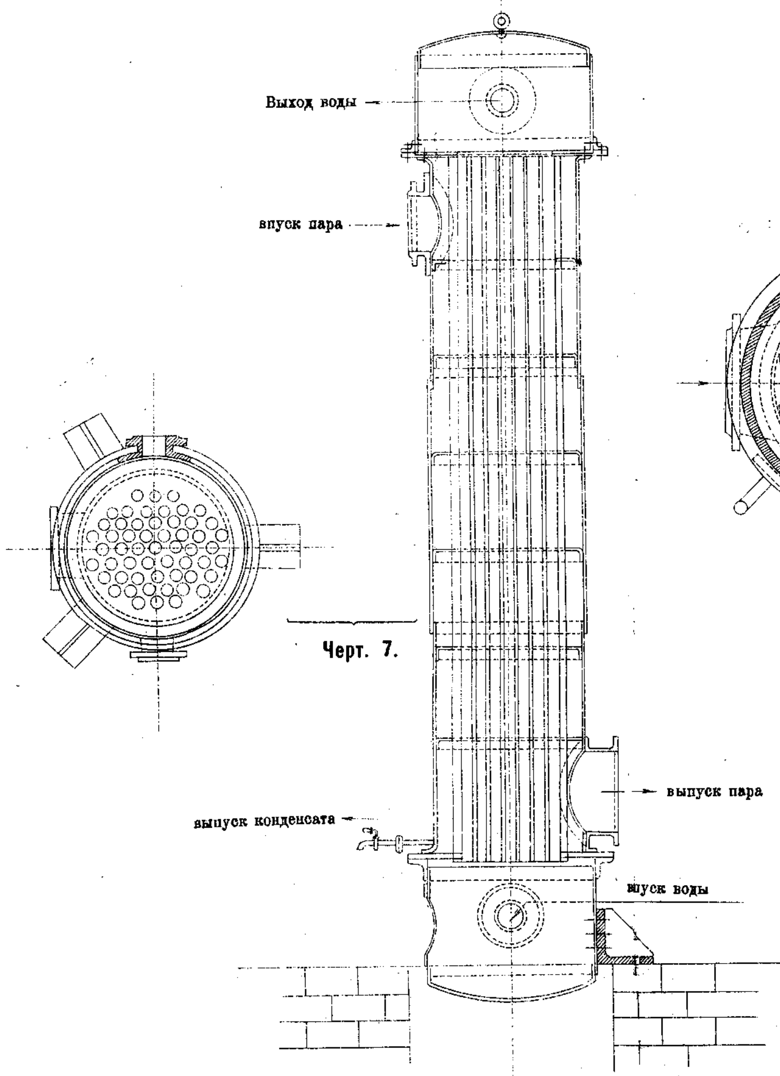
Черт. 5.



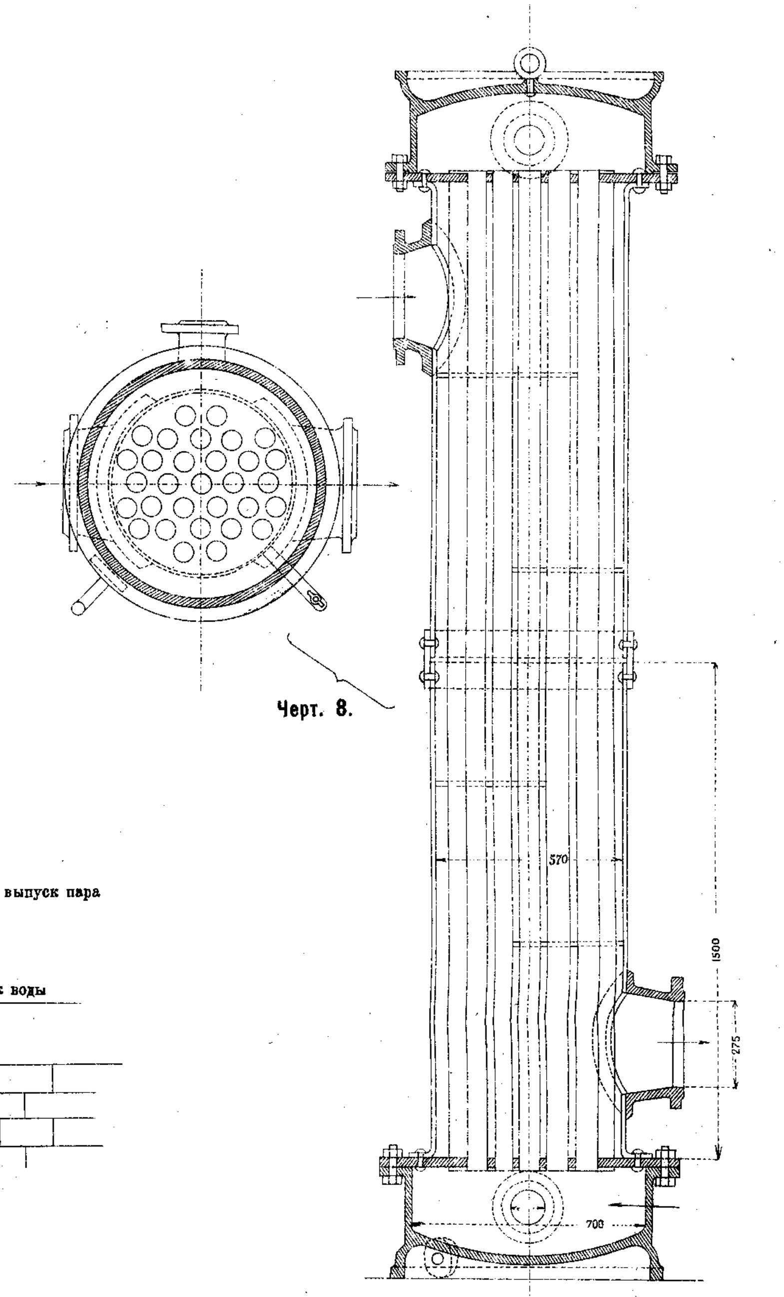


Черт. 1.

ЗОДЫ.

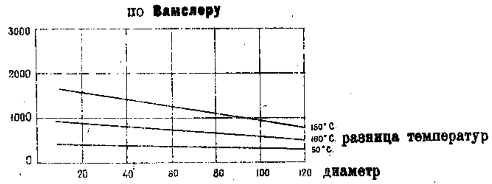


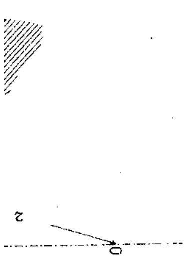
Черт. 7.



Черт. 8.

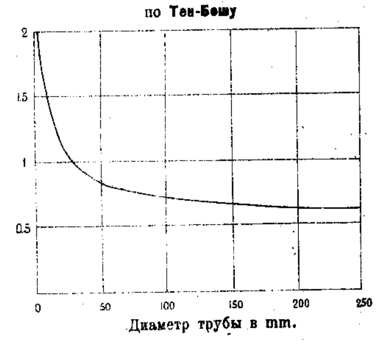
по Вамслеру

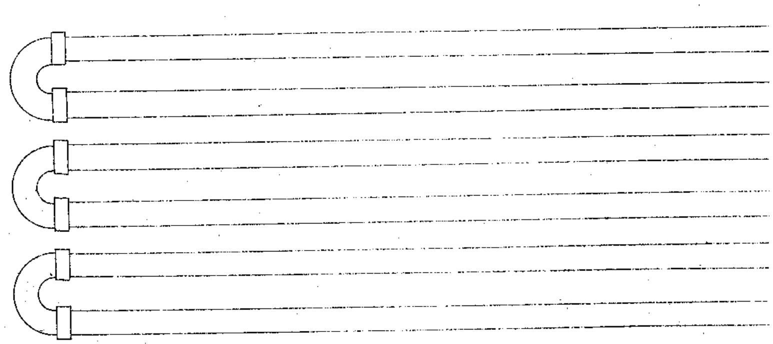




Черт. 1.

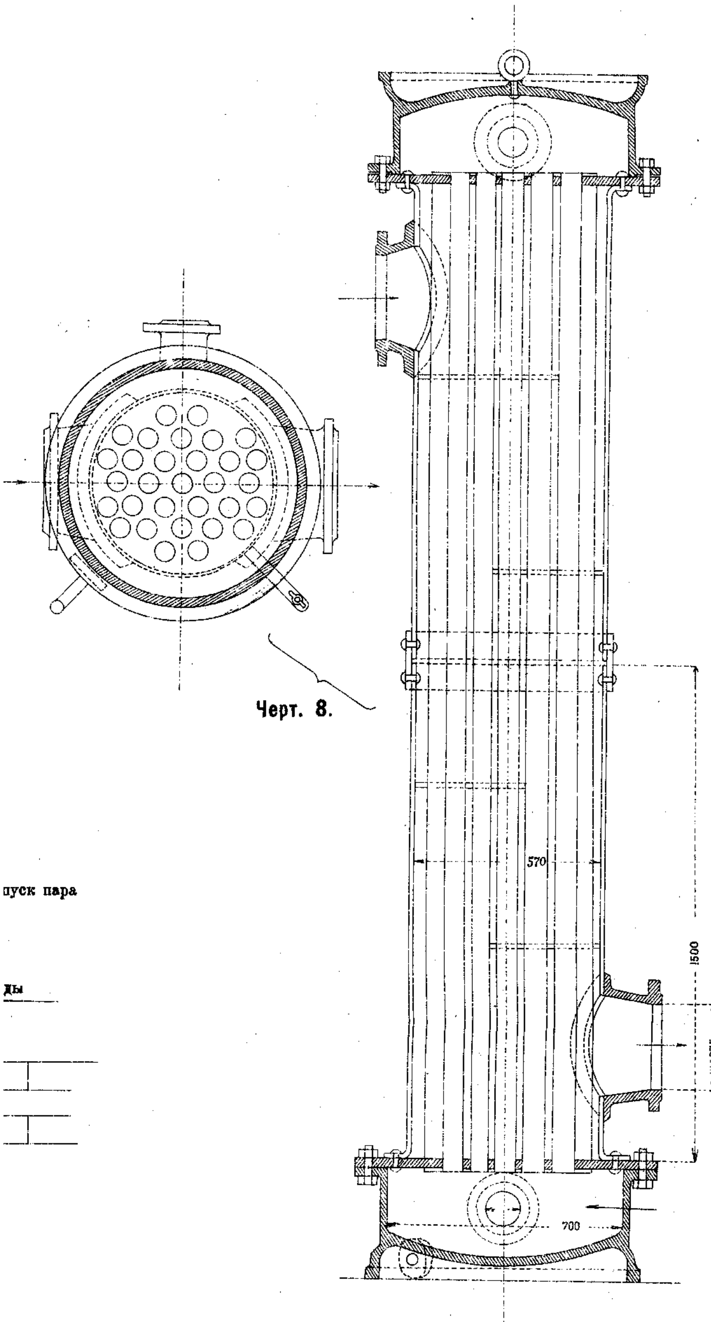
по Тен-Бешу



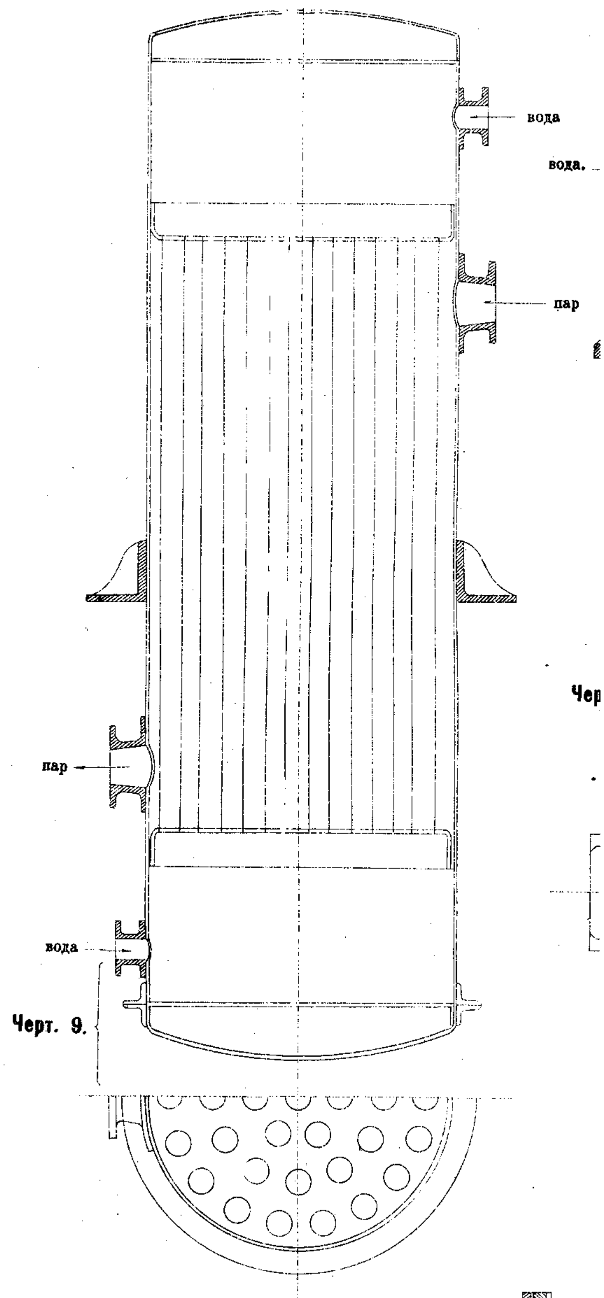


пуск пара

ды



Черт. 8.

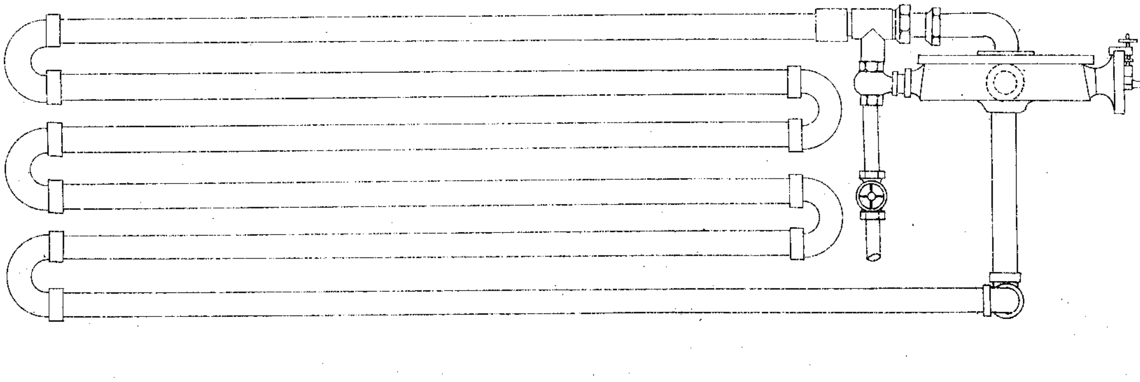


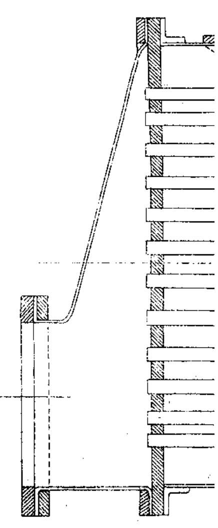
Черт. 9.

Чер

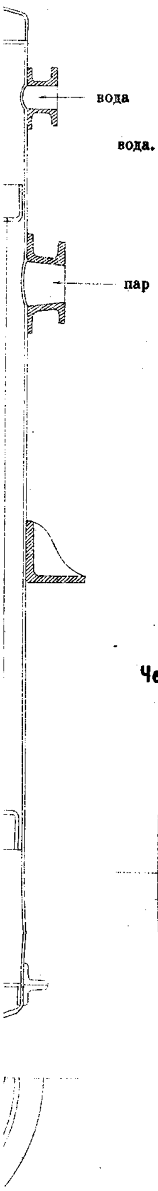
лица температур

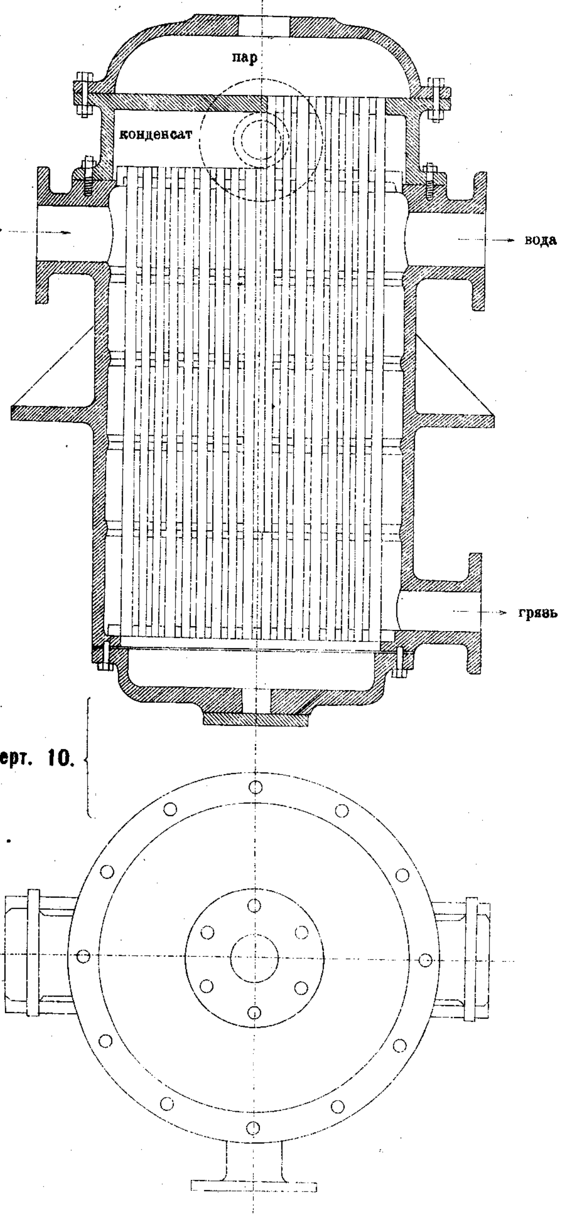
р



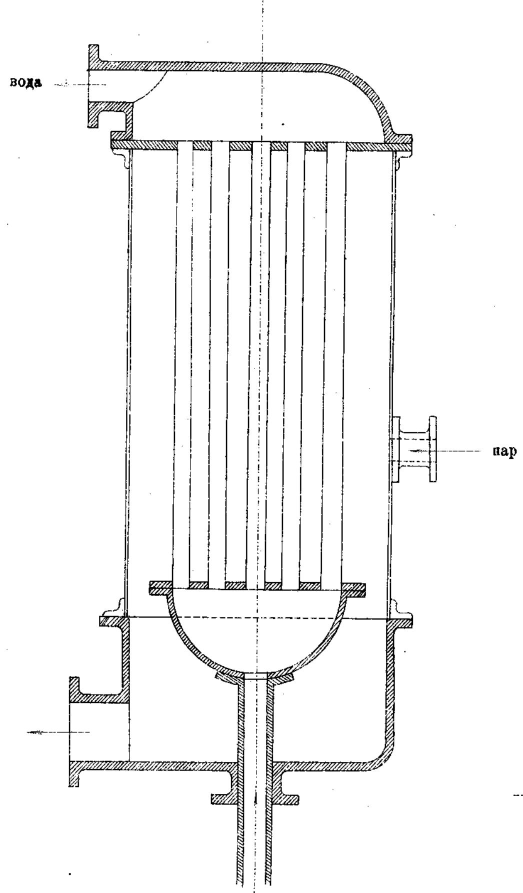


0

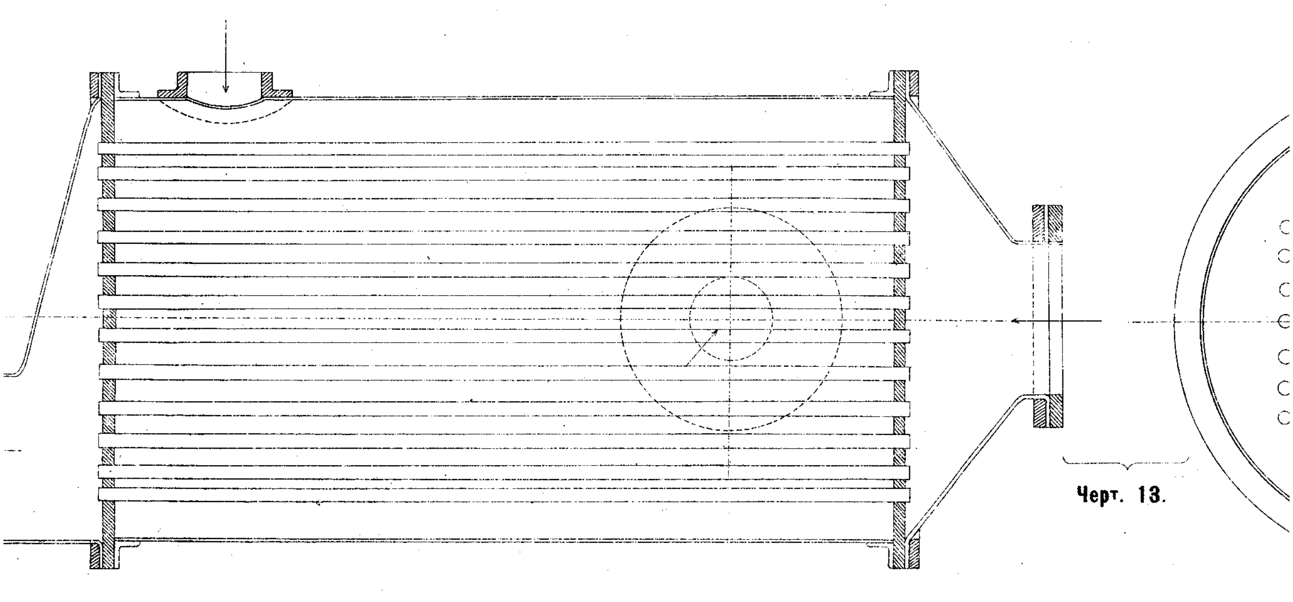




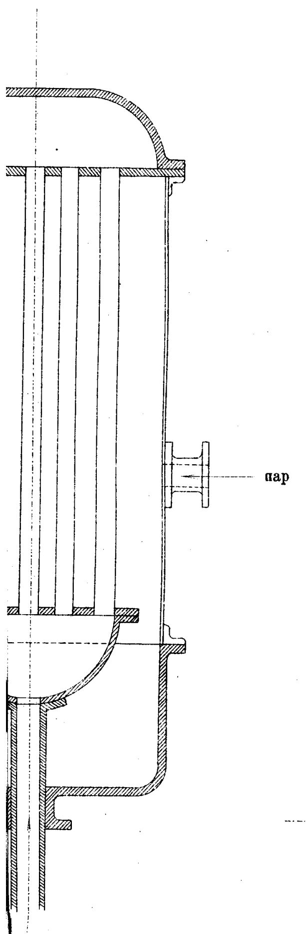
Черт. 10.



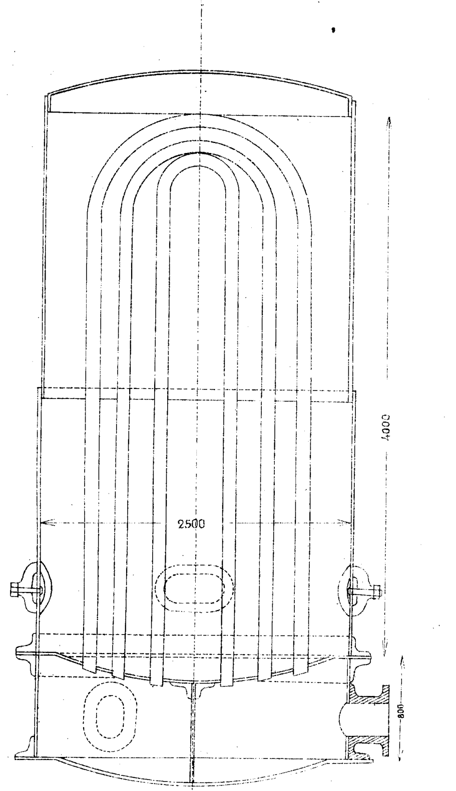
Черт. 11.



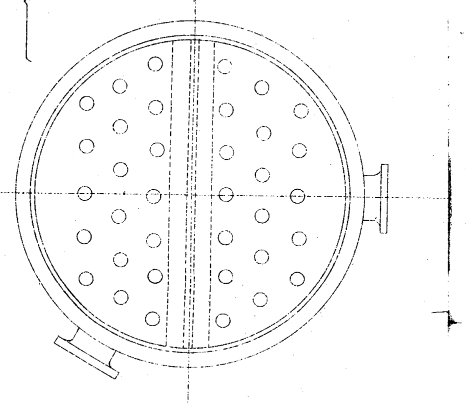
Черт. 13.

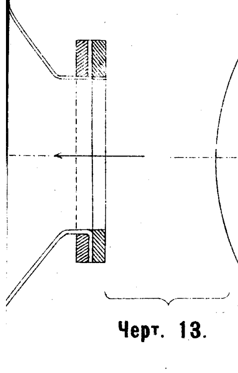


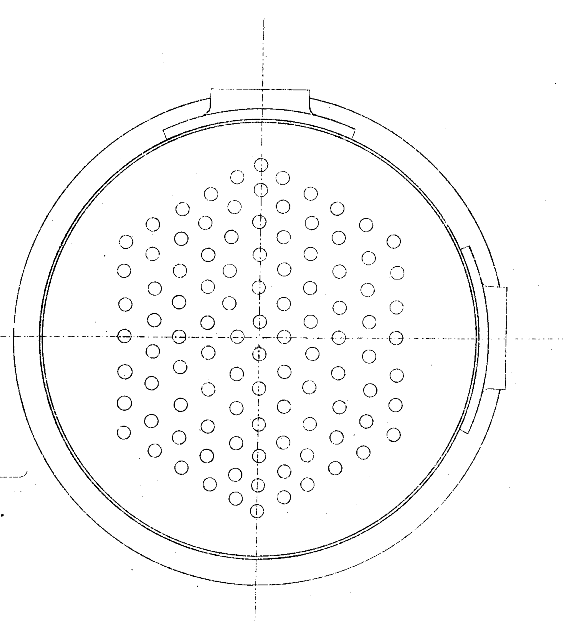
т. 11.



Черт. 12.

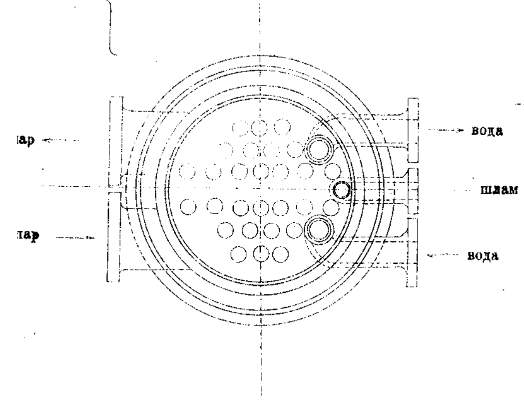


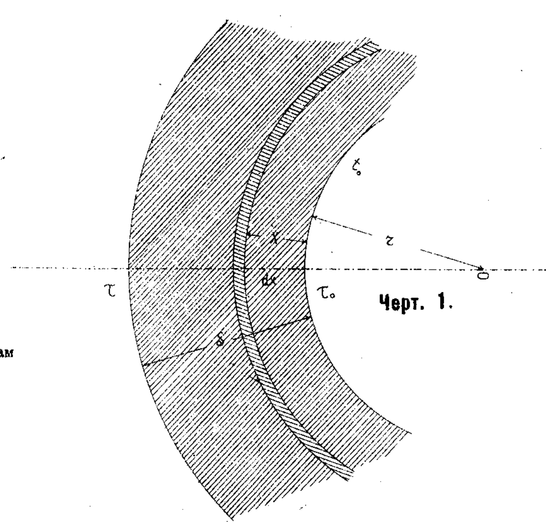




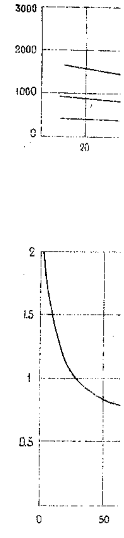
Черт. 13.

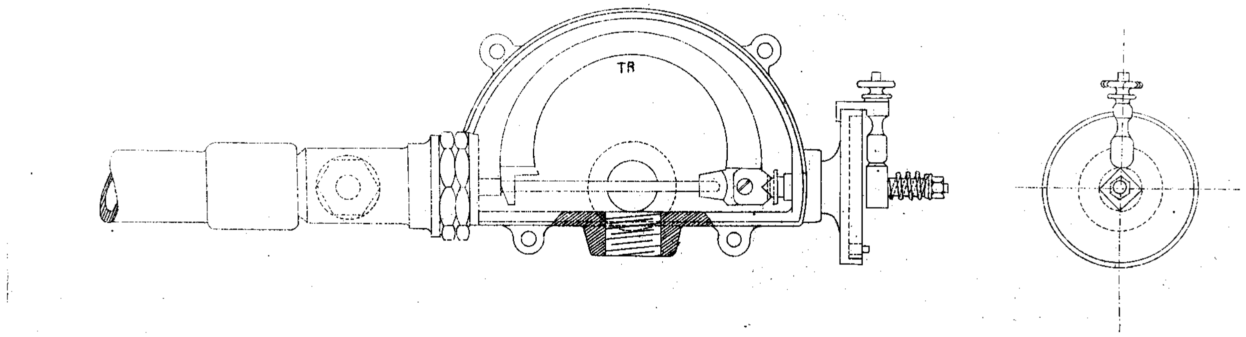
Черт. 5.



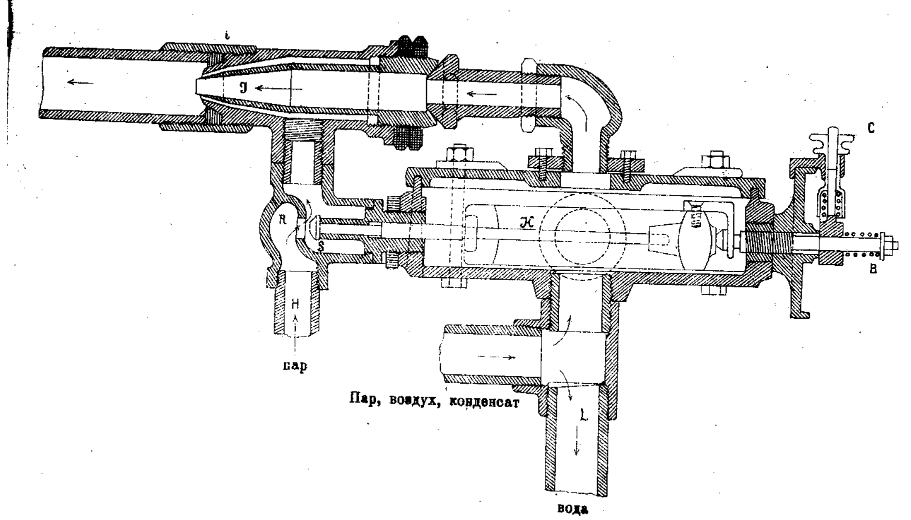


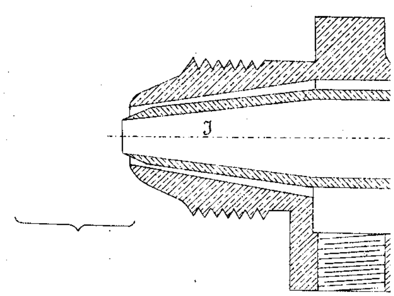
Черт. 1.

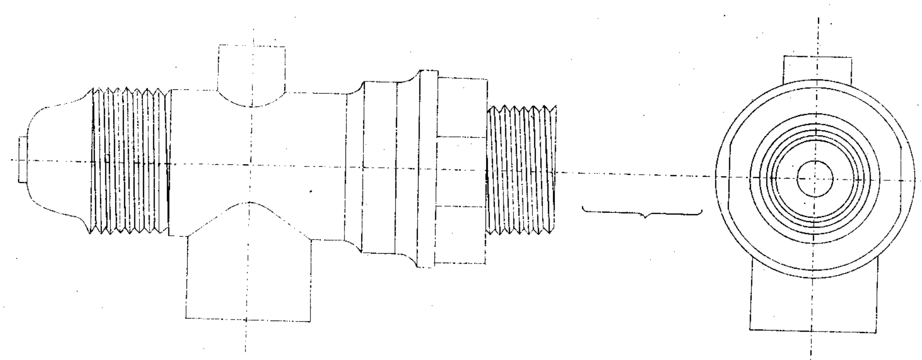


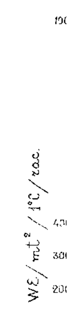


Черт. 19.

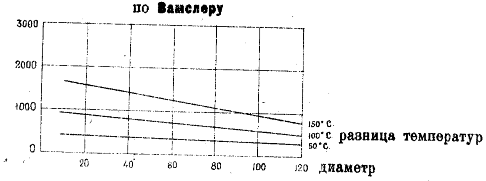




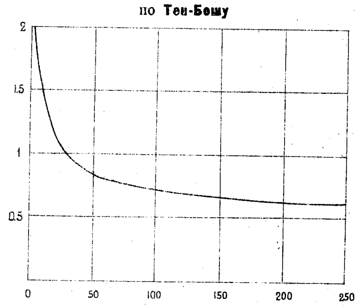




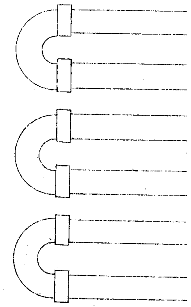
по Ванслеру

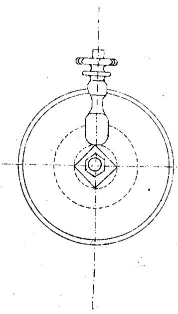


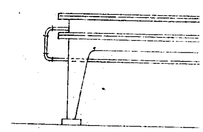
по Тен-Бошу

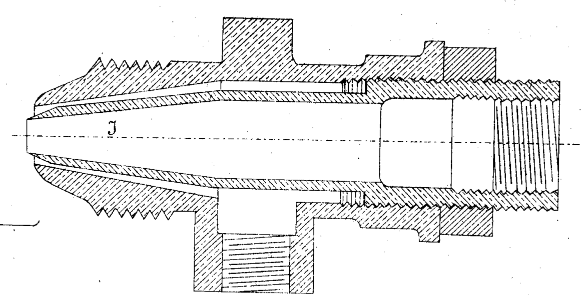


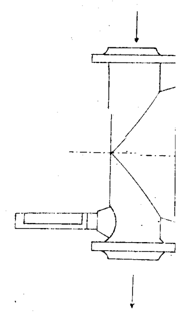
Диаметр трубы в mm.



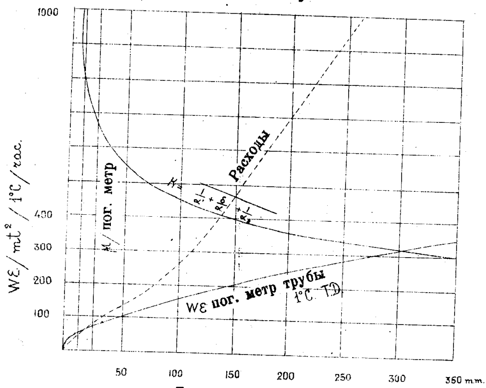








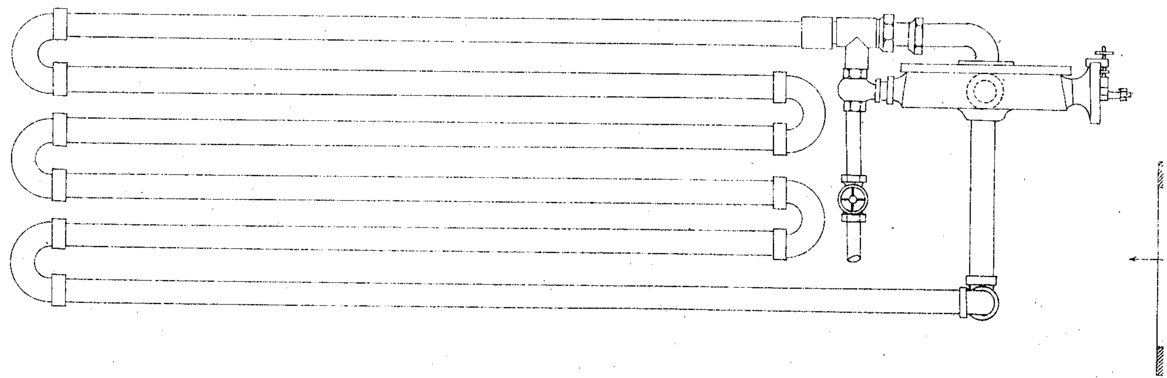
по Зеекену



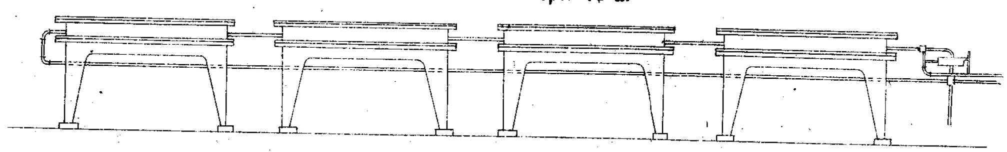
Диаметр трубы в mm.

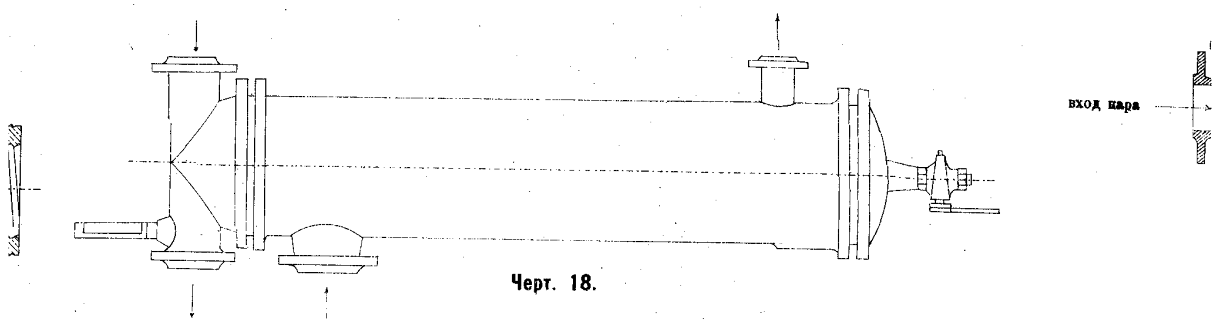
ница температур

р

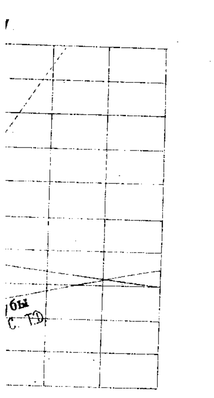


Черт. 19-a.

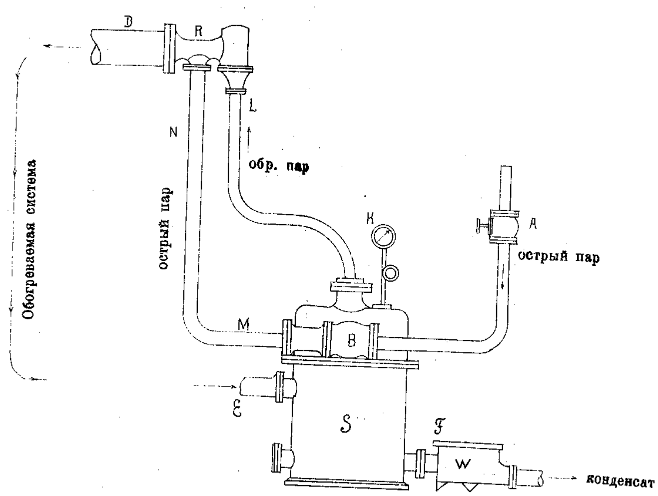




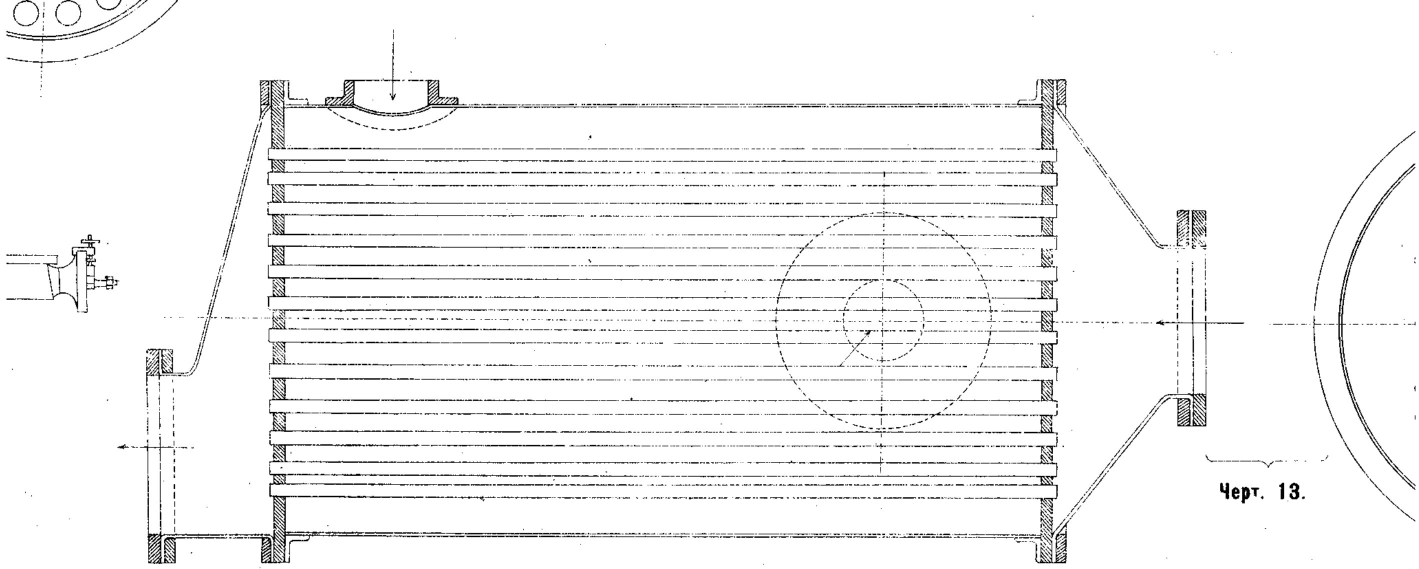
Черт. 18.



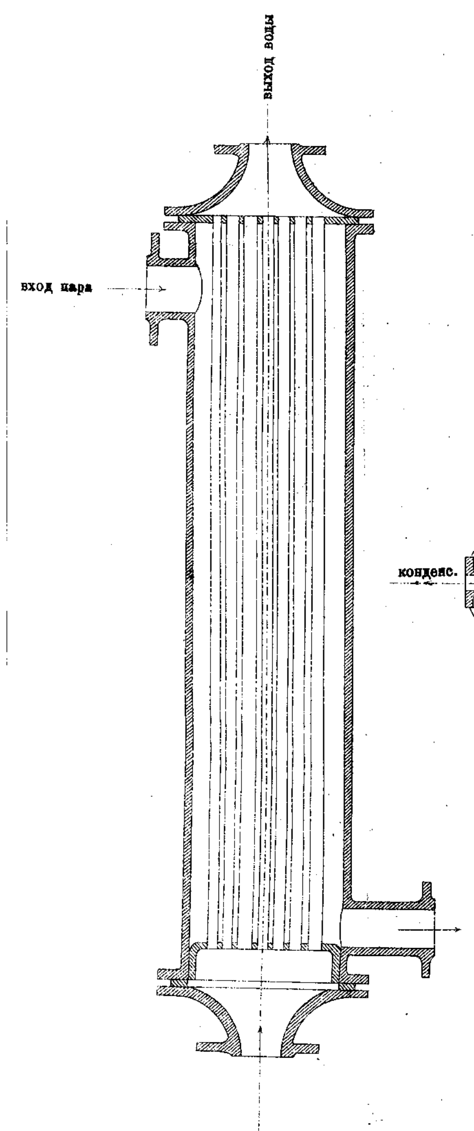
mm.

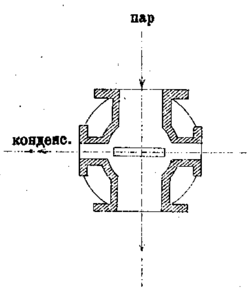


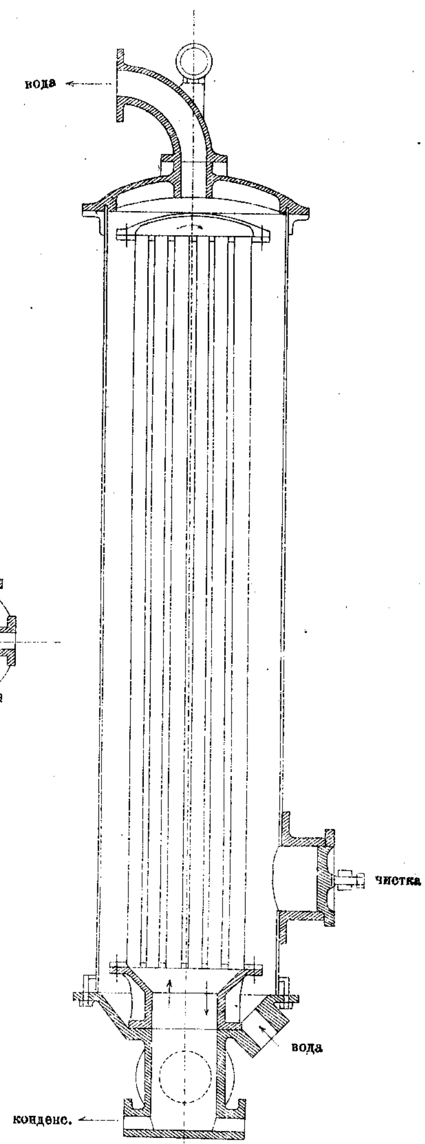
Черт. 19-b.

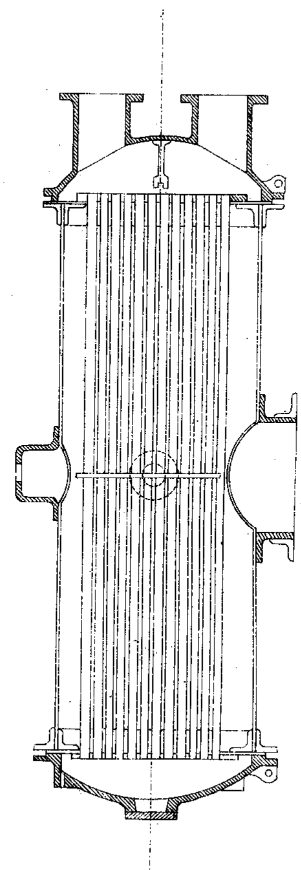


Черт. 13.







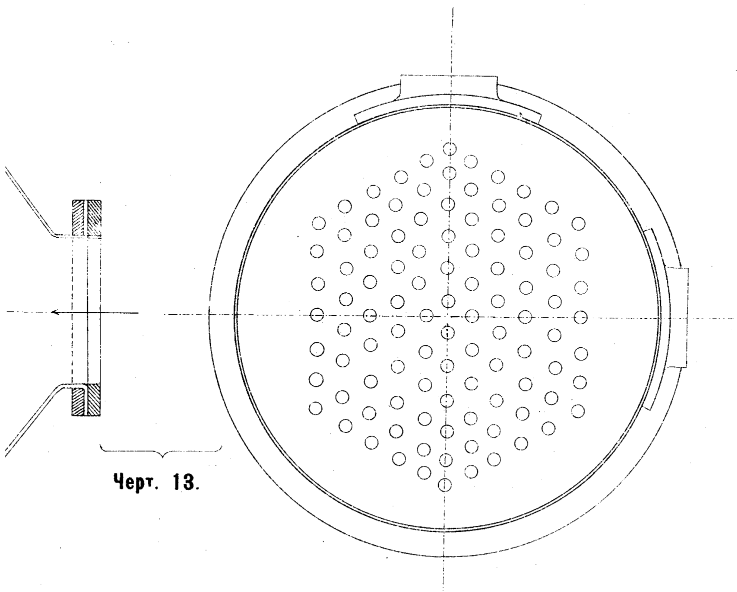


Черт. 17.

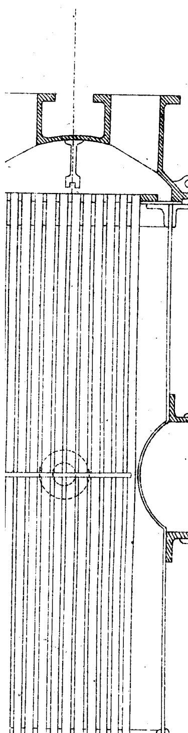
Черт. 16.

Черт. 15.

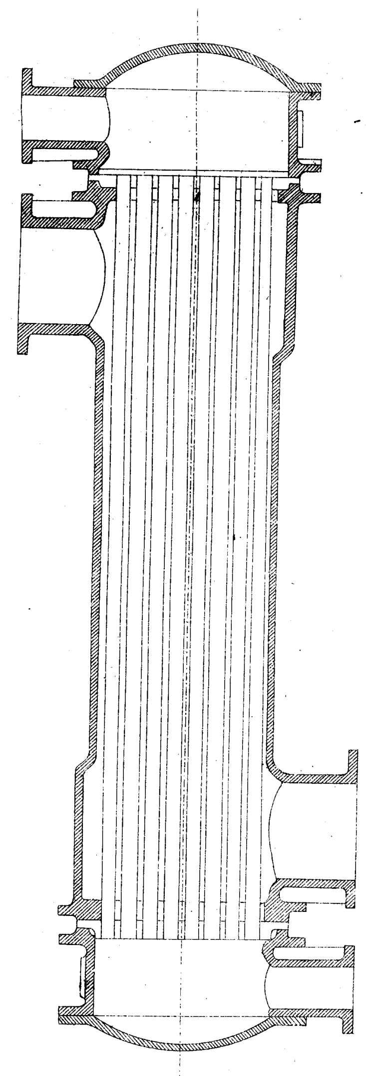
Картографическое Заведение при Томской Колон.-Переселен. Парт



Черт. 13.



Черт. 15.



Черт. 14.

Томской Колон.-Переселен. Партии, Обруб № 8.