

404077

Известия  
механического ин-та

1919г. в XII

404077.

# Извѣстія Механическаго Института

ИМПЕРАТОРСКАГО МОСКОВСКАГО ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА.

Mitteilungen des Mechanischen Instituts der Kaiserlich Technischen Hochschule—Moskau.

ВЫПУСКЪ XII.

## Лабораторія паровыхъ котловъ.

Dampfkessellaboratorium.

К. В. Кишрѣ. I. Изслѣдованіе корнвал., комбин. и водотрубнаго котловъ Л. П. К. въ комбинаціи съ ребристымъ экономайзеромъ при напряженіяхъ до

С. Kirsch.

$55 \text{ kg/m}^2$ —1 часъ.

(Versuche am Einflamrohr—, Combiniertem und Wasserrohrkessel des D. K. L. in Verbindung mit einem Rippenrohreconomiser. Kesselbelastungen bis  $55 \text{ kg/m}^2$ —1 Stunde).

II. Водотрубный котелъ Л. П. К. съ вертикальными ходами и перегревателемъ.

(Versuche am Wasserrohrkessel des D. K. L. bei vertikalen Zügen und mit Überhitzer).

III. Изслѣдованіе ребристаго экономайзера сист. „Р. Каблицъ“.

Versuche am Rippenrohreconomiser Syst. „R. Kablitz“.

404077  
ПРОВЕРЕНО  
952

БИБЛИОТЕКА  
ИМПЕРАТОРСКАГО  
МОСКОВСКАГО  
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА

МОСКВА.—1912.

Типографія Русскаго Товарищества, Чистые пруды, Мыльниковъ пер., соб. домъ.

Телефонъ 18-35.

По порядку поступления

№ 1879

# 1. Изслѣдованіе корнвалійскаго, комбинированнаго и водотрубнаго котловъ Л. П. К. въ комбинаціи съ ребристымъ экономайзеромъ въ $90\text{mt}^2$ и при напряженіяхъ до $55\text{kg/mt}^2$ —1 часъ.

Эта серія опытовъ была проведена въ ноябрѣ и декабрѣ мѣс. 1910 г., послѣ пуска въ ходъ въ октябрѣ мѣсяцѣ ребристаго экономайзера въ  $90\text{mt}^2$ . Чертежи котловъ даны въ VI и VII выпускахъ Извѣстій Мех. Института <sup>1)</sup>. Результаты всѣхъ опытовъ собраны въ прилагаемыхъ при семь цифровыхъ таблицахъ, составленныхъ весьма подробно и понятныхъ безъ особыхъ поясненій читателямъ статей Л. П. К. <sup>2)</sup>. Кромѣ того, основныя величины и характеристики опытовъ нанесены на *диаграммы работъ* отдѣльныхъ котловъ. Для каждаго котла проведены по четыре опыта; во время производства ихъ газоходы изслѣдуемой установки, а также и весь водопроводъ были совершенно изолированы отъ другихъ котловъ и экономайзера кирпичными стѣнками на глинѣ и заглушками. Всѣ опыты проведены при отопленіи нефтяными остатками (при паровыхъ форсункахъ), при чемъ работа велась при томъ минимальномъ избыткѣ воздуха въ топкѣ ( $a_m$ ), при которомъ было еще возможно *полное горѣніе*. Для жаротрубныхъ котловъ  $a_m = 1,15$  до  $1,19$ , т.-е. былъ крайне невысокъ, соответственно выгоднымъ условіямъ сжиганія нефтяныхъ остатковъ въ весьма длинномъ топочномъ пространствѣ, представляемомъ жаровой трубой. При большихъ напряженіяхъ комбинирован-

котла горѣніе (факель) заканчивалось только въ предѣлахъ вертикальнаго канала, за жаровыми трубами. Въ топкѣ водотрубнаго котла приходилось мириться съ нѣсколько большимъ избыткомъ воздуха, благодаря болѣе стѣсненному топочному пространству и необходимости, поэтому, болѣе быстрого заканчиванія процесса горѣнія, но и здѣсь  $a_m$  не великъ и равенъ  $1,28$ .

По мѣрѣ увеличенія напряженія работы котла, т.-е. *увеличенія разряженія въ газоходахъ*, увеличивается, однако, *присасываніе воздуха въ газоходы* черезъ поры кладки, неплотные швы и проч. Для оцѣнки количества присасываемаго воздуха составъ газовъ опредѣлялся, кромѣ выхода изъ котла, въ концѣ перваго хода, при входѣ въ экономайзеръ и выходѣ изъ него. По полученнымъ цифрамъ подсчитаны избытки воздуха и нанесены въ видѣ заштрихованныхъ діаграммъ внизу на соответствующихъ діаграммахъ работы. Изъ разсмотрѣнія этихъ діаграммъ выясняется, что для котловъ съ большой внѣшней поверхностью (выполненной изъ кладки) ходовъ (какъ водотруб. котель, а отчасти и корнвал. котель), особенно при старой <sup>3)</sup> обмуровкѣ (обмуровка корн. котла работаетъ уже съ 1903 года, водотрубнаго—съ 1906 г.)

<sup>3)</sup> „Возрастъ обмуровки“, а также характеръ эксплуатаціи ея безусловно долженъ имѣть крупное вліяніе на плотность. Результатомъ всякаго охлажденія и послѣдующей затѣмъ растопки котла должно быть появленіе новыхъ трещинъ, вслѣдствіе получающихся тепловыхъ деформаций. Въ особенно невыгодныхъ условіяхъ въ этомъ отношеніи находятся котлы съ частыми перерывами въ работѣ.

<sup>1)</sup> или Б. П. О. 1909 № 8 и 1910 г. № 5.

<sup>2)</sup> Результаты изслѣдованій экономайзера Каблица, включеннаго въ серію, разобраны въ отдѣльной статьѣ.

пропускъ воздуха кладкой весьма великъ, особенно при большихъ разрѣженіяхъ въ газоходахъ. Для корнваллійскаго котла присасываніе воздуха черезъ кладку котла доходитъ до  $\alpha_k - \alpha_m = 0,28$ , для водотрубнаго до 0,24 для комбинированнаго котла, имѣющаго больше внутреннихъ газоходовъ и почти совершенно новую обмуровку, присасываніе меньше и доходитъ только до 0,09. При этомъ пужно замѣтить, что вся „видимая трещина“, обнаруживающіяся присасываніемъ пламени свѣчки, тщательнѣйшимъ образомъ промазывались передъ началомъ каждаго опыта разведеннымъ азбеститомъ. Такимъ образомъ, наши цифры присасыванію даютъ минимальныя величины, которыя вообще можно получить при заданныхъ оборудованіи и разрѣженіяхъ. Еще больше присасываніе сборнымъ боровомъ, благодаря весьма большому его размѣрамъ и значительнымъ разрѣженіямъ въ немъ (до 45 м/м в. ст.). Пропускъ экономейзерной кладки невеликъ, благодаря новой и хорошей (желѣзо-инфузорной) обмуровкѣ его и уменьшенію до минимума въ данной конструкціи экономейзера пересѣкающихъ кладку частей<sup>1)</sup>.

Балансъ тепла котловъ показываетъ, что, несмотря на необычайно высокія напряженія поверхностей нагрева, можно было присоединеніемъ экономейзера создать установки, работающія съ весьма высокими коэффициентами полезнаго дѣйствія.

Для корнвал. котла

$$\text{при } D/H_k = 20,1 \text{ до } 54,7 \text{ (64,5) } kg/1 \text{ } mt^2 \\ \eta_y = 91,4 \text{ до } 82,2\%$$

для водотрубнаго

$$\text{при } D/H_k = 20,2 \text{ до } 51,1 \text{ } kg/1 \text{ } mt^2 \\ \eta_y = 88,8\% \text{ до } 80,1\%$$

для комбинированнаго

$$\text{при } D/H_k = 13,5 \text{ до } 29,1 \text{ } \\ - \eta_y = 91,4 \text{ до } 89,3\%$$

Коэффициенты полезнаго дѣйствія зависятъ при нефтяномъ отопленіи главнымъ образомъ отъ потери отходящими газами  $Q_2$ , т.е. отъ температуры газовъ и отъ избытка воздуха въ концѣ экономейзера (или котла), который, въ свою очередь, зависитъ отъ избытка воздуха въ топкѣ и отъ присасыванія его черезъ кладку.

Разсмотримъ на примѣрѣ насколько велико вліяніе этого втораго фактора на  $Q_2$  и коэффициентъ полезнаго дѣйствія. Корнваллійскій котель работаль при наиболь-

шей нагрузкѣ  $D/H = 54,7 \text{ } kg/mt^2$  при  $\alpha_m = 1,15$  ( $CO_2 = 13,5$ ),  $\alpha_k = 1,38$  ( $CO_2 = 11,2$ ) и  $\alpha_y = 1,62$  ( $CO_2 = 9,5$ ) при  $T_k = 455^\circ$  и  $T_y = 247$ . Подобный пропускъ воздуха ( $\alpha_y - \alpha_m = 1,62 - 1,15 = 0,47$ ) еще вовсе не особенно высокъ и на практикѣ приходится считаться съ гораздо большими величинами.

Посмотримъ какова была бы тепловая работа установки, если бы  $\alpha_m = \alpha_y$ , т.е. присасыванія вовсе не было. Тепловой подсчетъ котла дасть тогда  $T_k = 420$  и  $Q_2^k = 1800 \text{ } cal$  (вмѣсто 2300). Далѣе рѣшая уравненіе баланса тепла экономейзера

$$\left(\frac{52}{13,5} + 0,7\right) (420 - t_4) = 11,8 (t_4 - 33) + 70 \text{ } cal^1$$

и уравненіе его теплопередачи

$$90 = \frac{11,8 \cdot 296 (t_4 - 33)}{12,5^2} \left(\frac{420 + T_y}{2} - \frac{t_4 + 33}{2}\right)$$

мы получимъ температуру выходящей изъ экономейзера воды  $t_4 = 112^\circ$  (вмѣсто 117), а температуру газовъ за нимъ  $T_y = 216^\circ$  (вмѣсто 237<sup>6)</sup>). Отсюда потеря отходящими газами изъ экономейзера, т.е. всей установки будетъ

$$Q_2 = \left(\frac{51,5}{13,5} + 0,7\right) (216 - 36) = 830 \text{ } cal \text{ (вмѣсто 1230)}.$$

Балансъ тепла можно писать по такой схемѣ

$$Q = \overbrace{Q_1^k}^{Q_1^y} + \underbrace{Q_1^y + Q_2^y + Q_3^{y+z}}_{Q_2^k} + Q_3^y$$

Въ дѣйствительности мы имѣли (см. таблицу или диаграмму)

$$100\% = \overbrace{73,1 + 9,1}^{82,2} + \underbrace{12,3 + 1,6 + 3,9}_{23,0} + 5,5$$

а въ случаѣ отсутствія присасыванія воздуха было бы

$$100\% = \overbrace{78,1 + 8,1}^{86,2} + \underbrace{8,3 + 1,6 + 3,9}_{18,0} + 5,5$$

Такимъ образомъ, полное уничтоженіе присасыванія воздуха повысило бы экономичность одного котла на  $\frac{78,1 - 73,1}{78,1} 100 = 6,4\%$ , а экономичность всей уста-

новки на  $\frac{86,2 - 82,2}{86,2} 100 = 4,5\%$ . Какъ и нужно было

<sup>1)</sup>  $D/B = 11,8$  вмѣсто 11,2 въ виду болѣе высокаго  $\eta_y$  при новыхъ условіяхъ.  $70 \text{ } cal$  — потеря въ округ. среду экономейзеромъ (см. стр. 45 таблицы). Потеря боровомъ и трубами считаемъ = 0.

<sup>2)</sup> К теплопередачи экономейзера взять меньше (было 13) въ виду меньшей скорости газовъ.

<sup>3)</sup> Такъ какъ входитъ и перегрѣватель, то правильнѣе писать  $Q_2^{k+n}$ .

<sup>1)</sup> Такъ какъ разрѣженіе въ газоходахъ растетъ съ приближеніемъ къ тяговому устройству, то казалось бы, что плотность обмуровки должна бы также увеличиваться въ этомъ направленіи. На самомъ дѣлѣ мы наблюдаемъ чаще всего обратное, такъ какъ стѣнки обыкновенно утолщаются постепенно (въ виду меньшихъ температуръ газовъ и отсутствію поэтому необходимости толстой стѣнки). При большихъ разрѣженіяхъ въ газоходахъ это совершенно неправильно и необходимо принимать мѣры къ уплотненію кладки и въ „концѣ“ котельной. Помимо утолщенія кладки можно, понятнo, примѣнять и разныя другія средства.

ожидать вліяніе присосаннаго воздуха тѣмъ больше, чѣмъ выше температура уходящихъ изъ установки газовъ. Особенно вреденъ онъ для высоконапряженныхъ котловъ при работѣ безъ экономейзеровъ, присоединеніе которыхъ уменьшаетъ вредное вліяніе присоса. Изъ условий теплопередачи ясно, что присосанный воздухъ тѣмъ вреднѣе, чѣмъ ближе мѣсто присасыванія къ топкѣ и наоборотъ. На практикѣ приходится постоянно встрѣчаться съ еще гораздо большимъ вліяніемъ присасываемаго воздуха<sup>1)</sup> и потому вопросу о плотности котельной слѣдовало бы уделять гораздо больше вниманія, чѣмъ это до сихъ поръ обыкновенно дѣлается. Особенно рѣзко приходится считаться съ потерей отъ присоса теперь, когда постепенно техника идетъ въ сторону повышения напряженія котловъ безъ соответствующихъ при этомъ измѣненій ихъ газоходовъ. Примѣромъ могутъ служить наши лабораторные котлы, которые по размѣрамъ своихъ газоходовъ, заслонокъ и отчасти топокъ являются нормальными котлами и вовсе не рассчитаны для тѣхъ вы-

Во всѣ дымогарныя трубки комбинированнаго котла были вставлены прямыя полосы желѣза (по вертикальному діаметру размѣромъ  $2\frac{1}{4}'' \times 3/16''$ ). Полосы были подобраны такъ, чтобы они легко вдвигались въ трубки.

Всѣ 4 опыта съ этимъ котломъ были продѣланы при такихъ вставкахъ. Подсчитанные потомъ коэффициенты теплопередачи сопоставлены съ коэффициентами, взятыми изъ опыта безъ вставокъ (см. диаграмму фиг. 1). Оказывается, что желѣзныя перегородки, косвенной отдачей полученнаго соприкосновеніемъ отъ газовъ тепла излученіемъ трубамъ увеличили К. Т. въ случаѣ большой нагрузки почти на 30%. Дѣйствіе полосу тутъ ослабляется тѣмъ, что во второй половинѣ трубъ они работают въ газахъ низкой температуры, т.-е. слабого вліянія лучеиспусканія на теплопередачу<sup>1)</sup>. Еще болѣе значительное вліяніе могли бы эти полосы имѣть въ локомобильныхъ котлахъ, давая возможность или работать съ меньшими температурами отходящихъ газовъ или при необходимости достаточно высокихъ температуръ (для перегрѣва)—дѣлая возможнымъ сокращеніе котла. Въ комбинированномъ котлѣ вліяніе вставокъ на общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія не великъ, такъ какъ теплоиспользованіе и безъ того очень высоко (даже при  $D/H = 29,1 \text{ kg } T_k - t_s = 275 - 191 = \text{всего } 84^\circ$ , а при вставкахъ  $255 - 191 = 64^\circ$ ). Въ виду плохого контакта полосъ съ трубками, о дѣйствіи ихъ какъ ребра вовсе не приходится говорить.

Интересно сравненіе суммарной тепловой работы трехъ типичныхъ котловъ при нефтяномъ отопленіи и довольно близкихъ другъ къ другу условіяхъ работы топокъ. Нѣкоторую характеристику могутъ дать температуры отходящихъ газовъ при равныхъ давленіяхъ въ котлѣ, т.-е. температурѣ воды въ нихъ, и одинаковыхъ избыткахъ воздуха въ топкѣ<sup>2)</sup>. На диаграммѣ (фиг. 2) нанесены по оси абсциссъ напряженія поверхности нагрѣва котла по нормальному пару ( $\lambda = 637$ ), по ординатамъ соответствующія имъ температуры  $T_k$ . Такъ какъ въ испытаніе корнваллійскаго котла разсматриваемой серіи включенъ перегрѣватель, то для удобства цифры взяты изъ опытовъ безъ перегрѣвателя 1909 года (Б. П. О. 1910 № 5).

Но при переменныхъ  $a_m$  температуры отходящихъ газовъ недостаточно характерны и можно было бы предложить оцѣнку тепловоспріятія всей поверхности нагрѣва (включая и полученіе тепла излученіемъ изъ точки) по условному коэффициенту

$$K_k = \frac{V \cdot c \cdot B}{H_k} \ln \frac{T_z - t_s}{T_k - t_s},$$

$$\text{гдѣ } V \cdot c = \frac{C}{0,54 \text{ CO}_2} \cdot C_{c.z.} + \left( \frac{9H + W}{100} + W_{\phi} \right) \cdot 0,55$$

$$\text{и } C_{c.z.} = 0,314 + 0,00003 (T_z + T_k)$$

сокихъ напряженій, при которыхъ мы съ ними работаемъ. Поэтому приходится считаться съ весьма большими скоростями газовъ въ отдѣльныхъ ходахъ (см. соответствующія строки таблицы), съ большими скоростями воздуха по воздушнымъ каналамъ и соответственно съ весьма большими разряженіями въ газоходахъ (до 45 м/м. в. с. за котломъ). Долгое время (да и теперь еще къ сожалѣнію, весьма часто) допускались сознательно такія большія скорости, предполагая что увеличеніе скорости есть единственный путь къ повышенію коэффициентовъ теплопередачи поверхностей нагрѣва котельной. Однако, можно считать доказаннымъ, что воплнѣ возможно созданіе такихъ конструкцій котловъ<sup>2)</sup>, въ которыхъ при весьма невысокихъ скоростяхъ будетъ обезпечена хорошая теплопередача за счетъ использованія перехода тепла не соприкосновеніемъ только, а излученіемъ промежуточныхъ тѣлъ. Достаточно иллюстрацій къ этому утверженію могутъ дать изслѣдованія Л. П. К.

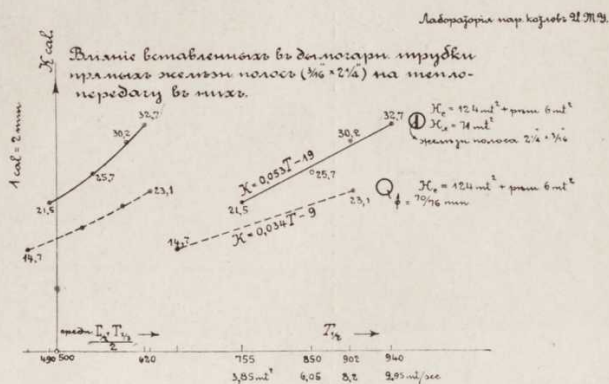
И въ разсматриваемую серію опытовъ было включено такое изслѣдованіе.

<sup>1)</sup> Приходилось изслѣдовать котельныя, въ которыхъ при  $a_m = 1,4$  подъ дымовой трубой  $a_y = 4,5$ .

<sup>2)</sup> Въ настоящее время и на рынкѣ уже имѣются такіе котлы, хотя конструкции иногда сами не сознаютъ основныхъ причинъ крупныхъ преимуществъ ихъ котловъ.

<sup>1)</sup> См. Б. П. О. 1910—№ 5. К. В. Кирша. Къ вопросу о теплопередачѣ въ паровыхъ котлахъ или VII выпускъ Извѣстій Механическаго Института.

<sup>2)</sup> Состояніе стѣнокъ можно считать приблизительно одинаковымъ,—практически чистымъ.



Фиг. 1.

$B$  — часовой расход топлива,  $H_k$  — полн. поверхность нагрева котла,  $T_z$  — теоретическая температура горения.

$$T_z = \frac{Q + \alpha_m \cdot V_1 \cdot 0,3 \cdot t_b + W_{\text{ф}} \cdot 0,48 \cdot t_{\text{ф}}}{C \cdot C_{c.s.} + \left( \frac{9H + W}{100} + W_{\text{ф}} \right) \cdot 0,60}$$

Здесь  $C_{c.s.} = 0,314 + 0,00003 (T_z + 0)$ .

Вычисленные отсюда значения для  $K$  не будут коэффициентами теплопередачи в общепринятом и строго установленном смысле этого термина <sup>1)</sup>, но для сравнительной оценки теплопередачи котлов (без перегревателей, т.-е.  $t_s = \text{const}$ ), они очень удобны.

На диаграммѣ нанесены также и величины  $K_k$ , которая условно названы коэффициентами теплопередачи котлов.

Оказывается из сравниваемых котлов при нефтяном отоплении и малом избытке воздуха наилучшей теплопередачей обладает *комбинированный котелъ*, далее слѣдует *корнваллийскій* и на послѣднемъ мѣстѣ *водотрубный*. Это было уже и ранѣе подчеркнуто въ работахъ Лабораторіи и ничего неожиданнаго не представляет, если разсматривать теплопередачу въ котлахъ съ нашей точки зрѣнія, т.-е. съ подлежащей *оценкой участія косвеннаго излученія* въ переходѣ тепла <sup>2)</sup>. При пламенныхъ топливахъ и первый ходъ (жаровая труба), а въ особенности боковые ходы *корнваллийскаго котла* ( $K$  до 40 cal.) воспринимаютъ благодаря излученію обмуровки гораздо лучше тепло газовъ, чѣмъ ходы, особенно вертикальные, (съ  $K=15-20$  cal) *водотрубныхъ котловъ* гдѣ косвенное излученіе почти отсутствуетъ. Въ нашемъ сравненіи участвуетъ очень узкій котелъ <sup>3)</sup> (всего 6 трубъ въ ширину), въ которомъ влияетъ еще замѣтно излученіе боковыхъ стѣнъ, но при широкихъ котлахъ съ вертикальными ходами для 2, 3 и 4 хода коэф. теплопередачи обыкновенно колеблется всего около 15 — 16 cal (см. вып. VI Изв. Мех. Инст.) и соответственно съ этимъ и  $K_k$  будетъ еще ниже.

Изъ диаграммы видно, что и  $T_k$  и  $K_k$  можно выразить въ *разсматриваемыхъ нами предѣлахъ* довольно точно, какъ линейныя функции  $D/H_k$ .

Можно написать:

для комбин. котла  $T_k = 150 + 3,8 \frac{D}{H_k}$   $K_k = 20,5 + 0,55 \frac{D}{H_k}$   
 „ корнв. „  $T_k = 140 + 6,0 \frac{D}{H_k}$   $K_k = 14 + 0,66 \frac{D}{H_k}$   
 „ водотр. „  $T_k = 164 + 7,2 \frac{D}{H_k}$   $K_k = 11 + 0,65 \frac{D}{H_k}$

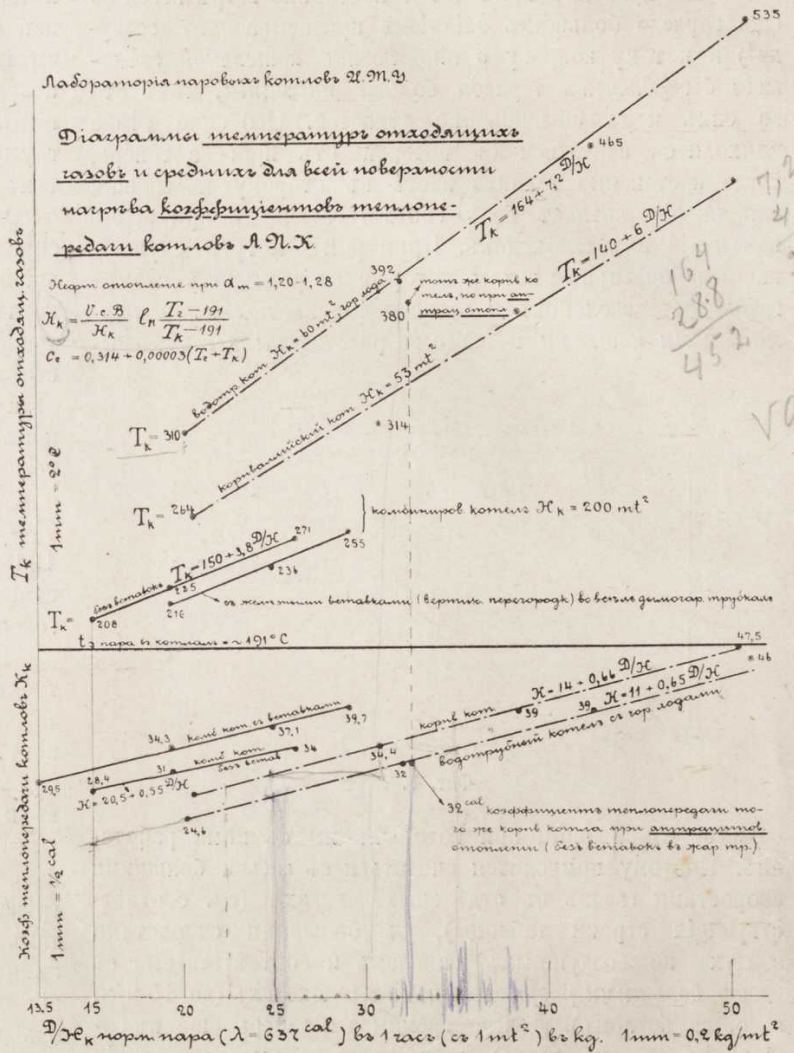
<sup>1)</sup> Приведенное логарифмическое выраженіе для  $K$  получено интегрированіемъ основнаго дифференціалнаго выраженія  $K(T-t) dH = Vc \cdot B dt$  при предположеніи  $K$  const. и  $C_{c.s.}$  const. на самомъ же дѣлѣ и  $K$  и  $C_{c.s.}$  переменныя величины.

<sup>2)</sup> Въ литературѣ и теперь еще большинство авторовъ относятъ именно водотрубные котлы (да еще съ вертикальн. ходами) къ наилучшимъ теплопринимающимъ аппаратамъ.

<sup>3)</sup> Съ горизонтальными ходами.

При пользованіи этими уравненіями нужно только не забывать, что они относятся къ котламъ *опредѣленныхъ конструкций, безъ перегревателей и къ опредѣленнымъ условіямъ работы* (нефтяное отопленіе при маломъ избыткѣ воздуха и практически чистыхъ стѣнкахъ, давленіе — 12 ат).

На диаграммѣ нанесены также для  $D/H=32,5$  kg.



Фиг. 2.

$K_k$  и  $T_k$  для случая того же корнвал. котла при сжиганіи въ немъ дающаго прозрачное, не теплоизлучающее пламя, *антрацита* <sup>1)</sup>. Благодаря плохой теплопередачѣ въ части жаровой трубы за топкой, коэффициентъ теплопередачи всего котла ниже, чѣму соответствуетъ болѣе высокая температура отходящихъ газовъ  $T_k$ .

Помимо разсмотрѣнныхъ нами температуръ и состава отходящихъ газовъ на коэффициентъ полезнаго дѣйствія влияетъ *потеря въ окружающую среду*. При малой величинѣ этой потери на нее, между прочимъ, весьма рѣзко влияетъ *температура окружающей среды*. По-

<sup>1)</sup> См. подробности. К. В. Киршь. Сжиганіе антрацита и использование его тепла въ котельной.

этому при точных опытах ее необходимо записывать <sup>1)</sup> для возможности учета ее влияния при оценках  $Q_5$ . Вся серия опытов была проведена при неventилируемой котельной (не считая воздуха просасываемого топками) при температурах окружающей котельного воздуха около 35—40°С. Она мѣнялась нѣсколько въ зависимости отъ числа работающих котловъ, а также отъ температуры и другихъ условий окружающей котельную атмосферы. Опыты съ корнваллійскимъ и комбинированнымъ котлами подтверждаютъ сдѣланное еще въ I выпускѣ Изв. Мех. Инст. утверждение о постоянствѣ потери въ окружающую среду при котлахъ съ внутренними топками (жаротрубными) и отсутствіи зависимости ее отъ  $D/H$  <sup>2)</sup>. Для корнваллійскаго котла оказалось при существующей обмуровкѣ

$$\left( \text{съ желѣзо-инфузорной обмуровкой торца} \right) \frac{Q_5}{Q} \cdot 100 =$$

$$\frac{4,5 + 5 + 3,9 + 3,9}{4} = 4,3\% \text{, для комбинированнаго —}$$

$$\frac{4,6 + 4,5 + 4,2 + 4,2}{4} = 4,4\% \text{. Эти цифры очень хо-}$$

рошо сходятся съ цифрами, данными въ VII выпускѣ Изв. Мех. Инст. и ихъ надо признать исключительно хорошими. Для общепринятыхъ пока еще рыночныхъ обмуровокъ и устройствъ топочныхъ фронтовъ жаротрубныхъ котловъ, аналогичныхъ нашимъ, потеря въ окружающую среду составляетъ 8—10%.

Нѣкоторое измѣненіе внесено въ устройство водотрубнаго котла (противъ устройства, описаннаго въ VI вып. Изв. Мех. Инст. (Б. П. О. 1909) съ цѣлью даль-

нѣйшаго пониженія потери въ окружающую среду. Покрываютъ асбестовыми одѣялами толщиной около 25 м/м. внѣшнія стороны водяныхъ камеръ. Эти поверхности представляютъ весьма значительный источникъ потери, если учесть ихъ большія неровныя поверхности (благодаря лучнымъ скобамъ) и высокія температуры, равныя температурѣ пара въ котлѣ. Несмотря на это, поверхности обыкновенно лишены сколько-нибудь серьезной изоляціи. Камеры эти обыкновенно прикрываются накладными щитками, не прилегающими плотно къ кладкѣ, благодаря чему устанавливается токъ воздуха снизу вверхъ по каналу между камерой и щитками; что, понятно, только способствуетъ отнятію тепла. Иногда ставятся массивныя плотно прилегающія дверки, не уничтожающія, однако, перехода тепла излученіемъ. Рѣдко только эти дверки изолируются съ внутренней стороны. Покрѣпленіе камеръ съемными <sup>1)</sup> одѣялами дало весьма хорошую изоляцію благодаря тому, что лучные болты и скобы мѣшаютъ плотному прилеганію одѣяла и, такимъ образомъ, между ними и стѣнкою камеры остается воздушный прослоекъ съ стѣсненной циркуляціей.

Благодаря изоляціи камеръ потеря въ окружающую среду еще уменьшилась и сдѣлалась болѣе постоянной <sup>2)</sup>. При измѣненіи напряженія котла  $D/H=20,2/32/42,5$  и 51,1 kg потери въ окружающую среду получились въ 4,6; 3; 2,8 и 2,3%. Опыты безъ матрацевъ дали для напряженій 20,0, 25,7 и 33,7 kg потерн.  $Q_5 = 7,8\%$ , 6% и 4,3%, т.-е. коэффициенты полезнаго дѣйствія повысились соотвѣтственно болѣе, чѣмъ на 2%.

<sup>1)</sup> У насъ записи велись черезъ 15 мин. по 12 термометрамъ.  
<sup>2)</sup> См. также VI выпускъ Извѣстій Механич. Института или Б. П. О. 1909.

<sup>1)</sup> Глухая изоляція камеръ тутъ недопустима, въ виду необходимости контроля плотности люковъ.  
<sup>2)</sup> Вслѣдствіе уменьшенія поверхности съ постоянной и высокой температурой <sup>1</sup>/<sub>2</sub> (см. вып. VI).

Handwritten calculations and diagrams:

7500  
7800  
60. m<sup>2</sup>  
K = 1 + 0,15 H  
1950 = 3H  
6d  
650°  
n = 0,9  
g = 0,7412 + 0,7650  
H = 23  
K<sub>н</sub> = 23  
g = 0,7412 + 0,7650  
g = 4,12°





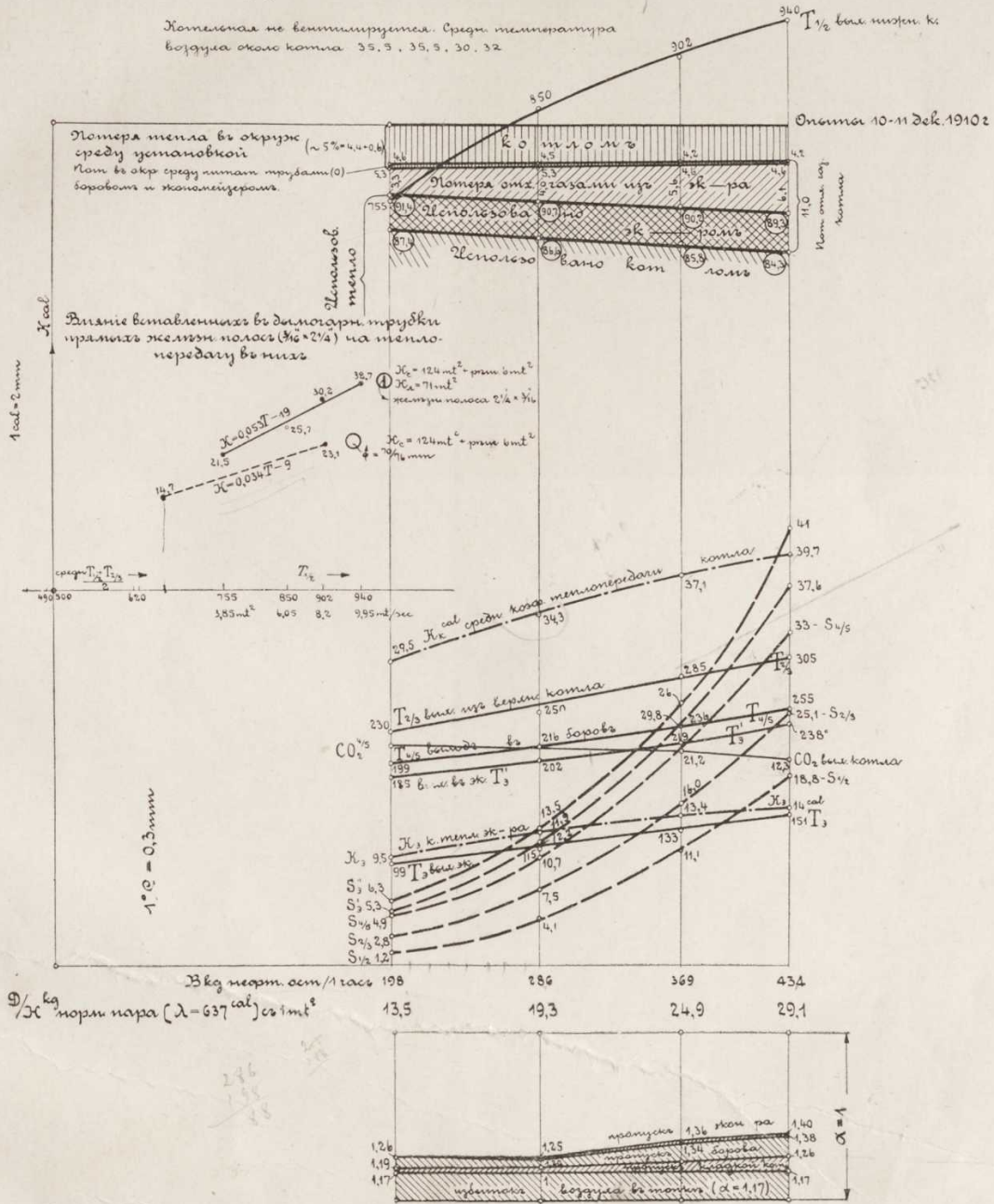
Диаграмма работы конд. котла Фрунзев и Тамнер (Л.Н.К.) Табл. II.

$H_k = 200 \text{ mt}^2$ ,  $p_k = 12 \text{ at}$ .

в соединении с предр. экономизатором сист. Кадмурз ( $H_k = 9901 \text{ mt}^2$ )

Примечание. Во всех диаграммах трубки вставлены по всей их длине по вертикали. Диаметр желтых полос  $\frac{3}{16}'' \times \frac{1}{4}''$

Комплексная не конденсируемая. Средн. температура воздуха около котла 35,5, 35,5, 30, 32



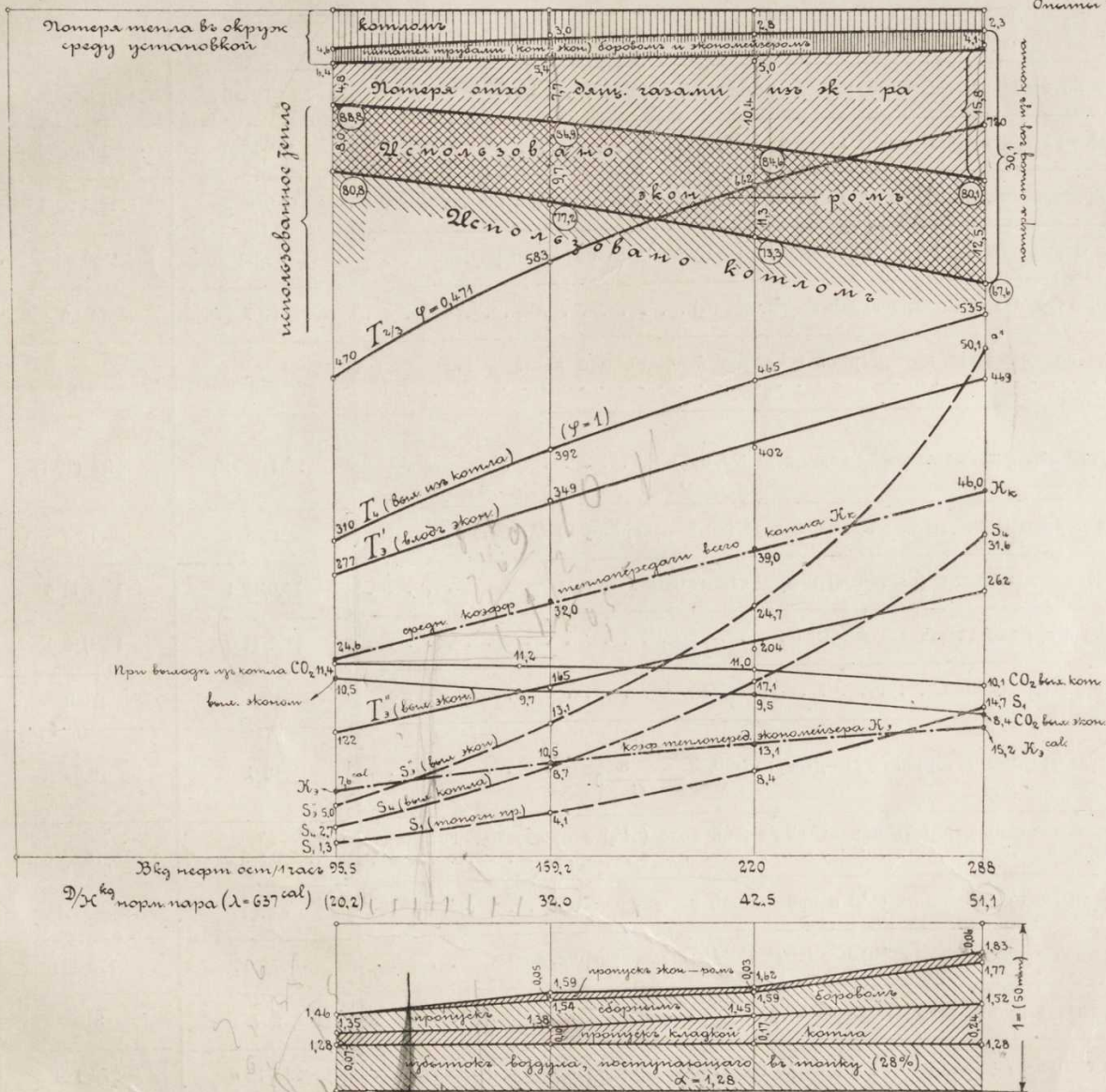
# Диаграмма работы водотрущелочной котла Steinmüller Табл. III.

$H_k = 60 \text{ mt}^2$  с корпусом ходами  $r_k = 12 \text{ ат.}$  в соединении с редукционным эконвейзером сист. Каблицы ( $H_2 = 90/101 \text{ mt}^2$ ).

Примечание. Водяная камера котла изолирована асбестовыми матрацами (с вод. прослойками).

Комнатная и котельная Срежн температура около котла - 40,2 (40,4) 39, (38,6)

Опыт 25-26 II 1910г



100  
95  
64

## I. Результаты испытанія

- 1) **кornвалійскаго котла** ( $H_k = 53 \text{ mt}^2$ ) съ **перегрѣвателемъ** ( $H_{ii} = 40 \text{ mt}^2$ )  
 2) **экономейзера** ребристаго прямого дѣйств. сист. **Каблицъ** ( $H_p = 90 \text{ mt}^2 / 101 \text{ mt}^2$ ) и  
 3) **паровой питательной установки** изъ прямод. паров. насоса Шваде и поверхн.

1	Время производства испытанія и продолжительность его . . . . .	2. XII. 3 <sup>4</sup>	2. XII. 2,5
2	Соожжено въ 1 часъ нефт. остатковъ . . . . . <i>B</i> kg	92,7	175,0
3	Испарено въ 1 часъ воды . . . . . <i>D</i> kg	1170	2050
4	Испарено въ 1 ч. воды на 1 $\text{mt}^2$ пов. нагр. котла . . . . . <i>D/H_k</i>	22,0	38,7
5	Испарено воды единицей вѣса нефт. ост. . . . . <i>D/B</i>	12,6	11,7
6	Изъ испаренной въ 1 часъ воды превращено въ перегр. паръ . . . . . <i>D_{ii}</i> kg	1076	1920
7	Изъ испаренной въ 1 часъ воды превращено въ насыщ. паръ . . . . . <i>D_{\phi} + D_{ii}</i>	33+56=94	63+67=130
8	Среднее давл. <i>p_k</i> kg/qct и температура <i>t_{ii}</i> пара . . . . .	125/374 <sup>1</sup>	12,5/390
9	Средн. температура пит. воды при входѣ ( <i>t_2</i> ) и выходѣ ( <i>t_2</i> ) изъ нас. подогрев. . . . .	16,0/45,3	19,3/39,3
10	Средн. температура пит. воды при входѣ ( <i>t_3</i> ) и выходѣ ( <i>t_4</i> ) изъ экономейзера . . . . .	45/92	39/96
11	Средн. температура пит. воды при входѣ въ котель ( <i>t_5</i> ) . . . . .	88,7	92,5
12	Затрата тепла на испареніе и перегрѣвъ 1 kg пара $\lambda$ (средн. для котла и перегрѣв) $x=0,995$ . . . . . cal.	670	676
13	Напряженіе 1 $\text{mt}^2$ пов. нагр. котла въ kg норм. пара ( $\lambda=637$ ) . . . . .	20,1 (23,2)	34,7 (40,7)
14	Парообразование единицы вѣса топлива при норм. парѣ (кот. + перегрѣв.) ( $\lambda=637$ ) . . . cal.	13,3	12,5
15	$CO_2$ при выходѣ изъ жар. тр. (въ топкѣ) и при выходѣ изъ котла въ % S. . . . .	13,0/12,4	12,5/11,5
16	$CO_2$ при входѣ и при выходѣ изъ экономейзера . . . . .	11,2/11,0	10,4/10,3
17	$CO_2 + O$ при выходѣ изъ котла . . . . .	16,5	16,9
18	$CO_2 + O$ при условіи полн. горѣнія $= 21 - \beta CO_2$ ; $\beta = 0,79$ . $\frac{H - \frac{0-S}{8}}{C} \cdot 3$ . . . . .	16,6	16,95
19	Разрѣженіе въ точочн. простр. ( <i>S_1</i> ), при входѣ во 2-ой ходѣ ( <i>S<sub>1/2</sub></i> ) и при выходѣ изъ котла <i>S<sub>3/4</sub></i> въ м/м. в. с. . . . .	2,7/3,3/3,9	10,8/13,5/16,0
20	Разрѣженіе при входѣ въ экон-ръ ( <i>S'<sub>2</sub></i> ) и при выходѣ изъ эк-ра ( <i>S''<sub>2</sub></i> ) . . . . .	—/5,1	—/17,4
21	Температура газовъ при входѣ ( <i>T''<sub>1/2</sub></i> ) и выходѣ ( <i>T'''<sub>1/2</sub></i> ) изъ перегрѣвателя . . . . .	587/263	770/294
22	Температура газовъ при выходѣ изъ котла <i>T<sub>3/4</sub></i> . . . . .	237	310
23	Температура газовъ при входѣ ( <i>T'<sub>2</sub></i> ) и выходѣ ( <i>T''<sub>2</sub></i> ) изъ экон-ра. . . . .	213/100	270/144
24	Температура воздуха передъ топкой <i>t<sub>2</sub></i> . . . . .	36	36
25	Средн. температура воздуха около котла (и перегрѣвателя). . . . .	34,1	35,6
26	« топки и « конца котла . . . . .	1,19/1,25	1,22/1,35

**установки изъ:**

при нефт. топкѣ паров. форс. (плоск.) сист. Подашевского.

подогрѣвателя  $H_n = (5,2 \text{ mt}^2)$ .

8. XII. —	8. XII. 2,0	
222	296	
2560	33,25	
48,4	63,0	
11,6	11,2	
2409	3151	
73+78=151	84+90=174	
12,4/382	12,5/390	
15/33,5	16/33	
33/112	33/117	
109	114	
653	653	$\lambda_{cp} = \frac{(667 - q_5)(D\phi + Dn) + (667 + 2,4 + c(t\ddot{u} - ts) - q_5)D\ddot{u}}{D}$
42,2 (49,8)	54,7 (64,5)	Считается только тепловосприятіе котла (безъ перегрѣвателя) $\frac{667 - q_5}{637}$ . № 4. Въ скобкахъ теплониспользование котла и перегрѣля отнесенное къ котлу.
11,8	11,5	
12,5/10,8	13,5/11,2	
9,4/9,2	9,6/9,5	
16,9	16,8	
17,1	17,0	
16/22/27	26/35/45,6	
—/28,8	—/48,5	
—	870/353	
395	455	
348/195	397/237	
37	38	
38	39	
1,22/1,42	1,15/1,38	

01 0215  
07 0210 5  
01 0212 5

**Выводы:** I Топка (съ холоднымъ фронтомъ, подогревателемъ и паров. форс. сист. Подашевского) и котель

27	Секундный объемъ воздуха поступ. въ топку при 0° и 760 м/м въ $mt^3$ . . . . .	0,34	0,66
28	Скорость воздуха при входѣ въ топочн. фронтъ (при $t^0=№ 24$ ) $mt/sc$ . . . . .	3,2	6,3
29	Сопротивленіе топки . . . . . въ м/м в. см.	2,7	10,8
30	Отношеніе поступ. въ топку воздуха къ теор. необходимому $\alpha_m$ . . . . .	1,19	1,22
31	Характеристика полноты горѣнія $\lambda=(№ 18-№ 17)$ . . . . .	+0,15	-0,05
32	Средн. сек. объемъ газовъ въ бок. ход. при 0° и 760 м/м и при ср. температурѣ газовъ хода . . . . . $m^3$	0,38/0,85	0,74/2,0
33	Средн. скорость газовъ въ боковыхъ ходахъ . . . . . $mt/sc$ $T=0,66$ $mt^2$	1,3 (0,1 м/м <i>b. c.</i> )	0,13
34	Отношеніе всасываемаго черезъ кладку воздуха къ теор. необходим. . . . .	0,06	—

**II. Перегрѣватель** (противотокъ)—10 трубокъ (параллельно включенныхъ) діам.=24/33 м/м.,  $H\ddot{u}=40$   $mt^2$ .

35	Отдано газами тепла въ перегр. камерѣ на 1 kg топлива . . . . .	$(2930-1240) \cdot \mu =$ =1230	$(3930-1440) \mu =$ =1270
36	Получено паромъ тепла въ перегрѣвателѣ на 1 kg топлива. . . . .	1130	1170
37	Потеряно тепла въ окруж. среду на 1 kg топлива . . . . .	100 cal	100 cal
38	Доля общаго количества газовъ, проходящихъ черезъ перегрѣв. $\mu$ . . . . .	0,75	0,51
39	Сопротивленіе 1) газовъ ( $S'' 1/2-S' 1/2$ ) и 2) пара $kg/qct$ въ перегрѣвателѣ . . . въ м/м с. в.	0,4/—	0,8/—
40	Средняя скорость 1) газа и 2) пара въ перегрѣвателѣ. . . . . $mt/sc$		
41	Средн. температура газовъ въ перегрѣвателѣ . . . . .		
42	Кoeffиц. теплопередачи перегрѣвателя . . . . . $K\ddot{u}$ cal.	18,8	21,5

**III. Экономейзеръ** прям. дѣйств., ребрист. сист. Каблиць, номин. газов. пов. нагрѣва 90  $mt^2$  (18 трубъ),  
 Полное сѣч. экон. газохода (въ узк. мѣстѣ)=1,61  $mt^2$  } Водяной объемъ эк-ра=350 $l$ . Вѣсь экон-ра  
 Живое (свободн.) " " " " " =1,15  $mt^2$  } Теплосодержаніе экон-ра на 1°С=820 cal.

43	Отдано газами тепла въ экон-рѣ на 1 kg топлива . . . . . cal.	1140—1120—520 600	1610—1540—310 730
44	Получено водой тепла въ экон-рѣ на 1 kg топлива . . . . . cal.	= 590	680
45	Потеряно тепла въ экон-рѣ на 1 kg топлива . . . . . cal.	10	50
46	Сопротивленіе движенію газовъ въ экономейзерѣ . . . . . м/м в. ст.		
47	Средн. температура газовъ въ экономейзерѣ (см. № 23) °С . . . . .	$\frac{213+100}{2} = 157^0$	$\frac{270+140}{2} = 207$
48	Секудн. объемъ газовъ въ экономейзерѣ при 0° и 760 м/м и при т-рѣ № 53. . . . .	0,42/0,66	0,84/1,50
49	Средняя скорость газовъ въ экономейзерѣ . . . . .	0,57	1,3
50	Скорость воды въ экономейзерѣ . . . . . $mt/sc$	0,04	0,073
51	Кoeff. теплопередачи эк-ра по ном. п. и. (90 $mt^2$ ). . . . .	6,6	9,9
52	« въ началѣ и концѣ экон-ра . . . . .	1,38/1,400	1,48/1,5

(съ одною жаров. трубой).

0,83	1,04	
7,8	9,8	Сѣченіе возд. околъ $f=0,12 \text{ mt}^2$ .
16,0	16,0	
1,22	1,22	
-0,2	-0,2	Горѣніе $\sim$ полное.
0,97/2,7	1,2 3,5	
4,1 (5,0)	5,3 (10,6)	Перегородки выпуты. Въ скобкахъ сопротивл. бок. ходовъ.
0,20	0,23	

Свободное сѣч. газохода  $=0,799 - 10 \cdot 0,9 \cdot 0,033 = 0,5 \text{ mt}^2$ .

” ” труба  $=0,0046 \text{ mt}^2$ .

	$(4350-1840)\mu = 1280$	№ 36+100 cal.
1130	1180	
100	100 cal	Принято на основаніе другихъ опытовъ.
$\sim 0,5$	0,51	
1,6/—	2,4/—	
	8,8 mt/sc.	Сѣч. газохода $0,4 \text{ m}^2$ .
—	26	$k = \frac{D\bar{u}[r(1-x)+c(t\bar{u}-tc)]}{H\bar{u}\left(\frac{T^v v_{1/2} + T^m v_{1/2}}{2} - \frac{t\bar{u} + tc}{2}\right)}$ Перегрѣватель загрязненъ снаружи.

дѣйств. газ. пов.  $=101 \text{ mt}^2$ .

$=3600 \text{ kg.}$ ; дѣйств. вод. пов.  $=15 \text{ mt}^2$ .

2230—2190—1210 1020	2520—2480—1460 1020	
930	950	
50	70	
$\frac{348+195}{2} = 272$	$\frac{397+237}{2} = 317$	
1,20/2,40	1,56/3,4	
2,1	2,95	
0,09	0,12	
11,4	13,0	
1,64/1,67	1,6/1,62	

**IV. Баланс тепла с перегревателем и экономайзером.**

53	1 kg топлива вносить в точку располагаемого тепла (низшая теплопроизводительность) . . . . .	9830		9830	
54	Изъ тепла 1 kg топлива утилизируется котломъ . . . . .	75,1%	} 8440	68,9	} 7910
55	Изъ тепла 1 kg топлива утилизируется перегревателемъ . . . . .	1050,10,7%		85,8%	
56	Изъ тепла 1 kg топлива утилизируется экономайзеромъ (считая до $t_2$ и $t_5$ ) . . . . .		5,6		7,3%
57	Изъ тепла 1 kg топлива утилизируется всей котельной . . . . .		<b>91,4%</b>		<b>87,7%</b>
58	Изъ тепла 1 kg топлива уносится отходящ. газ. изъ котла . . . . .	1140—190 950	9,7	1430	14,5
59	Изъ тепла 1 kg топлива теряется отходящ. газ. изъ экон-ра . . . . .	530—200 330	3,4	610	6,2
60	Изъ тепла 1 kg топлива теряется въ окр. средн. коткомъ и перегрѣв. . . . .		4,5%		5,0
61	Изъ тепла 1 kg топлива теряется въ окр. средн. котломъ и перегревателемъ, боровомъ, экономайзеромъ и водопроводомъ . . . . .		5,2		6,1
62	Изъ тепла 1 kg топлива теряется въ окр. боров. экон. и водопров. . . . .		0,7		1,1

**V. Питательная установка прямод. паров. насосъ Шваде и поверхн. подогреват. пит. вод.  $H_n=5,2 \text{ m}^2$ .**

63	Полезная работа насоса (подъемъ воды) . . . . . PS	0,54		0,95		
64	Расходъ пара на 1 полезную силу. . . . . kg.	56,2 0,54=104		66,7 0,95=70		
65	Температура конденсата при выходѣ изъ подогрев. $t_c$ . . . . .	30,5		30,5		
66	Баланс энергии лит. установки.	1 kg пара вносить въ установку тепла . . . . .	665	100%	665	100%
67		Изъ тепла 1 kg пара превращается въ полезн. работу насоса . . . . .	6,1	0,9	9,0	1,4
68		Изъ тепла 1 kg пара отдается пит. водѣ въ подогревателѣ . . . . .	610 $\Delta t=29,8$	91,7	612 $\Delta t=20$	92,0
69		Изъ тепла 1 kg пара уносится конденсатомъ . . . . .	30,5	4,6	30,5	4,6
70		Изъ тепла 1 kg пара теряется въ окруж. среду . . . . .	18,4	2,8	13,5	2,0
70a	Черезъ 1 $\text{m}^2$ нов. нагр. подгрѣват. проходить 1 ч. тепла . . . . . cal.	6700		7900		
71	Изъ тепла 1 kg топлива тратится на питание. . . . .	0,33		0,26		

**VI. Форсунка паров. плоск. сист. Подашевского.**

72	Давленіе и температура пара при входѣ въ форсунку . . . . .	1,46 kg/qct/235		2,75/246	
73	Расходъ пара на пульверизацию 1 kg нефт. ост. . . . .	0,4		0,36	
74	Изъ тепла 1 kg топлива тратится на пульверизацию . . . . . %	2,7		2,4	
75	Изъ тепла 1 kg. топлива тратится на тягу . . . . . %	0 (безъ дымососа)		1,3	
76	Весь вспомогательный расходъ (пит.+форс.+тяги) . . . . . %	<b>3,03</b>		<b>3,96</b>	
77	Итого изъ тепла 1 kg топлива передается пару, расходуемому потребителями (чистое использ.) . . . . .	<b>88,7</b>		<b>83,74</b>	

10000		10000		Сост. нефт. ост. C=85,0% = 86,8      H=12,9% = 12,8      O=2,1% (9830). = 0,4 (1000).	
64,7	7570	62	7310		
1100.11,0	75,7	1110.11,1	73,1%		
	9,0%		9,1		
	<b>84,2%</b>		<b>82,2%</b>		
2040	20,4%	2300	23,0%		
990	9,9	1460-230= =1230	12,3		
	3,9		3,9		
	5,4		5,5		
	1,5		1,6		

1,2		1,5		
$\frac{78}{1,2} = 65$		$\frac{90}{1,5} = 60$		
—		—		
665	100%	665	100%	
9,7	1,5			
$\frac{605}{\Delta t=18,5}$	90,8			
~ 29	4,4			
21,3	3,3			
9120				
0,24		0,22		

3 4/222	5,5/235	
0,33	0,28	
2,1	1,9	
1,5	1,6	Электромоторный дымососъ Sirocco.
<b>3 84</b>	<b>3,72</b>	
<b>80,86</b>	<b>78,48</b>	



## I. Результатъ испытаній

- 1) Комбиниров. котла постройки завода Фицнеръ и Гамперъ ( $H_k = 200 \text{ mt}^2$ ) при
- 2) экономайзера ребрист. прям. дѣйствія сист. Каблиць ( $H_a = 90 \text{ mt}^2$ ) и
- 3) паровой питат. установки изъ прямодѣйств. паров. насоса Шваде и поверхи.

1	Время производства и продолжительность опыта въ часъ . . . . .	10.XII 2,17 <sup>2</sup>	10.XII 2,05
2	Сожжено въ 1 часъ нефтян. остатковъ . . . . . Bkg.	198	286
3	Испарено въ 1 часъ воды . . . . . Dkg.	2830	4030
4	Испарено въ 1 часъ воды на 1 $\text{mt}^2$ пов. нагр. котла . . . . . $D/H_k$	14,1	20,1
5	Испарено воды единицей вѣса нефт. остатковъ . . . . . $D/B$	14,3	14,1
6	Среднее давленіе пара въ котлѣ $p_k$ . . . . . kg/qct	12,0	12
7	Средняя темпер. пит. воды при входѣ ( $t_1$ ) и при выходѣ ( $t_2$ ) изъ нас. подогр. . . . .	14,1/32,1	14,6/28,4
8	Средняя темпер. пит. воды при входѣ ( $t_3$ ) и при выходѣ ( $t_4$ ) изъ эк—ра . . . . .	32/60,9	28,2/58
9	Средняя темпер. пит. воды при входѣ въ котель ( $t_5$ ) . . . . .	60	57,3
10	Затрата тепла на испареніе 1 kg воды $\lambda$ (въ котлѣ) . . . . . cal.	609 <sup>0</sup>	611,6
11	Напряженіе 1 $\text{mt}^2$ пов. нагр. котла въ kg норм. пара ( $\lambda=637$ ) . . . . .	13,5	19,3
12	Парообразование ед—цы вѣса топлива при норм. парѣ (котель) . . . . .	13,7	13,6
13	$CO_2$ при выходѣ изъ котла . . . . . въ % объема	13,0	12,9
14	$CO_2$ при входѣ и при выходѣ изъ экономайзера . . . . . въ % объема	12,2/12,2	12,3/12,2
15	$CO_2+O$ при выходѣ изъ котла . . . . .	16,4	16,3
16	$CO_2+O$ при выходѣ изъ котла при условіи полного горѣнія . . . . .	16,45	16,45
17	Разрѣженіе при входѣ въ верхн. котель ( $S^1/3$ ) при выходѣ изъ него ( $S^2/3$ ) и при выходѣ изъ котла ( $S^4/6$ ) . . . . .	1,2/2,8/4,9	4,7/7,5/10,7
18	Разрѣженіе при входѣ ( $S'_1$ ) и при выходѣ ( $S''_2$ ) изъ эк—ра . . . . .	5,3/6,3	12,2/13,5
19	Температура газовъ при входѣ въ верхн. котель ( $T^1/2$ ) и при выходѣ изъ него ( $T^2/8$ ) . . . . .	755/230	850/250
20	Температура газовъ при выходѣ изъ котла . . . . .	199	216
21	Температура газовъ при входѣ ( $T'_1$ ) и при выходѣ изъ эк—ра ( $T''_2$ ) . . . . .	185/99	202/115
22	Температура воздуха передъ топкой . . . . .	34	34
23	Температура воздуха около котла (по 12 термометрамъ) . . . . .	35,5	35,5

**установки изъ:**

Лабораторія паров. котловъ И. Т. У.

нефт. отопл. 2-мя паров. форс. (круглыми) сист. Гиллерта.

10 и 11 дек. 1910 г.

(Во всѣ дымогарн. трубки вставлены по вертик. діаметру желѣзн. полосы  $\frac{3}{16} \times 2\frac{1}{4}$ ").

подогрѣвателя ( $H_n = 5,2 \text{ mt}^2$ ).

11.XII 2,0	11.XII	
369	434	
5160	5990	
25,8	30	
14,0	13,8	
12,1	12	
12,8/24,7	11,3/22,5	
24,6/56,3	22,3/55,2	
56,2	55	
612,7	614	(1-x) принято=0 (парь сухой)
24,9	29,1	
13,5	13,3	
12,5	12,3	
11,5/11,3	11,2/11,0	
16,6	16,6	
16,63	16,60	
11,4/16,0/21,2	18,8/25,1/33	
23,8/26	37,6/41,0	
902/285	940/305	
236	255	
219/133	238/151	
31	33	
30	32	

**Выводы. I. Топка и котель.**

24	Секундный объем воздуха, поступ. въ топку при 0°—760 м/м mt <sup>3</sup> . . . . .	0,71	1,03
25	Скорость воздуха при входѣ въ воздушные регистры mt/se сѣч. 0,22 mt <sup>2</sup> . . . . .	3,6	5,3
26	Сопротивленіе топки и жаров. трубы . . . . .	1,2	4,7
27	Отношеніе поступ. въ топку воздуха къ теор. необходимому $\alpha$ . . . . .	1,17	1,17
28	Характеристика полноты горѣнія $Z=(\text{№ 16—№ 15})$ . . . . .	+ 0,05	+0,15
29	Средній секундный объемъ газовъ при входѣ въ дымог. трубки при 0° и 760 м/м . . . . .	0,79mt <sup>3</sup>	1,15
30	Скорость газовъ при 1) входѣ и 2) выходѣ изъ дымог. трубъ и сопротивл. дым. тр. въ м/ш в. с. . . . .	$\frac{5,15+2,5}{2} = 3,85$ (1,6м/ш)	$\frac{8,25+3,85}{2} = 6,05$ (2,8м/ш)
31	Средній коэф. теплопередачи дымогарн. трубъ $K_g, м.$ . . . . .	21,5	25,7
32	Общій коэф. теплопередачи котла . . . . . $K_k$ (безъ перегород.).	29,5 ( $k=28,4$ $B=213 \text{ kg}$ )	34,3 ( $k=31,0$ $B=279$ )
33	Отношеніе присасывавшаго черезъ кладку воздуха къ теор. необходимому . . . . .	0,02	0,06
34	$\alpha$ въ концѣ котла, началѣ и концѣ экономайзера . . . . .	1,19/1,26/1,26	1,2/1,25/1,26

**II. Экономейзеръ** ребрист. прям. дѣйств. сист. Каблиць, номинальная газов. поверхн. нагрѣва 9 mt<sup>2</sup> (18 Полное сѣченіе экономайзера (въ узк. мѣстѣ) 1,61mt<sup>2</sup>. Водяной объемъ экономайзера 350 lt. 0 Живое сѣченіе экономайзера (въ узк. мѣстѣ) 1,15mt<sup>2</sup> теплосодержаніе экономайзера на 1°c = 820 cal.

35	Отдано газами тепла въ экон—рѣ на 1 kg топлива . . . . .	955—945—495 450	1050—1020—570 450
36	Получено водой тепла въ экон—рѣ на 1 kg топлива . . . . .	415	420
37	Потеряно тепла въ экон—рѣ на 1 kg топлива . . . . .	35	30
38	Сопротивленіе газовъ въ экономайзерѣ въ м/ш в. ст. . . . .	1,0	1,3
39	Средняя температура газовъ въ экономайзерѣ . . . . . °/о	$\frac{185+99}{2} + 142^{\circ}$	$\frac{202+115}{2} = 158$
40	Секундный объемъ газовъ въ экономайзерѣ при 0° и 760° и при темп. № 39 . . . . .	0,85/1,30	1,23/1,94
41	Средняя скорость газовъ въ экономайзерѣ . . . . .	1,13	1,70
42	Скорость воды въ экономайзерѣ (сѣченіе=0,0078 mt) . . . . . mt/se	0,1	0,144
43	Коэф. теплопередачи экономайзера по номин. пов. нагрѣва . . . . .	9,5	11,9

**III. Балансъ тепла котла (200mt<sup>2</sup>) и экономайзера (90mt<sup>2</sup>).**

44	1 kg топлива вносить въ топку располагаемаго тепла (низшая теплопроизводительность) cal	9970	9970
45	Изъ тепла 1 kg топлива утилизируется котломъ . . . . .	8710—87,4°/о	8630 86,6°/о
46	Изъ тепла 1 kg топлива утилизируется экономайзеромъ (считая по $t_2$ и $t_5$ ) . . . . .	401—4,0°/о	409 4,1°/о
47	Изъ тепла 1 kg топлива утилизируется всей котельной . . . . .	91,4°/о	90,7
48	Изъ тепла 1 kg топлива уносится отход. газами изъ котла . . . . .	790—8°/о	880 8,9
49	Изъ тепла 1 kg топлива теряется отх. газами изъ экон—ра . . . . .	$\frac{495-170}{325} = 3,3^{\circ}/о$	$\frac{570-170}{400} = 4,0$
50	Изъ тепла 1 kg топлива теряется въ окруж. среду котломъ . . . . .	4,6°/о	4,5
51	Изъ тепла 1 kg топлива теряется въ окруж. среду котломъ, боровомъ, экон—ромъ и водопроводомъ . . . . .	5,3	5,3
52	Изъ тепла 1 kg топлива теряется въ окруж. ср. боров., эк—ромъ и водопроводомъ . . . . .	0,7	0,8

1,33	1,57	
7,0	8,1	
11,4	18,8	
1,17	1,17	$CO_2$ въ концѣ жар. тр. и въ топкѣ можно принять по предыд. опытамъ=13,2%.
+0,03	0,0	Горѣніе можно считать полнымъ.
1,48	1,74	
$\frac{11,2+5,2}{2} = 8,2$ (4,6м/м)	$\frac{13,4+6,5}{2} = 10m/$ (6,3м/м)	Свѣченіе: 0,577 м <sup>2</sup> ; безъ перегородокъ 0,631 м <sup>2</sup> .
30,2	32,7	$H_c = 130 \text{ м}^2$ (124 [д. T] + 6 [рѣшетки]). $H_s = 71 \text{ м}^2$ .
$37,1 \left( \frac{k=32,5}{B=345} \right)$	$39,7 \left( \frac{k=34}{B=392} \right)$	$C_{e.z.} = 0,314 + 0,00003 (T_s + T_k) = \sim 0,375$ .
0,09	0,09	
1,23/1,34/1,46	1,26/1,38/1,40	

трубъ), дѣйстви. газ. вов. нагрѣва 101 м<sup>2</sup>.

1180—1160—700 460	1290—1280—300 480	
440	455	
20	25	
2,2	3,4	
$\frac{219+133}{2} = 176$	$\frac{238+151}{2} = 195$	
1,67/2,75	2,00/3,44	
2,40	3,0	
0,185	0,215	
13,4	14,0	

9990	9990	Сост. нефт. ост. = C = 86,8%, H = 12,8, O = 0,4.
8580—85,8%	8475 84,8%	
441 4,4%	348 4,5	$D/B (q_5 - q_2)$ т.-е. относимъ потерю въ окр. среду пит. трубами къ эк-ру.
90,2	89,3	
995 10,0	1100 11,0	
$\frac{698-180}{518} = 5,2$	610 6,1	
4,2%	4,2%	
4,6	4,6	
0,4	0,4	

#### IV. Питательная установка.

53	Полезная работа насоса (подъем воды) . . . . . <i>P. S.</i>	1,31	1,87		
54	Расход пара на 1 полезную силу . . . . . kg.	$\frac{84,1}{1,31} = 64,5$	$\frac{93,5}{1,87} = 50,5$		
55	Температура конденсата при выходе из подогревателя ( $t_c$ ) . . . . .	24,5	23		
56 57 58 59 60	Баланс энергии пит. установки. 1 kg пара вносить в установку тепла . . . . .	660	100%	660	100%
		10	1,5	12,6	1,9
		602	91,2	593	90,0
		24,5	3,6	23	3,5
			3,7		4,6
61	Через 1 м <sup>2</sup> пов. нагр. подогревателя проходить в час тепла . . . . . cal.	9760	10700		
62	Кэф. теплопередачи парового подогревателя $K_n$ . . . . .	239	258		
63	Изъ тепла 1 kg топлива поступает в пит. насос . . . . .	2,7%	2,1%		
64	Изъ тепла 1 kg топлива поступающего в насос возвращается пит. водѣ . . . . . %	2,45	1,9		
65	Изъ тепла 1 kg топлива тратится на питание . . . . . %	0,25	0,20		

#### V. Форсунка.

66	Давление и температура пара при входе в форсунку . . . . .	0,67 kg/cm <sup>2</sup> /238	1,3/223
67	Расход пара на пульверизацию 1 kg нефт. ост.	0,55	0,50
68	Изъ тепла 1 kg топлива тратится на пульверизацию . . . . .	3,8%	3,5%

#### VI. Тяга.

69	Расход энергии на тягу . . . . .	0	2,2 kw по 0,8 kg н. о.
70	Изъ тепла 1 kg топлива тратится на тягу . . . . . %	0 (безъ дымососа).	0,63
71	Весь вспомогательный расход котельной . . . . . %	4,0	4,3

#### VII. Вся котельная.

72	Итого изъ тепла 1 kg топлива передано пару, расходуемому потребителями (чистое использование).	87,4	86,4
----	--	------	------

ТЕХНИЧЕСКАЯ  
 ИНСПЕКЦИЯ  
 ГОСУДАРСТВЕННОГО  
 ТЕХНИЧЕСКОГО УЧИЛИЩА

2,40		2,8		
$\frac{102,5}{2,4} = 43,0$		$\frac{111}{2,8} = 40,0$		
22		19,5		
660	100%	660	100%	
14,8	2,2	15,8	2,4	
600	91	599	90,4	
22	3,3	19,5	2,9	
	3,5		4,3	
11800		12900		
268		294		
1,8%		1,67%		Поверхность нагрева подогревателя далеко еще не доиспользована, т. к. для конденсирования пара достаточно уже небольшой части всей поверхности. Главная часть работает, нагревая конденсатом воду. Этимъ объясняется также низкая температура конденсата $t_c$ (19,5—24,5 °C).
1,6		1,5		
0,20		0,17		
1,6/217		2,5/208		
0,50		0,50		
3,5%		3,6%		$\frac{\text{№ 67. (668-t_1)}}{Q}$
3,4		5,4		
0,72		0,74		$\frac{\text{№ 69.}}{B} 100.$
4,4		4,5		
85,8		84,8		

## I. Результаты испытаній

- 1) Водотрубнаго цѣльнокамерн. котла Steinmüller ( $H_k = 60 \text{ mt}^2$ ) при нефт. отопл.
- 2) экономайзера ребрист. прям. дѣйствія сист. Каблиць ( $H_э = 90 \text{ mt}^2$  (номин.))
- 3) паровой питат. установки изъ прямодѣйств. парового насоса „Шваде“. Котель съ

1	Время производства и продолжительности опыта въ часъ . . . . .	26.XI. 2,95h	26.XI. 3,0h
2	Сожжено въ 1 часъ нефт. остатковъ . . . . . $B \text{ kg.}$	95,5	159,2
3	Испарено въ 1 часъ воды . . . . . $D \text{ kg.}$	1360	2200
4	Испарено въ 1 часъ воды на $1 \text{ mt}^2$ пов. нагрѣва котла . . . . . $D/H_k$	22,7	36,7
5	Испарено воды единицей вѣса нефт. остатковъ . . . . . $D/B$	14,24	13,82
6	Среднее давленіе пара въ котлѣ . . . . . $p_k \text{ kg/qc}$	12	11,9
7	Средняя темп. пит. воды при входѣ ( $t_1$ ) и при выходѣ ( $t_2$ ) изъ насосн. подогреват. . . . .	20/48,9( $\Delta t=28,9$ )	20,41,1( $\Delta t=21,1$ )
8	Средняя темп. пит. воды при входѣ ( $t_3$ ) и при выходѣ ( $t_4$ ) изъ экономайзера . . . . .	18,3/110,5( $\Delta q=62,3$ )	40,2/116,8( $\Delta q=76,8$ )
9	Средняя темп. пит. воды при входѣ въ котель ( $t_5$ ) . . . . .	104,5	110,6
10	Затрата тепла на испареніе $1 \text{ kg}$ воды $\lambda$ (въ котлѣ) . . . . . $\text{cal.}$	564	555
11	Напряженіе $1 \text{ mt}^2$ пов. нагр. котла въ $\text{kg.}$ норм. пара ( $\lambda=637 \text{ cal}$ ) . . . . .	20,2	32,0
12	Парообразование ед-цы вѣса топлива при норм. парѣ (котель) . . . . .	12,6	12,1
13	$\text{CO}_2$ при выходѣ изъ котла . . . . . въ $\%$ объема)	11,4	11,2
14	$\text{CO}_2$ при входѣ и при выходѣ изъ экономайзера . . . . .	10,5/10,5	10,0/9,7
15	$\text{CO}_2+O$ при выходѣ изъ котла . . . . .	17,2	17,2
16	$\text{CO}_2+O$ при выходѣ изъ котла при условіи полного горѣнія . . . . .	17,0	17,1
17	Разрѣженіе въ топочн. простр. ( $S_1$ ) и при выходѣ изъ котла ( $S^4/5$ ) въ $\text{m/m}$ вод. см. . . . .	1,3/2,9	4,1/8,7
18	Разрѣженіе при входѣ ( $S^9$ ) и при выходѣ ( $S^{10}$ ) изъ экономайзера . . . . .	—/5,0	—/13,1
19	Температура газовъ въ топочномъ пространствѣ . . . . .		
20	Температура газовъ при переходѣ изъ 2-го въ 3-й ходъ ( $T^2/3$ ) и при выходѣ изъ котла ( $T^4/5$ )	470/310	585/398
21	Температура газовъ при входѣ ( $T^9$ ) и при выходѣ ( $T^{10}$ ) изъ эк-ра . . . . .	277/122	349/165
22	Температура воздуха передъ топкой . . . . . $t_b$	38	38
23	Температура воздуха около котла . . . . .	40,2	40,4

**установки изъ:**

Лабораторія паровыхъ котловъ И. Т. У.

**паров. плоск. форсунк. сист. Подажевского.**

25 и 26-го ноября 1910 г.

/ 101 mt<sup>2</sup> дѣйств.).

горизонт. ходами и поверхн. подогревателя ( $H_k = 5,2 \text{ mt}^2$ ).

25.XI. 3,0 <sup>2</sup>	25.XI. 267 <sup>2</sup>	
220	288	
2950	3670	
49,2	61,2	
13,4	12,75	
12,1	11,9	
16,7/34,3( $\Delta t=17,6$ )	22,3/37,6( $\Delta t=15,3$ )	$\Delta t = t_2 - t_1$
33,9/123,2( $\Delta g=90$ )	37,4/140,2( $\Delta g=103,6$ )	$\Delta q$ — разность теплосодержаній воды при $t_4$ и $t_3$ .
116,6	135,1	
548	530	По таблицамъ Mollier. парь считается сухой; $x=1$ .
42,5	51,1	
11,6	10,7	
11,0	10,7	
9,7/9,5	8,7/8,4	
17,2	17,4	
17,15	17,5	$CO_2 + 0 = 21 - \beta CO_2$ , гдѣ $\beta = 0,79$ $\frac{H - \frac{O_m - S}{8}}{C} \cdot 3$
8,4/17,1	14,7/31,6	
-/24,7	-/50,1	
662/465	720/535	
402/204	469/262	
37	36	
39	38,6	



**Выводы. I. Топка и котель.**

24	Секундный объем воздуха, поступ. въ топку при 0° и 760 mm . . . . . въ $mt^3$	0,38	0,64
25	Скорость воздуха при входѣ: 1) возд. регистры и 2) въ каналахъ въ $mt^3/sc$ при $t_b \approx 37^{\circ}c$ (точно № 22) . . . . .	4,8/1,9	8,0/3,2
26	Сопротивленіе топки . . . . . $m^2/m$ б. см.	1,3	4,1
27	Отношеніе поступ. въ топку воздуха къ теор. необходимому . . . . . $cm$	1,28	1,28
28	Характеристика полноты горѣнія $\varepsilon=(\text{№ 16}—\text{№ 15})$ . . . . .	—0,2	—0,1
29	Общій коэфф. теплопередачи котла . . . . . $kk$	24,6	32
30	Отношеніе присасываемаго через кладку воздуха къ теор. необходимому . . . . .	0,07	0,1
30a	Избытокъ воздуха ( $\alpha_k$ ) въ концѣ котла . . . . .	1,35	1,38

**II. Экономейзеръ** прям. дѣйств. ребристый сист. Каблиць (номин. пов. нагрѣва газовая)—90  $mt^2$   
(въ узк. мѣстѣ) 1,61  $mt^2$ , жив. сѣч. эк. газохода (въ узк. м.)=1,15  $mt^2$ , вод. объемъ=350 lt,

31	Отдано газами тепла въ экономейзеръ на 1 kg. топлива . . . . . cal.	1510—1580—680 900	2160—2080—980 1100
32	Получено водой тепла въ экономейзеръ на 1 kg топлива . . . . . cal.	880	1060
33	Потеряно тепла въ окруж. среду . . . . . cal.	20	40
34	Сопротивленіе газовъ въ экономейзерѣ . . . . . $m^2/m$ б. см.	—	—
35	Средняя температура газовъ въ экономейзерѣ . . . . .	$\frac{277+122}{2}=200$	$\frac{349+165}{2}=257$
36	Секундный объемъ газовъ въ экономейзерѣ при 0° и 760 $m^2/m$ и при тем-рѣ № 35 . . . . .	0,46/0,80	0,80/1,56
37	Средняя скорость газовъ въ экономейзерѣ . . . . . $mt^3/sc$	0,7	1,36
38	Скорость воды въ экономейзерѣ въ $mt^3/sc$ . (сѣченіе=0,0078 $mt^2$ ) . . . . .	0,05	0,08
39	Коэфф. теплопередачи эк-ра по 1) номин. газовой пов. нагр., $\alpha$ при входѣ и выходѣ изъ экон. . . . .	7,6 1,44/1,46	10,5 1,51/1,59

**III. Балансъ тепла котла (60  $mt^2$ ) и экономейзеры (90  $mt^2$ ).**

40	1 kg топлива вносить въ топку располагаемаго тепла (низш. теплопронзв.) . . . . .	9940	9940
41	Изъ тепла 1 kg. топлива утилизируется котломъ . . . . .	8030 80,8%	7670 77,2%
42	Изъ тепла 1 kg. топлива утилизируется экономейзеромъ (считая по $t_2$ и $t_3$ ) . . . . .	790 8,0%	960 9,7
43	Изъ тепла 1 kg. топлива утилизируется всей котельной . . . . .	88,8%	86,9
44	Изъ тепла 1 kg. топлива уносится отходящими газами изъ котла . . . . .	1450 14,6%	1970 19,8
45	Изъ тепла 1 kg. топлива теряется отход. газ изъ экономейзера . . . . .	480 4,8%	770 7,7

0,88	1,1	
11,2/4,5	14/5,6	Сбч. возд. регистр.=0,09 mt <sup>2</sup> Сбч. каналовъ въ 2,5 раза больше.
8,4	14,7	
1,28	1,28	Принято по прежнимъ опытамъ соответственно неплотности кладки $CO_2=12\%$ ; $\alpha = \frac{21}{21-79} \frac{O/N}{\sim CO_2} \approx \frac{15,4}{\sim CO_2}$
-0,05	+0,1	Можно считать горѣніе полнымъ.
39	46,0	
0,17	0,24	
1,45	1,52	

(18 трубъ) дѣйств. газовая пов. 101 mt<sup>2</sup>, дѣйств. вод. пов. 15 mt<sup>2</sup>). Полное сбѣченіе газохода эк-ра въсь эк-ра = 3600 kg; тепло содержаніе эк-ра на 1<sup>o</sup>=820 cal (350 вод.+470 чуг.).

2500-2490-1230 1260	3210-3190-1810 1380	$\frac{C}{0,54CO_2} C_{c.z} + \left( \frac{9N+W}{100} + Wф. \right) C_{g.l}$ гдѣ $C_{c.z} = 0,314 + 0,00003T^{\theta_e}$
1210	1330	$\frac{D}{B} \Delta q$ (изъ № 8).
50	50	
—	—	Точно не измѣрялось.
$\frac{402+204}{2} = 303$	$\frac{469+262}{2} = 365$	$\left( \frac{C}{0,54CO_2} + \frac{9H+W}{100,81} + \frac{W ф.}{0,81} \right) \frac{B}{3000} = \left( \sim \frac{160}{CO_2} + \frac{2}{1,9} \right) \frac{B}{3600}$ (къ строку 36) 1,8 1,8
1,14/2,42	1,62/3,8	
2,1	3,3	
0,11	0,13	
13,1    1,59/1,62	15,2    1,77/1,33	

9900	10000	Нефт. ост. $C=86,4\%$ , $H=12,9\%$ , $O=0,7$
7260    73,3 <sup>o</sup> / <sub>o</sub>	6760    67,6 <sup>o</sup> / <sub>o</sub>	$\frac{D}{B^2} = \frac{№ 3}{№ 2} \cdot № 10.$
1110    11,3	1250    12,5	$\frac{D}{B}(q_3 - q_2)$ (разность теплосодержаній воды при $t_3$ и $t_2$ ).
84,6	80,1	
2370    23,9	3010    30,1	
1020    10,4	1580    15,8	

46	Изъ тепла 1 kg. топлива теряется въ окруж. среду котломъ . . . . .	4,6%	3,0%
47	Изъ тепла 1 kg. топлива теряется въ окруж. среду котломъ, бор., экон-ромъ и водопроводомъ . . . . .	6,4%	5,4%
48	Изъ тепла 1 kg. топлива теряется въ окруж. среду боровомъ, экон. и водопроводомъ . . . . .	1,8%	2,4%

### VI. Питательная установка.

49	Полезная работа насоса (подъемъ воды) . . . . . PS.	0,63		1,02			
50	Расходъ пара на 1 полезн. силу въ kg. . . . . d=	$\frac{64,3}{0,63} = 102$		$\frac{77}{1,02} = 76$			
51	Температура конденсата при выходѣ изъ подогревателя . . . . . t <sub>c</sub>	34,7		32,4			
52	Балансъ энергии пит. установкн.	1 kg. пара вносить въ установку тепла . . . . .		665	100%	665	100%
53		Изъ тепла 1 kg. пара превратится въ полезн. работу насоса . . . . .		6,3	0,9%	8,3	1,3
54		Изъ тепла 1 kg. пара отдается питат. водѣ въ подогревателѣ . . . . .		607	91,0%	602	90,0
55		Изъ тепла 1 kg. пара уносится конденсатомъ . . . . .		34,7	5,2	32	4,8
56		Изъ тепла 1 kg. пара теряется въ окруж. среду . . . . .		—	2,9		3,9
57	Черезъ 1 m <sup>2</sup> пов. нагр. подогревателя проходить въ 1 ч. тепла . . . . . cal.	7550		8900			
58	Козфф. теплопередачи парового подогревателя . . . . . k <sub>п</sub>	223		240			
59	Изъ тепла 1 kg. топлива поступаетъ въ питат. насосъ . . . . .	4,2%		3,05			
60	Изъ тепла 1 kg. топлива поступающаго въ насосъ возвращается пит. водѣ . . . . .	3,87		2,78			
61	Изъ тепла 1 kg. топлива тратится на питаніе . . . . .	0,33%		0,27			

### V. Форсунка.

62	Давленіе и температура пара при входѣ въ форсунку . . . . .	1,7kg/qct/274°	3,1/266
63	Расходъ пара на пульверизацію 1 kg. нефт. ост. . . . .	0,4	0,36
64	Изъ тепла 1 kg. топлива на пульверизацію . . . . .	2,5%	2,2

### VI. Тяга.

65	Расходъ энергии на тягу . . . . .	0	Считается на
66	Изъ тепла 1 kg. топлива тратится на тягу . . . . .	0	1,3%
67	VII. Весь вспомогательный расходъ (питаніе, пульверизація, тяга) . . . . .	2,8%	3,8%

### VII. Вся котельная.

68	Итого изъ тепла 1 kg. топлива передано пару, расходуемому потребителями (чистое пользованіе) . . . . .	86,0	83,1
----	--	------	------

2,8 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	2,3 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	№ 40 — (№ 41 + № 44).
5,0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	4,1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	№ 40 — (№ 41 + № 42 + № 45).
2,2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	1,0	№ 47 — 45.
1,37	2,71	
	$\frac{93}{1,71} = 54,5$	
	32	
	665	100 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
	12	1,8
	600	89,5
	32	4,7
		3,9
	10850	$\frac{D(t_2 - t_1)}{H_n}$
	295	$K_{ne} = \frac{D(t_2 - t_1)}{H_n \left( \frac{103 + t_c}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2} \right)} = \left[ \frac{\text{№ 57}}{\quad} \right]$
2,5	2,05	
2,20	1,85	$\frac{\text{№ 59} \times \text{№ 54}}{100}$
0,24	0,20	
4,2/254	4,5/237	
0,31	0,28	По специальнымъ опытамъ съ форсункой Падашевского.
1,95	1,8	
1 kwh 0,8 kg	нефр. ост.	
1,5	1,6	
3,7	3,6	
80,9	76,5	

## II. Водотрубный котель Л. П. К. съ вертикальными ходами и перегрѣвателемъ.

Весной 1911 года удалось приобрести для водотрубно-го котла Лабораторіи *перегрѣватель въ 25 mt<sup>2</sup>*. Свя-занной съ установкой перегрѣвателя частичной ломкой обмуровки было рѣшено воспользоваться для передѣлки *газоходовъ котла на вертикальные*<sup>1)</sup>. Новая обмуровка котла была выполнена частью съ обшивкой желѣзомъ и засыпкой инфузорной землей (въ задней и верхней частяхъ), частью же съ пропускомъ воздуха черезъ каналы между обшивкой и кладкой. Чертежъ котла послѣ передѣлки данъ на таблицѣ IV.

Сильно развито топочное пространство для возможности полного сжиганія въ немъ нефтяныхъ остатковъ въ количествѣ до 250 kg., достаточномъ для получения до 50 kg. пара съ 1 mt<sup>2</sup>. Подъ топочное пространство занято все свободное мѣсто подъ котломъ и кромѣ того топка сильно углублена. Форсунка работает такимъ образомъ съ уклономъ внизъ. Главная масса воздуха поступаетъ въ расположенныя наверху, на бокахъ котла и спереди дверки *a* и далѣе проходитъ внизъ по каналу, оставленному между кладкой и желѣзной обшивкой. Въ этихъ каналахъ повѣшены параллельно *по два листа* (въ верхней болѣе холодной части — по одному) кровельнаго желѣза для *улавливанія лучистаго тепла*, испускаемаго кладкой. Первый листъ, получая лучистую теплоту *одной* своей стороной, отдаетъ ее *двумя* сторонами соприкосновеніемъ омывающему его воздуху и кромѣ того — излученіемъ второму листу, но уже въ значительно меньшемъ количествѣ, соотвѣтственно значительно меньшей температурѣ теплоизлучающей стѣнки. Второй листъ также охлаждается съ двухъ сторонъ воздухомъ; обыкновенно отдачи тепла наружному листу обшивки почти уже нѣтъ. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ нѣтъ по сосѣдству *пересѣкающихся* кладку частей, или частей, соприкасающихся одной стороной съ кладкой, а другой съ обшивкой, *температура обшивки почти не разнится отъ температуры окружающаго воздуха, пока по каналу движется воздухъ*.

Изъ послѣдняго условія ясно, что подобная „желѣзвоздушная“ изоляція уместна тамъ, гдѣ установка работает *непрерывно* или лишь съ весьма небольшими перерывами. При прекращеніи движенія воздуха температура обшивки очень скоро выравнивается<sup>2)</sup> съ температурой кладки и потеря въ окружающую среду быстро растетъ. Въ такихъ случаяхъ правильнѣе прибѣгать къ засыпкѣ каналовъ *нетеплопроводящими* (и не горючими) тѣлами (инфузорной землей, напимѣръ).

Воздухъ при движеніи по каналамъ *нагрѣвается*, такимъ образомъ, за счетъ полученія тепла отъ пятикратной поверхности *нагрѣва* (при двухъ „лучеулавливающихъ“

листахъ) и далѣе поступаетъ въ просторный каналъ подъ топкой, откуда уже распределяется по пламени такимъ образомъ, чтобы главная масса воздуха направлялась въ заднюю часть топки въ мѣсто наиболѣе интенсивнаго развитія пламени, а потому и наибольшаго потребленія воздуха. Часть воздуха (при большихъ нагрузкахъ) вводится еще черезъ дверку *b* (сбоку котла) непосредственно въ торецъ топки, а нѣкоторая часть для охлажденія топочной дверки, черезъ имѣющіяся въ ней полости. Для правильнаго использованія этого послѣдняго воздуха пришлось перекинуть порогъ *c*.

Топка, несмотря на громадный ея объемъ, не вынесена еще изъ котла. Желая осуществить общепринятый типъ четырехходнаго котла, мы распредѣлили ходы такъ, чтобы они соотвѣтствовали приблизительно одинаковымъ скоростямъ газовъ, но при этомъ пришлось считаться при высокихъ напряженіяхъ съ весьма большими абсолютными скоростями, благодаря короткому котлу (длина трубъ всего 4 mt., а не 4, 5, какъ у большинства бы-строходныхъ цѣльнокамерныхъ котловъ).

Перегрѣватель изъ 25 змѣвиковъ діаметромъ 38/32 мм. (при длинѣ каждаго змѣвика въ 8,4 mt.) располагается между перекрывающимися сверху газоды сводами и нижними сводами, отдѣляющими котельные ходы отъ перегрѣвателя. Спереди поставлена удобно передвигаемая поворотная заслонка, которая можетъ открыть болѣе или менѣе доступъ газамъ, выходящимъ изъ 1-го хода прямо во второй ходъ котла, уменьшая этимъ перегрѣвъ. Закрывать перегрѣвательстваго хода она полностью не можетъ. При выходѣ газовъ изъ этого хода поставлена вторая заслонка (вообще она не ставится) для того, чтобы можно было предупредить совершенно движеніе газа по перегрѣвательной камерѣ (нужна для опытовъ). Кромѣ того предвидѣна возможность глухой закладки камеры съ обѣихъ сторонъ стѣнками.

Верхній барабанъ нижней своей половиной лежитъ въ обмуровкѣ, верхняя же половина, концы и днища изолированы огнеупорнымъ термалитомъ и обшиты оцинкованной жестию, стянутой обручами<sup>1)</sup>.

Какъ водяныя камеры котла, такъ и камеры перегрѣвателя изолированы съемными азбестовыми одѣлами.

Внимательнымъ осмотромъ котла послѣ разборки обмуровки *нельзя было установить ни малѣйшихъ слѣ-*

<sup>1)</sup> Изоляція пробкой въ данномъ случаѣ даже при сильной подмазкѣ азбеститомъ недопустима въ виду близости горячей кладки. Въ Лабораторіи паровыхъ котловъ часть пробковой изоляціи (отъ прежней установки безъ перегрѣвателя, гдѣ барабанъ не касался кладки) сгорѣла. Обшивка жестию (желательно, чтобы она была покрыта цинкомъ, имѣющимъ малый коэф. излученія) совершенно необходима для долговѣчности изоляціи въ такихъ мѣстахъ, гдѣ приходится по сосѣдству работать, гдѣ можетъ капать вода и пр. Думаю, что и для изоляціи паропроводовъ, особенно въ легко портящихся мѣстахъ было бы правильно примѣнять такую обшивку. Въ нѣкоторыхъ установкахъ уже и приходилось видѣть сплошь обшитые жестию паропроводы (напимѣръ въ котельной электр. ст. Ганновера).

<sup>1)</sup> До тѣхъ поръ котель работалъ съ горизонтальными ходами — см. черт. въ VI вып. Изв. Мех. Инст. или Б. П. О. 1909 № 8.

<sup>2)</sup> Напимѣръ, черезъ 15 мин. послѣ остановки топки температура обшивки (данной въ стр. 21) увеличилась съ 29° С. до 92°.

довъ износа его корпуса, несмотря на то, что въ течение послѣднихъ лѣтъ котель чаще всего работалъ при напряженіи поверхности нагрева около 40—50 kg/mt.<sup>2</sup> въ часъ, при питаніи водою изъ водоочистителя съ общей жесткостью въ 4—6 нѣм. градусовъ. (Всего котель работаетъ съ 1906 г., но въ общемъ онъ не проработалъ болѣе 7000 часовъ).

Чтобы выяснитъ далѣе, какъ повліяла работа на свойство матеріала трубъ<sup>1)</sup>, была вынута средняя труба нижняго ряда и произведено изслѣдованіе образцовъ, взятыхъ въ нижней части этой трубы противъ мѣста наиболѣе сильнаго омыванія трубы пламенемъ. Изслѣдованіе было произведено И. А. Калининскимъ въ Механической Лабораторіи И. Т. У. и дало слѣдующіе результаты:

Образецъ.	продольный.	поперечный.
Коэф. крѣпости $\varepsilon$ въ kg/qmm. . . . .	36,8 до 39,6	36,7 до 40,0
Удлиненіе $i$ въ % . . . . .	2 до 32	18 до 24

Замѣтной разницы въ крѣпости и вязкости верхнихъ и нижнихъ частей трубы нельзя было установить.

Изслѣдованіе матеріала одной изъ запасныхъ трубъ этого котла (доставленной вмѣстѣ съ котломъ въ 1906 г.) дало:

Образецъ.	продольный.	поперечный.
Коэф. крѣпости $\varepsilon$ въ kg/qmm. . . . .	36 до 42	37 до 42
Удлиненіе $i$ въ % . . . . .	23 до 27	10 до 21

т.-е. оказывается, что длительная и весьма напряженная работа котла не только не ухудшила свойствъ его матеріала, но даже дала нѣкоторое улучшение въ смыслѣ выравниванія той разницы въ удлиненіяхъ, которая получается въ результатѣ обработки трубы по образующей ея и по окружности.

Сдѣланные для полученія поперечныхъ образцовъ матеріала трубы разрѣзы ея въ разныхъ мѣстахъ обнаружили крайнюю неоднородность въ толщину стѣнки трубы. Какъ видно изъ данной на фиг. 3 фотографіи поперечныхъ образцовъ трубъ, толщина стѣнки колеблется въ данномъ разрѣзѣ отъ 4,4 м/м до 2,4 м/м (вмѣсто номинальной—3,25 м/м). Такую неоднородность толщины стѣнки приходилось встрѣчать довольно часто въ котельныхъ трубахъ самаго различнаго происхожденія и перѣдко она является первопричиной отдулинъ на трубахъ и мѣстныхъ прорывовъ ихъ. Зато разслоеній въ этой трубѣ найдено не было.

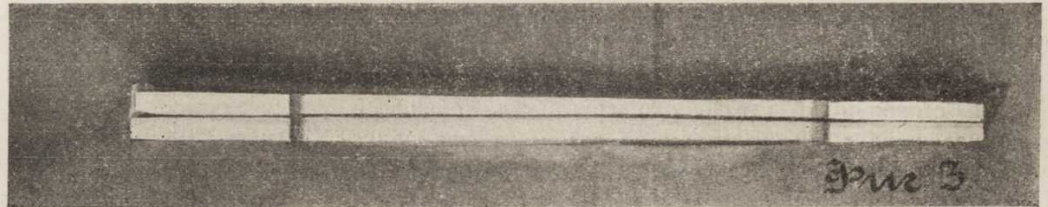
<sup>1)</sup> Въ котлѣ до сихъ поръ не была смѣнена ни одна труба.

Въ осеннемъ семестрѣ 1911 года были произведены 2 серии опытовъ съ котломъ. Первая серия прошла при выключенномъ заслонками (такимъ образомъ, съ увеличенной поверхностью потери тепла) перегрѣвателѣ, вторая—при пропускѣ *всѣхъ газовъ черезъ перегрѣватель*. Въ обѣихъ серияхъ мѣнялась нагрузка, при чемъ предѣлъ ея былъ поставленъ имѣющимъ въ распоряженіи *разрѣженіемъ*.

Результаты опытовъ собраны въ цифровой таблицѣ и въ диаграммѣ работы. Разберемъ здѣсь наиболѣе существенные выводы.

**Топка, благодаря своему большому объему** дала возможность сжигать до 280 kg. нефтяныхъ остатковъ (на ширинѣ въ 880 м/м) при полномъ горѣніи и маломъ избыткѣ воздуха ( $\alpha_m = 1,18 - 1,24$ —стр. 47). Характеризующее пространство горѣнія видимое пламя, даже при наибольшихъ нагрузкахъ кончалось въ предѣлахъ первыхъ рядовъ трубъ, причемъ оно здѣсь уже было очень прозрачнымъ, т.-е. съ малой примѣсью горящаго углерода<sup>1)</sup>. Для полной гарантіи быстрого заканчиванія процесса горѣнія слѣдуетъ работать съ возможно хорошей пульверизаціей нефтяныхъ остатковъ (для этого мы работали съ нѣкоторымъ избыткомъ пульверизирующаго пара) и не слишкомъ малымъ избыткомъ воздуха ( $\alpha_m \approx 1,2$ ).

Сопротивленіе топки, т.-е. разрѣженіе нужное для присасыванія воздуха въ топочное пространство, весьма невелико, благодаря достаточно просторнымъ воздухоприводнымъ каналамъ. Скорости воздуха въ каналахъ при измѣненіи нагрузки топки нефт. остат. въ 1 часъ до 280 kg (или до 330 kg на ширинѣ въ 1 mt)—стр. 6 были 0,6, 0,68, 0,80 и 1,1 mt/sec (стр. 45) (считая воздухъ при 0°), а соотвѣтствующія сопротивленія около 1,0, 1,5, 3,0 и 5,0 м/м в. ст.<sup>2)</sup> (стр. 46). При на-



Фиг. 3.

<sup>1)</sup> Это обстоятельство важно не только для обезпеченія *полноты горѣнія* (выдѣляющійся при  $CH_4 + O_2 = 2H_2O + C$  углеродъ не успѣваетъ сгорать, благодаря мѣстному охлажденію стѣнками), но и важно для *избѣжанія излишняго износа трубъ*. Можно допустить, что при высокихъ температурахъ *водяной паръ*, имѣющійся въ большомъ количествѣ въ нефтяномъ пламени (на 1 kg топлива—(9H + Wф) kg), въ присутствіи *накаленного углерода*, дѣйствующаго какъ катализаторъ, разлагается съ временнымъ *освобожденіемъ кислорода*. Послѣдній, обладая въ моментъ выдѣленія громаднымъ химическимъ сродствомъ, можетъ окислять металлическія стѣнки, если послѣднія находятся въ мѣстѣ выдѣленія кислорода. Безъ присутствія углерода (т.-е. густого пламени) разложеніе невозможно, такъ какъ температура топки подъ трубами слишкомъ низка для чистой диссоціаціи водяного пара.

<sup>2)</sup> Собственно разрѣженіе въ топочномъ пространствѣ  $S_m$ , промѣренное надъ факеломъ, не равно въ точности сопротивленію топки, такъ какъ здѣсь еще не учтено „разрѣжающее“ дѣйствіе самаго нефтяного факела въ нижней части топки. Въ верхней и передней части топочнаго пространства факель даетъ, наоборотъ, нѣкоторое *повышеніе давленія*. Вотъ, почему въ испытаніи съ наименьшей нагрузкой оказалось  $S_m = +0,4$  м.м.

пряженіи поверхности нагрѣва котла въ 31 (36,4)  $\text{kg}/\text{m}^2$  норм. пара, а точки въ  $\frac{169}{0,88} = 192$   $\text{kg}$  нефтян. остат. на ширинѣ 1  $\text{m}^2$  сопротивление точки всего равно 1,5  $\text{m}/\text{m}$ , благодаря малой скорости въ каналахъ (0,68  $\text{m}/\text{sec}$ ) и окнахъ (1,75  $\text{m}/\text{sec}$ ). Осуществленіе такихъ малыхъ скоростей, особенно во вѣшнихъ точкахъ, не представляетъ никакихъ конструктивныхъ препятствій, но далеко не всегда, къ сожалѣнію, эти скорости соблюдаются.

Несмотря на значительное суженіе въ верхней части топочнаго пространства (для улучшенія быстрого и совершеннаго использования воздуха), *прямая теплоотдача изъ точки  $\sigma$*  весьма высока и колеблется около 0,30 <sup>1)</sup> (стр. 50). Она почти не мѣняется отъ нагрузки.

нихъ боковыхъ глядѣлокъ, пламя раньше конца точки (особенно при недальнобойныхъ плоскихъ форсункахъ) заворачиваетъ вверхъ къ котлу.

**Теплопередача** отдѣльныхъ ходовъ котла и перегрѣвателя оцѣнивается удобнѣе всего по ихъ коэффициентамъ теплопередачи (стр. 54, 58 и 81). На диаграммѣ фиг. 4 ординаты представляютъ коэффиц. теплопередачи, а абсциссы среднія температуры газа <sup>1)</sup>.

Въ данномъ случаѣ, *очень узкаго* водотрубнаго котла на теплопередачу влияетъ излученіе боковыхъ стѣнокъ, а въ послѣднихъ трехъ ходахъ также излученіе верхнихъ сводовъ и особенно рѣзко излученіе свода *de*, температура верхней поверхности котораго зависитъ отъ температуры точки и можетъ быть выше температуры газовъ при переходѣ изъ 2-го въ 3-й ходъ. Это подверждали также непосредственныя измѣренія температуръ. Это явленіе, увеличивающее теплопередачу котла, вызвано своеобразнымъ профилемъ точки. Но кромѣ довольно сильнаго вліянія излученія, теплопередача идетъ также довольно интенсивно за счетъ непосредственнаго соприкосновенія.

Какъ видно изъ диаграммы фиг. 4, 10 цифръ, полученныхъ для  $K_1$  первого хода, не группируются около какой-нибудь опредѣленной кривой. Быть можетъ это зависитъ отъ условности въ измѣреніи величины  $T_m$ . Но зато весьма хорошо распределяются около прямой значенія для коэф. теплопередачи 2, 3, 4 ходовъ (изъ 10 опытовъ) и для перегрѣвателя (изъ 5 опытовъ). Видна рѣзкая зависимость отъ температуры газовъ. Хотя въ данномъ случаѣ влияетъ, по всей вѣроятности, также и скорость газовъ. Но зависимость все-таки меньше, чѣмъ для боковыхъ ходовъ цилиндрическихъ котловъ. Для 2, 3, 4 хода водотрубнаго котла, при нашихъ совершенно исключительныхъ благоприятныхъ условияхъ для излученія, и при очень хорошихъ условияхъ перемѣшиванія газовъ (3 поворота и шахматное распределеніе трубъ), т.-е. отдачи соприкосновеніемъ — коэф. теплопер. выражается приблизительно уравненіемъ.

$$K_{2,3,4} = 0,067 T_{\text{средн.}} - 5^2),$$

а для боковыхъ ходовъ корнваллійскаго котла мы имѣли

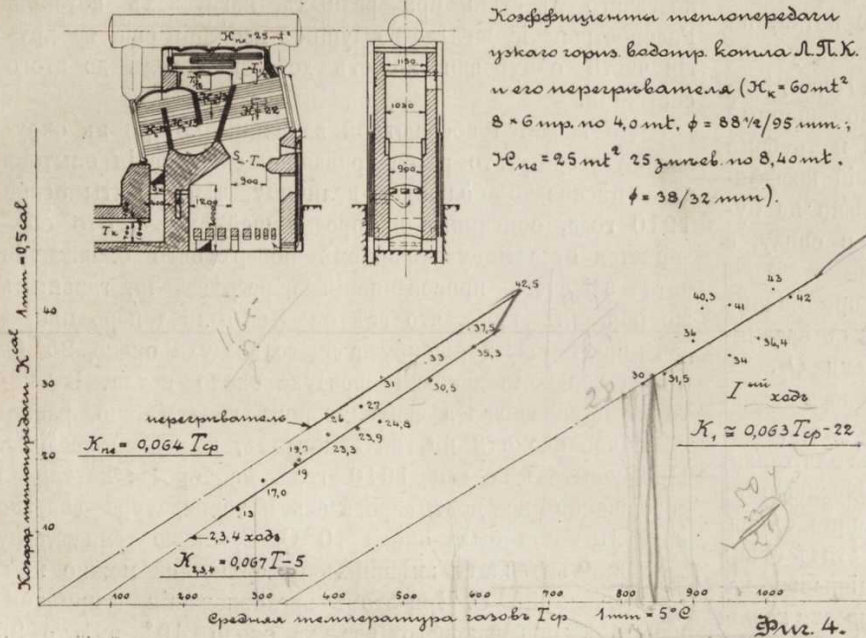
$$K_{2,3} = 0,067 T_{\text{средн.}} - 2,7 \text{ cal},$$

<sup>1)</sup> Въ виду невозможности точнаго измѣренія температуры при переходѣ 2/3 и 3/4 коэф. теплопередачи подсчитаны для всѣхъ послѣднихъ ходовъ вмѣстѣ.

<sup>2)</sup> Это выраженіе совершенно непримѣнимо въ случаѣ широкаго водотрубнаго котла съ нормальнымъ расположеніемъ точки. При такихъ котлахъ нельзя замѣтить рѣзкой зависимости  $K$  отъ температуры газовъ (или вообще отъ нагрузки), а абсолютно  $K$  много ниже и колеблется отъ 15—17 cal, благодаря ничтожному вліянію излученія боковыхъ стѣнокъ. Излученіе (черезъ своды) отъ точки, вѣднутой сильно подъ котелъ, можно было бы, понятно, использовать при всякомъ горизонтальномъ котлѣ.

Опытъ пеллри Дек. 1912 Л. П. К. Улт. Моск. Чт.

Коэффициенты теплопередачи узкаго горна водотр. котла Л. П. К. и его перегрѣвателя ( $K_k = 60 \text{ m}^2$   $8 \times 6$  тр. по 4,0  $\text{m}$ ,  $\phi = 88 \frac{1}{2} / 95 \text{ mm}$ ;  $K_{pe} = 25 \text{ m}^2$  25 дуги по 8,40  $\text{m}$ ,  $\phi = 38 / 32 \text{ mm}$ ).



Фиг. 4.

Котелъ работалъ съ этой точкой всего только около 700 часовъ, такъ какъ ее пришлось перестроить на антрацитовую. За это время особыхъ слѣдовъ разрушенія точки нельзя было установить. Особенно тяжелой является работа свода *de*, нагрѣваемой снизу пламенемъ безъ прямой отдачи тепла котлу и съ очень малымъ (или даже нулевымъ) избыткомъ воздуха. Соответственно этому температура въ этомъ мѣстѣ должна быть даже выше средней теоретической температуры горѣнія точки (стр. 49). *Малый износъ* при такихъ условияхъ также, по всей вѣроятности, объясняется *большимъ топочнымъ* пространствомъ, благодаря чему пламя даже при предѣльныхъ нагрузкахъ не омываетъ (не лижетъ) и не бьетъ непосредственно въ кладку задняго конца. Какъ можно было установить видомъ черезъ одну изъ ниж-

<sup>1)</sup> Она подсчитана по температурѣ  $T_m$ , измѣренной термоэлементами на разстояніи около 700  $\text{m}/\text{m}$  ниже трубъ. На условность измѣренія здѣсь температуры было неоднократно указано.

несмотря на исключительно плохія условия получения тепла соприкосновениемъ. Причина кроется въ значительномъ большемъ отношеніи  $\left(\frac{H_{\lambda}}{H_c}\right)$  поверхности излучающей теплоту и воспринимающей ее.

Весьма высокій коэффициентъ теплопередачи перегрѣвателя обусловленъ отчасти благоприятными условиями для получения тепла соприкосновениемъ (хорошее перемѣшивание газовъ и пара), главнымъ же образомъ, также участіемъ излученія <sup>1)</sup>. Изъ 5 опытовъ получается зависимость

$$K_{nc} = 0,064 T_{cp}.$$

Такъ какъ для перегрѣвателя при данной комбинаціи съ котломъ главныя излучающія поверхности (сверху и снизу) растутъ вмѣстѣ съ поверхностью нагрѣва, то нужно думать, что и при широкихъ котлахъ  $K_{nc}$  хотя и будетъ ниже, чѣмъ въ данномъ случаѣ узкаго котла, но все-таки будетъ сравнительно высока и долженъ увеличиваться съ температурой (т.-е. нагрузкой). Перегрѣватель той же металлической конструкціи, но помѣщенный непосредственно между верхнимъ барабаномъ и трубами котла, долженъ, наоборотъ, имѣть болѣе низкій коэффициентъ теплопередачи, такъ какъ онъ не только не будетъ получать теплоты излучениемъ сверху и снизу, а будетъ ее даже отдавать стѣнкамъ котла.

Соответственно хорошей теплопередачѣ при маломъ начальномъ избыткѣ воздуха котель работала съ сравнительно невысокой потерей отходящими газами  $Q_3$ .

Потеря въ окружающую среду  $Q_3$  оказалась весьма переменною, что объясняется превращениемъ обмуровки передней части котла въ подогреватель воздуха для топки. Температура наружной стороны кладки, выходящей въ воздушный каналъ, растетъ лишь очень медленно съ нагрузкой, количество же просасываемаго мимо этихъ стѣнъ охлаждающаго воздуха растетъ почти пропорціонально нагрузкѣ. Поэтому температура этой части обмуровки котла должна не только не увеличиваться съ нагрузкой, а даже уменьшаться съ ней (см. стр. 31 —  $t_{cm} = 38,0$  до 28,5). Если бы вся обмуровка была выполнена по этому типу, то, очевидно, уменьшеніе относительной (на 1 kg топлива) потери въ окружающую среду съ увеличениемъ нагрузки должно было бы идти еще быстрѣе, такъ какъ даже абсолютная потеря (за единицу времени) стала бы уменьшаться. Однако, такое полное осуществленіе „желѣзно-воздушной“ обмуровки изъ-за конструктивныхъ соображеній невозможно и въ обмуровкѣ нашего котла остались такія части, которыхъ поверхность температура растетъ съ нагрузкой котла. Поэтому паденіе  $Q_3$  идетъ только при малыхъ нагрузкахъ весьма

рѣзко, далѣе же это паденіе хотя и продолжается, но идетъ много медленнѣе.

Между прочимъ паденіе <sup>1)</sup> одной изъ слагающихъ баланса тепла —  $Q_3$  съ увеличениемъ напряжения, при непрерывномъ увеличеніи другой —  $Q_2$ , обуславливаетъ получение нѣкотораго максимума для количества использованнаго тепла  $Q_1 = Q - (Q_2 + Q_3)$ . Этотъ максимумъ наступаетъ, какъ видно изъ диаграммы работы для данного случая при напряженіи около  $D/H = 33$  kg. (38,4 kg) съ  $1_{m^2} = 1$  часть, при чемъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла будетъ  $\eta_k = \sim 81,2\%$ , а всей установки (котла, перегрѣвателя и экономейзера)  $\eta_y = 88,5\%$ . При наименьшемъ напряженіи  $D/H = 17,5$  kg.  $\eta_k = 74\%$ , т.-е. меньше, чѣмъ для предѣльной нагрузки  $D/H = 46,4$  (56,0) kg, гдѣ  $\eta_k = 75,4\%$  <sup>2)</sup>. Такимъ образомъ, описанная обмуровка приближаетъ насъ къ случаю постоянства коэффициента полезнаго дѣйствія при разныхъ нагрузкахъ котловъ. Распространеніе желѣзо-воздушной изоляціи еще на другія части обмуровки можетъ довести котель до этого состоянія.

Что касается абсолютной величины потери въ окружающую среду, то рассматриваемая здѣсь серія опытовъ дала нѣсколько большую величину, чѣмъ опыты осени 1910 года, описанные въ предыдущей статьѣ. Это объясняется отчасти увеличениемъ поверхности охлаждения котла за счетъ присоединеній перегрѣвателя, главнымъ же образомъ тѣмъ, что всѣ опыты были теперь проведены при температурѣ окружающаго воздуха около 25° С. и при сильномъ движеніи воздуха около котла. Въ котельную накачивался вентиляторомъ черезъ окно, расположенное около 3 м. надъ котломъ, холодный воздухъ. При опытахъ осени 1910 года, наоборотъ, котельная совершенно не вентилировалась и температура воздуха кругомъ котла была около 40° С. Среднюю температуру теряющихъ теплоту внѣшнихъ поверхностей можно принять около 55° С. При этомъ предположеніи и при температурѣ окружающаго воздуха около 40°, вмѣсто 25° потеря  $Q_3$  была бы меньше по крайней мѣрѣ въ отношеніи  $\frac{55 - 25}{55 - 40}$ , т.-е. вдвое <sup>3)</sup>.

Предѣлъ увеличенію напряжения котла (далѣе 46,4 [56,0] kg <sup>2)</sup> пара съ 1 м<sup>2</sup>) былъ поставленъ имѣющимся въ распоряженіи разрѣженіемъ въ боровѣ. При указанномъ напряженіи потребовалось уже разрѣженіе за 4-мъ ходомъ

<sup>1)</sup> Не по закону прямой.

<sup>2)</sup> Поставленная въ скобкахъ цифра (56,0) даетъ тепловую нагрузку въ килограммахъ нормальнаго пара ( $\lambda = 637$  cal), если все тепло, поглощаемое котломъ и перегрѣвателемъ будетъ отнесено къ поверхности одного только котла. Вообще это совершенно невѣрно, но почти вездѣ еще примѣняется. Известное оправданіе такой способъ подсчета имѣетъ только тогда, когда величиной  $D/H_k$  хотять характеризовать не нагрузку всей котельной поверхности, а напряженность работы первыхъ элементовъ. Эта напряженность зависитъ, очевидно, отъ часоваго расхода топлива на единицу поверхности нагрѣва (и отъ условий его сжиганія), а этой цифрѣ приближительно пропорціональны поставленныя въ скобкахъ величины.

<sup>3)</sup> Практически приходится мириться съ нѣсколько большей потерей  $Q_3$ , во избѣжаніе слишкомъ изнурительной и трудной работы персонала.

<sup>1)</sup> Насколько велико вліяніе этого излученія видно изъ слѣдующаго примѣра изъ практики. При работѣ широкаго водотрубнаго котла аналогичнаго типа при напряженіи около 30 kg/m<sup>2</sup> и при пропускѣ только около 60% всего пара котла черезъ перегрѣватель пришлось совершенно задѣлать перегрѣвательную камеру, чтобы получить (допустимый для машины) перегрѣвъ у котла въ 330° С. Въ этомъ случаѣ перегрѣватель работалъ съ получениемъ тепла только излучениемъ отъ нижнихъ сводовъ. Змѣевикъ имѣлъ только одинъ загибъ.



въ 42,8 м/м. для просасыванія газа черезъ слишкомъ узкіе, какъ уже было сказано, котельные ходы. Изъ этого разрѣженія въ 42,8 м/м. только 5 м/м. пришлось на тонку, остальное на котель и перегрѣватель <sup>1)</sup>. Среднія скорости газовъ въ 4 котельныхъ и одномъ перегрѣвателномъ ходѣ были при напряженияхъ поверхности нагрѣва въ

$D/H_k = 17,5; 26,9; 31,0; 38,0$  и  $46,0$ , т.-е. при сжиганіи въ 1 часъ

$B = 100,8; 147,5; 169; 217,5; 280$  kg нефт. остатковъ (стр. 6).

$V = 2,4; 3,3; 4,0; 5,7; 7,9$  mt/sec,

а соотвѣтствующія этимъ скоростямъ сопротивленія (4 котел. ходовъ и 1 перегрѣвателя)

$S_k - S_m = 2,8; 6,6; 9,4; 18,2$  и  $37,8$  м/м. вод. столба. <sup>2)</sup> Сопротивленіе такого котла, такимъ образомъ, довольно точно мѣняется съ квадратомъ средней скорости (по всѣмъ ходамъ) движущихся газовъ, при чемъ при средней скорости въ 4 mt. сопротивленіе равно приблизительно 9,5 м/м. вод. ст. Отсюда можно составить слѣдующее выраженіе для сопротивленія подобнаго котла

(безъ тонки)  $\Delta S_k = \left(\frac{V}{4}\right)^2 \cdot 9,5 = 0,6 V^2$ .

<sup>1)</sup> Значительную часть сопротивленія (при предѣльной нагрузкѣ около 13 м/м.) даетъ, напимѣрь, 4 й ходъ, несмотря на ничтожное участіе его въ тепловой работѣ. Послѣ описанныхъ здѣсь опытовъ послѣдняя перегородка *AB* была уменьшена до *AC* безъ замѣтнаго измѣненія теплопередачи, по съ значительнымъ уменьшеніемъ сопротивленія. Можно предположить, что замѣна всѣхъ 3 ходовъ однимъ общимъ при небольшомъ лишь ухудшеніи теплопередачи (поскольку она въ нашемъ котлѣ зависитъ отъ излученія и не должна почти измѣняться) дастъ практически вполнѣ удовлетворительные результаты при уменьшеніи сопротивленія всего котла съ 37,8 м/м. до 13—15 м/м. Весьма хорошіе результаты должна также дать замѣна трехъ послѣднихъ вертикальныхъ ходовъ двумя горизонтальными. Помимо уменьшенія сопротивленія они должны дать также улучшеніе теплопередачи за счетъ увеличенія теплоизлучающихъ поверхностей, параллельныхъ поверхности котла. Какъ только позволятъ средства Лабораторіи, въ этомъ направленіи будутъ поставлены опыты.

<sup>2)</sup> Собственно разниця разрѣженій въ концѣ 4-го хода и въ топномъ пространствѣ ( $S_k - S_m$ ) не равна сопротивленію котла, такъ какъ на преодоленіе этого же сопротивленія тратится „самотяга“ котла, зависящая отъ разницы удѣльнаго вѣса опускающихся столбовъ болѣе холодныхъ и поднимающихся (1-го и 3-го хода) въ среднемъ болѣе горячихъ газовъ. Особенно замѣтно разгружающее трубу вліяніе этой „самотяги“ при высокихъ вертикальныхъ котлахъ.

Скорость газовъ растетъ, очевидно, приблизительно пропорціонально среднему коэффициенту избытка воздуха (нѣсколько скорѣе), нѣсколько быстрѣе, чѣмъ расходъ топлива (*B*) и быстрѣе, чѣмъ напряжение котла (по пару). Эти простыя соображенія надо имѣть въ виду при оцѣнкѣ сопротивленій котловъ. При сильномъ повышеніи теплопередачи котла съ напряженіемъ, т.-е. при слабомъ измѣненіи вслѣдствіе этого среднихъ температуръ газовъ (и ихъ объемовъ на kg топлива) и коэффициентовъ полезнаго дѣйствія котла, даже зависимость сопротивленія котла отъ напряжения  $D/Q_k$  выражается довольно точно второй степенью.

Въ нашемъ случаѣ можно, напимѣрь, написать

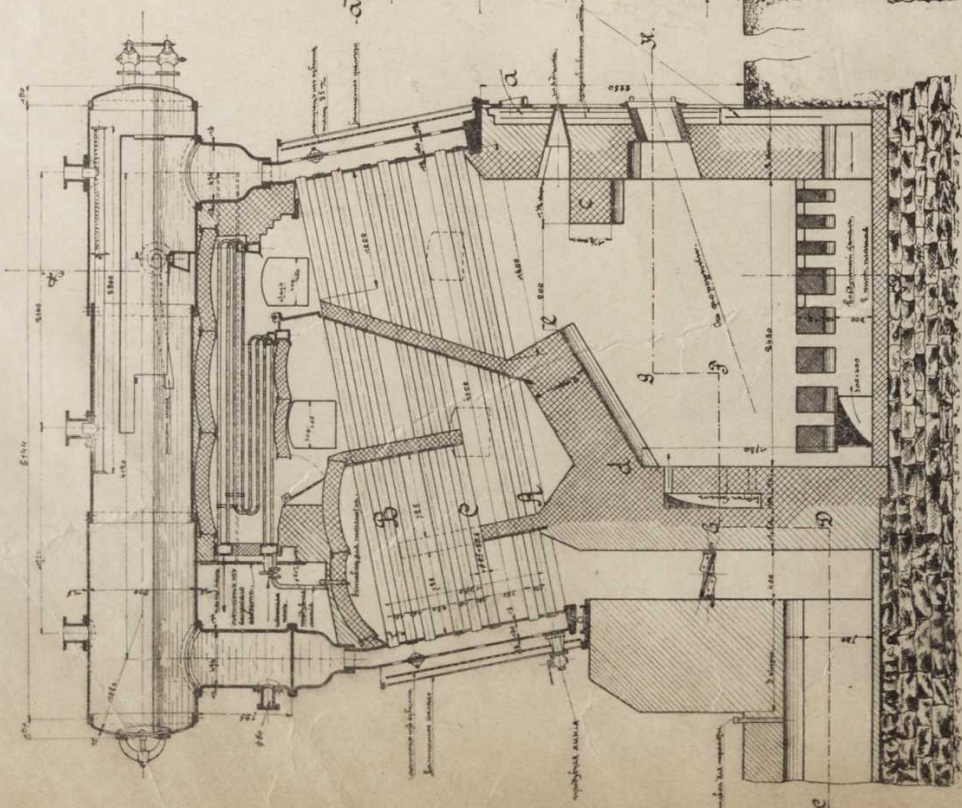
$$\Delta S_k = \left(\frac{D/H}{30}\right)^2 \cdot 6,5 \text{ м/м. в. ст.,}$$

считая, что при  $D/H = 30$  kg/mt<sup>2</sup> — 1 часъ сопротивленіе котла (безъ тонки) = 6,5 м/м. Подъ ( $D/H$ ) при этомъ подразумевается число килограммовъ нормальнаго пара ( $\lambda = 637$ ), полученныхъ съ 1 mt<sup>2</sup> при отнесеніи всей тепловой работы (нагрѣва, испаренія и перегрѣва) къ поверхности котла. Понятно, что это выраженіе относится къ 4-ходному котлу и одноходному перегрѣвателю при условіи работы малымъ избыткомъ воздуха при нефтяномъ отопленіи. Можно дать слѣдующее приблизительное выраженіе для опредѣленія сопротивленія аналогичныхъ котловъ при другихъ избыткахъ воздуха ( $a_k$ ) и даже другихъ топливахъ

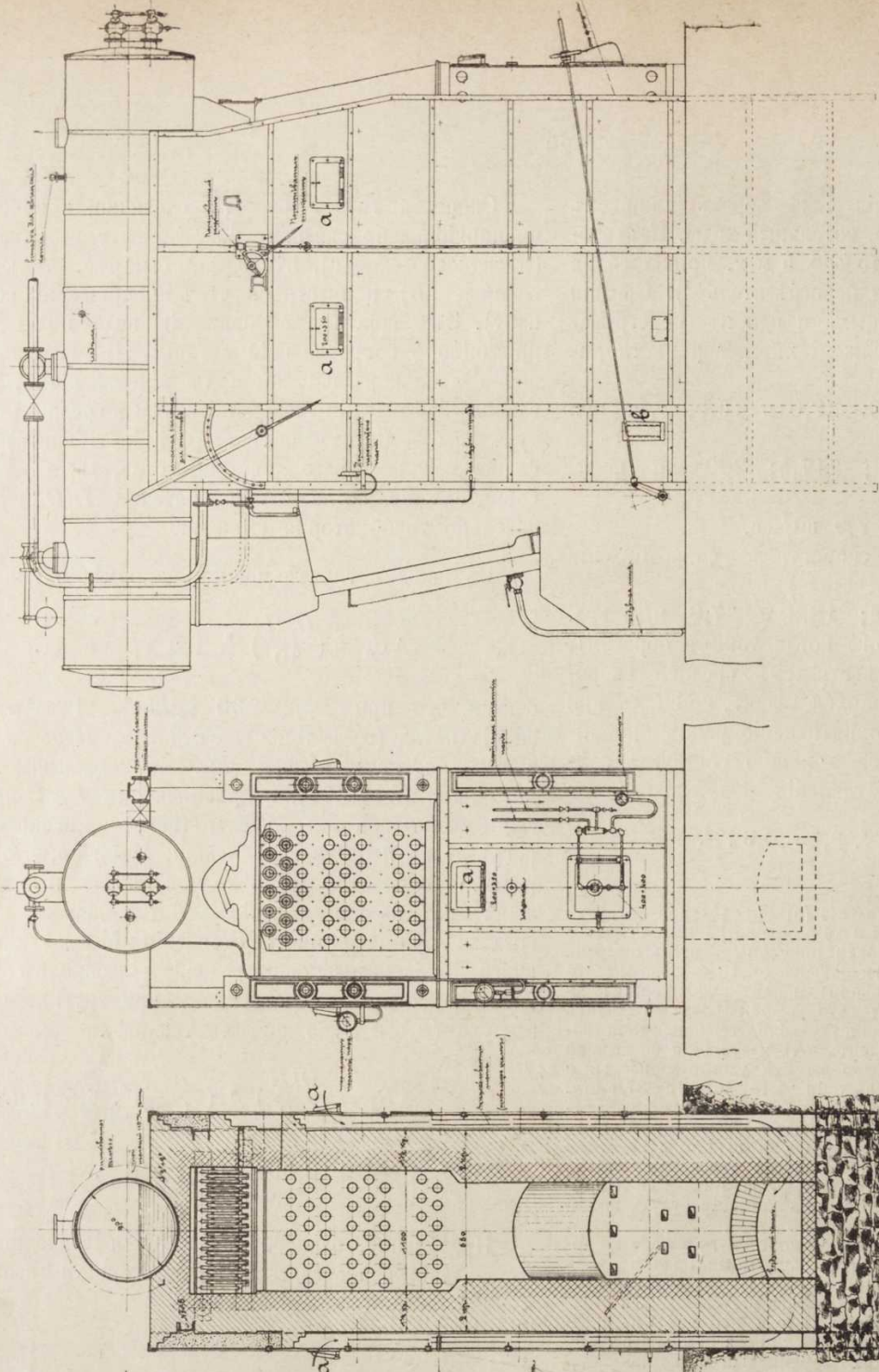
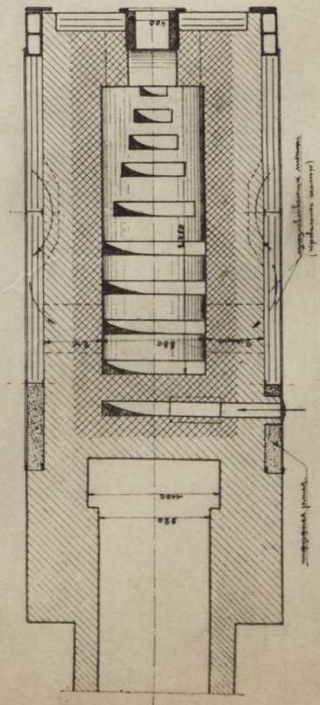
$$\begin{aligned} \Delta S_k &= \left(\frac{D/H}{30}\right)^2 \left(\frac{a_k}{1,3}\right)^2 \cdot 6,5 \text{ м/м.} \\ &= 0,0043 \left(\frac{D}{H}\right)^2 \cdot a^2. \end{aligned}$$

Правильнѣе, однако, пользоваться зависимостью сопротивленія непосредственно отъ скорости газовъ.

Разрез А-В



Разрез С-Д-Е-Ж

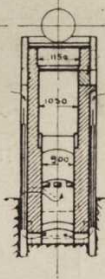
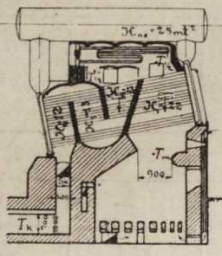


Водотрубный многокамерный  
котел завода "Шнеймманера"

— р. = 12 атм. —  
 Поверхность нагрева котла  $D_k = 60 \text{ м}^2$ ,  $l = 1400 \text{ мм}$ ,  $\phi = 55 \cdot 89 \cdot 5$   
 Поверхность нагрева парогенератора  $D_k = 25 \text{ м}^2$ ,  $l = 25 \text{ атм}$ ,  $\phi = 4000 \text{ мм}$ ,  $\phi = 38 \cdot 32 \cdot 2$   
 — котел в мм и см.

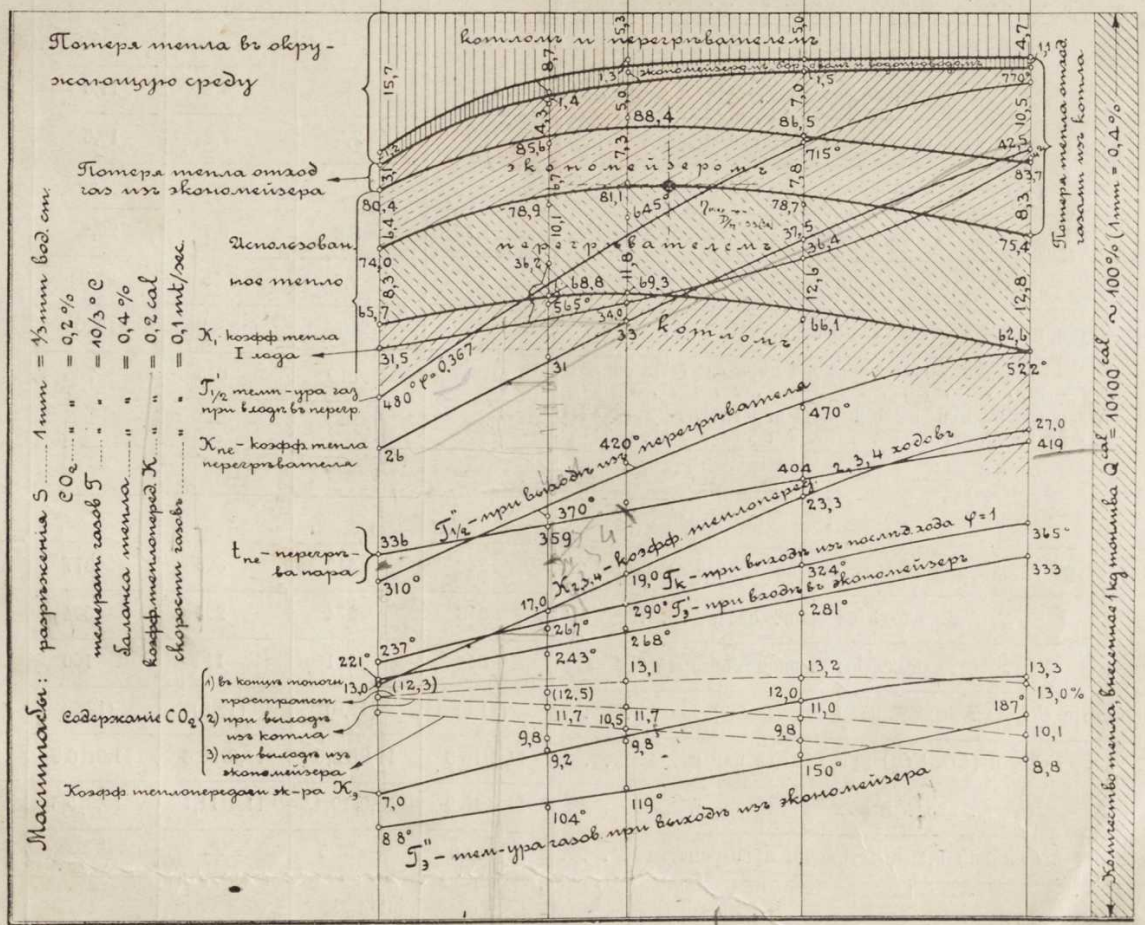
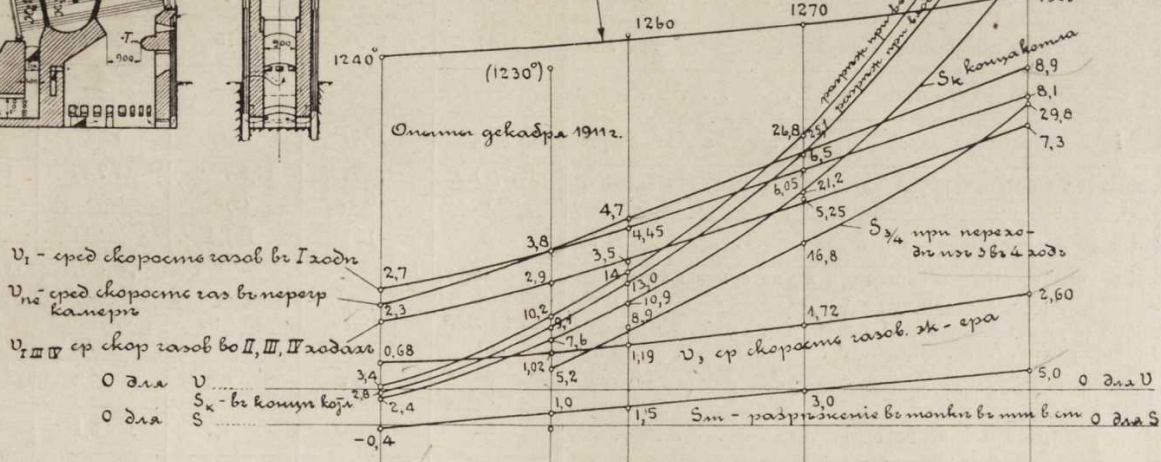
— Сталь 120.

Диаграмма работы водогрейной котла (Steinmüller)  $F_k = 60 \text{ m}^2$  Мади. V  
 с перегородчатой (F<sub>не</sub> = 25 m<sup>2</sup>) и радиусной эконом-  
 нейзером Кадмур (F<sub>эк</sub> = 90 m<sup>2</sup>) p<sub>к</sub> = 12,3 ат.



Комплексная вентиляция холодными во-  
 духами через окна, радиусная надъ-  
 ельная котловая передняя и водогрейная  
 котла 24-27°C

Температура точки T<sub>ин</sub>



1mm = 1kg B/kg нефтн. осм/1 газ	100,8	147,5	169	217,5	280
D/Je норм. пара/1газ (без учета перегр.)	17,5	26,9	31,0	38,0	46,4
(λ = 637 cal) (с отнесением к перегретой на котле)	(49,8)	(30,6)	(36,4)	(45,0)	(56,0)

Исследование установки изъ цѣльнокамерн. водотрубнаго котла  
перегрѣвателя  $H_{ne} = 25 \text{ mt}^2$ , ребрист.

ИЗМѢРЕННЫЯ ВЕЛИЧИНЫ.		Безъ перегрѣвателя.				
		1/3,0 час.	2/3,0 час.	3/2,0 час.	4/2,0 час.	5/2,0 час.
1	Часовой расходъ воды . . . . . $W=D$ kg	1160	1920	2075	2645	3330
2	Изъ нея получено насыщеннаго пара . . . . . $D_{ne}$	1160	1920	2075	2645	3330
3	„ „ „ перегрѣтаго „ . . . . . $D_{ne}$	—	—	—	—	—
4	Давленіе и температура пара . . . . . $P_c/t_{ne}$	12,1 kg/qcm	12,5/	12,4/	12,3/	12,3/
5	Температура воды при входѣ въ эк-ръ— $t_3$ ; вых. изъ эк-ра $t_4$ ; входѣ въ котель $t_5$ . . . . .	$\frac{18,7/71,9}{69,7}$	$\frac{14,0/79,8}{76,9}$	$\frac{11,5/78,6}{76,2}$	$\frac{11,7/91}{88,2}$	$\frac{12,4/104,7}{101,3}$
6	Часовой расходъ топлива . . . . . $B$ kg	93,5	153	157,4	211	276
7	Составъ, теплотворн. способность и характеристика топлива (нефт. ост.) . . . . .	$C=86,9; H=12,8$ $Q$ низш. = 10220; $\beta=0,35$		$C=86,7\%; H=12,6\%$ $Q=10100; \beta=0,35.$		
8	Давленіе ( $P_f$ ) и температура пара и темпер. нефти передъ форсунной . . . . .	$\frac{1,2 \text{ kg}/286^0}{36^0}$	$\frac{3,1/275}{38,5}$	$\frac{4,0/263}{42}$	$\frac{5,6/248}{39}$	$\frac{8,3/222}{37}$
9	Разрѣженіе въ тонкѣ въ m/m вод. столба . . . . . $S_m$	давл. —0,3	0,5	0,6	2,3	5,1
10	„ при входѣ въ перегрѣватель . . . . . $S^{1/2}$	—	—	1,4	5,1	13,2
11	„ „ выходѣ изъ перегрѣвателя . . . . . $S^{01/2}$	—	—	—	—	—
12	„ „ переходѣ $\frac{2}{3}$ ходѣ . . . . . $S^{2/3}$	—	—	—	7,8	18,0
13	„ „ „ $\frac{3}{4}$ „ . . . . . $S^{3/4}$	—	—	4,2	11,5	27,3
14	„ „ выходѣ изъ 4-го хода (передъ закл.) . . . $S_c$	1,3	7,0	7,2	16,6	38,0
15	„ „ входѣ въ боровъ . . . . .	—	—	—	—	—
16	„ „ „ „ экономайзеръ . . . . . $S_r$	1,7	8,8	8,7	20,2	47,1
17	„ „ „ „ выходѣ изъ экономайзера . . . . . $S''=S_y$	2,2	9,7	9,55	21,9	51,2
18	Температура газовъ въ топочн. пространствѣ . . . . . $T_m$	1190	1280	(1300)	1320	1300
19	„ „ „ при входѣ въ перегрѣватель (выходѣ изъ 1-го хода) . . . . . $T^{1/2}$	(470)	570	615	705	767
20	Температура газовъ при выходѣ изъ перегрѣвателя (входѣ въ 2-ой ходѣ) . . . . . $T^{01/2}$	—	—	—	—	—
21						
22						
23	Температура газовъ при выходѣ изъ посл. хода котла . . $T_c$	248	312	325	377	435
24	„ „ „ входѣ въ экономайзеръ . . . . . $T_r'$	218	274	295	334	374
25	„ „ „ выходѣ изъ экономайзера . $T_r'' = T_y$	85	111	116	160	209
26	Содержаніе $CO_2$ при выходѣ изъ 1-го хода ( $\infty$ тонкѣ) . . . .	(11,8)	(12,0)	(12,5)	(13,0)	(13,0)
27	„ „ „ $CO_2$ и ( $CO_2+O_2$ ) при выходѣ изъ котла . . . . .	11,8/16,3	11,8/16,6	12,0/16,6	11,3/16,9	10,0/17,2
28	„ „ „ $CO_2$ при входѣ и выходѣ изъ эк-ра . . . . .	11,0/10,9	10,8/10,4	11,4/11,1	10,0/9,5	8,5/8,2
29	Температура обшивки противъ топочн. пространства . . . . .	31,0	30,5	—	—	27,5
30						
31	Температура воздуха около котла (по 7 термометрамъ) . . . .	25,7	27,4	27,9	25,8	25,2

(зав. Steinmüller) съ длиною трубъ = 4,0 mt и  $H_k = 60 \text{ mt}^2$ ,  
экономейзера Каблиць  $H_{ок} = 90 \text{ mt}^2$ .

Съ перегрѣвателемъ.					Поверхность нагрева котла: 48 пр. $\times$ $\pi$ . 0,095 $\times$ 4 mt + 2 (1,74-0,34)=57,2+2,8=60 mt <sup>2</sup> (безъ вычета перегородокъ, котор. занимають 1,6+2,2=3,8 mt <sup>2</sup> ).	
6/3,0 час.	7/3,0 час.	8/2 час.	9/2,5 час.	10/1,7 час.	$W\phi=0,4$	$H_1=22,0 \text{ mt}^2 \dots (36,8\%)$ $H_2=13,0 \text{ " } \dots (21,6\%)$ $H_3=13,0 \text{ " } \dots (21,6\%)$ $H_4=12,0 \text{ " } \dots (20,0\%)$ Перегородки раздѣлены по- ровну между соответствующи- щими ходами.
1130	1730	2003	2480	3070		
41	60	68	85	110		
1089	1670	1935	2395	2960		
12,3/336	12,3/359	12,3/384	12,3/404	12,4/415		
$\frac{16,8/77}{74,5}$	$\frac{16,1/77,2}{74,0}$	$\frac{14,5/78,2}{76,1}$	$\frac{14,8/85,9}{83,2}$	$\frac{16,9/95,4}{92,2}$		
100,8	147,5	169	217,5	280		
$C=86,7; H=12,6\%; Q=10100 \text{ cal } \beta=0,35$					Плоская форсунка работала съ небольшо. избыткомъ пара для надежн. обезпеченія полноты пульверизаціи и окончанія го- рѣнія въ предѣлахъ тонки.	
$\frac{2,0/266}{34}$	$\frac{2,5/261}{36}$	$\frac{3,3/264}{37}$	$\frac{5,7/247}{36,7}$	$\frac{6,2/231}{35,3}$		
-0,4	1,0	1,5	3,0	5,0		
—	—	—	—	(10)		
—	—	—	—	—		
—	—	—	—	—		
—	5,2	8,9	16,8	29,8		
2,4	7,6	10,9	21,2	42,8		
—	—	—	—	49,5		
2,8	9,1	13,0	25,1	50,4		
3,4	10,2	14,0	26,8	53,9		
1240	(1230)	1260	1270	1300		
480	565	645	715	770		
310	370	420	470	522		
237	267	290	324	365		
221	243	268	299	333		
88	104	119	150	187		
(12,3)	(12,5)	13,1	13,2	13,0		
12,3/16,7	11,7/16,7	11,7/16,7	11,0/17,0	10,1/17,4		
11,5/11,5	10,7/9,8	11,0/10,5	10,3/9,8	9,4/8,8		
38,0	33,5	32,0	30,0	28,5		
24,4	25,1	27,1	26,0	24,3 23,3 23,6 25,3 22,3 26,6 25,1	24,4	Работалъ вентиляторъ, накачивающій холодный воздухъ въ котельную изъ окна надъ водогрубнымъ котломъ

Анализ измерен-

Баланс тепла.		1 cal %	2	3	4	5	
33	Изъ тепла 1 kg топлива утилизируется котломъ . . . . . $Q_1^k$						
34	" " " " " перегрѣват. . . . . $Q_1^{ne}$						
35	" " " " " котломъ и перегрѣв. вместе . . . . .						
36	Изъ тепла 1 kg топлива утилизируется экон-ромъ . . . . . $Q_1^c$						
37	" " " " " всей котельной . . . . . $Q_1^y$						
38	" " " " " уносится выходящ. изъ котла газами . . . . . $Q_2^k$						
39	Изъ тепла 1 kg. топлива теряется при выходѣ изъ эк-ра. $Q_2^y$						
40	" " " " " въ окруж. среду котломъ и перегрѣвателемъ. . . . . $Q_3^k + ne$						
41	Изъ тепла 1 kg топлива теряется въ окруж. среду всей установкой (котель+перегрѣв.+боровъ+экон-ръ+водопр.) $Q_5^y$						
42	Изъ тепла 1 kg. топлива теряется въ окруж. среду боровъ+эк-ръ+водопроводъ . . . . . $Q_5^k$						
32	1 kg. топлива вноситъ въ точку (низш. теплопроизв.) тепла $Q$						
Работа топки.							
43	Секундный объемъ воздуха, поступающій въ топку при 0° и 760	0,37	0,60	0,61	0,78	1,02	
44	Скорость возд. при проходѣ черезъ воздухопускныя окна при $t = \text{№ 31}$ . . . . . mt/sec	1,05	1,74	1,75	2,06	2,9	
45	Средняя скор. возд. при проходѣ по воздушнымъ каналамъ при $t = \text{№ 31}$ . . . . .	0,40	0,67	0,68	0,80	1,10	
46	Сопротивленіе топки въ мм. вод. столба. . . . . ~	—	0,5	0,6	2,3	5,1	
47	Отношеніе поступ. въ топку возд. къ теор. необходимому $\alpha_m = \alpha_{1/2}$	1,29	1,29	1,24	1,20	1,20	
48	Характеристика неполноты горѣнія . . . . . $Z$	0,0	+0,21	+0,1	+0,1	+0,3	
49	Средняя теоретическая темпер. горѣнія въ топкѣ . . . . . $T_s$	1720	1770	1810	1870	1870	
50	Прямая отдача изъ точки тепла . . . . . $\sigma =$	0,30	0,27	0,27	0,28	0,29	
Работы газоходовъ.							
51	1-ый ходъ 22 m <sup>2</sup> .	Начальн. и конечн. темпер. газовъ . . . . . $T_m$ и $T_{1/2}$	(830) 1190/470	(925) 1280/570	(951) 1300/615	(1012) 1320/705	(1031) 1300/767
52		" " " скорость " . . . . . mt/sec	2,5/2,3	4,3/4,2	4,3/4,3	5,7/6,3	7,4/8,8
53		Сопротивленіе (газовое) . . . . . mm вод. ст.	—	—	0,8	2,8	8,1
54		Кoeffициентъ теплопередачи . . . . . $K_1^{cal}$	30,0	40,3	41,0	43,0	43,0
55	2-ой, 3-й и 4-ый ходы 13+17+12= 38 m <sup>2</sup> .	Начальн. и конечная темпер. газовъ . . . . . $T_{1/2}''$ и $T_k$	(359) 440/248	(441) 570/312	(470) 615/325	(541) 705/377	(601) 767/435
56		" " " скорость " . . . . . mt/sec	1,9/2,15	3,3/4,0	3,4/4,2	4,5/6,3	5,9/10,0
57		Сопротивленіе (газовое) послѣднихъ трехъ ходовъ mm вод. ст.	—	—	—	—	—
58		Кoeffициентъ теплопередачи . . . . . $K_{cal/2+3+4}$	19,7	23,9	24,8	30,5	35,3
59							
60							
61							
62							

Балансъ тепла малотипиченъ въ виду рѣзкихъ измѣненій въ условіяхъ вентиляціи котельной.

съ перегрѣват. (60+25) и экон-ра Каблица (90).

**НЫХЪ ВЕЛИЧИНЪ.**

6		7		8		9		10		
6640	65,7	6960	68,8	7000	69,3	6680	66,1	6320	62,6	
840	8,3	1020	10,1	1190	11,8	1270	12,6	1290	12,8	
7480	<b>74,0</b>	7980	<b>78,9</b>	8190	<b>81,1</b>	7950	<b>78,7</b>	7610	<b>75,4</b>	
550	6,4	680	6,7	730	7,3	790	7,8	840	8,3	$D/B (t_5 - t_3)$ .
8130	<b>80,4</b>	8660	<b>85,6</b>	8920	<b>88,4</b>	8740	<b>86,5</b>	8450	<b>83,7</b>	
1040	10,3	1260	12,4	1380	13,6	1650	16,3	2010	19,9	
320	3,1	440	4,3	510	5,0	710	7,0	1060	10,5	
	15,7		8,7		5,3		5,0		4,7	При средней темпер. окружающего (движущаго) воздуха = $\sim 24-27^{\circ}$ (см. 31).
	16,9		10,1		6,6		6,5		5,8	
	1,2		1,4		1,3		1,5		1,1	
10100		10100		10100		10100		10100		
0,39		0,56		0,61		0,98		1,03		
1,10		1,60		1,75		2,06		2,95		Сѣченіе $\approx 5 \times 0,07 + 0,03 \approx 0,38 \text{ m}^2$ .
0,41		0,6		0,68		0,80		1,10		Сѣченіе $\sim 0,99 \text{ m}^2$ .
—		1,0		1,5		3,0		5,0		
1,26		1,24		1,18		1,18		1,20		
0,0		0,1		+0,1		+0,1		0,0		
1800		1810		1870		1890		1860		
<b>0,30</b>		<b>0,30</b>		<b>0,31</b>		<b>0,31</b>		<b>0,29</b>		Принимая $\eta_m = 0,98$ .
(860)		(897)		(953)		(992)		(1035)		
1240/480		1230/565		1260/645		1270/715		1300/770		Живое сѣченіе
2,74/2,6		3,85/3,8		4,4/4,5		5,7/6,4		7,45/8,7		начала—0,87 m <sup>2</sup> , конца—0,49 m <sup>2</sup> .
—		—		—		—		—		
<b>31,5</b>		<b>36,2</b>		<b>34,0</b>		<b>36,4</b>		<b>42,0</b>		
(274)		(319)		(355)		(397)		(444)		
310/237		370/267		420/290		470/324		522/365		Живое сѣченіе
1,4/2,2		2,3/3,5		2,8/4,2		3,9/6,2		5,4/9,2		первое—0,64 m <sup>2</sup> , послѣднее—0,36 m <sup>2</sup> .
—		—		—		—		—		
<b>13,0</b>		<b>17,0</b>		<b>19,0</b>		<b>23,3</b>		<b>27,0</b>		

## Анализъ измѣрен

Измѣреніе установки изъ водотрубнаго котла ( $H_k = 60 \text{ mt}^2$ ) съ

Работа ГАЗОХОДОВЪ (продолженіе).		1	2	3	4	5
64	Средній коэфф. теплопередачи котла . . . . . $K_k$					
65	Общее сопротивленіе котла (безъ точки и перегрѣват.) . . .	1,6	6,5	6,6	14,3	32,9
66	Отношеніе $\frac{\text{дѣйствит. поступающ. въ топку воздуха}}{\text{къ теоретич. необходим.}}$ . . . $\epsilon_k$	1,31	1,31	1,29	1,36	1,52
67	Отношеніе $\frac{\text{количества просачив. входа котла воздуха}}{\text{къ теоретич. необходим.}}$	0,02	0,02	0,05	0,16	0,32
68						
69						
70						
71						
<b>ПЕРЕГРѢВАТЕЛЬ.</b>		Перегрѣватель выключенъ двумя заслонками.				
72	Отдано газами тепла въ перегр. камерѣ на 1 kg. тепл. . . .					
73	Получено паромъ тепла въ перегр. на 1 kg. топл. . . . .					
74	Потеряно тепла въ окруж. среду (и не вязка опыта). . . . .					
75	Доля общаго количества газовъ, проходящ. черезъ перегрѣв. .					
76	Средняя темпер. газовъ въ перегр. . . . . $\frac{T^{m1/2} + T^{m1/2}}{2}$					
77	Средн. скорость газовъ въ перегр. камерѣ . . . . .					
78	Сопротивленіе (газовъ) перегрѣват. . . . .					
79	Средн. скорость пара при проходѣ черезъ перегр. . . . .					
80	Сопротивленіе (паровое) перегрѣвателя . . . . .					
81	Коефф. теплопередачи перегрѣвателя . . . . . $K_{ne}$					
82						
83						
	Среднее теплосодержаніе пара (котла) . . . . . $\lambda$	596	589	590	578	565
	1 kg. нефт. ост. испарил. kg воды . . . . . $D/V$	12,4	12,6	13,2	12,6	12,1
	1 kg. " " далъ норм. пара . . . . . ( $\lambda=637$ )	11,6	11,7	12,2	11,4	10,8
	На 1 $\text{mt}^2$ испарено воды . . . . . $D/H$	19,3	32,0	32,6	44,1	55,5
	" 1 " получено норм. пара . . . . . $\lambda=637$ )	18,1	29,7	32,0	40,0	49,4



**НЫХЪ ВЕЛИЧИНЪ.**

перегрѣвателемъ ( $H_{ne}=25, \text{ m}^2$ ) и экономайзеромъ Каблица  $90 \text{ m}^2$ .

6	7	8	9	10	
					(Исключая перегрѣватель).
2,8	6,6	9,4	18,2	37,8	
1,26	1,32	1,32	1,40	1,52	
0,0	0,08	0,14	0,22	0,32	
Всѣ газы идутъ черезъ перегрѣватель (заслонка $\sim$ плотва).					25 змѣвиковъ, $l=8400 \text{ m}$ , $\varphi=38/32$ , $H_{ne} = 25, \text{ m}^2$ .
900	1050	1215	1310	1340 cal	
840	1020	1190	1270	1290 cal	Принята влажность пара= $0,5\%$ .
+ 60	+ 30	+25	+40	+50 cal	
Въ виду плотности заслонки принято $\mu = 1$ .					
395	467	532	592	646	
2,3	3,8	4,7	6,5	8,9	Сѣченіе $0,5 \times 1,15 = 0,45 \text{ m}^2$ . (при вычетѣ 100 сѣченій трубъ).
—	—	—	—	—	
2,8	4,2	5,3	6,4	8,2	
—	—	—	—	—	
<b>26</b>	<b>31</b>	<b>33,0</b>	<b>37,5</b>	<b>42,5</b>	
(668) 592/671	(678) 592/682	(691) 590/695	(694) 583/698	(692) 574/697	$\lambda$ насыщ. пара $\lambda$ перегр. " (средн. $\lambda$ ).
11,2	11,7	11,9	11,4	11,0	
11,8	12,5	13,0	12,5	12,0	
18,8	28,8	33,4	41,3	51,2	
(19,8) 17,5	(30,6) 26,9	(36,4) 31,0	(45,0) 38,0	(56,0) 46,4	Въ ( ) поставлены цифры, которыя получаются, если отнести тепловую работу перегрѣвателя также къ котлу.

### III. Изслѣдованіе ребристаго экономайзера. (Сист. „Р. Каблиць“).

Пожертвованный фирмой „Р. Каблиць“ въ Ригѣ ребристый экономайзеръ былъ установленъ въ Лабораторіи Паровыхъ Котловъ въ октябрѣ 1910 г. На прилагаемыхъ таблицахъ даны чертежи его деталей и общей установки.

Экономайзеръ состоитъ изъ чугунной плоской плиты (съ внѣшними размѣрами 1750×880 м/м), къ 18 фланцамъ которой привертываются столько же ребристыхъ трубъ (длина между плоскостями стыковъ фланцевъ 2000 м/м). 1 и 2, 3 и 4 и т. д. трубы соединены внизу при помощи особыхъ соединительныхъ колѣнъ, наверху же 2 и 3, 4 и 5 и т. д. трубы также соединены каналами, отлитыми въ плиту. Такимъ образомъ вода, входя наверху въ трубу 1, опускается по ней внизъ, переходитъ нижнимъ колѣномъ во вторую трубу, поднимается по ней вверхъ, переходитъ по соответствующему каналу плиты въ третью трубу, спускается опять по ней внизъ и т. д., пока не будутъ пройдены всѣ 18 трубъ *последовательно*. Отдѣльные перепускные каналы плиты кромѣ того соединены между собою небольшими отверстіями „f“, предназначенными для непосредственнаго удаленія воздуха и пара, въ случаѣ его образованія. Какъ верхнее, такъ и нижнее присоединеніе трубъ выполнено при помощи фланцевъ, повернутыхъ 4-мя болтами въ 1", съ уплотняющими клингеритовыми прокладками. Противъ каждой трубы имѣется въ верхнихъ соединительныхъ каналахъ отверстіе, закрывающееся фланцемъ при помощи 4 болтовъ, обшихъ съ верхнимъ присоединеніемъ трубъ (съ промежуточной гайкой). На

каждой трубѣ (діам. =  $\frac{102}{122}$  м/м) имѣется по 80 реберъ внѣшняго діаметра въ 226 м/м. Вся омываемая газами поверхность такой трубы считается въ 5 mt<sup>2</sup>, а весь нашъ экономайзеръ изъ 18 трубъ фирмой называется *элементомъ въ 90 mt<sup>2</sup>*. Дѣйствительная поверхность, омываемая газами, больше и равна около 101 mt<sup>2</sup>, но фирма не считаетъ <sup>1)</sup> поверхность нижнихъ соединительныхъ колѣнъ, не поддающихся очисткѣ, и поверхность плиты, находящейся въ мертвомъ пространствѣ. Элементы устанавливаются или отдѣльно (въ мелкихъ установкахъ) или соединяются въ экономайзеры любой величины при помощи соединительныхъ трубъ. Устанавливаться элементы могутъ или поперекъ или вдоль газохода въ зависимости отъ объема пропускаемаго черезъ нихъ газа.

Въ Лабораторіи Паровыхъ Котловъ элементъ *установленъ вдоль борова*.

Для очистки газовой поверхности она обдувается паромъ. Для этого въ верхней плитѣ оставлены отверстія „a“, закрывающіяся конусами „g“ съ автоматически закрывающимися доньшками „h“. Черезъ эти отверстія вводится или отдѣльная <sup>3/4</sup> труба съ заглушен-

нымъ нижнимъ концомъ и боковыми отверстіями (въ мелкихъ установкахъ) или сразу серія, наприимѣръ, изъ 5" трубокъ (какъ въ нашемъ случаѣ), соединенныхъ въ одну общую вилку. Въ эти трубки вводится паръ, который, и долженъ сдувать съ реберъ загрязненія. Трубки двигаются медленно вверхъ и внизъ, постепенно смывая паромъ всю поверхность <sup>1)</sup>. Степень очистки зависитъ не только отъ силы паровой струи, но и отъ количества и качества загрязненій.

Установка экономайзера въ Лабораторіи Паровыхъ Котловъ ясна изъ чертежа. Обмуровка передней стѣнки выполнена „желѣзно-инфузорной“. Между желѣзной обшивкой экономайзера и кладкой (толщиной въ 1—1 1/2 кирп.) оставленъ зазоръ около 120 м/м, который засыпанъ инфузорной землей. Получилась, такимъ образомъ, механически очень прочная, мало теплопроводная и съ малымъ пропускомъ воздуха обмуровка. При входѣ и выходѣ газовъ въ экономайзеръ оставлены *очень просторныя камеры* для обезпеченія равномернаго распределенія газовъ по всей высотѣ экономайзера. Этимъ обусловлена сравнительно большая длина экономайзерной кладки (4720 м/м при длинѣ плиты элемента всего въ 1750 м/м). Подъ экономайзеромъ оставленъ проходъ въ 300 м/м. <sup>2)</sup> высотой для возможности осмотра его снизу.

*Опытъ* съ описаннымъ экономайзеромъ касались пока, главнымъ образомъ, вопросовъ его *тепловой работы* и его *сопротивленій движению газовъ*.

Какъ извѣстно, характеризующіе *тепловую работу* нагревательнаго аппарата факторы связаны двумя уравненіями:

1) уравненіемъ *баланса тепла*:

$$\left[ \left( \frac{M}{CO'_2 + CO'} + N \right) T'_1 - \left( \frac{M}{CO''_2 + CO''} + N \right) T''_1 \right] \cdot \mu = \frac{W}{B} (t_4 - t_3)^3 + Q'_3 \dots \dots (1)$$

и 2) уравненіемъ *теплопередачи*

$$H_{жк} = \frac{W(t_4 - t_3)^3}{K_{жк} \left( \frac{T'_1 + T''_1}{2} - \frac{t_3 + t_4}{2} \right)} \dots \dots (2)$$

<sup>1)</sup> Для внутренней чистки предполагается выемка элемента. После закрытія образовавшагося отверстія листомъ желѣза (1750×880) и соединенія двухъ сосѣднихъ элементовъ (при большой установкѣ изъ многихъ элементовъ) прямой трубой, остальная часть установки можетъ продолжать работу, пока не будетъ закончена чистка вынутаго элемента. Для чистки необходимо спять верхніе люки-фланцы а иногда и нижніе соединители.

<sup>2)</sup> Можно совѣтовать оставлять проходъ возможно просторнѣе (500—600 ш/м) для удобства осмотра и запаса для провалившихся загрязненій при загрязненномъ газѣ. Во избѣжаніе прохода здѣсь газовъ необходима установка разборныхъ перегородокъ или желѣзныхъ заслонокъ.

<sup>3)</sup> Правильнѣе, особенно при высокой температурѣ  $t_4$  въ обоихъ уравненіяхъ, вмѣсто  $(t_4 - t_3)$ , писать разницу соответствующихъ температуръ  $(t_4 - t_3)$ .

<sup>1)</sup> Какъ и большинство другихъ экономайзерныхъ фирмъ.

Въ этихъ выраженіяхъ приняты слѣдующія обозначенія:

$M = \frac{C}{0,54} \cdot C_{c.c.}$ , гдѣ  $C$ —содержаніе въ топливѣ участвовавшаго въ горѣніи углеорода въ %.

$C_{c.c.}$ —теплоемкость сухихъ газовъ =  $0,314 + 0,00003 T_s$ .

$C_{c.c.}$ —можно принять для приблизительныхъ подсчетовъ =  $0,32$ .

$N = \left( \frac{9H + W}{100} + W_{\phi} \right) \cdot 0,48$ , гдѣ  $H$  и  $W$ —содержаніе водорода и влаги въ топливѣ въ %.

$W_{\phi}$ —расходъ пара въ кг. на пульверизацію или дутье на 1 кг. топлива (при нефт. или пародутьевыхъ топкахъ).

$CO_2'$  и  $CO'$  въ % объема при входѣ и  $CO_2''$  и  $CO''$  при выходѣ изъ экономайзера;

$T_3'$ —температура газовъ при входѣ и  $T_3''$ —при выходѣ изъ экономайзера;

$\mu$ —доля газовъ, прошедшихъ черезъ экономайзеръ (изъ количества полученнаго отъ 1 кг. топлива газовъ);

$W$ —часовое количество прошедшей черезъ экономайзеръ воды въ кг;

$B$ —часовой расходъ топлива, газы котораго проходить экономайзеръ—кг;

$t_3$  и  $t_4$ —температура воды при входѣ и выходѣ изъ экономайзера °C;

$Q_3'$ —потеря экономайзеромъ въ окружающую среду въ Cal на 1 кг. топлива;

$H_{ac}$ —газовая поверхность нагрѣва экономайзера въ  $m^2$ ;

$K_3$ —коэффициентъ теплопередачи экономайзера.

Первое изъ приведенныхъ уравненій даетъ балансъ тепла экономайзера для 1 кг. топлива. Въ случаѣ постоянства  $CO_2 + CO$  въ началѣ и концѣ экономайзера, т.е. отсутствія присасыванія воздуха въ газоходы его получается упрощенное выраженіе

$$\left( \frac{M}{CO_2 + CO} + N \right) (T_3' - T_3'') \mu = \frac{W}{B} (t_4 - t_3) + Q_3' \dots \dots (1')^1$$

Второе уравненіе даетъ приблизительное выраженіе закона перехода тепла пропорціонально разницѣ температуръ газа и воды. Это приближенное выраженіе,

1) Изъ этого уравненія, между прочимъ, выводимъ

$$\frac{T_3' - T_3''}{t_4 - t_3} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{W}{\mu \left( \frac{M}{CO_2 + CO} + N \right) B} + \frac{Q_3'}{\mu \left( \frac{M}{CO_2 + CO} + N \right)}$$

Отсюда слѣдуетъ, что отношеніе измѣненія температуръ не есть постоянная величина для даннаго топлива ( $M$  и  $N$  const.), но зависитъ еще отъ условій горѣнія ( $CO_2 + CO$ ), а также отъ доли газовъ ( $\mu$ ), проходящихъ черезъ экономайзеръ и отъ  $Q_3'$ .

однако, достаточно точно для нашего случая почти полного противотока въ движеніи воды и газа.

Весьма полную оцѣнку теплопередачи изслѣдуемаго экономайзера даетъ уже самъ по себѣ коэффициентъ  $K_3$  для опредѣленія котораго какъ будто достаточно одного уравненія (2). Нужно только при *вполнѣ установившемся тепловомъ состояніи экономайзерной установки* опредѣлить количество прошедшей черезъ экономайзеръ воды, температуру воды и газовъ до и послѣ экономайзера и знать поверхность нагрѣва. Въ такой формѣ обыкновенно и ведутся опыты съ экономайзерами. Но эти опыты имѣютъ то неудобство, что нѣтъ *никакихъ данныхъ* въ цифрахъ самаго испытанія для *контроля правильности* полученныхъ результатовъ, а далѣе нѣтъ возможности установить цифровое значеніе тѣхъ факторовъ, отъ которыхъ зависитъ самый процессъ теплопередачи (напримѣръ, скорости газовъ). Возможность *самоконтроля опыта* играетъ громадную роль; вѣдь и абсолютно точно показывающіе приборы не гарантируютъ еще правильности измѣренія нужной величины, такъ какъ при большинствѣ приборовъ правильность результатовъ зависитъ еще отъ многихъ побочныхъ условій, вовсе не связанныхъ непосредственно съ приборами. Для возможности такого *самоконтроля* слѣдовало бы *всегда опредѣлять и встѣ тѣ величины*, которыя нужны для *составленія баланса тепла экономайзера* (перегрѣвателя и проч.), хотя это весьма часто усложняетъ самый опытъ и *удлиняетъ его*. Для *правильнаго составленія уравненія теплопередачи* достаточно, послѣ установки теплового состоянія и при непрерывномъ и равномерномъ питаніи, продолжительности опыта въ 1—2 часа (а иногда и меньше); для *составленія же уравненія баланса тепла* при твердомъ топливѣ нуженъ опытъ, продолжительность котораго зависитъ *отъ возможности точнаго опредѣленія расхода топлива (B)*, т.е. нуженъ періодъ не менѣе 6—8 часовъ. Исключеніе составляетъ *отопленіе нефтяными остатками*, гдѣ уже продолжительность въ  $\frac{1}{2}$ —1 часъ обезпечиваетъ высокую степень точности опредѣленія  $B$  и этимъ даетъ возможность провести большія серіи полныхъ опытовъ въ короткое время. Вмѣстѣ съ тѣмъ легче всего поддерживать постоянство всѣхъ условій работы, между прочимъ и теплового состоянія и загрязненія стѣнокъ извѣй. Всѣ эти соображенія приводятъ къ тому выводу, что вообще *слѣдовало бы серьезныя изслѣдованія теплопередачи экономайзеровъ* и нѣкоторыхъ другихъ нагрѣвательныхъ аппаратовъ (работа которыхъ не зависитъ отъ условій образования пламени въ топкѣ и пр.) *вести при нефтяномъ* (или аналогичномъ) *топливѣ*. Самимъ опытамъ могутъ, понятно, предшествовать болѣе или менѣе длительные періоды работы съ газами отъ другихъ топливъ или топокъ, если требуется выяснитъ вліяніе, напримѣръ, загрязненія поверхностей нагрѣва этими топливами и т. п.

Но при неизмѣннй возможности вести опыты при нефтяномъ отопленіи и при желаніи получить все-таки убѣдительныя цифры слѣдуетъ мириться съ большой продолжительностью, и *хотя бы два опыта изъ серіи* продѣлать съ измѣреніемъ всѣхъ величинъ, чтобы получить

возможность по балансу тепла, хотя бы этих двух опытов, проверить правильность установки и действия приборов (главным образом газовых термометров).

Для уменьшения числа неизвестных необходимо при точных опытах делать  $\mu=1$ , т. е. предупредить промазыванием заслонок или установкой временных стѣнок обход части газов экономайзера <sup>1)</sup>. И в промышленных установках это почти всегда осуществимо.

Таким образом, *подлежатъ еще опредѣленію* кромѣ  $V$  слѣдующія величины:

1) *Составъ газовъ до и послѣ экономайзера*. Знание состава в обоих этих мѣстах необходимо и для *оцѣнки плотности всей экономайзерной установки* (в смысл присасыванія воздуха). Вести подсчеты по составу газовъ за котлами или только перед экономайзером нельзя, так как в громадном большинствѣ практических установок весьма много воздуха присасывается (особенно в сборный боров котельной, благодаря сравнительно большому разбѣженію в немъ и обыкновенно не толстой кладкѣ) через кладку, а также через неплотныя заслонки *неработающих котловъ*. Весьма цѣнно также знание *состава и температуры газовъ* за тѣми котлами, которыхъ газы поступают в экономайзеръ. Получается возможность по сопоставленію теплосодержанія газовъ при выходѣ из котловъ и при входѣ в экономайзеръ  $\left( \left( \frac{M}{CO_2 + CO} + N \right) T_k \right)$  нѣсколько больше  $\left( \frac{M}{CO_2 + CO} + N \right) T^1$  судить о правильности измѣреній величинъ <sup>1)</sup>. Мѣсто забора газовъ должно быть подобрано такъ, чтобы обезпечить заборъ в приборъ Орса правильной средней пробы. Почти всегда достаточно произвести опредѣленіе только  $CO_2$  и  $(CO_2 + O)$  и подсчитать далѣе по невязкѣ анализа  $CO$  (это недопустимо в случаѣ нефтяных остатковъ, но тамъ обыкновенно горѣніе полно). Далѣе нуженъ элементарный составъ топлива для подсчета  $M$  и  $N$ . Не представляет трудности опредѣленіе или хотя бы приблизительная оцѣнка величины  $W\phi$ , играющей лишь второстепенную роль по своему численному значенію.

Въ итогѣ *потеря въ окружающую среду  $Q_5^a$  должна быть больше 0*, но не болѣе 50—100 cal. <sup>2)</sup> при нормальныхъ условіяхъ устройства и эксплуатации котельной. Только при *исключительныхъ условіяхъ* сильного охлажденія экономайзернаго помѣщенія, очень плохого

<sup>1)</sup> Проходъ неизвестной части газовъ мимо экономайзера в дымовую трубу лишает насъ возможности составлять балансъ тепла, но *непосредственно* не лишает насъ возможности совершенно точно опредѣлить соответствующій даннымъ условіямъ коэффициентъ теплопередачи, при чемъ на величину этого коэффициента прохода газа вліяетъ косвенно только постольку, поскольку уменьшился объемъ и потому скорость газовъ, вліяющая на теплопередачу, а также вліяющая при нѣкоторыхъ условіяхъ на коэффициентъ теплопередачи средняя температура газовъ. Абсолютное количество воспринятаго экономайзеромъ тепла, понятно, уменьшается.

<sup>2)</sup> Вообще не слѣдуетъ ожидать совпаденія температуръ газовъ за котломъ ( $T_k$ ) и перед экономайзеромъ ( $T^1$ ). Даже при отсутствіи потери тепла боровомъ будетъ  $T_k > T^1$ , благодаря невозможности предупрежденія присасыванія воздуха в боровъ. Совершенно не вѣрно утвержденіе M. R. Schulz (№ 30, 1912 г. Zeitschrift f. Dampf- u. Mschbetrieb), что несовпаденіе этихъ температуръ является доказательствомъ неправомерности произведенныхъ измѣреній.

устройства обмуровки, отсутствія изоляціи горячихъ металлическихъ частей экономайзера — эта потеря можетъ дойти до 150—200 cal. <sup>1)</sup>, но она при этомъ должна сравнительно *мало мѣняться для разныхъ опытовъ съ однимъ и тѣмъ же экономайзеромъ*, хотя бы при мѣняющихся условіяхъ тепловой работы его. Нужно при этомъ, однако, имѣть в виду, что чаще всего опыты съ твердыми топливами даже продолжительностью в 6—8 часовъ производятся съ точностью не выше 2—3%, почему и оцѣнку величины остаточнаго члена  $Q_5^a$  баланса тепла экономайзера нужно вести в предѣлахъ этой точности.

Измѣренія экономайзера Каблица в Лабораторіи Паровыхъ Котловъ являлись частью полнаго изслѣдованія установки изъ котла и экономайзера. Мѣняя котель и напряженія его, можно получить самые различные объемы и температуры газовъ при входѣ в экономайзеръ. То, что касалось изслѣдованія котловъ, было уже разобрано в первыхъ двухъ статьяхъ. Теперь остановимся на измѣреніяхъ, относящихся непосредственно къ экономайзеру.

*Установившееся тепловое состояніе* гарантировалось какъ достаточной продолжительностью предшествующаго опыту періода работы съ одинаковыми температурными условіями, такъ и весьма малымъ измѣненіемъ всѣхъ температуръ отъ начала до конца опыта. Небольшая разница в температурахъ воды до и послѣ опыта при данномъ экономайзерѣ съ очень малой теплоемкостью (всего около 820 cal. на 1° C.) не имѣла значенія.

*Расходъ топлива* (нефтян. остат.) опредѣлялся по вѣсу, расходъ воды по градуированнымъ по вѣсу бакамъ. *Температура воды* до и послѣ экономайзера — измѣрялась ртутными, проверяемыми до и послѣ опыта, термометрами съ дѣленіемъ шкалы на 1/2° C. Записи велись черезъ 5 мин. Для температуры выходящей воды обыкновенно вводилась поправка на выступающій столбикъ ртути. При подсчетѣ количества полученнаго водою тепла на расходъ воды в *kg.* умножалась не разница температуръ ( $t_1 - t_2$ ), а разница ихъ тепло-содержаній ( $q_1 - q_2$ ), взятымъ изъ таблицъ *Mollier*. Для высокихъ температуръ воды получаютъ замѣтныя при нашей точности опыта разницы.

*Температуры газовъ* измѣрялись ртутными термометрами (и только изрѣдка термоэлементами при температурахъ выше 450° C.), которыя, проверялись до и послѣ опытовъ. Особенно важна проверка ртутныхъ термометровъ (съ углекислотой подъ высокимъ давленіемъ) послѣ работы ихъ при высокихъ температурахъ (400—500° C.). Но гораздо труднѣе, чѣмъ вопросъ о вѣрности термометра, рѣшить вопросъ о *правильномъ измѣреніи имъ средней температуры* газовъ до и послѣ экономайзера. Вставленный черезъ оставляемое фирмой отверстіе в термометръ вообще не даетъ правильной средней температуры, отчасти изъ-за измѣненія этой температуры

<sup>1)</sup> Эти цифры относятся къ нефтяному отопленію. Вообще же можно считать  $\frac{Q_5^a}{Q} \cdot 100 =$  отъ 0,5 до 1% и макс. до 2%, гдѣ  $Q$  — теплопроизводительность топлива.

очень часто по высотѣ (и по ширинѣ) сѣченія, а кромѣ того и потому, что излученіе термометромъ тепла болѣе холоднымъ экономейзернымъ стѣнкамъ понижаетъ температуру термометра, т.-е. она окажется ниже температуры омывающихъ его газовъ <sup>1)</sup>. Вліяніе этого излученія, очевидно, особенно сильно сказывается на показаніи термометра при высокихъ начальныхъ температурахъ газовъ, и сравнительно мало замѣтно при выходѣ изъ экономейзера, гдѣ обыкновенно разниа температуръ газа и стѣнки экономейзера значительно меньше.

Весьма многіе неправильные результаты изслѣдованій экономейзеровъ объясняются именно ошибками въ измѣреніяхъ этихъ температуръ газовъ.

Для полученія возможно точныхъ цифръ можно совѣтовать вести эти измѣренія не непосредственно въ просторныхъ камерахъ до и послѣ экономейзеровъ, а въ болѣе тѣсныхъ сѣченіяхъ, напримѣръ, при впаденіи газовъ изъ борова въ экономейзерный кайалъ и при входѣ въ дымовую трубу. Въ этихъ мѣстахъ и вліяніе стѣнки экономейзера отпадаетъ. Ошибка отъ разницы температуръ за счетъ охлажденія газовъ на этомъ пути совершенно ничтожна. Нужно только *уничтожить* внимательной провѣркой и промазкой неплотностей кладки *присасываніе воздуха* на протяженіи отъ термометра до экономейзера. При нашихъ опытахъ температуры измѣрялись въ узкихъ мѣстахъ, обозначенныхъ на чертежѣ установки буквами  $T''_a$  и  $T''_b$ . Понятно, что въ этихъ же мѣстахъ отбирались пробы газа (черезъ 10 мин.) для анализа газовъ. Разрѣженіе, наоборотъ, для полученія сопротивленія одного только элемента, измѣрялись въ камерахъ. При этомъ для большей точности *измѣренія сопротивленія экономейзера* опредѣлялась непосредственно (при помощи тягомѣра съ наклонной трубкой, заполненной подкрашеннымъ спиртомъ) разниа разрѣженій до и послѣ экономейзера.

Всего были проведены 2 большихъ серіи опытовъ и двѣ промежуточныхъ. Первая серія проведена *черезъ 2 недѣли послѣ пуска экономейзера*, при чемъ въ виду бездымнаго нефтяного отопленія можно считать газовую поверхность нагрѣва практически чистою. 2-я серія была проведена черезъ годъ работы (всего около 4000 рабочихъ часовъ), но *послѣ очистки отъ накипи и сильной обдувки внешней поверхности*. Кромѣ того, приблизительно черезъ 2500 часовъ работы были проведены опыты безъ всякой предварительной очистки и далѣе съ очисткой только внѣшней поверхности.

Всѣ результаты отсчетовъ и подсчетовъ собраны въ подробныхъ прилагаемыхъ при семъ таблицахъ. Въ этихъ же таблицахъ приведены геометрическія величины, характеризующія экономейзеръ.

Разсмотримъ прежде всего *величины, контролирующія точность опытовъ. Теплосодержаніе газовъ при выходѣ изъ котла* (стр. 17) должно быть нѣсколько больше *теплосодержанія при входѣ въ экономейзеръ* (стр. 18).

$$\left\{ \frac{C}{0,54, CO_2} \cdot C_{c..} + \left( \frac{9H + W}{100} + W_{\phi} \right) 0,48 \right\} T_k$$

больше, чѣмъ

$$\left\{ \frac{C}{0,54, CO_2} \cdot C_{c..} + \left( \frac{9H + W}{100} + W_{\phi} \right) 0,48 \right\} T'_k$$

Это условіе соблюдено во всѣхъ 22 опытахъ. Указанная разниа обусловлена потерей въ окружающую среду борова между котломъ и экономейзеромъ, поэтому она меньше всего для случая комбинаціи экономейзера съ комбинированнымъ котломъ, непосредственно примыкающимъ къ экономейзеру. Но въ виду небольшой своей величины эта разниа сильно зависитъ отъ степени точности опыта и въ случаѣ опыта съ твердымъ топливомъ съ точностью около 2% можетъ оказаться, что цифръ стр. № 17 окажутся не больше, а нѣсколько меньше цифръ стр. 18. Въ нашемъ случаѣ разниа составляетъ для случая соединенія съ комбинированнымъ котломъ отъ 10 до 40 cal, для случая соединенія съ корнваллійскимъ котломъ отъ 20 до 70 cal и т. д. При этомъ, однако температуры  $T_k$  и  $T'_k$  сильно разнятся между собою (310 и 277°, 398 и 349, 465 и 402, 535 и 469 и т. д.), но эта разниа компенсируется разницей въ  $CO_2$  за котломъ и передъ экономейзеромъ (11,4 и 10,5; 11,2 и 10,0; 11,0 и 9,7; 10,1 и 8,7 и т. д.). Эти разницы на практикѣ могутъ быть и еще больше, особенно если къ борovu примыкаютъ одинъ или даже нѣсколько пеработавшихъ котловъ.

*Разниа теплосодержаній газовъ до и послѣ экономейзера послѣ вычета воспріятого водою тепла даетъ потерю въ окружающую среду экономейзеромъ— $Q'_2$* , которая также должна быть, понятно, больше нуля. Для первой серіи опытовъ она колеблется (стр. 22) отъ 10 до 70 cal, а въ среднемъ равна 37 cal, для послѣдней серіи—отъ 30 до 80 cal и въ среднемъ равна 54 cal. Разниа объясняется тѣмъ, что первая серія опытовъ произведена въ котельной съ высокой температурой воздуха и безъ движенія его (около 37° С.), послѣдняя же серія—въ сильно вентилируемой котельной съ температурой воздуха около 25°. Во всякомъ случаѣ *потеря въ окружающую среду экономейзеромъ весьма невелика* (около 0,5% тепла, введеннаго въ топку), что объясняется *небольшими размѣрами самаго элемента и хорошимъ устройствомъ обмуровки его* <sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Къ экономейзерной установкѣ отнесены также въ *испытаніяхъ всего комплекта* (см. т. Блицы въ предыдущихъ статьяхъ) потери тепла въ окружающую среду трубами, подводными и отводящими воду отъ экономейзера. Въ нашемъ случаѣ лабораторной установки эти трубы очень длинны и не изолированы, почему и потеря ими сравнительно велика.

<sup>2)</sup> Послѣ того какъ, для экономейзера опредѣлена достаточно точно величина  $Q'_2$  можно съ довольно высокой точностью опредѣлять по уравненію баланса тепла расходъ топлива  $B$  безъ непосредственнаго его измѣренія для того, чтобы по нему подсчитывать нужные для характеристики теплопередачи, сопротивленія экономейзера и пр. скорости газовъ. Но, понятно, при этомъ теряется возможность контроля опыта и такой пріемъ допустимъ только тогда, когда правильность установки приборовъ и пр. уже провѣрена другими контрольными опытами.

<sup>1)</sup> См. II выпускъ Извѣстій Механ. Инстит.—В. И. Гриневецкій и В. П. О. 1912 № 4—И. В. Арбатскій.

Как видно из стр. 16 *просасывание воздуха* в предѣлах экономайзера, несмотря на очень большія разреженія (до 50 м.м. в. ст.) *очень невелико* (отъ 0 до 0,06 и отъ 0,0 до 0,12) соответственно отсутствію въ данной конструкціи экономайзера *пересѣкающихъ* кладку частей, кромѣ верхней плиты, периметръ которой

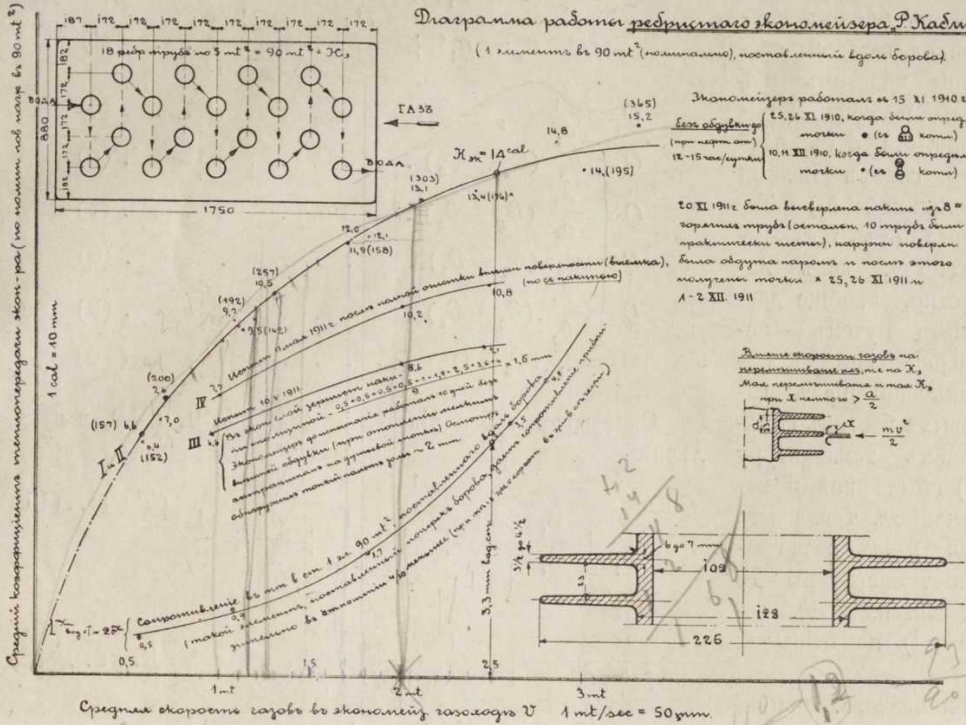
на диаграммѣ даны кривыя изслѣдованія экономайзера въ загрязненномъ состояніи.

*Сопrotивленіе экономайзера растётъ также со скоростью газовъ* (см. стр. 15 и диаграмму, фиг. 5), причёмъ по мѣрѣ увеличенія скорости кривая сопротивленій поднимается все круче.

Лабораторія Каровъ Котлы Имп. Плещи Удѣ.

Диаграмма работы *ребристого экономайзера Р.Каблице*

(1 сантиметръ въ 90 м<sup>2</sup> (номинально), поставленный вѣдоль борава)



Фиг. 5.

очень надежно уплотняется азбеститомъ. Не пропускаютъ при правильномъ уходѣ также воздуха клапанчики для ввода обдувательныхъ трубъ. Пропускъ же кладки доведенъ до минимума устроенной Лабораторіей желѣзной обшивкой кладки.

Въ стр. 23 приведены *коэффициенты теплопередачи* экономайзера, подсчитанные для удобства сравненія съ другими опытами, по номинальной поверхности нагрѣва экономайзера (въ 90 м<sup>2</sup>). Въ стр. 13 даны *среднія скорости газовъ* въ живомъ сѣченіи экономайзера (=1,15 м<sup>2</sup>).

Сразу видна *громаная зависимость въ данномъ экономайзерѣ коэффициента теплопередачи отъ скорости газовъ*. При измѣненіи скорости отъ 0,57, 3,3 мт/сек.—K<sub>эк</sub> увеличивается отъ 6,6 до 15,2 cal. На диаграммѣ (фиг. 5) отложены величины K<sub>эк</sub> какъ ординаты на абсциссахъ—среднихъ скоростяхъ газовъ.

Кривая измѣненія K<sub>эк</sub> вначалѣ очень быстро поднимается, а потомъ приближается асимптотически къ линіи параллельной оси абсциссъ. На этой же диаграммѣ нанесены 10 точекъ, определенныхъ послѣ годичной работы экономайзера, и высверливанія изъ него пакши. Ясно, что эти точки весьма точно располагаются на той же кривой, что указываетъ на полную *возможность возстановленія первоначальной теплопередачи* загрязненнаго экономайзера его очисткой. Наконецъ,

Кривая сопротивленій относительно къ элементу въ 18 трубъ, поставленному *вдоль* борава. При нормальномъ его расположеніи поперекъ борава число трубъ, омываемыхъ *вдоль* теченія газами, будетъ меньше въ отношеніи <sup>4</sup>/<sub>9</sub>. Далѣе дасть нѣкоторое уменьшеніе сопротивленія уничтоженіе при поперечномъ расположеніи уступовъ на боковой стѣнкѣ и можно будетъ считать это отношеніе равнымъ <sup>4</sup>/<sub>10</sub>. Кривая сопротивленій достаточно точно подтверждаетъ измѣненіе сопротивленій съ квадратомъ скоростей, при чемъ для скорости V=2,5 мт/сек сопротивление продольного элемента 3,3 м/м, а сопротивление поперечнаго будетъ, слѣдовательно, <sup>4</sup>/<sub>9</sub> · 3,3 = 1,5 м/м; отсюда выводимъ для *сопротивленія* (въ м/м вод. ст.) 1 поперечнаго элемента слѣдующее выраженіе

$$\Delta S_{ок} = \left(\frac{V}{2,5}\right)^2 \cdot 3,3 \cdot \frac{4}{9} = 0,21 V^2 \dots (3)$$

а для продольнаго элемента

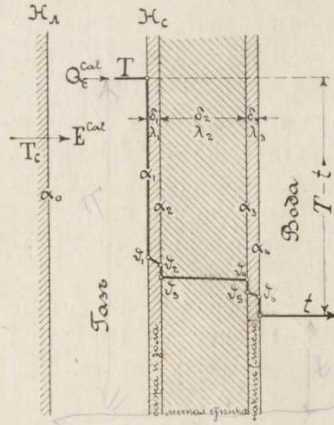
$$\Delta S_{ок} = 0,53 V^2 \dots (3')$$

Такимъ образомъ, при 4 поперечныхъ элементахъ, установленныхъ послѣдовательно и при средней скорости газовъ въ 2,5 мт/сек—сопротивленіе экономайзера будетъ  $\Delta S_{ок} = 4 \cdot 0,21 V^2 = 5,25$  м/м. водян. ст. при коэффициентѣ теплопередачи около K<sub>эк</sub> = 14 cal (при чистомъ экономайзерѣ). При увеличеніи скорости до 3,0 мт—сопротивленіе будетъ—7,6 м/м при K<sub>эк</sub> = 14,6 cal при скорости 3,5 мт, сопротивление будетъ 12,2 м/м при K<sub>эк</sub> = 14,8 cal<sup>1)</sup>.

1) Недостаточно внимательное отношеніе къ вопросу о сопротивленіи экономайзеровъ вообще, а въ частности ребристыхъ, создало весьма много установокъ, особенно въ послѣдніе годы, съ совершенно недопустимо большими затратами тяги на экономайзеры. Въ

Раньше, чѣмъ остановиться подробнѣе на вопросѣ о теплопередачѣ нашего экономайзера и вліяніи на нее загрязненій и пр., разберемъ нѣсколько самое явление **перехода тепла отъ газовъ черезъ гладкую или ребристую поверхность экономайзера къ водѣ.**

Пусть дана металлическая стѣнка экономайзера толщиной въ  $\delta_2$  m/m (фиг. 6), покрытая въ общемъ случаѣ съ газовой стороны налетомъ изъ зола и сажи (толщина  $\delta_1$ ), а съ водяной слоемъ накипи (толщиной  $\delta_3$ ). Тепло отъ газа передается, какъ извѣстно, вообще двоякимъ путемъ — непосредственнымъ соприкосновеніемъ газовыхъ частицъ (имѣющихъ температуру  $T$ ) со стѣнкой и излученіемъ тепла отъ



Фиг. 6.

кладки и прочихъ находящихся въ газоходахъ и нагрѣтыхъ газами соприкосновеніемъ же до температуры  $T_c$  частей. Прямого излученія отъ точки или пламени, вообще говоря, въ случаѣ экономайзера <sup>1)</sup> не бываетъ. Примемъ слѣдующія обозначенія:

$H_c$  —  $mt^2$  поверхность нагрѣва экономайзера, воспринимающая непосредственно тепло отъ газа. Пока будемъ принимать, что поверхности перехода тепла всѣ равны между собою и  $= H_c$ .

$H_l$  —  $mt^2$  та часть лучеиспускающей поверхности, лучи которой попадаютъ на  $H_c$ .

$Q = Q_c + \frac{H_l}{H_c} E$  — въ  $cal$  даетъ то количество тепла, которое въ 1 часъ переходитъ отъ газовъ въ воду черезъ 1  $mt^2$  газовой поверхности и нагрѣва. Оно равно суммѣ тепла, перешедшаго соприкосновеніемъ ( $Q_c$ ) и излученіемъ ( $\frac{H_l}{H_c} \cdot E$ ). Черезъ  $E$  обозначено количество тепла, излучаемое 1  $mt^2$  поверхности  $H_l$ .

$T$  и  $t$  — температуры газовъ и воды въ  $^{\circ}C$ .

$\vartheta_1$  до  $\vartheta_6$  — температуры на разныхъ поверхностяхъ стѣнки (см. фиг. 6).

$\delta_1, \delta_2$  и  $\delta_3$  — толщина въ  $mt$  налета сажи, стѣнки и накипи.

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  и  $\alpha_4$  — коэффициенты перехода тепла отъ газа въ сажу, отъ сажи въ стѣнку, отъ стѣнки въ накипь и отъ накипи въ воду ( $cal-1 mt^2-1 час.-1^{\circ}C$ ).

$\lambda_1, \lambda_2$  и  $\lambda_3$  — коэффициенты теплопроводности налета сажи и зола, стѣнки и накипи ( $cal-mt^2, час.-^{\circ}C$ ).

Москвѣ извѣстны, напр. экономайзерныя установки съ сопротивленіемъ въ 40 и болѣе  $mt$ .

<sup>1)</sup> За исключеніемъ вторичнаго воспламененія не сгорѣвшихъ въ топкѣ газовъ, воспламенившихся пролетѣвшей изъ точки искоркой.

Для отдѣльныхъ мѣстъ перехода тепла можно, какъ извѣстно писать:

$$H_c \cdot Q = H_c Q_c + H_l \cdot E; \quad Q = Q_c + \frac{H_l}{H_c} \cdot E,$$

$$Q = \alpha_1^c (T - \vartheta_1) + \frac{H_l}{H_c} E \text{ или}$$

$$Q = \alpha_1 (T - \vartheta_1) \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{гдѣ } \alpha_1 = \alpha_1^c + \frac{H_l}{H_c} \cdot \frac{E}{(T - \vartheta_1)} \dots \dots \dots (4')^1$$

$$Q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (\vartheta_1 - \vartheta_2) \dots \dots \dots (5)$$

$$Q = \alpha_2 (\vartheta_2 - \vartheta_3) \dots \dots \dots (6)$$

$$Q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (\vartheta_3 - \vartheta_4) \dots \dots \dots (7)$$

$$Q = \alpha_3 (\vartheta_4 - \vartheta_5) \dots \dots \dots (8)$$

$$Q = \frac{\lambda_3}{\delta_3} (\vartheta_5 - \vartheta_6) \dots \dots \dots (9)$$

$$Q = \alpha_4 (\vartheta_6 - t) \dots \dots \dots (10)$$

Складывая уравненія 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10, мы получимъ

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_4}} (T - t) \dots (11)$$

Пусть

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_4}} = K_{эж} \dots (12)$$

тогда

$$Q = K_{эж} (T - t) \dots \dots \dots (13)$$

$K_{эж}$  можно назвать *общимъ коэффициентомъ теплопередачи* экономайзера.

Выраженіе (13) правильно для случая постоянныхъ температуръ  $T$  и  $t$ . Въ случаѣ экономайзера (да и большинства другихъ нагрѣвательныхъ аппаратовъ) обѣ эти температуры мѣняются и приходится прибѣгнуть къ дифференціальному выраженію (задавшись закономъ измѣненія температуръ), послѣ интегрированія котораго получается извѣстное выраженіе

$$Q = K_{эж} \frac{(T\vartheta' - t_4) - (T\vartheta'' - t)}{\ln \frac{T\vartheta' - t_4}{T\vartheta'' - t_3}} \dots \dots \dots (14)^1$$

Если вмѣсто дѣйствительной средней температуры газовъ и воды принять среднюю арифметическую изъ начальныхъ и конечныхъ температуръ, то получается приближенное выраженіе.

$$Q = K_{эж} \left( \frac{T\vartheta' + T\vartheta''}{2} - \frac{t_3 + t_4}{2} \right), \dots \dots (15)$$

<sup>1)</sup> См. подробнѣе Mollier—Ueber Wärmeübergang—Z. d. V. D. I. 1897, № 6. Berner—Erzeugung des überhitzten Wasserdampfes—Mitteilungen über Forschungsarbeiten 14—16. Rietschel—Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Heizungs- und Lüftungsanlagen и др.

поэтому

$$W(t_4 - t_3) = K_{\text{эк}} \cdot H_{\text{эк}} \left( \frac{T_{\text{э}}' + T_{\text{э}}''}{2} - \frac{t_3 + t_4}{2} \right)$$

и

$$H_{\text{эк}} = \frac{W(t_4 - t_3)}{K_{\text{эк}} \left( \frac{T_{\text{э}}' + T_{\text{э}}''}{2} - \frac{t_3 + t_4}{2} \right)} \dots (2)$$

Этимъ выраженіемъ мы и пользовались для подсчета коэффициен. теплопередачи при нашихъ опытахъ.

Выраженіе (15) замѣняетъ съ достаточной для практики точностью болѣе сложное выраженіе (14). Но нужно помнить, что и выраженіе (14) даетъ коэффициентъ теплопередачи только въ случаѣ чистаго противотока или параллельнаго тока, въ случаѣ же поперечнаго тока (какъ въ нормальномъ экономейзерѣ Грина) получаемая цифра *ниже* дѣйствительнаго коэффициента теплопередачи <sup>1)</sup>.

Коэффициентъ теплопередачи  $K$  ( $K_{\text{эк}}$ ) зависитъ, какъ видно изъ уравненій (12) и (4'), отъ весьма многихъ факторовъ. Постараемся разобрать ихъ. Наиболѣе важнымъ изъ нихъ по своему количественному вліянію является величина  $\alpha_1$ , характеризующая сопротивление перехода тепла отъ газа въ стѣнку. Мы уже вывели

$$\alpha_1 = \alpha_1^c + \frac{H_{\text{л}}}{H_{\text{с}}} \frac{E}{(T - \vartheta_1)} \dots (4')$$

Можно условно написать еще

$$\alpha_1 = \alpha_1^c + \alpha_1^a \dots (4'')$$

и говорить, что коэффициентъ перехода тепла отъ газа въ стѣнку складается изъ двухъ величинъ, — коэффициента перехода соприкосновеніемъ и коэф. перехода излученіемъ. Принимая законъ перехода тепла излученіемъ по Стефану-Больцману имѣемъ

$$E = \sigma \left\{ \left( \frac{T_{\text{с}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\vartheta_1 + 273}{100} \right)^4 \right\} \dots (16)$$

$\sigma$  для абсолютно чернаго тѣла = 4,6. Для кладки, необработаннаго чугунаго литья, покрытаго золой и сажей — можно принять  $\sigma = 4$ .

Температуру излучающей стѣнки ( $T_{\text{с}}$ ) можно опредѣлить изъ уравненія баланса тепла этой стѣнки  $H_0$  <sup>2)</sup>, допуская для простоты, что стѣнка получаетъ тепло только соприкосновеніемъ съ коэффициентомъ перехода тепла  $\alpha_0 = \alpha_1^c$  (при неровныхъ поверхностяхъ кладки  $\alpha_0$  обмуровки можетъ быть и больше  $\alpha_1^c$ , при плохомъ же омываніи газами — въ мертвыхъ углахъ — онъ можетъ быть и много меньше) и не теряетъ тепла въ окружающую среду, а отдаетъ его только излученіемъ поверхности нагрѣва.

<sup>1)</sup> См. Nusselt — Der Wärmeübergang im Kreuzstrom. Z. d. V. D. I. 1911. № 48.

<sup>2)</sup> Очевидно, что  $H_0$  можетъ быть и больше  $H_{\text{л}}$  (напримѣръ, боковые ходы цилиндрическихъ котловъ, обмуровка экономейзера при расположеніи трубъ не въ шахматномъ порядкѣ и пр.).

Получаемъ

$$\alpha_1^c (T - T_{\text{с}}) H_0 = 4 \cdot H_{\text{л}} \left\{ \left( \frac{T_{\text{с}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\vartheta_1 + 273}{100} \right)^4 \right\} \dots (17)$$

откуда вообще

$$T_{\text{с}} = m \cdot T \dots (18)$$

при  $m < 1$ .

Такимъ образомъ

$$\alpha_1 = \alpha_1^c + \frac{H_{\text{л}}}{H_{\text{с}}} \cdot \frac{4}{T - \vartheta_1} \left\{ \left( \frac{m \cdot T + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\vartheta_1 + 273}{100} \right)^4 \right\} \dots (19)$$

$$\text{т. е. } \alpha_1 = f \left( \alpha_1^c, T, \vartheta_1, \frac{H_{\text{л}}}{H_{\text{с}}}, m \right).$$

На переходъ тепла отъ газа въ стѣнку вліяютъ, во-первыхъ, всѣ факторы перехода чистымъ соприкосновеніемъ, т. е. прежде всего все способствующее переѣшванію газа, а во-вторыхъ, и факторы, вліяющіе на излученіе (понятно, при  $\frac{H_{\text{л}}}{H_{\text{с}}} \neq 0$ ), т. е. температуры газовъ  $T$ , и нагрѣваемой стѣнки  $\vartheta_1$ , относительный размѣръ лучеиспускающей поверхности  $\frac{H_{\text{л}}}{H_{\text{с}}}$ , также величина  $m$ , зависящая отъ  $H_0$  и  $\alpha_0$  (уравненіе 17). Увеличеніе поверхности излучающаго тѣла увеличиваетъ полученіе имъ тепла, этимъ приближаетъ его температуру  $T_{\text{с}}$  къ температурѣ  $T$  и увеличиваетъ  $\alpha_1^c$ .

Въ случаѣ *экономейзеровъ* вліяніе полученія тепла излученіемъ *не можетъ быть особенно велико*, въ виду небольшой величины (въ большинствѣ существующихъ пока экономейзеровъ) отношенія  $\frac{H_{\text{л}}}{H_{\text{с}}}$  и невысокихъ температуръ  $T$  и  $\vartheta_1$ . Кромѣ того, благодаря тому, что часть поверхности  $H_0$  (концевыя стѣнки кладки, на примѣръ) оказываются въ мертвыхъ углахъ, и  $m$ , а слѣд. и  $T_{\text{с}}$  невелико ( $\alpha_0 < \alpha_1$ ).

Проверимъ на нѣсколькихъ примѣрахъ, хотя бы и приближительно, какія значенія можетъ имѣть  $\alpha_1^c$  для случая экономейзера.

*Экономейзеръ Грина* въ  $6 \times 16 = 96$  трубъ =  $96 \text{ м}^2 = H_{\text{с}}$ .

Можно считать, что  $H_{\text{л}} = H_0 =$  около  $24,5 \text{ м}^2$ , слѣдовательно

$$\frac{H_{\text{л}}}{H_{\text{с}}} = 0,26 \text{ } ^2).$$

<sup>1)</sup> См. также слѣдующія работы:

Mollier — Über Wärmeübergang — Z. d. V. Deutsch. Ing. 1897, № 6 и 7.  
Eberle — Protokoll der 36. Delegierten u. Ing. Versammlung des Internat. Verbandes der Dampfkessel-überwachungsvereine 1906.

Reutlinger — Über den Einfluss des Kesselsteins - Mitteilungen über Forschungsarbeiten, Heft 9!

Перечень литературы до начала 1911 г. см. въ работѣ.

Sonneken — Der Wärmeübergang von Rohrwänden auströmendes Wasser — Mitteilungen über Forschungsarbeiten, Heft 108—109.

VII выпускъ Изв. Мех. Инс. Б. П. О. 1909 г.

<sup>2)</sup> Считаны боковыя и концевыя поверхности кладки. Собственно для нормальнаго экономейзера Гринъ, съ расположеніемъ трубъ не въ шахматномъ порядкѣ  $H_{\text{л}} < H_0 = 24,5 \text{ м}^2$ . Но мы этимъ при подсчетѣ будемъ пренебрегать.



Экономейзеръ Грина въ  $12 \times 16 = 192$  трубы  $= 192 \text{ mt}^2 = H_c$  даетъ только  $H_l = 31 \text{ mt}^2$  или  $\frac{H_l}{H_c} = 0,16$ , т.-е. увеличеніе экономейзера въ ширину ухудшаетъ  $\alpha_1'$ . Увеличеніе экономейзера въ высоту, за счетъ суженія его (трубы въ 1,3 и 1,5  $\text{mt}^2$  въ каждой), наоборотъ увеличиваетъ  $\frac{H_l}{H_c}$ , а слѣд. увеличиваетъ  $\alpha_1'$ .

Экономейзеръ Каблица въ  $90 \text{ mt}^2 = H_c$  даетъ всего  $H_l = 9,0 \text{ mt}^2$  и  $\frac{H_l}{H_c} = 0,10$  (благодаря большой компактности  $H_c$ ). Въ этомъ экономейзерѣ вліяніе излученія на теплопередачу должно быть ничтожно. Главная поверхность нагрѣва такого экономейзера располагается параллельно тепловымъ лучамъ.

Пусть данъ довольно частый случай работы экономейзера съ средней  $T = \frac{250 + 150}{2} = 200^\circ$  и  $\delta_1 (\approx t) = \frac{20 + 80}{2} = 50^\circ$  (чистая стѣнка);  $m$  будетъ около 0,7 ( $\alpha_0 = 12$  и  $H_0 = H_l$ ). т.-е.  $T_c = 0,7 \cdot 200 = 140^\circ \text{ C}$ . Тогда  $\alpha_1 = \frac{4 \cdot 0,26}{150} \left\{ \left( \frac{140 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{50 + 273}{100} \right)^4 \right\} = 1,25 \text{ cal}$  для экон. Грина и  $\alpha_1' = 0,5 \text{ cal}$  для экон. Таблица.

Для экономейзера, работающаго очень горячими газами съ  $T = \frac{450 + 250}{2} = 350^\circ$  при  $\delta_1 = \frac{170 + 90}{2} = 130^\circ$ , получаемъ  $T_c = 230^\circ$  ( $\alpha_0 = 12$ ,  $H_0 = H_l$ ).

$\alpha_1' = 1,7 \text{ cal}$  для экономейзера Грина въ  $6 \times 16 = 96$  трубъ  $= 96 \text{ mt}^2$ . Если выполнить этотъ экономейзеръ шириной въ 4 трубы изъ  $4 \times 16$  трубъ по 1,5  $\text{mt}^2$  въ каждой, то  $\frac{H_l}{H_c} = \sim 0,35$  и тогда было бы  $\alpha_1' = 1,7 \cdot \frac{0,35}{0,26} = 2,3 \text{ cal}$ .

Какъ уже было указано, всѣ факторы, понижающіе передачу тепла обмуровкѣ ( $\alpha_0$ ) понижаютъ ея температуру, а этимъ и  $\alpha_1'$ . Поэтому, напимѣръ, уничтоженіе въ экономейзерахъ Грина боковыхъ проходовъ съ дефлекторами должно повысить  $\alpha_1'$ .

Помимо обмуровки въ излученіи тепла можетъ принимать весьма интенсивное участіе летучая зола и сажа газовъ. вмѣстѣ съ тѣмъ легкій налетъ сажи приближаетъ металлическую поверхность къ абсолютно черному тѣлу по величинѣ  $\sigma$  (приближаетъ  $\sigma$  къ 4,6). Оба эти обстоятельства нѣсколько компенсируютъ увеличеніе сопротивления  $\frac{\delta_1}{\lambda_1}$  тѣмъ же налетомъ, а при нѣкоторыхъ условіяхъ топкій налетъ можетъ (въ областяхъ высокихъ температуръ и большого  $\frac{H_l}{H_c}$ , имѣющихъ, правда, рѣдко мѣсто въ экономейзерахъ, даже улучшить общую теплопередачу.

Но главное вліяніе на переходъ тепла изъ газовъ, въ стѣнку въ случай экономейзера, очевидно, имѣетъ переходъ непосредственнымъ соприкосновеніемъ (т.-е.  $\alpha_1'$ ).

Благодаря ничтожной теплопроводности газовъ теплопередача идетъ собственно только изъ тонкой газовой пленки, непосредственно примыкающей къ стѣнкѣ. Послѣ ея остыванія она представляетъ какъ бы изолирующій слой, мѣшая слѣдующимъ слоямъ газа передавать свое тепло. Чтобы повысить теплопередачу, необходимо удалить холодную пленку.

Колебаніе самихъ газовыхъ молекулъ за счетъ ихъ внутренней энергіи не можетъ оказать существеннаго вліянія на перемѣшиваніе газа, особенно при сравнительно низкихъ экономейзерныхъ температурахъ, т.-е. малой скорости движенія молекулъ. Приходится прибѣгать къ механическому перемѣшиванію газа и это достигается увеличеніемъ скорости движенія газовъ при соответствующей формѣ поверхности нагрѣва. При движеніи газовъ по узкимъ трубамъ установлена весьма сильная зависимость  $\alpha_1'$  отъ скорости  $V^1$ ). Но съ увеличеніемъ относительныхъ размѣровъ газовой струи вліяніе скорости на перемѣшиваніе ослабляется <sup>2)</sup> и въ жаровой трубѣ котла, напимѣръ, этого вліянія нельзя уже и замѣтить. Весьма крупное вліяніе помимо скорости на перемѣшиваніе должна имѣть форма поверхности нагрѣва. Все, что можетъ вызвать измѣненія въ направленіи движенія, вихри и т. д. должно способствовать улучшенію перемѣшиванія. Прежде всего, поэтому, при неровной поверхности увеличеніе скорости должно вліять рѣзче, чѣмъ при совершенно гладкой. Всякіе мертвые углы ухудшаютъ теплопередачу, такъ какъ соответствующія имъ поверхности вовсе не будутъ омываться движущимися газами, какова бы ни была средняя скорость газовъ.

Если съ этой точки зрѣнія рассмотримъ существующія конструкціи гладкотрубныхъ экономейзеровъ, то можно притти къ слѣдующимъ выводамъ:

Шахматное расположеніе трубъ лучше послѣдующаго, такъ какъ вся газовая струя рѣжется большее число разъ трубами.

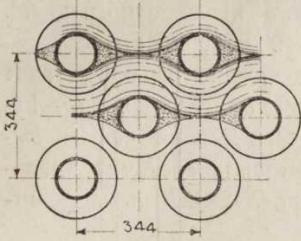
Тонкотрубные (желѣзные) экономейзеры лучше толстотрубныхъ (чугунныхъ), такъ какъ въ первомъ случаѣ также лучше перемѣшиваніе. Соответственно этому и вліяніе скорости должно быть рѣзче при шахматномъ распределеніи трубъ. Особенно выгодныя условія перемѣшиванія представляетъ, очевидно, ребристый экономейзеръ. Здѣсь вся газовая масса, ударяясь въ ребра, рѣжется на очень большое число тонкихъ полосъ ( $\sim 23 \text{ м/м.}$ ) и такимъ образомъ наибольшее число частичекъ газа приходится въ соприкосновеніе съ поверхностью нагрѣва. Вліяніе скорости здѣсь сводится къ тому, что при ударѣ струи газа въ ребро (см. эскизъ фиг. 5) получается вихрь, который захватываетъ сосѣднія частицы газа. Захватъ тѣмъ больше, чѣмъ больше вихрь, т.-е. сила

<sup>1)</sup> Напимѣръ, Joule (см. вышеприведенную статью Mollier или Philosoph. Trans. of Royal Soc., томъ 151, 1861, стр. 153) при движеніи воздуха по концентрическому кольцевому пространству отъ 3 до 8 м/м. нашелъ  $\alpha_1 = 16 \sqrt{V}$ .

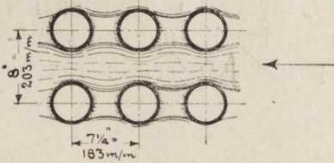
<sup>2)</sup> Ser (Mollier или Phys. industriel стр. 147, томъ 1) показалъ на опытахъ съ трубами разныхъ діаметровъ (10, 20, 30 и 50 м/м.), что эта зависимость ослабляется съ увеличеніемъ діаметра; при опытахъ съ трубой  $d = 22 \text{ м/м.}$  получилъ зависимость  $\alpha_1'$  отъ  $V^{0,76}$  и т. д.

удара, зависящая въ свою очередь отъ скорости. Такъ какъ эта зависимость очень велика  $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$ , то уже при сравнительно небольшихъ скоростяхъ вихри отъ сосѣднихъ реберъ пересекаются и получается вѣчто въ родѣ предѣльнаго перемѣшиванія. Судя по кривой измѣненія общаго к. т. дальнѣйшее увеличеніе скорости (выше  $2\frac{1}{2}$  —  $3 \text{ mt/sec}$ ) почти уже не мѣняетъ условій перемѣшиванія, т.-е.  $\alpha_1^c$ . Эти допущенія хорошо подтверждаются результатами изслѣдованій нашего экономайзера <sup>1)</sup>.

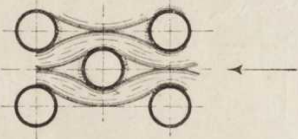
Рёбристый экономайзеръ.



Нормальный Гринъ съ послѣдующимъ расположеніемъ трубъ.



Гринъ съ шахматнымъ распределеніемъ трубъ.



Фиг. 7.

соприкосновеніемъ ( $\alpha_1^c$ ) отъ газа въ стѣнку (или въ налетъ) долженъ быть для ребристаго экономайзера значительно выше, чѣмъ для гладкотрубныхъ экономайзеровъ, особенно при послѣдующемъ расположеніи толстыхъ трубъ. Но зато въ ребристыхъ экономайзерахъ разсматриваемаго нами типа *участіе излученія въ переходѣ тепла ( $\alpha_1^c$ ) можетъ быть приравнено нулю.*

Во всей суммѣ  $\alpha_1 = \alpha_1^c + \alpha_1^t$  главное численное вліяніе принадлежитъ почти всегда въ экономайзерахъ первому слагаемому <sup>2)</sup>. Въ существующихъ сейчасъ на рынокѣ конструкціяхъ экономайзеровъ и въ принятыхъ условіяхъ ихъ работы можно считать весь коэффициентъ перехода тепла отъ газа въ стѣнку ( $\alpha_1$ ) мѣняющимся отъ 7 до 25 cal, при чемъ цифры выше 18—19 нужно отнести къ случаю тонкотрубныхъ (железныхъ) экономай-

зеровъ съ большой относительной лучеиспускающей поверхностью  $\left(\frac{Ha}{Hc}\right)$ .

Разсмотримъ теперь остальные величины, вліяющія на общій коэффициентъ теплопередачи экономайзера, пользуясь выраженіемъ

$$K_{эк} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_4}} \dots (12)$$

Сопротивленіе перехода тепла отъ плотно насѣвшихъ налетовъ  $\left(\frac{1}{\alpha_2}\right)$  и накипи  $\left(\frac{1}{\alpha_3}\right)$  въ стѣнку можно съ достаточной степенью вѣроятности принять равнымъ нулю <sup>3)</sup>, такъ что

$$K_{эк} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_4}} \dots (12^2)$$

Выраженіе для  $K_{эк}$  выведено для гладкотрубнаго экономайзера. Этотъ случай мы пока только и разсмотримъ. Коэффициентъ теплопроводности вѣшняго налета ( $\lambda_1$ ) въ случаѣ чистой сажи очень невеликъ (около 0,12,) но такъ какъ къ сажѣ почти всегда примѣшана летучая зола, то будемъ считать  $\lambda = 0,20$ . Для накипи безъ масла въ среднемъ  $\lambda_3 = 2,0$  (по опытамъ W. E. Ernst'a <sup>3)</sup>) отъ 1,1 до 2,7). Для масла  $\lambda = 0,15$  и, такимъ образомъ, его примѣсъ къ накипи рѣзко уменьшаетъ  $\lambda$ . Стѣнки экономайзера могутъ быть выполнены изъ чугуна или желѣза ( $\lambda_2 = 50 \text{ cal}$ ) <sup>3)</sup>, но были также попытки выполнить ихъ изъ мѣди ( $\lambda_2 = 320$ ). Толщина чугунныхъ стѣнокъ около  $\delta_2 = 0,01 \text{ mt}$ , желѣзныхъ около 0,005 mt.

Коэффициентъ перехода тепла отъ стѣнки (или накипи) въ воду ( $\alpha_4$ ) зависитъ, какъ и коэффициентъ  $\alpha_1^c$ , отъ условій перемѣшиванія воды, т.-е. отъ скорости движенія, формы поверхностей нагрѣва, вліянія паровыхъ пузырей (послѣднее въ случаѣ экономайзера исключается). Для неподвижной воды можно считать  $\alpha_4 = 500 \text{ cal}$ , для быстро движущейся, перемѣшиваемой воды

$$\alpha_4 = 2000 - 4000 \text{ cal.}$$

Разберемъ теперь на нѣсколькихъ примѣрахъ относительное вліяніе всѣхъ факторовъ на  $K_{эк}$ .

Пусть условія полученія тепла изъ газа характеризуются величиной  $\alpha_1 = 15 \text{ cal}$ .

Тогда для чистой чугунной стѣнки съ  $\delta_2 = 0,01 \text{ mt}$  при слабомъ движеніи (почти стоячей) воды (норм. Гринъ) имѣемъ

$$K_{эк} = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{0,01}{50} + \frac{1}{500}} = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{1}{5000} + \frac{1}{500}} = 14,5 \text{ cal}$$

<sup>1)</sup> Оставшіяся между стѣнкой и налетомъ воздушныя прослойки могутъ, однако, измѣнить это допущеніе.

<sup>2)</sup> W. E. Ernst — Über das Wärmeleit vermögen des Kesselsteins.

<sup>3)</sup> Разными изслѣдователями найдены разныя цифры (отъ 30 до 70), но, какъ дальше будетъ показано, эта разница не можетъ имѣть замѣтнаго вліянія на  $K$ .

<sup>1)</sup> Перемѣшиваніе могло бы быть еще улучшено сдвижкой реберъ въ шахматное расположеніе. Можно думать, что тогда предѣлъ полезнаго увеличенія скорости наступитъ еще раньше.

<sup>2)</sup> Исключеніе быть можетъ составляютъ тонкотрубные очень узкіе желѣзные экономайзеры при сильномъ вліяніи излученія, напримѣръ, экономайзеръ Шмидта Л. П. К. (см. вып. VI и VII Изв. Мех. Инст.).

При быстром движении воды (последовательное движение воды по всем трубам) имеем

$$K_{жк} = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{1}{5000} + \frac{1}{2000}} = 14,84,$$

т.е.  $K_{жк}$  увеличилось всего на 2,3%<sup>1)</sup>.

При замене чугунной стьнки медной с  $\delta_2 = 0,005$  м и  $\lambda_2 = 320$  cal получаем:

$$K_{жк} = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{1}{6400} + \frac{1}{500}} = 14,58 \text{ cal},$$

т.е.  $K_{жк}$  увеличивается только на 1,5%.

Таким образом, за счет увеличения теплосоприятия водою или уменьшения сопротивления стьнки нельзя добиться сколько-нибудь заметнаго повышения  $K_{жк}$  по той простой причине, что изменяемые нами факторы оказывают при гладких трубах слишком ничтожное влияние на величину  $K_{жк}$ , зависящее почти только от  $a_1$ .

При очень сильном внутреннем загрязнении накиью, распределенном равномерно по всей поверхности слоем в 5 м/т имеем

$$K_{жк} = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{1}{5000} + \frac{0,005}{2} + \frac{1}{500}} = 14,0 \text{ cal},$$

т.е. 5 м/т слой накипи понизил  $K_{жк}$  только на 3,4%.

При налете сажки и золы в  $\delta_1 = 0,002$  при

$$\lambda_1 = 0,2 \text{ cal}$$

$$K_{жк} = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{0,002}{0,2} + \frac{1}{5000} + \frac{1}{500}} = 12,67,$$

т.е. внешнее загрязнение (газовое) в 2 м/т уменьшило  $K_{жк}$  на 12,6%. Такое же загрязнение в 5 м/т дает  $K_{жк} = 10,64$ , т.е. уменьшение составляет уже 26,6%.

В то время, как внутреннее загрязнение (без масла) лишь немного понижает  $K_{жк}$ , внешнее загрязнение, благодаря малой теплопроводности золы и особенно сажки, отражается на теплопередаче очень резко.

Преобладающее влияние  $a_1$  на численное значение  $K_{жк}$  еще резче подчеркивается при рассмотрении случая с невысоким  $a_1$ .

<sup>1)</sup> Ничтожное влияние скорости движения воды на  $K_{жк}$  было подтверждено опытами Eberle (Z. d. Bayer. Revis. Vereins 1909, № 19—21).

Косвенным образом увеличивается, правда, — еще при (необходимом для увеличения скоростей) осуществлении принужденнаго противотока общее количество воспринятаго экономейзером тепла, т. к. увеличивается действительная средняя разниця температур газ-вода. В опытах Eberle для всех случаев  $K_{жк}$  подсчитанъ по приближенной формулѣ (2), т.е. для случая норм. Грина (поперечный ток — Kreuzstrom) получены для  $K_{жк}$  преуменьшенныя значения, (т. к. разниця температур принята преувеличенной).

Например, при  $a_1$  также = 8 cal мы для нормальн. эк. Грина с чистыми стьнками имеем  $K_{жк} = 7,86$ ; для циркуляционнаго —  $K_{жк} = 7,95$ , для норм. Грина с накиью в 5 м/т —  $K_{жк} = 7,70$  (—2%), для нормальнаго Грина с налетом  $\delta_1 = 0,002$  мт —  $K_{жк} = 7,29$  (—7,3%). Отсюда ясно, что при малых  $a_1$  влияние загрязнений значительно меньше.

Вообще можно для гладкотрубнаго экономейзера принять, что

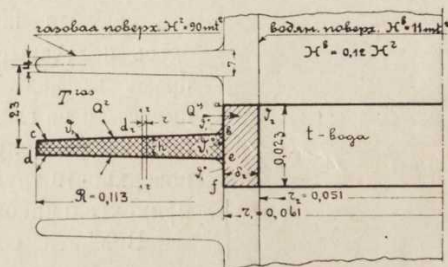
$$K_{жк} \approx a_1 \dots \dots \dots (20)$$

Это обстоятельство дает нам право относить все подсчеты теплопередачи к газовой поверхности.

**В ребристой поверхности** явление перехода тепла значительно сложнее. Постараемся вывести для соответствующей одному ребру экономейзера Каблица части — выражение общаго коэффициента теплопередачи, аналогичное выражению (12). Будем пока иметь в виду чистый экономейзер.

На фиг. 8 даны нужные нам размеры, снятые с нашего лабораторнаго элемента.

Воспринятая „газовой“ поверхностью из газа теплота переходит к водяной поверхности по пути с переменн. длиной и переменнаго сьчения, при чем мьняется также и количество переходящаго через каждое



Фиг. 8.

сьчение тепла. Постараемся найти общее выражение для перехода тепла из газа и далее через ребро до сьчения, соответствующаго внешнему диаметру цилиндрической части трубы, т.е. до поверхности af с температурой  $\vartheta_1$  (на радиус  $r_1$ ). Температура  $\vartheta_1$  газовой поверхности является очевидно здесь переменн. величиной.

В сьчении af к теплотѣ переходящей ребром прибавляется теплота, переходящая непосредственно из газа на стьнку по цилиндрической части ab и ef. Далее обѣ части проходят на водяную поверхность через цилиндрическую трубу с постоянной толщиной  $\delta_2 = 0,01$  мт и, наконец, сь водяной поверхности с температурой  $\vartheta_2$  в воду с температурой  $t_2$ .

Соответственно этим трем стадиям перехода мы выведем три выражения для всего количества перетекающаго по профилю abcdef тепла.

*Переходъ тепла из газа до сьчения af.* Пересьчем ребро двумя бесконечно близкими цилиндрическими поверхностями 1—1 и 2—2.

Выдѣленные, таким образом, из поверхности на-

грѣва два кольца получаютъ изъ газа тепло въ количествѣ

$$dQ = \alpha_1 (T - \vartheta_1) 2 \cdot 2\pi r dr,$$

а вся поверхность вѣд сѣченія 2—2,

$$Q = 4\pi \cdot \alpha_1 \int_R (T - \vartheta_1) r dr \dots (21)$$

Это же количество тепла проходитъ далѣе черезъ цилиндрическую поверхность 2—2, величиной  $2\pi r \cdot h$ , за счетъ разницы  $d\vartheta_1$  температуръ бесконечно близкихъ поверхностей 1—1 и 2—2. На основаніи общаго закона теплопроводности пишемъ

$$Q = \lambda_2 \cdot 2 \pi r \cdot h \frac{dt}{dr} \dots (22)^1.$$

Такимъ образомъ, получаемъ

$$2 \alpha_1 \int_R (T - \vartheta_1) r dr = \lambda_2 \cdot h \frac{r \cdot d\vartheta_1}{dr} \dots (23)^1.$$

Отсюда дифференцированиемъ по  $r$  выводимъ

$$2 \alpha_1 (T - \vartheta_1) r dr = \lambda_2 \cdot h \left( \frac{rd^2\vartheta_1}{dr^2} \cdot dr + \frac{d\vartheta_1}{dr} dr \right)$$

или

$$\frac{d^2\vartheta_1}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\vartheta_1}{dr} - \frac{2\alpha_1}{h \cdot \lambda_2} (T - \vartheta_1) = 0 \dots (24)$$

Разложениемъ въ рядъ по восходящимъ степенямъ  $r$  можно въ концѣ концовъ получить <sup>2)</sup>

$$(T - \vartheta_1) = A \left\{ 1 - \frac{n}{2^2} \cdot r^2 + \frac{n^2}{2^2 \cdot 4^2} \cdot r^4 - \frac{n^3}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2} \cdot r^6 + \dots \right\} \dots (25)$$

гдѣ принято обозначеніе

$$n = \frac{2 \alpha_1}{h \cdot \lambda_2} \dots (26)$$

а  $A$ —есть постоянное интегрированія. Подставляя въ уравненіе (21) величину  $(T - \vartheta_1)$ , изъ ур. (25) и производя интегрированіе (первыхъ трехъ членовъ ряда) въ

<sup>1)</sup> Величина  $h$ , т.е. высота ребра, мѣняется съ радіусомъ и для нашего элемента приблизительно  $h = 0,01 - 0,005$  mt. Но для простоты мы будемъ считать  $h$  const. и равнымъ 0,0055 mt.

<sup>2)</sup> Въ бюллетеняхъ кружка технологовъ Моск. района (№ 5, 1912) инж.-тех. И. М. Грибковъ пользуется этимъ выраженіемъ для нахожденія связи между общимъ коэф. теплопередачи  $K_{\text{жк}}$  ( $K$ ) и коэф. перехода тепла газъ-стѣнка  $\alpha_1$  ( $K_1$ ). Но при этомъ, къ сожалѣнію, онъ дѣлаетъ незамѣченную имъ чисто арифметическую ошибку въ вычисленіяхъ, понижающую  $K$  въ его примѣрѣ въ отношеніи  $\frac{0,574}{0,825}$

Но съ другой стороны онъ считаетъ сопротивленіе перехода тепла черезъ цил. часть стѣнки и отъ стѣнки въ воду равнымъ нулю (онъ принимаетъ  $\vartheta_1^0 = t$ ), что совершенно недопустимо для ребристаго экономайзера, какъ потомъ будетъ показано. Далѣе, онъ считаетъ  $\alpha_1$  ребр. экономайзера равнымъ всему  $K_{\text{жк}}$  гладк. экономайзера, что, какъ уже было указано, не соответствуетъ дѣйствительности. И. М. Грибковъ принимаетъ  $h = 0,003$  mt.

предѣлахъ всего ребра, т.е. до цилиндр. поверхности на радіусѣ  $r_1$ , соответственно температурѣ  $\vartheta_1^0$ , получимъ все перешедшее черезъ ребро тепло

$$Q^0 = 4\pi \cdot \alpha_1 \cdot A \left\{ \frac{1}{2} (R^2 - r_1^2) - \frac{n}{16} (R^4 - r_1^4) + \frac{n^2}{384} (R^6 - r_1^6) \right\} \dots (27)$$

Постоянная интегрированія опредѣлится изъ уравненія (25) при условіи  $r = r_1 = 0,0061$  mt,  $\vartheta_1 = \vartheta_1^0$ ,  $h = 0,0055$  mt,  $\lambda_2 = 50$ . Пріймемъ, далѣе  $\alpha_1 = 18^{\text{cal.}^3}$

$$\text{Тогда } n = \frac{2 \cdot 18}{0,0055 \cdot 50} = 131 \text{ и}$$

$$A = \frac{T - \vartheta_1^0}{0,88}$$

Далѣе

$$Q^0 = 4\pi \alpha_1 \frac{(T - \vartheta_1^0)}{0,88} 0,00338.$$

$$Q^0 = 0,048 \alpha_1 (T - \vartheta_1^0) \dots (28^1)$$

Это выраженіе такимъ образомъ даетъ, то количество тепла, которое воспринимается поверхностью ребра (при предположеніи  $\alpha_1 = 18$ ).

Кромѣ того на цилиндрическія поверхности  $ab$  и  $ef$  переходитъ изъ газа теплота въ количествѣ

$$Q^u = 0,016 \cdot 2\pi \cdot 0,061 \alpha_1^4 (T - \vartheta_1^0) = 0,0061 \alpha_1 (T - \vartheta_1^0) \dots (28^u)$$

Все количество тепла, переходящее по поверхности, соответствующей профилю abcdef, будетъ.

$$Q = 0,054 \alpha_1^4 (T - \vartheta_1^0) \dots (28)$$

*Переходъ тепла черезъ цилиндр. стѣнку* толщиной  $\delta_2 = 0,01$  mt. происходитъ согласно общему выраженію (считая размѣры сѣченія по среднему цилиндру)

$$Q = 2\pi \cdot 0,056 \cdot 0,023 \frac{\lambda_2}{\delta_2} (\vartheta_1^0 - \vartheta_2) = 0,0081 \frac{\lambda_2}{\delta_2} (\vartheta_1^0 - \vartheta_2) \dots (29)^3$$

Наконецъ, для перехода тепла въ воду имѣемъ

$$Q = 2\pi \cdot 0,051 \cdot 0,023 \alpha_4 (\delta_2 - t) = 0,0074 \alpha_4 (\vartheta_2 - t) \dots (30)$$

<sup>3)</sup>  $\alpha_1$  я подбираю такъ, чтобы полученный общій коэф. теплопередачи соответствовалъ бы дѣйствительно измѣреннымъ при надежныхъ опытахъ съ чистыми экономайзерами высокимъ значеніямъ  $K_{\text{жк}}$ .

<sup>4)</sup> Мы привимаемъ здѣсь для ребра и цилиндрической части одинъ и тотъ же  $\alpha_1$ . На самомъ дѣлѣ  $\alpha_1$  ребра можетъ быть нѣсколько больше  $\alpha_1$  цилиндр. трубы.

<sup>5)</sup> Это выраженіе не совсемъ точно передаетъ сущность явленія, т.е. оно допускаетъ, что по всей поверхности  $af$  имѣется одна и та же температура  $\vartheta_1^0$ . На самомъ дѣлѣ  $\vartheta_1$  подъ ребромъ (протѣкъ сѣченія  $be$ ) должно быть выше соответственно переходу здѣсь большаго количества тепла черезъ единицу площади сѣченія. Вліяніе этой неточности, однако, не можетъ быть существенно.

Изъ уравнений (28), (29) и (30) получаемъ выра- жения:

$$T - \vartheta_1^0 = \frac{Q}{0,054 \alpha_1}$$

$$\vartheta_1^0 - \vartheta_2 = \frac{Q}{0,0081 \cdot \frac{\lambda_2}{\delta_2}}$$

$$\vartheta_2 - t = \frac{Q}{0,0074 \alpha_4},$$

сложение которыхъ даетъ

$$T - t = Q \left( \frac{1}{0,054 \alpha_1} + \frac{\delta_2}{0,0081 \lambda_2} + \frac{1}{0,0074 \alpha_4} \right),$$

откуда

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{0,054 \alpha_1} + \frac{\delta_2}{0,0081 \lambda_2} + \frac{1}{0,0074 \alpha_4}} (T - t) \dots (31).$$

Съ другой стороны

$$Q = K_{\text{эк}} \cdot H_p (T - t) \dots (32),$$

гдѣ  $H_p$  -- газовая поверхность, соответствующая одному ребру (профилю abcdef), а  $K_{\text{эк}}$  -- искомый общій коэф- фициентъ теплопередачи, отнесенный къ газовой поверх- ности нагрѣва

$$H_p = 0,057 + 0,006 = 0,063 \text{ mt}^2.$$

Отсюда сравненіе выражений (31) и (32) даетъ для нашей ребристой трубы (чистой)

$$K_{\text{эк}} = \frac{1}{\frac{1}{0,86 \alpha_1} + \frac{\delta_2}{0,13 \lambda_2} + \frac{1}{0,12 \alpha_4}} \dots (33)$$

Для гладкой чистой трубы мы имѣли

$$K_{\text{эк}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_4}} \dots (12'')$$

Уже видъ этихъ формулъ указываетъ на рѣзкую разницу въ вліяніи отдѣльныхъ факторовъ на теплопе- речасу. Благодаря множителямъ 0,13 и 0,12 (въ выра- женіи 33) вторая и третья слагаемая знаменателя должны имѣть значительно большее вліяніе на всю сумму, а значить и на  $K_{\text{эк}}$ , чѣмъ въ выраженіи (12'') для глад- кой трубы. Сопротивленіе перехода тепла будетъ зави- сѣть не только отъ сопротивленій по газовой поверх- ности ( $\alpha_1$ ) (какъ при гладкой трубѣ), но также отъ сопротивленій перехода тепла по стѣнкѣ<sup>1)</sup> и отъ стѣнки въ воду. Благодаря этому уже не можетъ быть  $K_{\text{эк}} =$

$\sim \alpha_1$ , какъ это было выяснено для случая чистой глад- кой трубы, а  $K_{\text{эк}}$  должно быть замѣтно меньше  $\alpha_1$ .

Покажемъ это на цифровыхъ примѣрахъ.

Условія теплополученія изъ газа будемъ характери- зовать (для примѣра) величиной  $\alpha_1 = 18 \text{ cal}$  (какъ уже было принято для подсчета  $n$ ). Въ виду включенія всѣхъ трубъ экономайзера послѣдовательно (въ движеніе воды) мы имѣемъ *значительно большія скорости движенія воды въ нихъ*. При сравненіи съ нормальнымъ экономай- зеромъ Гринъ, имѣющимъ 96 трубъ, скорость въ реб- ристомъ экономайзерѣ въ 96 разъ больше<sup>2)</sup>. Поэ- тому мы можемъ для коэффицента перехода тепла отъ стѣнки къ водѣ принять высокую цифру  $\alpha_4 = 2000 \text{ cal}$  (для Грина мы принимали  $\alpha_4 = 500 \text{ cal}$ ).

Тогда для *чистого ребр.* экономайзера имѣемъ

$$K_{\text{эк}} = \frac{1}{\frac{1}{0,86 \cdot 18} + \frac{1}{0,13 \cdot 50} + \frac{1}{0,12 \cdot 2000}} = \frac{1}{\frac{1}{15,5} + \frac{1}{650} + \frac{1}{240}} = 14_0 \text{ cal}$$

Мы видимъ, что  $K_{\text{эк}} = 14$  оказался много ниже  $\alpha_1 = 18$  и что *довольно рѣзкое вліяніе на увеличеніе общаго сопротивленія* переходу тепла *оказалъ переходъ изъ стѣнки въ воду*, несмотря на то, что  $\alpha_4$  для ребристаго экономайзера взять въ 4 раза больше. Это объясняется, понятно, тѣмъ, что водяная поверх- ность нагрѣва составляетъ здѣсь лишь часть газовой ( $H_s = 0,12 H_p$ ).

Еще большую роль играетъ *увеличеніе сопро- тивленія перехода по металлу*, скрытое подъ ко- эффицентами 0,86 при  $\alpha_1$  и 0,13 при  $\lambda_2$  (это сопро- тивленіе при гладкихъ трубахъ можно было прировнять нулю). Причиной является значительное уменьшеніе сѣ- ченія при увеличенномъ пути теплового потока по чу- гуну.

Однако, полученное въ итогѣ значеніе

$$K_{\text{эк}} = 14$$

фактически достигается при ребристыхъ экономайзерахъ разсматриваемаго типа и въ нашемъ лабораторномъ эле- ментѣ мы эту цифру получаемъ при скорости газовъ около 2,5 mt/sec. Это подтверждаетъ возможность значе- нія  $\alpha_1 = 18 \text{ cal}$ , какъ мы ее выбрали, т.-е. подтверждаетъ сдѣланный ранѣе на основаніи общихъ соображеній вы- водъ, что *при достаточныхъ скоростяхъ коэффицентъ перехода тепла изъ газа въ стѣнку для ребристой по- верхности* разсматриваемаго типа *долженъ быть выше, чѣмъ для гладкой*. Для полученія въ экономайзерѣ Грина

<sup>1)</sup> Измѣненіе этого сопротивленія скрыто, какъ видно изъ выво- да, не только подъ множителемъ 0,13, а главнымъ образомъ подъ множителемъ 0,86 при  $\alpha_1$ .

<sup>2)</sup> Абсолютно она, однако, еще не высока и въ нашихъ, напри- мѣръ, опытахъ даже при наибольшей водяной нагрузкѣ въ 5990 кг/л часъ всего равна 0,215 mt/sec (см. стр. 14 въ цифр. табл.).

$K_{\text{эк}} = 14^{\text{cal}}$ . мы должны были имѣть (какъ это было показано на цифровыхъ примѣрахъ)  $\alpha_1 =$  всего около 14,5.

Выгодныя условія получения тепла газовой поверхностью ребристаго экономайзера обусловливаетъ высокій коэф.  $\alpha_1$  (несмотря на ничтожное участіе излученія въ этомъ переходѣ) и этимъ покрываются весьма замѣтныя сопротивленія перехода по металлу и отъ стѣнки въ воду. Благодаря этому, достигаются при *чистыхъ стѣнкахъ* общіе коэффициенты теплопередачи  $K_{\text{эк}}$  равные хорошимъ коэффициентамъ экономайзеровъ Грина. Но при расположеніи гладкихъ трубъ въ шахматномъ порядкѣ, уменьшеніи ихъ діаметра (въ желѣзн. экономайзерахъ), усиленіи получения тепла косвеннымъ излученіемъ постройкой высокыхъ и узкихъ экономайзеровъ можно рассчитывать на дальнѣйшее повышеніе  $\alpha_1$  и въ случаѣ гладкихъ трубъ.

Дальнѣйшее повышеніе  $K_{\text{эк}}$  *ребристыхъ экономайзеровъ* могло бы итти за счетъ постановки реберъ въ шахматное расположеніе <sup>1)</sup> (дальнѣйшее улучшеніе перемѣшанія и потому величины  $\alpha_1$ ), увеличенія „живого сѣченія“, предоставляемаго чугуномъ <sup>2)</sup> тепловому потоку (напримѣръ, утолщеніемъ реберъ особенно къ основанію), увеличеніемъ водяной поверхности нагрѣва по сравненію съ газовой и пр.

Разсмотримъ случай *загрязненія экономайзера* изнутри *слоемъ накипи въ 5 м/м.* съ  $\lambda_3 = 2,0$ .

Очевидно будемъ имѣть

$$K_{\text{эк}} = \frac{1}{\frac{1}{0,86 \cdot 18} + \frac{0,01}{0,13 \cdot 50} + \frac{0,005}{0,13 \cdot 2} + \frac{1}{0,12 \cdot 2000}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{15,5} + \frac{1}{650} + \frac{1}{52} + \frac{1}{240}} = 11,2$$

т.-е.  $K_{\text{эк}}$  *понижился на 20%* для (гладкотруби. эк-ра пониженіе составляло всего 3,4%).

Слой сажи и золы толщиной въ  $\delta_1 = 0,002$  мт.,  $\lambda_1 = 0,2$  даетъ

$$K_{\text{эк}} = \frac{1}{\frac{1}{15,5} + \frac{0,002}{0,2} + \frac{1}{650} + \frac{1}{240}} = 12,47$$

т.-е. пониженіе равно 11% (противъ 12,6% въ гладкотр. эк-рѣ), при налетѣ въ 5 м/м.  $K_{\text{эк}} = 10,5^{\text{cal}}$ , т. е. пониженіе 25% (при гладк. тр. 26,6%).

Такимъ образомъ, *внутреннее (водяное), загрязненіе очень рѣзко отражается на теплопередачѣ ребристаго экономайзера*, въ то время какъ это вліяніе совершенно ничтожно въ гладкотрубнои экономайзерѣ. Это и нужно было ожидать въ виду малаго сѣченія, представляемаго накипью тепловому потоку; вѣдь поверхность накипи со-

ставляетъ въ нашемъ случаѣ лишь 12% газовой поверхности.

Такая *чувствительность ребристаго экономайзера къ внутреннему загрязненію* увеличивается еще тѣмъ, что, благодаря малой водяной поверхности, на которую накладывается выдѣляющаяся изъ воды накипь, *слой ея долженъ получаться толще* въ отношеніи водяныхъ поверхностей сравниваемыхъ аппаратовъ. Послѣдовательное движеніе воды по всѣмъ трубамъ обусловливаетъ то, что *главное выдѣленіе накипи сосредоточивается въ совершенно определенныхъ частяхъ экономайзера*, соотвѣственно тѣмъ температурамъ, при которыхъ *накипевыдѣленіе* данной воды идетъ наиболѣе интенсивно. Чаще всего накипь откладывается, *очевидно, въ горячемъ концѣ экономайзера*, т.-е. какъ разъ въ области наибольшей теплопередачи  $1 \text{ mt}^2$  (благодаря наибольшей здѣсь разницѣ температуръ  $T-t$ ). Это обстоятельство еще болѣе усиливаетъ вліяніе накипи въ рассматриваемыхъ экономайзерахъ.

Но, съ другой стороны, это же обстоятельство облегчаетъ чистку экономайзера, такъ какъ получается возможность чистить, главнымъ образомъ, опредѣленные трубы (въ нашемъ лабораторномъ элементѣ, работающемъ съ температурой отходящей воды отъ 100 до 130°, — изъ 18 трубъ загрязняются 6—8 горячихъ трубъ) или при многоэлементныхъ экономайзерахъ — опредѣленные элементы. Облегчается также чистка тѣмъ, что число трубъ и вообще подлежащая очисткѣ поверхность ребристаго экономайзера значительно (въ нашемъ случаѣ въ 5 разъ) меньше числа трубъ гладкотрубнои экономайзера нормального типа (съ поверхностью трубы въ  $1 \text{ mt}^2$  <sup>1)</sup>).

<sup>1)</sup> Внутренняя чистка экономайзера Каблица представляетъ неудобства въ смыслѣ удаленія воды изъ трубъ, а также и грязи, полученной послѣ высверливанія накипи. Высверливаніе накипи водян. турбинками затрудняется тѣмъ, что нѣтъ возможности отводить удобно воду. Въ Л. П. К. мы пользуемся слѣдующимъ способомъ для внутренней чистки.

Черезъ 2—3 часа послѣ прекращенія пропуска газовъ черезъ экономайзерный ходъ и послѣ возможно интенсивнаго охлажденія прокачкой водою экономайзера, открываются верхніе люки трубъ. Въ открытую наполненную водою трубу вводится водоструйный (такъ называемый подвальный) насосъ Кертинга № 2 или № 3, вмѣстѣ съ присоединенными къ нему трубками для подвода рабочей воды и выкидной. Напорная труба соединяется гибкимъ рукавомъ съ водопроводомъ, а на выкидную надѣвается рукавъ для удаленія воды въ канализацію. Наверху на обихихъ трубкахъ имѣются вентили. Когда насосъ опущенъ до дна экономайзерной трубы, то открывается вентиль на напорной трубѣ и на выкидной, и вода, а также и мелкая грязь изъ двухъ смежныхъ экономайзерскихъ трубъ выкидывается на волю. Если бы водоструйный приборъ засорился, то нужно только закрыть вентиль на выкидной трубѣ и рабочая вода, направляясь обратно въ трубу, вынесетъ загрязненіе изъ прибора. Когда первая пара трубъ опорожнена, аппаратъ переставляется во вторую пару безъ разъединенія частей, благодаря гибкимъ соединеніямъ. Пока высасывается вода, накипь на стѣнкахъ просыхаетъ и въ такомъ сухомъ видѣ сравнительно легко высверливается шарошечными головками (тип. Дунаева, Макѣева и др.), приводимыми въ движеніе электромоторомъ при помощи гибкаго вала. Высверленная накипь въ видѣ, главнымъ образомъ, мелкой пыли собирается въ нижней части трубы. Когда накипь высверлена, въ трубу опять вставляютъ вышеописанный водоструйный приборъ и, закрывая выкидной вентиль и открывая напорный, наполняютъ водою очищенныя двѣ трубы. Послѣ этого, открываютъ выкидной вентиль и аппаратъ начинаетъ высасывать изъ трубъ смѣсь грязи и воды. Перебавляя воду движеніемъ того же аппарата или щеткой (черезъ другую парную трубу), высасываютъ всю грязь трубъ (обыкновенно съ одной накипью). Операция удаленія воды, высверливанія накипи, высасыванія накипи и высасыванія грязной воды можетъ итти при 4 рабочихъ одновременно. Намъ удавалось такимъ путемъ очищать экономайзерный элементъ въ 18 трубъ въ теченіе 5 часовъ, считая отъ

<sup>1)</sup> Кажется фирма Каблица теперь начала свой экономайзеръ выполнять именно съ такимъ расположеніемъ реберъ.

<sup>2)</sup> Въ случаѣ ребристаго экономайзера весьма замѣтное вліяніе оказала бы, какъ нетрудно показать, замѣна чугуна болѣе теплопроводнымъ металломъ (увеличеніе  $\lambda_3$ ), но практически объ этомъ не приходится говорить.

Вліяніє внішняго заґрязненія ребристаго эк-ра даже нѣсколько меньше, чѣмъ для гладкотрубнаго, но, очевидно, что при заґрязненномъ газѣ слой налета будетъ расти нѣсколько быстрее<sup>1)</sup>. Такъ какъ при этомъ очистка ведется періодически, то вообще приходится при заґрязненномъ газѣ считатьъ съ нѣкоторымъ среднимъ слоемъ налета на стѣнкахъ и соотвѣтственно пониженнымъ  $K_{эк}$ <sup>2)</sup>.

Но удаленіе внішняго заґрязненія вполне возможно при помощи паровой струи при не слишкомъ сильно заґрязненномъ газѣ<sup>3)</sup> и не вызываетъ существеннаго расхода пара, въ то время какъ внутренняя чистка представляетъ гораздо больше затрудненій. Къ сожалѣнію, на практикѣ пока не обращаютъ достаточнаго вниманія на подчеркнутую нами чувствительность ребристой поверхности нагрѣва именно къ этому внутреннему заґязненію<sup>4)</sup>.

Посмотримъ еще, какъ вліяютъ отдѣльные факторы при малыхъ скоростяхъ газовъ, т.-е. при малой величинѣ  $\alpha_1$ . Пріймемъ

$$\alpha_1 = 10, \text{ тогда } n = 73, \quad A = \frac{T - \vartheta_1^0}{0,935}$$

$$Q^0 = 0,045 \alpha_1 (T - \vartheta_1^0); \quad Q = 0,051 (T - \vartheta_1^0)$$

$$K_{эк} = \frac{1}{\frac{1}{0,81\alpha_1} + \frac{\delta_2}{0,13\lambda_2} + \frac{1}{0,12\alpha_1}}$$

Получаемъ для чистаго экономайзера

$$K_{эк} = \frac{1}{\frac{1}{8,1} + \frac{1}{650} + \frac{1}{240}} = 7,75 \text{ cal}$$

прекращенія прохода газовъ черезъ экономайзерный боровъ и допуска ихъ вновь. Сюда входитъ предварительное охлажденіе газовъ въ теченіе около 2 часовъ. При этомъ въ первыхъ парахъ горячихъ трубъ было около 4 м/м накипи, которая въ 6-ой парѣ уже уменьшилась до еле замѣтной пленки въ 1/2 м/м. При такомъ способѣ чистки вовсе не требуется разборки нижнихъ колѣнъ экономайзера, представляющей большія затрудненія, и если имѣется возможность временнаго выключенія экономайзера изъ газохода, то не требуется даже его разведенія отъ водопровода и выемки изъ газохода.

Насколько совершенна очистка видно изъ того, что К. Т. удалось полностью возстановить (см. разборъ результатовъ испытаній и диаграмму фиг. 5).

1) Нужно при этомъ отмѣтить, что и наклонное расположеніе реберъ тутъ не поможетъ. При осмотрѣ заґрязненнаго ребристаго экономайзера можно констатировать, что налетъ имѣется не только на верхней, но и на нижней сторонѣ реберъ. Въ случаѣ заґязненія сажей даже нельзя установить разницы въ толщинѣ налета. Если бы этого не было, т.-е., если бы нижняя сторона ребра оставалась бы чистой, то и вліяніе налета должно было бы быть гораздо меньше. Въдъ тогда уменьшеніе теплополученія соприкосновеніемъ газа съ верхней стороной ребра компенсировалась бы отчасти полученіемъ тепла, освещеннымъ излученіемъ отъ заґязненной стороны, расположенной надъ ней чистой. Нельзя ожидать также самоочищенія экономайзера при большихъ скоростяхъ газа: для этого нужны такія скорости, которыя практически недостижимы.

2) Правда, скребковая непрерывная чистка гладкихъ трубъ, какъ извѣстно, также по многимъ причинамъ является иногда фививной.

3) Вліяетъ также и качество заґязненія. Напримѣръ, легко удаляется сухая зола (отъ антрацита и пр.), трудно же сдувается смолистая сажа.

4) Я бы считалъ приспособленія для внутренней очистки ребристаго экономайзера по крайней мѣрѣ такими же неотъемлемыми частями экономайзерной установки, какъ и обдувательный аппаратъ для удаленія внішняго налета.

Какъ и для гладкотрубнаго экономайзера вліяніе сопротивленій стѣнки и перехода въ воду меньше при невысокихъ  $\alpha_1$ .

Для накипи въ 5 мм. имѣемъ

$$K_{эк} = 6,80, \text{ т. е.}$$

уменьшеніе составляетъ 12,3% (вмѣсто 20% при  $\alpha_1 = 18$ ), т. е. при неблагоприятныхъ условіяхъ полученія тепла изъ газа заґязненіе вліяетъ меньше.

Опыты съ заґязненными поверхностями ребристаго экономайзера Л. П. К. пока не проведены достаточно систематично и полно и поэтому мы на подробномъ разборѣ промежуточныхъ кривыхъ диаграммы (фиг. 5) останавливаться не будемъ.

Здѣсь не мѣсто проводить полное сравненіе гладкотрубныхъ и ребристыхъ экономайзеровъ. Можно лишь отмѣтить слѣдующіе общіе выводы изъ всего вышесказаннаго.

Въ промышленности имѣется весьма много установокъ, въ которыхъ значительно болѣе дешевый ребристый экономайзеръ является коммерчески болѣе выгоднымъ, чѣмъ гладкотрубный, но есть безусловно и такія установки, въ которыхъ ребристый экономайзеръ недопустимъ. Сюда относятся прежде всего установки съ сильно заґязненной питательной водой и, далѣе, съ сильно заґязненнымъ газомъ. Такимъ образомъ, вмѣстѣ съ рационализацией котельныхъ установокъ, идущей въ сторону бездымнаго сжиганія топлива и питанія котельной чистой водой, должна увеличиваться область примѣненія ребристаго экономайзера. Во всѣхъ установкахъ его приходится обращать самое большое вниманіе на внутреннюю очистку экономайзера, такъ какъ здѣсь и сравнительно чистая питательная вода можетъ со временемъ дать весьма замѣтную по своему вліянію на теплопередачу накипь<sup>1)</sup>.

При проектированіи установки необходимо имѣть въ виду, что коэффициентъ теплопередачи ребристаго экономайзера очень сильно зависитъ отъ скорости до опредѣленнаго предѣла, дальше котораго это вліяніе дѣлается ничтожнымъ, но зато быстро начинаетъ расти сопротивление экономайзера. Правильный подборъ сѣченій въ цѣляхъ уменьшенія сопротивления играетъ особенно серьезную роль при включеніи многихъ элементовъ послѣдовательно. Нерѣдко при очень крупныхъ котельныхъ единицахъ и большихъ напращеніяхъ приходится отказываться изъ за большихъ сопротивленій отъ проектированія общаго экономайзера для нѣсколькихъ котловъ.

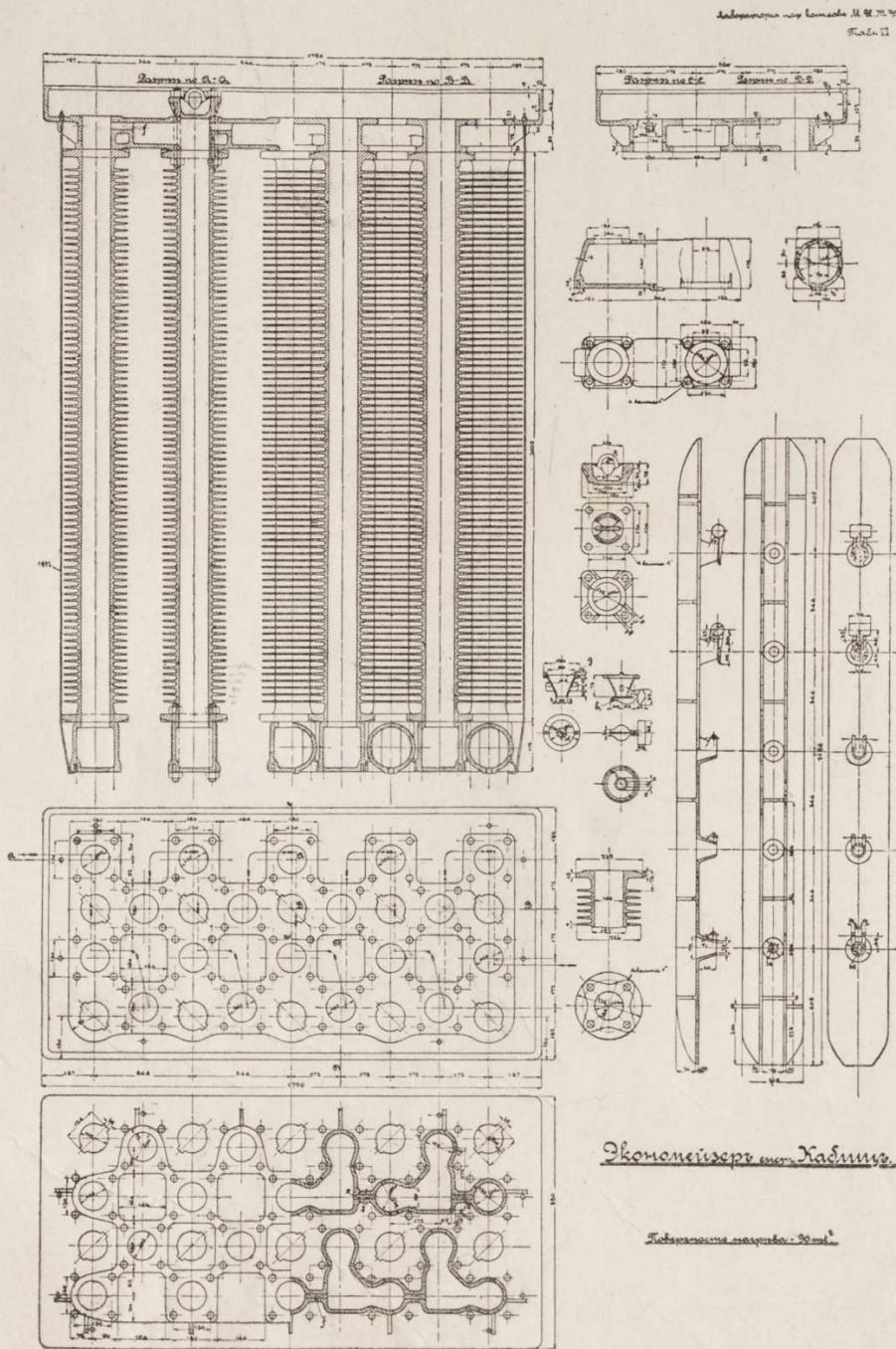
1) Однимъ изъ средствъ для уменьшенія этого вліянія, по моему мнѣнію, было бы использование ребристыхъ экономайзеровъ, какъ первичныхъ элементовъ экономайзеровъ непрямого дѣйствія. Такое рѣшеніе вопроса особенно умѣстно въ установкахъ съ чистымъ газомъ, но очень заґязненной водою (напримѣръ въ Баклинскомъ районѣ). Здѣсь можно себѣ представить ребристый экономайзеръ, нагрѣваемой химически чистой циркуляціонною водою, теплота которой далѣе передается питательной водѣ при посредствѣ желѣзнаго змѣвика, расположеннаго въ замкнутомъ бакѣ (черезъ который качается питательная вода). Этихъ баковъ можетъ быть два (въ виду большого коэф. теплопередачи змѣвика—200—300 cal—они не дороги) для поочередной чистки ихъ отъ накипи. Можно было бы также часть сильнаго накипневдѣленія выполнять изъ гладкихъ трубъ.

Нельзя не обращать вниманія еще на одну своеобразную особенность ребристаго экономайзера — на его малую теплоемкость, благодаря малому содержанию въ немъ воды. Общая теплоемкость нашего элемента (метал. частей и воды) почти въ 5 разъ меньше, чѣмъ для соответствующаго экономайзера Гринъ. Поэтому при работѣ съ высокими температурами воды, близкими къ соответствующимъ давленію данной котельной температурамъ испаренія, при рѣзкихъ колебаніяхъ въ нагрузкѣ котельной или ея питанія, при необходимости быстрого регу-

лированія топокъ и пр. приходится считаться съ возможностью болѣе быстро парообразованія въ экономайзерныхъ трубахъ ребристыхъ, чѣмъ гладкихъ. Въ такихъ случаяхъ весьма важную роль играютъ перепускные каналцы *f* въ распределительной коробкѣ. Безъ нихъ при сильномъ парообразованіи могло бы совершенно прекратиться питаніе котловъ водою.

К. Киришъ.

Москва. Ашитково, 21 авг. 1912.

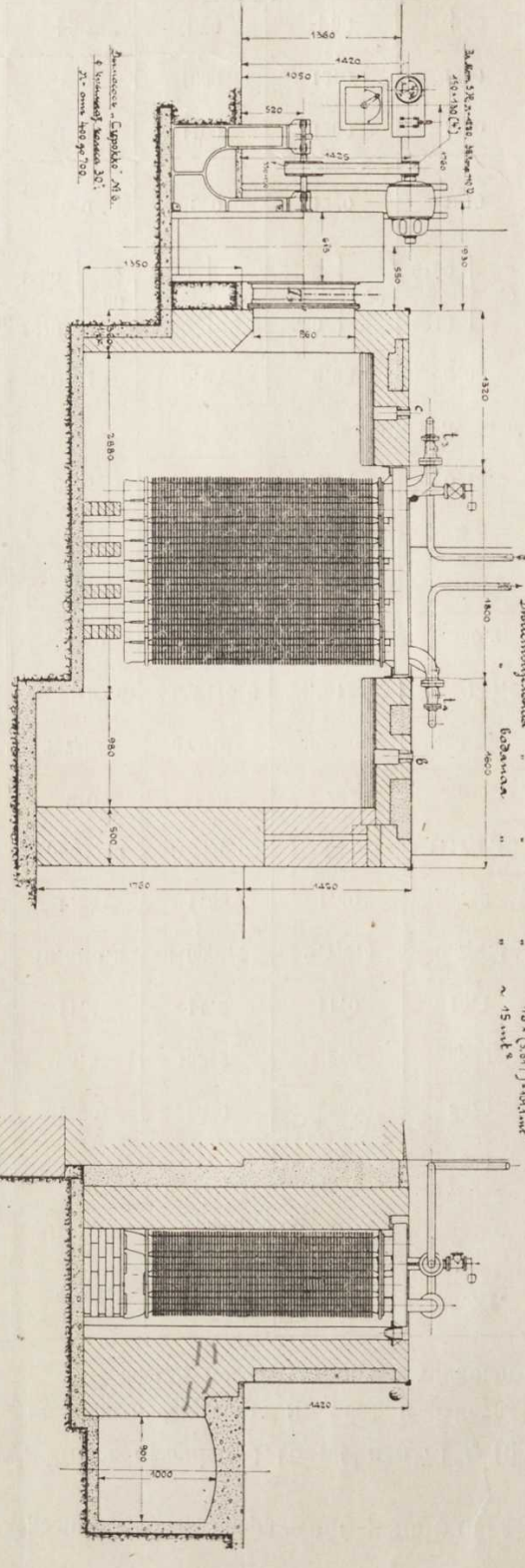




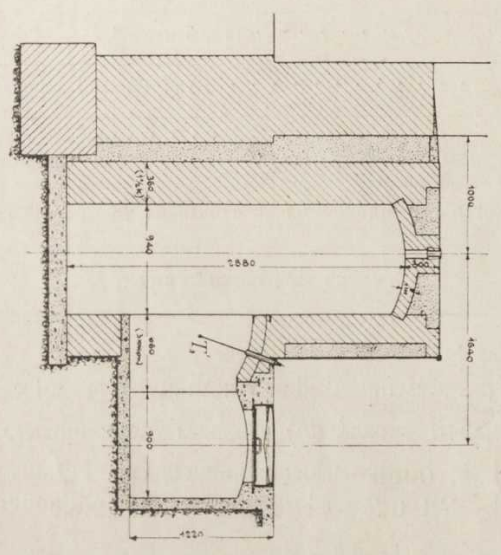
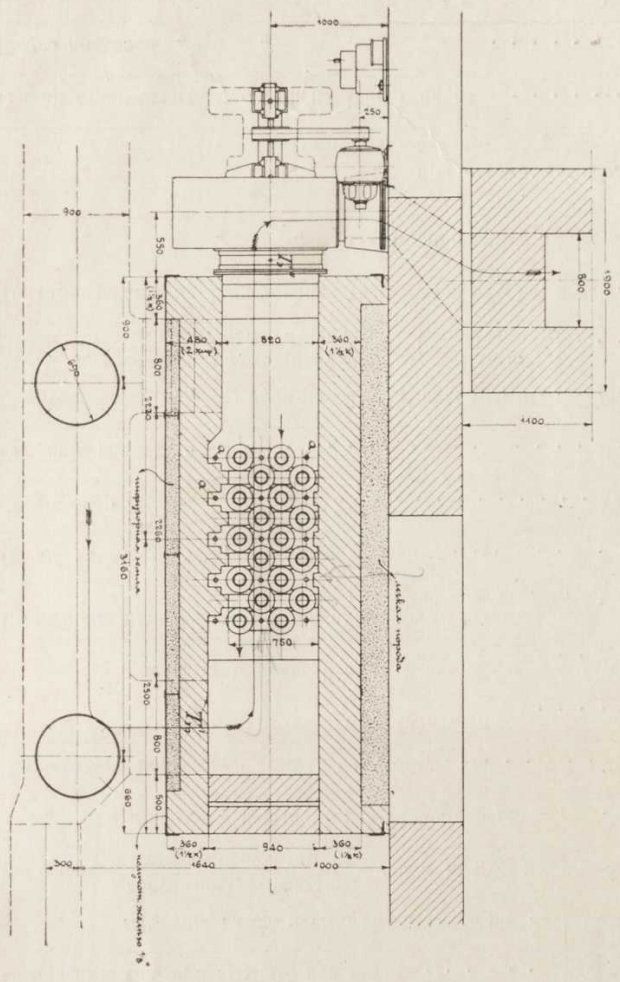
Разрушения окончательные сведения

Масштаб 1:20

Землеустройства: расчет нормативные размеры 3,00 м<sup>2</sup>  
Длина 18 м (5,57) \* 0,33 м<sup>2</sup>  
Ширина 15 м<sup>2</sup>



Детали - Спринклер М.А.  
4. Установки С.А. 20.  
Д. У. с. м. 109 м. 190.



Архитектор: инженер Корович  
21.01.99  
Лист VIII.

## I. Результаты исследований ребристого эконо

Номинальная газов. поверхн. нагрѣва  $H_0=90 \text{ mt}^2$ ; Дѣйств. газов. пов. нагр.  $H_1=101 \text{ mt}^2$  (18 тр.  $\times 5.4 \text{ mt}^2$

Водяной объемъ экономайзера  $\sim 350 \text{ ltr}$ ; } Теплосодержаніе экономайзера  $— 350 + 3600 \cdot 0,13 \sim 820 \text{ cal}$   
 Всѣ метал. частей экономайзера  $— 3600 \text{ kg}$  }

Полное сѣченіе экон. газохода (въ узкомъ мѣстѣ)  $1.61 \text{ mt}^2$ . Живое сѣченіе  $— 1.15 \text{ mt}^2$  или  $71\%$  (при поперечн. Экономайзеръ **былъ пущенъ** передъ опытами  $\sim 15$  ноября въ практически чистомъ видѣ и работаль при нефт. всегда послѣ установки теплового состоянія.

Время производства опыта		1910 26. XI.	26. XI.	25. XI.	25. XI.	2. XII.
Экономайзеръ работаетъ въ комбинаціи съ котломъ		водотруби. Steinmüller $Hk=60 \text{ mt}^2$				корнв. $Hk=$
1	Топливо: нефт. остатки. Составъ и низшая теплопроизводительность . . . . .	$C=86.4;$ 9940	$H=12.9;$ 9900	$O=0.7$ 10000	$C=85.0;$ 9830	$H=$ 9830
2	Часовой расходъ воды . . . . . $W \text{ kg}$	1360	2200	2950	3670	1170
3	” ” нефт. ост. . . . . $B \text{ kg}$	95.5	159.2	220	288	92.7
4	Содержаніе $CO_2$ при выходѣ изъ котла . . . . .	11.4	11.2	11.0	10.1	12.4
5	” ” $CO_2$ при входѣ и выходѣ изъ экон-ра . . . . .	10.5/10.5	1.00/9.7	9.7/9.5	8.7/8.4	11.2/11.0
6	Отношеніе дѣйств. поступ. воздуха къ теорет. необходимому $=\alpha$ при выходѣ изъ котла . . . . .	1.35	1.38	1.40	1.52	1.24
7	” ” $\alpha$ при входѣ и выходѣ изъ экономайзера . . . . .	1.46/1.46	1.54/1.59	1.59/1.62	1.77/1.83	1.38/1.40
8	Температура газовъ при выходѣ изъ котла . . . . . $T^\circ$	310	398	465	535	237
9	” ” при входѣ и выходѣ изъ эк-ра $\frac{T_3'}{T_3''}$ . . . . .	277/122	349/165	402/204	469/262	213/100
10	” ” воды при входѣ и выходѣ изъ эк-ра $\frac{t_3}{t_4}$ . . . . .	48.3/110.5	40.2/116.8	33.9/123.2	37.4/140.2	45/92
11	Разрѣженіе непосредственно передъ и послѣ эк-ра $\frac{S_3'}{S_3''} \text{ m/m вод. ст.}$ . . . . .	$-/5.0$	$-/13.1$	$-/24.7$	$-/50.1$	$-/5.0$
12	Средн. темпер. газовъ въ экон-рѣ $\frac{T_3' + T_3''}{2}$ . . . . .	200	257	303	365	157
13	Средн. скорость ” ” ” . . . . . $U_3$	0.7	1.36	2.1	3.3	0.57
14	Скорость воды въ экон-рѣ . . . . .	0.05	0.08	0.11	0.13	0.04
15	Сопротивленіе (газовое) экон-ра $S_3'' - S_3' \text{ m/m вод. ст.}$ . . . . .	точно не измѣ				
16	Отношеніе просачив. черезъ экон. воздуха (Плотн. теорет. необ. въ топкѣ) $\frac{\rho_{\text{экон. обм-ли}}}{\rho_{\text{теорет. необ. въ топкѣ}}}$ . . . . .	0.02	0.05	0.03	0.06	0.02
17	Теплосодержаніе на 1 kg топлива газовъ при вых. изъ котла . . . . .	1640	2160	2560	3210	1140
18	” ” ” ” газовъ при входѣ въ экон. . . . .	1580	2080	2490	3190	1120
19	” ” ” ” при выходѣ изъ экон. . . . .	680	980	1230	1810	520
20	Газами отдано тепла въ эк-рѣ на 1 kg топлива . . . . .	900	1100	1260	1380	600
21	Водю получено ” ” ” ” . . . . .	880	1060	1210	1330	590
22	Потеряно въ окруж. ср. тепла въ эк-рѣ на 1 kg топлива cal . . . . .	+20	+40	+50	+50	+10
23	Козф. теплопередачи экон. (по номин. газ. пов.) $K_3$ . . . . .	7.6	10.5	13.1	15.2	6.6
24	Количество воспринятаго въ 1 часъ эк-ромъ тепла cal . . . . .	84'100	168'750	277200	397440	54690

мейзера прям. дѣйств. сист. Каблиць-Рига.

Лабораторія Паровыхъ котловъ И. Т. Уч.  
Опыты ноябрь—дек. 1910 г.

= 97.9 соед. частей—3,2 mt<sup>2</sup>, верхн. шейки—1.8 mt<sup>2</sup>), изъ нихъ лучевоспринимающая поверхн. — 9 mt<sup>2</sup> = 10%  
на 1° С.

расположеніи); при нормальномъ расположеніи живое сѣченіе будетъ около 9/4. 1.15 = 2.7 mt<sup>2</sup>.

отопл. по 12 — 14 г. въ сутки безъ продувки. Продолжительность опытовъ — 2 — 3 часа. Начало опытовъ —  
Обмуровка эк-ра выполнена желѣзо-инфузорной.

2. XII.	8. XII.	8. XII.	10. XII.	10. XII.	11. XII.	12. XII.	
котель съ перегрѣвателемъ 53 mt <sup>2</sup> ; H <sub>0</sub> = 40 mt <sup>2</sup>			комб. кот. съ H <sub>0</sub> = 20 mt <sup>2</sup> и вставками въ дымогар. труб.				
12,9; O = 2.1 9830	(C = 86.8; H = 12.8; O = 0.4) 10000 cal		C = 86.8; H = 12.8; O = 0.4; W = 0 9970 cal—9990 cal				Теплопроизв. опред. въ бомбѣ и вычтено 6.9 H = 6.9.12.9 ~ 700 cal; W = 0.
2050	2560	3325	2830	4030	5160	5990	
175	222	296	198	286	369	434	
11.5	10.8	11.2	13.0	12.9	12.5	12.3	
10.4/10.3	9.4/9.2	9.6/9.5	12.2/12.2	12.3/12.2	11.5/11.3	11.2/11.0	
1.34	1.43	1.38	1.19	1.20	1.23	1.25	
1.48/1.50	1.64/1.67	1.60/1.62	1.26/1.26	1.25/1.26	1.34/1.36	1.38/1.40	
310	395	455	199	216	236	255	
270/144	348/195	397/237	185/99	202/115	219/133	238/151	
39/96	33/112	33/117	32/61	28.2/58	24.6/56.3	22.3/55.2	
-/17.4	-/28.8	-/48.5	5.3/6.3	12.2/13.5	23.8/26.0	37.6/41.0	
207	272	317	142	158	176	195	
1.30	2.1	2.95	1.13	1.70	2.40	3.0	
0.07	0.09	0.12	0.1	0.14	0.18	0.215	
рялось			1.0	1.3	2.2	3.4	
0.02	0.03	0.02	0.0	0.01	0.03	0.04	
1610 } 1540 } 70	2230 } 2190 } 40	2520 } 2480 } 40	955 } 944 } 11	1080 } 1020 } 40	1180 } 1160 } 20	1290 } 1280 } 10	
810	1210	1460	495	570	700	800	W ф=для водотр. и корн. . . . . 0.40/0.36 (Подашевскаго) . . . . . 0.21/0.26 Для комб. котл. . . . . 0.55/0.50 (Гиллертъ) . . . . . 0.50/0.50
730	980	1020	450	450	460	480	№ 19—№ 18.
680	930	950	415	420	440	455	D/B (q <sub>1</sub> - q <sub>2</sub> ), гдѣ q <sub>1</sub> и q <sub>2</sub> по табл. Mollier, соотв. t <sub>1</sub> и t <sub>2</sub>
+50	+50	+70	+35	+30	+20	+25	
9.3	11.4	13.0	9.5	11.9	13.4	14.0	
119000	206460	281200	82170	120120	162360	197470	D (q <sub>1</sub> - q <sub>2</sub> ) или № 25 В.

## II. Изслѣдованіе ребристаго экономейзера сист. Каблиць.

Номинальн. пов. нагр.— $H_0=90 \text{ m}^2$  (18 трубъ по  $5 \text{ m}^2$ ). Дѣйствит. газов. пов.— $101 \text{ m}^2$ , изъ нея луче Вод. объемъ экономейзера— $350 \text{ ltr}$ .  
 Въсь металлич. частей элемента— $3600 \text{ kg}$ . } теплосодержаніе эк-ра  $350 + 3600 \times 0,13 \approx 820 \text{ cal}$  (на  $1^\circ\text{C}$ ).  
 Полное сѣченіе экономейзера, газохода (въ узкомъ мѣстѣ)— $1,61 \text{ m}^2$ , живое сѣченіе —  $1,15 \text{ m}^2$  (при

№	1911 годъ.	1	2	3	4	5
		25.XI.	25.XI.	26.XI.	26.XI.	26.XI.
	Экономейзеръ работаетъ въ комбинаціи съ котломъ . . . . .	Водотрубнымъ $60 \text{ m}^2$ безъ перегрѣв.				
1	Топливо. Нефт. остатка . . . . .	$C=86,9; H=12,8;$ $Q=10220 \text{ cal. } \beta=0,35.$		$C=86,7; H=12,6; Q=10100; \beta=0,34.$		
2	Часовой расходъ воды . . . . . Wkg	1160	1920	2075	2645	3330
3	Часовой расходъ нефт. остатк. . . . . Bkg	93,5	153	157,4	211	276
4	Содержаніе $\text{CO}_2$ при выходѣ изъ котла . . . . .	11,8	11,8	12,0	11,3	10,0
5	Содержаніе $\text{CO}_2$ при входѣ и выходѣ изъ эк-ра . . . . .	11,0/10,9	10,8/10,4	11,4/11,1	10,0/9,5	8,5/8,2
6	Коэф. избытка воздуха $\alpha$ при выходѣ изъ котла . . . . .	1,31	1,31	1,29	1,36	1,52
7	Коэф. избытка воздуха $\alpha$ при входѣ и выходѣ изъ эк-ра . . . . .	1,40/1,42	1,43/1,48	1,36/1,40	1,54/1,62	1,80/1,88
8	Температура газовъ при выходѣ изъ котла $T_k$ . . . . .	248	312	325	377	435
9	Температура газовъ при входѣ и выходѣ изъ эк-ра $T'_g$ и $T''_g$ . . . . .	218/85	274/111	295/116	334/160	374/209
10	Температура воды при входѣ и выходѣ изъ эк-ра $t_3$ $t_4$ . . . . .	18,7/71,9	14,0/79,8	11,5/78,6	11,7/91	12,4/104,7
11	Разрѣженіе до и послѣ эк-ра (въ камерахъ) $s'_g$ $s''_g$ . . . . .	1,7/2,2	8,8/9,7	8,65/9,5	20,2/21,9	47,1/51,2
12	Средн. темпер. газовъ эк-ра $\frac{T'_g + T''_g}{2}$ . . . . .	152	192	206	247	292
13	Средн. скорость газовъ эк-ра $v_g$ m/sec . . . . .	0,58	1,08	1,10	1,82	2,85
14	Средн. скорость воды въ экон-рѣ . . . . .	0,04	0,067	0,072	0,093	0,115
15	Сопротивленіе (газовъ) эк-ра $S''_g - S_g$ mm/вод. ст. . . . .	0,5	0,9	0,9	1,7	4,1
16	Отношеніе $\frac{\text{просачив. через экон. клад. возд.}}{\text{къ теорет. необходимому}}$ (плотн. абмур. эк-а) . . . . .	$\frac{0,09}{0,2}$	$\frac{0,12}{0,05}$	$\frac{0,07}{0,04}$	$\frac{0,18}{0,08}$	$\frac{0,18}{0,08}$
17	Теплосодерж. на 1 kg. топлива газовъ при выходѣ изъ котла . . . . .	1290	1620	1690	2070	2670
18	Теплосодерж. на 1 kg. топлива газовъ при входѣ въ эк-рѣ . . . . .	1220	1540	1600	2040	2650
19	Теплосодерж. на 1 kg. топлива газовъ при выходѣ изъ эк-ра . . . . .	480	640	640	990	1480
20	Одано газами тепла въ эк-рѣ на 1 kg. топлива . . . . .	740	900	960	1050	1170
21	Получено водою тепла въ эк-рѣ на 1 kg. топлива . . . . .	660	830	890	1000	1120
22	Потери въ окруж. среду эк-ромъ (и невязка опыта) . . . . .	+ 80 cal	+ 70	+ 70	+ 50	+ 50
23	Коэф. теплопередачи эк-ра (по номин. пов. нагр. $90 \text{ m}^2$ ) . . . . .	6,4	9,7	12,1	12,1	14,8
24	Количество воспринятаго въ 1 часъ эк-ромъ тепла . . . . .	62070	126720	139020	211600	309690

Лабораторія Паров. котловъ И. Т. У.  
Опыты ноябрь—декабрь 1911 г.

воспринимающей—9 m<sup>2</sup>~10%.

продольн. расположеніи).

6 1. XII.	7 1. XII.	8 2. XII.	9 2. XII.	10 2. XII.	
Водотруби. 60 m <sup>2</sup> съ перегрѣват. 24 m <sup>2</sup> .					Нефтяное отопленіе Wφ=0.4.
(C=86,7; H=12,6); (Q=10100 cal; β=0,34).					
1130	1730	2003	2480	3070	
100.8	147.5	169	217.5	280	
12.3	11.7	11.7	11.0	10.1	
11.5/11.5	10.7/9.9	11.0/10.5	10.3/9.8	9.5/8.8	
1.26	1.32	132	1.40	1.52	
1.28/1.28	1.44/1.55	1.40/1.47	1.50/1.58	1.62/1.74	
237	267	290	324	3.65	
221/88	243/104	268/119	281/150	333/187	
16.5/77	16.1/77.2	14.5/78.2	14.8/85.9	16.9/95.4	
2.8/3.4	9.1/10.2	13.0/14.0	25.1/26.8	50.4/53.9	Измѣрилась разниця разрѣженій (S'' - S') = сопротивленію эк-ра и s'c.
155	174	194	216	260	
0.68	1.02	1.19	1.72	2.60	$= \left( \frac{162}{CO_2} + 1,9 \right) \cdot \frac{B \text{ № } 14 + 273}{13600 \cdot 275} : 1.15 = 1130000.$
0.039	0.06	0.069	0.086	0.107	
0.6	1.1 (?)	1.0	1.7	3.5	
(0.02) 0.00	(0.12) 0.11	(0.08) 0.07	(0.10) 0.08	(0.10) 0.12	въ ( ) плотность борова.
1200 } 1170 }	1420 } 1390 }	1540 } 1500 }	1810 } 1770 }	2190 } 2150 }	$\left[ \frac{87}{0.54 CO_2} (0.32 \text{ до } 0.327) + \frac{9H + 100W\phi}{100} \cdot 0.48 \right] T_k = \left( \frac{52 \text{ до } 53}{CO_2} + 0.8 \right) T_k.$
470	620	690	900	1250	
700	770	810	870	900	
670	720	760	810	870	
+30	+50	+50	+60	+30	
7.0	9.2	9.8	12.0	13.3	
67800	105100	128190	176080	240990	

ВЫШЛИ ИЗЪ ПЕЧАТИ СЛѢДУЮЩІЕ ВЫПУСКИ

## Извѣстій Механическаго Института.

- Вып. I. **К. В. Киршъ.**  
Общія указанія относительно постановки занятій въ П. Л.  
Процессъ растопки холоднаго котла.  
Распроданъ. (см. Б. П. О. № 5. 1904). Тепловое состояніе и теплосодержаніе котла.  
Сравнительныя изслѣдованія котловъ при установившемся тепловомъ состояніи.
- Вып. II. **В. И. Гриневецкій.**  
Графическій расчетъ пароваго котла. Цѣна 1 руб. 25 коп.
- Вып. III. **К. В. Киршъ.**  
Изслѣдованіе паровой установки Фряновской шерст. фабрики.  
Распроданъ. (см. Б. П. О. № 6. 1906). Работа локом. котла П. Л. при нов. нефт. топкѣ.  
Топка Вильтона и ея работа.
- Вып. IV. **И. А. Калининъ.**  
Изслѣдованіе причинъ разрыва пар. котла.  
Испытаніе жел. бетон. брусевъ.  
Испытаніе на разрывъ образцовъ съ выточкой или запиломъ.  
Вліяніе скручиванія литого желѣза на его мех. свойства.  
Испытаніе литейн. и ковк. чугуна.  
Упругость приводн. ремней.  
Экстензометръ для ремней.  
Дефлектометръ.  
На какую глубину слѣдуетъ ввертывать желѣзн. шпильку въ чугунъ. Цѣна 1 руб.
- Вып. V. Студ. **А. И. Ставровскій.**  
Распроданъ. (см. Б. П. О. № 6. 1907). Испытаніе фореунокъ.
- Вып. VI. **К. В. Киршъ.**  
Опыты съ корнв. и водотр. котломъ Л. П. К. при нефт. отопленіи.  
Изслѣдованіе котельной центр. станціи московск. трамвая.  
**К. В. Киршъ и И. И. Куколевскій.**  
Изслѣдованіе парозлектрической установки центр. станціи И. Т. У. Цѣна 1 руб. 25 коп.
- Вып. VII. **К. В. Киршъ.**  
Изслѣдованіе установки изъ корнв. котла, перегрѣвателя и жел. экономайзера  
прям. дѣйствія при нефт. отопл. и напряженіяхъ до  $51 \text{ kg/m}^2$ —1 часъ.  
Комбин. котель Л. П. К. и опыты съ нимъ.  
Къ вопросу о теплопередачѣ въ пар. котлахъ. Цѣна 1 руб.
- Вып. VIII. **И. А. Калининъ.**  
Эксперим. изслѣд. раструбц. соединеній вырванію.  
Хим. состав. и мех. свойства чугуновъ Моск. лит. заводовъ.  
Крѣпость заплечиковъ въ чуг. деталяхъ.  
Вліяніе на результаты испыт. формы поперечн. сѣченія чугуна. брусковъ, изъ которыхъ вытачиваются норм. образцы для разрыва.
- Студ. **Б. М. Лампси.**  
Испытаніе смазочныхъ маселъ. Цѣна 1 руб. 25 коп.
- Вып. IX. **И. А. Калининъ.**  
Экспериментальное изслѣдованіе раструбныхъ соединеній (сопротивленіе вырванію).
- Вып. X. **И. А. Калининъ и В. Ф. Раздорскій.**  
Матеріалы къ ученію о механическихъ свойствахъ частей растений.
- Вып. XI. **И. В. Арбатскій.**  
Вліяніе лучеиспусканія на показаніе пиromетровъ.  
(Einfluss der Strahlung auf die Pyrometerzeige Anpeijue).  
О погрѣшностяхъ при измѣреніи температуръ при помощи термоэлемента и гальванометра.  
(Ueber Fehler bei der termoelektrischen Tempezaturmessung.) Цѣна 50 коп.
- Вып. XII.—Цѣна 1 руб. 50 коп.  
Кромѣ того брошюра:  
**И. В. Арбатскій.**  
Руководство къ употребленію прибора Орсэ-Фишеръ. Цѣна 65 коп.