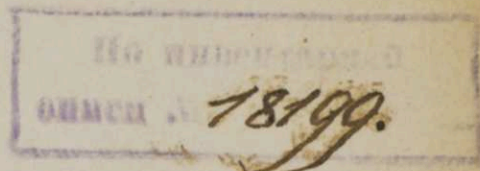


R VII-138
срб

А. П. Гавриленко.

ПРОФЕССОРЪ ВЫСШАГО МОСКОВСКАГО ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА.



ПАРОВЫЕ == == КОТЛЫ.

✓
Провер. 1903

ПОСМЕРТНОЕ ИЗДАНИЕ

ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ ПРОФЕССОРА ПЕТРОГРАДСК. ПОЛИТЕХНИЧ. ИНСТИТУТА
А. С. Ломшакова.

И ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ТОГО ЖЕ ИНСТИТУТА
М. А. Торубаева.

ИЗДАНИЕ, 3-е исправленное и переработанное согласно новѣйшимъ науч-
нымъ даннымъ.

Выпускъ I-й.

БИБЛИОТЕКА
Московского
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА

2

СКЛАДЪ ИЗДАНІЯ:

„Сотрудникъ Школъ“ А. К. Залѣсской.

Москва, Воздвиженка, 13.

1918 г.

30751

ПРОВЕРЕНО
1902

По распоряженію
1905

А. П. Лебединский

ПРОСЬБА ВЪЗВРАТИТЬ КНИЖКУ СЪ ЗАМѢТКАМИ

1846

ПАРОВЫЕ

КОТЛЫ

ПОСВЯЩЕННЫМЪ СЛОВАМЪ

ПРОФ. ПЕТРА ПЕТРОВИЧА ЛЕБЕДИНСКАГО

А. П. Лебединский

И ПУБЛИКАЦИИ ЕГО СЪ ЗАМѢТКАМИ

Д. А. Лебединский

ИЗДАНИЕ 3-е, исправленное и переработанное согласно новейшимъ даннымъ

Выпускъ 1-й

Содружество Ш. К. Заварской
МОСКВА.

Типографія Т-ва Рябушинскихъ, Страстной бульв. Путинковскій пер., д. 3.
1918.

Предисловіе къ третьему изданію.

Курсъ Паровыхъ котловъ покойнаго профессора А. П. Гавриленко въ обоихъ предыдущихъ изданіяхъ пользовался заслуженнымъ успѣхомъ и большимъ распространеніемъ какъ среди инженеровъ, техниковъ, такъ и среди студентовъ высшихъ техническихъ школъ. Причину этого успѣха, по нашему мнѣнію, должно видѣть въ томъ, что, помимо достаточнаго для своего времени матеріала и достаточной его новизны, авторъ давалъ въ своемъ курсѣ много жизненно-цѣннаго, почерпнутаго изъ своего большого технического опыта и широкой литературной освѣдомленности въ области излагаемаго предмета. Всюду чувствуется, что у автора есть свой личный взглядъ и своя личная оцѣнка. Все это, въ связи съ живостью и ясностью изложенія, дало книгѣ фیزیономію, привлекательную для широкаго круга читателей.

Редактированіе третьяго изданія первоначально взялъ на себя, по предложенію семьи покойнаго Александра Павловича, проф. Петрогр. Полит. Инст. А. С. Ломшаковъ, привлекиши къ сотрудничеству и пишущаго эти строки.

Однако, вскорѣ, интенсивная работа, вызванная техническими нуждами тяжелаго военнаго времени, побудила А. С. Ломшакова сложить съ себя обязанности редактора и передать, съ согласія семьи А. П., дальнѣйшее редактированіе своему сотруднику, не отказывая въ то же время въ общемъ руководствѣ своими указаніями и совѣтами. При ближайшемъ руководствѣ проф. А. С. Ломшакова настоящее изданіе было проредактировано до отдѣла водотрубныхъ котловъ.

Согласившись на предложеніе издателей взять на себя отвѣтственный трудъ дальнѣйшаго редактированія, я имѣлъ для себя опорой сознаніе нужды русскаго читателя-техника въ руководствѣ по паровымъ котламъ, которое бы шло навстрѣчу современнымъ требованіямъ, и желаніе заплатить дань своего глубокаго уваженія къ покойному Александру Павловичу, какъ къ профессору, техническому дѣятелю и человѣку.

Въ первомъ своемъ выпускѣ настоящее изданіе, по сравненію съ предыдущимъ, въ области матеріала какъ конструктивнаго, такъ и цифрового, содержитъ мѣстами значительныя измѣненія и допол-

ненія, сопровождааясь соотвѣтственными измѣненіями и дополненіями и въ текстѣ.

Поступившій въ распоряженіе редактора матеріалъ въ видѣ полного комплекта листовъ предыдущаго изданія снабженъ многочисленными измѣненіями и дополненіями, сдѣланными самимъ Александромъ Павловичемъ, подготовлявшимъ матеріалъ къ настоящему изданію. Всѣ вставки и измѣненія, принадлежащія автору, вошли въ первый выпускъ книги и войдутъ въ послѣдующіе. Эти измѣненія и дополненія показываютъ, насколько близко Александръ Павловичъ стоялъ къ новѣйшимъ теченіямъ въ области котловъ и котельныхъ установокъ.

Изъ крупныхъ измѣненій, сдѣланныхъ самимъ Александромъ Павловичемъ, укажемъ на вставку параграфовъ 1—16 (Общія свѣдѣнія о парообразованіи и передачи тепла).

Отдѣлъ историческій сокращенъ редакторомъ. Главы, содержащія описаніе котловъ цилиндрическихъ, съ жаровыми трубами, съ дымогарными трубками, котловъ комбинированныхъ, паровозныхъ, паровыхъ, дополнены редакторомъ новыми клише. При этомъ многое изъ того, что было въ предыдущемъ изданіи и отсутствуетъ въ настоящемъ, было предназначено къ удаленію самимъ авторомъ.

Въ отдѣлѣ „горизонтальныхъ“ водотрубныхъ котловъ многое дополнено и написано заново редакторомъ. Заново же написаны имъ отдѣлы: „Вертикальные водотрубные котлы“, „Котлы съ беспламеннымъ сжиганіемъ топлива“ и „Котлы газопаровые“.

Во всемъ остальномъ измѣненія и дополненія автора тѣсно сплетаются съ измѣненіями и дополненіями редактора, и послѣдній затруднился бы въ сноскахъ и примѣчаніяхъ дать читателю соотвѣтствующія указанія. Читатель, знакомый съ языкомъ и стилемъ Александра Павловича, мы полагаемъ, самъ въ состояніи дать себѣ отчетъ въ этомъ отношеніи.

М. Торубаевъ.

Петроградъ, 28/15 марта 1918 г.

Паровымъ котломъ называется аппаратъ, служащій для полученія водяныхъ паровъ, съ давленіемъ болѣе атмосфернаго, употребляющихся во многихъ случаяхъ техники: для питанія паровыхъ машинъ, нагрѣванія запарныхъ кубовъ, отопленіе зданій и т. п.

Всякій паровой котелъ состоитъ изъ слѣдующихъ составныхъ частей: 1) *топки*, въ которой производится сжиганіе топлива и получается необходимая для парообразованія теплота; 2) *резервуара или собственно котла*, въ которомъ находится смѣсь воды и образующагося изъ нея пара; 3) *аппарата, производящаго тягу воздуха и газовъ*, необходимую для энергичнаго сгоранія топлива; 4) *кирпичной кладки, или обмазки (обмуровки)*, образующей вокругъ котла каналы, по которымъ движутся горячіе газы, обогрѣвающие котелъ, (въ нѣкоторыхъ случаяхъ кирпичная обмуровка можетъ отсутствовать и каналы образуются внутри самаго котла); 5) *арматуры*, или приборовъ, которые должны имѣться при котлѣ, чтобъ его можно было удобно пускать въ работу, поддерживать его исправное состояніе во время работы и, въ случаѣ надобности, пріостановить работу. Вся арматура, сообразно своему назначенію, можетъ быть раздѣлена на приборы: а) для *приведенія въ котелъ воды и отведенія изъ котла пара и грязной воды*; б) для *указанія надлежащаго положенія уровня воды въ котлѣ* и в) для *указанія надлежащаго давленія пара въ котлѣ*. Затѣмъ, при котлѣ должны находиться всегда различныя придаточныя части, обусловливающія болѣе удобную постановку котла, регулированіе топки и тяги (*подставки, дверцы, заслонки* и т. п.).

Кромѣ этого, съ котломъ всегда устанавливается приборъ для *накачиванія [питанія] въ котелъ воды (насосъ или инжекторъ)*.

Въ современныхъ установкахъ почти всегда при котлѣ находятся аппараты для *перегрѣва пара — перегрѣватели*, приборы для *подогрѣванія питательной воды* и для возможно большаго охлажденія отходящихъ изъ котла газовъ (*подогрѣватель, экономайзеръ* и др.), приборы для *очищенія питательной воды*.

Всѣ перечисленные выше предметы составляютъ, такъ-называемую, *котельную установку*.

Часть котла, заполненная водой, называется *водянымъ пространствомъ*; часть, заполненная паромъ — *паровымъ пространствомъ*.

Та часть котла и другихъ аппаратовъ, которая съ одной стороны омывается горячими газами, а съ другой смачивается водой, называется *поверхностью нагрѣва*.

Металлическія стѣнки резервуара, обладая большой теплопроводностью, по мѣрѣ того какъ получаютъ теплоту отъ горячихъ газовъ, сейчасъ же передаютъ ее водѣ, омывающей стѣнки съ другой стороны. Вслѣдствіе этого, температура чистой стѣнки не можетъ достигъ опасной для прочности металла величины и обыкновенно немного разнится отъ температуры воды. Въ тѣхъ же случаяхъ, когда стѣнки котла будутъ загрязнены со стороны воды или будутъ соприкасаться только съ горячими газами, не омываясь съ другой стороны водой, металлъ можетъ раскалиться, и, потерявъ свою крѣпость, разрушиться. Поэтому *при устройствѣ парового котла необходимо заботиться о томъ, чтобы стѣнки были чисты и чтобы уровень воды лежалъ, по крайней мѣрѣ, на 100 мм. выше поверхности, омываемой горячими газами.*

Дѣлать отступленія отъ этого правила нужно чрезвычайно осторожно и въ томъ только случаѣ, если извѣстно, что температура газовъ настолько низка, что не можетъ оказаться опасной для прочности стѣнокъ.

Русскій законъ о паровыхъ котлахъ гласитъ слѣдующее ¹⁾.

Уровень воды въ постоянныхъ и подвижныхъ паровыхъ котлахъ, употребляемыхъ на сушѣ, долженъ быть, по крайней мѣрѣ, на четыре дюйма выше наивысшей черты соприкасающихся съ продуктами горѣнія стѣнокъ котла, если только эти стѣнки подвергаются опасности быть раскаленными. То же правило примѣняется къ рѣчнымъ пароходнымъ котламъ, наибольшій горизонтальный размѣръ которыхъ, по ширинѣ судна, не превосходитъ четырехъ футовъ; въ котлахъ же горизонтальныхъ, размѣръ которыхъ, по ширинѣ судна, заключается между четырьмя и восемью футами, превышеніе уровня воды надъ подверженными опасности накаливанія стѣнками должно быть не менѣе шести дюймовъ, а при размѣрѣ болѣе восьми футовъ (какъ, на примѣръ, въ котлахъ мореходныхъ судовъ) не менѣе семи дюймовъ; на катерахъ же можетъ быть и въ три дюйма.

Примѣчаніе 1. Стѣнкою котла, неподверженною опасности накаливанія, признается та, до соприкосновенія съ которою продукты горѣнія должны пройти по поверхности нагрѣва, превосходящей площадь рѣшетки (на которой горитъ топливо) въ 40 разъ, если естественная тяга, производимая дымовой трубой, усиливается посредствомъ впускаемой въ трубу струи пара, и въ 20 разъ, если такого усиленія естественной тяги не имѣется.

Примѣчаніе 2. Изложенныя въ семъ параграфѣ правила не относятся къ котламъ, составленнымъ изъ трубъ, въ которыхъ циркулируетъ вода, если внутренній діаметръ этихъ трубъ не болѣе четырехъ дюймовъ, и къ вертикальнымъ трубчатымъ котламъ, поверхность которыхъ не превосходитъ ста квадратныхъ футовъ.

Наивысшій предѣлъ, гдѣ кончается соприкосновеніе горячихъ газовъ съ котломъ, называется *огневою линіей*

Назначеніе котельной установки заключается: въ выдѣленіи тепла, находящагося въ скрытомъ состояніи въ топливѣ, въ поглощеніи этого тепла поверхностями нагрѣва, въ передачѣ тепла водѣ и въ превращеніи послѣдней въ паръ требуемаго качества.

Изъ всего тепла Q , которое вносится съ топливомъ въ топку, только часть

Q_1 — превращается въ теплоту пара (*полезно используется*).

Q_2 — уносится въ трубу съ отходящими продуктами горѣнія.

Q_3 — теряется въ топкѣ отъ химич. неполноты горѣнія.

¹⁾ Подробное изложеніе правилъ и законовъ, касающихся установки котловъ, можно найти въ книгѣ К. И. Борзенко, Законы и правила о паровыхъ котлахъ.

Q_4 — теряется въ топкѣ отъ механ. неполноты горѣнія (проваль).

Q_5 — отдается въ окружающую среду внѣшними поверхностями.

Ясно, что

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5.$$

Коэффициентъ полезнаго дѣйствіе котла будетъ

$$\eta = \frac{Q_1}{Q}$$

и будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше потери тепла Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 .

При устройствѣ котельной установки нужно стремиться къ возможно большему коэффициенту полезнаго дѣйствія, при возможно малыхъ затратахъ на всю установку и при полной безопасности устройства.

Сообразно съ этимъ при устройствѣ котельной установки необходимо заботиться:

1) чтобы въ топкѣ происходило возможно полное выдѣленіе тепла (полное горѣніе) при возможно маломъ избыткѣ воздуха;

2) чтобы всѣ горячія поверхности были хорошо изолированы и потери тепла въ пространство были сведены до возможнаго минимума;

3) чтобы поверхности нагрѣва имѣли такую конструкцію, при которой теплота, выдѣляющаяся изъ топлива, поглощалась ими наиболѣе энергично и отходящіе газы охлаждались до возможно низкой температуры (чтобы Q_2 — было возможно мало);

4) чтобы исполненіе котла и другихъ составныхъ частей котельной установки не представляло большихъ затрудненій;

5) чтобы отдѣльныя части котла имѣли такую форму, при которой онѣ наименѣе подвергались бы разрушительному дѣйствію горячихъ газовъ, воды и воздуха, и могли бы свободно расширяться при нагрѣваніи, не вызывая вредныхъ внутреннихъ напряженій;

6) чтобы всѣ части котла были легко доступны для чистки, осмотра и ремонта;

7) чтобы всѣ части котла были, по возможности, одинаково прочны и изнашивались равномерно, такъ что котель не могъ бы оказаться черезъ нѣкоторое время негоднымъ вслѣдствіе порчи одной изъ его частей;

8) чтобы котель былъ снабженъ всѣми необходимыми аппаратами, гарантирующими его безопасное дѣйствіе;

9) чтобы всѣ составныя части установки были въ соотвѣтствіи между собой и съ условіями работы.

Нужно сознаться, что до послѣдняго времени котламъ удѣляли слишкомъ мало вниманія. Тогда какъ надъ усовершенствованіемъ паровыхъ машинъ работали лучшія силы техники, паровой котель, несмотря на его большое распространеніе по сравненію съ паровой машиной, оставался на второмъ планѣ; а между тѣмъ онъ представляетъ обширную и благодарную почву для усовершенствованій.

Стоимость топлива, расходуемого въ котлахъ, по скромной оцѣнкѣ должна составить годовую сумму не меньше 10.000.000.000. руб. Слѣдовательно, всякій процентъ, который техникъ удастся сберечь при пользованіи паровыми котлами, принесетъ человѣчеству громадную экономію, по крайней мѣрѣ 10.000.000 руб. въ годъ.

Уже изъ этихъ цифръ видно, какую важную роль паровой котель играетъ въ техникѣ. Но, являясь могучимъ подспорьемъ для современной промышленности, паровой котель можетъ оказаться въ то же время крайне опаснымъ аппаратомъ, если при выборѣ его конструкціи, исполненіи и содержаніи не будутъ приложены полное знаніе и вниманіе. Ни одно изъ техническихъ приспособленій не вознаграждаетъ такъ щедро, какъ котель, за надлежащее къ нему вниманіе и вмѣстѣ съ тѣмъ ничто, подобно котлу, не наказываетъ такъ ужасно за небрежное къ нему отношеніе.

Ежегодно на скорбныя страницы исторіи заносится цѣлый рядъ человѣческихъ жизней и громадныхъ матеріальныхъ убытковъ, ставшихъ жертвами невѣжественнаго обращенія съ паровыми котлами. Вслѣдствіе этого для инженера вопросъ о паровыхъ котлахъ является однимъ изъ наиболѣе интересныхъ и важныхъ. Здѣсь всякое усовершенствованіе экономической стороны не заставитъ ждать щедраго вознагражденія; всякое же усовершенствованіе, ведущее къ большей безопасности пользованія паровыми котлами, можетъ смѣло рассчитывать на высокую признательность всего общества.

Вопросъ о паровыхъ котлахъ можетъ представляться въ очень разнообразныхъ формахъ. Даннымъ въ задачѣ о паровыхъ котлахъ всегда является количество пара, которое необходимо получить для удовлетворенія извѣстной потребности, и инженеру предоставляется, сообразно съ данными условіями, рѣшить эту задачу такъ, чтобы, при *наименьшихъ затратахъ, достигъ наилучшихъ результатовъ.*

Въ отдѣльныхъ случаяхъ ему придется рѣшать, сколько котловъ наиболѣе выгодно поставить и какъ раздѣлить между ними производство пара? Какой системы котлы окажутся наиболѣе практичными при данныхъ условіяхъ, чтобы обезпечить постоянное снабженіе паромъ въ необходимомъ количествѣ при полной безопасности, или, вѣрнѣе, при *благоразумномъ минимальномъ рискѣ?*

При исполненіи паровыхъ котловъ на долю инженера выпадаетъ обязанность рѣшать вопросы о наиболѣе раціональной конструкціи, о наилучшемъ способѣ соединенія отдѣльныхъ частей, о выборѣ соответствующихъ матеріаловъ. Имъ же должно быть указано, какимъ образомъ всѣ эти детали должны быть исполнены въ мастерскихъ, такъ какъ отъ способа исполненія зависитъ очень многое.

Не менѣе важные вопросы приходится рѣшать и при надзорѣ за находящимся уже въ дѣйствиіи котломъ: что нужно сдѣлать, чтобы получить нужное количество пара при наименьшей затратѣ топлива? какъ продлить срокъ службы котла? и т. п., имѣя всегда при этомъ въ виду наибольшую экономію всего устройства.

Обыкновенный путь для рѣшенія подобныхъ вопросовъ, это — основательное знакомство съ данными, выработанными теоріей и предшествовавшей практикой, а затѣмъ примѣненіе этихъ данныхъ, сообразуясь съ наличными условіями.

Систематическое изложеніе научныхъ и практическихъ данныхъ, съ цѣлью выяснитъ современное положеніе вопроса объ экономичномъ и безопасномъ пользованіи паровыми котлами, и будетъ составлять задачу настоящаго курса.

Общія свѣдѣнія о парообразованіи и передачѣ тепла.

1. Испареніе. Испареніемъ называется свободное превращеніе жидкости въ паръ, при чемъ паръ образуется исключительно на поверхности жидкости.

Непосредственныя наблюденія показываютъ, что въ безвоздушномъ пространствѣ испареніе происходитъ сейчасъ же, какъ только жидкость будетъ туда поставлена, независимо отъ температуры жидкости, и останавливается только тогда, когда объемъ образовавшагося пара достаточно, чтобы производить на стѣнки сосуда извѣстное давленіе, всегда одно и то же для данной температуры, и называемое наибольшею степенью упругости пара. Слѣдовательно, для каждой данной температуры существуетъ предѣлъ количества пара, способнаго образоваться въ данномъ пространствѣ. При достиженіи такого предѣла говорятъ, что пространство *насыщено* парами, а паръ находится въ *насыщенномъ состояніи*.

Въ газообразной атмосферѣ, ограниченнаго объема, явленіе испаренія происходитъ гораздо медленнѣе и останавливается тогда, когда давленіе пара достигнетъ своего максимума, соотвѣтствующаго данной температурѣ. Въ данномъ случаѣ, какъ и въ случаѣ пустоты, пространство будетъ *насыщено* парами.

Въ газообразной атмосферѣ, неограниченнаго объема, явленіе испаренія становится непрерывнымъ. Дальтонъ изслѣдовалъ скорость испаренія при такомъ условіи и нашелъ, что скорость зависитъ:

- 1) отъ упругости паровъ, равномерно распределенныхъ въ атмосферѣ;
- 2) отъ упругости самой атмосферы;
- 3) отъ температуры жидкости и атмосферы;
- 4) отъ размѣра испаряющей поверхности жидкости;
- 5) отъ скорости возобновленія насыщенныхъ парами слоевъ атмосферы, находящихся непосредственно надъ жидкостью.

Испареніе сопровождается поглощеніемъ тепла. Количество теплоты, потребное для испаренія, называется *скрытой теплотой испаренія*.

Конденсаціей паровъ называется переходъ ихъ обратно въ капельно-жидкое состояніе. Конденсація можетъ произойти отъ трехъ причинъ: пониженія температуры, расширенія и химическаго сродства. Въ первыхъ двухъ случаяхъ необходимо, чтобы пары находились въ состояніи насыщенія; въ послѣднемъ случаѣ конденсація можетъ произойти и тогда,

когда пары разрѣжены; напримѣръ, многія соли поглощаютъ пары изъ атмосферы и сгущаютъ ихъ, въ какой бы пропорціи пары въ атмосферѣ ни находились. При конденсаціи пары выдѣляютъ то же количество тепла, которое было поглощено ими при испареніи.

2. Кипѣніе. Испареніе жидкостей въ открытыхъ сосудахъ значительно усиливается при повышеніи ихъ температуры; въ то же время увеличивается упругость паровъ, выдѣляемыхъ поверхностью; это происходитъ до нѣкотораго предѣла, послѣ котораго начинается образованіе пузырьковъ пара внутри жидкости и всплываніе ихъ на поверхность; въ этотъ моментъ упругость пара равняется упругости атмосферы. Такое видимое образованіе пара въ самой массѣ жидкости и называется *кипѣніемъ*.

Послѣ того, какъ кипѣніе началось, продолжается также и испареніе съ поверхности; при чемъ общее количество образующагося пара равно суммѣ пара, выдѣляющагося съ поверхности, и пара, выдѣляющагося внутри жидкости. Такое совмѣстное испареніе съ кипѣніемъ называютъ *выпариваніемъ*.

Для того, чтобы началось кипѣніе, необходимо, чтобы температура той молекулы жидкости, которая переходитъ въ газообразное состояніе, соотвѣтствовала бы давленію пара, равному:

1) давленію атмосферы, увеличенному на давленіе столба жидкости, находящемуся надъ молекулой;

2) капиллярному давленію и сцѣпленію, оказываемому матеріаломъ сосуда, такъ какъ пузырьки пара всегда образуются въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ твердымъ тѣломъ.

3. Температура кипѣнія воды. Температура кипѣнія воды при одномъ и томъ же давленіи измѣняется въ зависимости отъ матеріала сосуда, въ которомъ она заключена, и отъ растворенныхъ въ ней тѣлъ. При давленіи въ 760 мм. ртутнаго столба, въ мѣдномъ сосудѣ, дистиллированная вода кипитъ при температурѣ, которая принята за 100° для шкалы Цельсія. Это — такъ-называемая *нормальная температура кипѣнія*.

Растворы солей нѣсколько повышаютъ точку кипѣнія, такъ, напр., насыщенные растворы кипятъ:

Сѣрноокислаго натрія при	101°
Уксуснокислаго свинца	102°
Морская вода	104°
Угликислаго натрія	105°
Хлористаго натрія	108°

Въ стеклянномъ сосудѣ вода кипитъ при 102°; если сосудъ предварительно сполоснуть сѣрной кислотой, то точка кипѣнія повышается до 105° и даже до 106°. Однако, небольшого кусочка металла, положеннаго на дно сосуда, достаточно, чтобы точка кипѣнія снова стала нормальной, т.-е. въ 100°. Такимъ же образомъ можно уничтожить разбрызгиваніе жидкости, которое обыкновенно сопровождаетъ кипѣніе

соляныхъ растворовъ или подкисленныхъ жидкостей въ стеклянныхъ сосудахъ.

Но какова бы ни была температура кипящей воды при давлении въ 760° мм., температура пара при этомъ давлении всегда нормальна и $=100^{\circ}$.

Слѣдовательно въ открытомъ сосудѣ, гдѣ вода находится подъ давленіемъ одной атмосферы, ее нельзя нагрѣть значительно выше 100° Ц.

Если же сосудъ закрыть, то выдѣляющіеся пары повышаютъ внутреннее давленіе, а вмѣстѣ съ тѣмъ повышается и точка кипѣнія; по-этому въ закрытомъ сосудѣ, если только позволяетъ прочность его стѣнокъ, воду можно нагрѣть до произвольно высокой температуры, въ предѣлѣ до начала диссоціаціи.

Обратно, при пониженіи давленія температура кипѣнія воды должна понижаться, и потому часть воды будетъ обращаться въ паръ за счетъ содержащейся въ водѣ избыточной теплоты, которая окажется при пониженіи давленія. Слѣдовательно, кипѣніе и полученіе пара можетъ происходить при постоянномъ или увеличивающемся давленіи, вследствие приведенія къ водѣ теплоты, или же при понижающемся давленіи безъ приведенія теплоты, только за счетъ оказавшагося избытка теплоты внутри самой жидкости ¹⁾.

4. Скрытая теплота испаренія. Реньо на основаніи многочисленныхъ опытовъ далъ эмпирическую формулу, выражающую все количество теплоты, которое должно быть поглощено водой для испаренія при данной температурѣ.

Полная теплота испаренія 1 кгр. пара
 $\lambda = 606,5 + 0,305 \, t$ калорій.

При нормальной температурѣ кипѣнія въ свободной атмосферѣ формула даетъ скрытую теплоту, потребную для превращенія въ паръ одного кгр. воды:

$$606,5 + 0,305 \cdot 100 - 100 = 537 \text{ калорій.}$$

Предыдущая формула предполагаетъ, что *теплоемкость воды*, постоянная для различныхъ температуръ, на самомъ же дѣлѣ, согласно Реньо, теплоемкость измѣняется въ зависимости отъ температуры по закону, выраженному слѣдующей формулой:

$$q = t + 0,00002 \, t^2 + 0,0000003 \, t^3.$$

Ниже приведена таблица 1 насыщенныхъ паровъ по Молюе. Въ техникѣ обыкновенно принимаютъ за атмосферное давленіе одного килограмма на кв. сант. Это соотвѣтствуетъ давленію ртутнаго столба высотой въ 735,5 мм., или водяного высотой въ 10 метровъ. Такая величина атмосферы принята и при составленіи нижеприведенной таблицы. Здѣсь первый столбецъ даетъ величину давленія въ атмосферахъ, или въ кгр. на кв. сант. Въ виду того, что принятая здѣсь ве-

¹⁾ На этомъ основано устройство котловъ, работающихъ безъ топки.

Таблица I.

Насыщенный водяной парь отъ 0,02 до 20 kg/qcm abs. Табл. I.

Давление at abs. (kg/qcm)	Темпе- ратура ° C	Теплота жидкости Cal/kg	Теплота испарения	Полная теплота $q+r=$	Внутренняя теплота испарения	Удѣльный объемъ cbm/kg	Удѣльный вѣсъ kg/cbm
p	t	q	r	λ	ρ	v_s	γ_s
0,02	17,3	17,3	585,5	602,9	553,6	68,126	0,01468
0,04	28,8	28,8	579,4	608,3	546,3	35,387	0,02826
0,06	36,0	36,0	575,6	611,6	541,7	24,140	0,04142
0,08	41,3	41,4	572,7	614,1	538,2	18,408	0,05432
0,10	45,6	45,7	570,4	616,0	535,4	14,920	0,06703
0,12	49,2	49,3	568,4	617,7	533,1	12,568	0,07956
0,15	53,7	53,8	565,9	619,7	530,1	10,190	0,09814
0,20	59,8	59,9	562,6	622,4	526,1	7,777	0,12858
0,25	64,6	64,8	559,8	624,6	522,9	6,307	0,1586
0,30	68,7	68,9	557,5	626,4	520,2	5,316	0,1881
0,35	72,3	72,5	555,5	628,0	517,8	4,600	0,2174
0,40	75,5	75,7	553,7	629,4	515,6	4,060	0,2463
0,50	80,9	81,2	550,5	631,7	512,0	3,2940	0,3036
0,60	85,5	85,8	547,8	633,7	508,8	2,7770	0,3601
0,70	89,5	89,9	545,5	635,3	506,1	2,4040	0,4160
0,80	93,0	93,5	543,3	636,8	503,6	2,1216	0,4713
0,90	96,2	96,7	541,4	638,1	501,4	1,9003	0,5262
1,0	99,1	99,6	539,7	639,3	499,4	1,7220	0,5807
1,1	101,8	102,3	538,1	640,7	497,5	1,5751	0,6349
1,2	104,2	104,8	536,5	641,3	495,7	1,4521	0,6887
1,4	108,7	109,4	533,7	643,1	492,6	1,2571	0,7955
1,6	112,7	113,4	531,2	644,7	489,7	1,1096	0,9013
1,8	116,3	117,1	528,9	646,0	487,1	0,9939	1,0062
2,0	119,6	120,4	526,8	647,2	484,7	0,9006	1,1104
2,5	126,7	127,7	522,2	649,9	479,4	0,7310	1,3680
3,0	132,8	133,9	518,1	652,0	474,9	0,6163	1,6224
3,5	138,1	139,4	514,5	653,8	470,8	0,5335	1,8743
4,0	142,8	144,2	511,2	655,4	467,2	0,4708	2,1239
4,5	147,1	148,6	508,2	656,8	463,9	0,4217	2,3716
5,0	151,0	152,6	505,5	658,1	460,8	0,3820	2,6177
5,5	154,6	156,3	502,9	659,2	458,0	0,3494	2,8624
6,0	157,9	159,8	500,4	660,2	455,3	0,3220	3,1058
6,5	161,1	163,0	498,1	661,1	452,8	0,2987	3,3481
7,0	164,0	166,1	495,9	662,0	450,4	0,2786	3,5891
7,5	166,8	168,9	493,9	662,8	448,2	0,2611	3,8294
8,0	169,5	171,7	491,8	663,5	446,0	0,2458	4,0683
8,5	172,0	174,3	489,9	664,2	443,9	0,2322	4,3072
9,0	174,4	176,8	488,1	664,9	441,9	0,2200	4,5448
9,5	176,7	179,2	486,3	665,5	440,0	0,2091	4,7819
10,0	178,9	181,5	484,6	666,1	438,2	0,1993	5,018
11,0	183,1	185,8	481,3	667,1	434,6	0,1822	5,489
12,0	186,9	189,9	478,2	668,1	431,3	0,1678	5,960
13,0	190,6	193,7	475,3	668,9	428,2	0,15565	6,425
14,0	194,0	197,3	472,5	669,7	425,2	0,14515	6,889
15,0	197,2	200,7	469,8	670,5	422,4	0,13601	7,352
16,0	200,3	203,9	467,3	671,2	419,7	0,12797	7,814
18,0	206,1	210,0	462,4	672,4	414,6	0,11450	8,734
20,0	211,3	215,5	457,9	673,4	409,8	0,10365	9,648

Составлено по R. Mollier, Neue Tabellen und Diagramme für Wasserdampf.

личина атмосферы нѣсколько отличается отъ нормальной (760 мм.), температура кипѣнія при одной атмосферѣ въ таблицѣ дана 99,1° Ц., а не 100°.

Въ приведенной таблицѣ даны *абсолютныя* давленія пара. Приборы же, указывающіе давленіе на котлахъ, или манометры, даютъ обыкновенно избыточное давленіе пара надъ атмосфернымъ, поэтому для пользованія таблицею къ давленію, показываемому манометромъ всегда нужно прибавлять одну атмосферу и тогда мы получимъ абсолютное давленіе пара въ котлѣ.

5. Влажный и сухой парь. Приведенная выше связь между температурой и давленіемъ остается справедливой до тѣхъ поръ, пока паръ находится въ соприкосновеніи съ водой. Въ этомъ случаѣ отдѣляющіеся съ поверхности пузырьки пара увлекаютъ съ собою механически мельчайшія капельки воды, которыя распредѣляются по всей массѣ пара. Паръ въ такомъ состояніи называется *сырымъ* или *влажнымъ*. Степень влажности характеризуется количествомъ примѣшанной къ пару воды, выраженнымъ въ процентахъ. *Въ практикѣ паръ считается достаточно сухимъ, если количество примѣшанной къ нему воды не превышаетъ 1%.*

6. Перегрѣтый парь. Когда вода въ сосудѣ будетъ испарена, тогда при дальнѣйшемъ приведеніи теплоты будутъ испаряться капли воды, примѣшанныя къ пару. Въ тотъ моментъ, когда вся примѣшанная къ пару вода превратится въ паръ, онъ сдѣлается *сухимъ*, но будетъ еще *насыщеннымъ*. Это есть предѣльное состояніе, при которомъ паръ подчиняется законамъ, выраженнымъ формулой Реньо и приведенной выше таблицей. При дальнѣйшемъ нагрѣваніи паръ становится *перегрѣтымъ* и соотношеніе между давленіемъ и температурой подчиняется совершенно инымъ законамъ.

Для опредѣленія теплоты λ' , содержащейся въ перегрѣтомъ парѣ, съ достаточной точностью можно пользоваться формулой:

$$\lambda' = \lambda + c(t' - t),$$

гдѣ $\lambda = q + q + A_{\text{ри}}$ — полное количество теплоты, заключенной въ насыщенномъ парѣ,

c — средняя теплоемкость перегрѣтаго пара, для интервала $t - t'$,

t' — температура перегрѣтаго пара, въ °Ц,

t — температура насыщеннаго пара, того же давленія, въ °Ц.

Для насыщеннаго пара связь между давленіемъ и объемомъ выражается, согласно Молю, слѣдующимъ равенствомъ

$$p^{\frac{15}{16}} \cdot v = 1,7235$$

p — давленіе (кгр. на кв. сант.), v — удѣльный объемъ (объемъ 1 кгр.).

Давленіе, объемъ и температура перегрѣтаго пара связываются слѣдующей эмпирической формулой, предложенной Цейнеромъ:

$$p \cdot v = 0,00509 (t + 273) - 0,193 p^{0,25},$$

Таблица 2.

Средняя теплоемкость перегрѣтаго пара для интервала между температурой насыщеннаго пара и температурой перегрѣтаго.

p =	1 at	2 at	4 at	6 at	8 at	10 at	12 at	14 at	16 at
t =	99,1 ⁰	119,6 ⁰	142,9 ⁰	158,1 ⁰	169,6 ⁰	179,1 ⁰	187,1 ⁰	194,2 ⁰	200,5 ⁰
t' = 150 ⁰	0,475	0,496	0,528	—	—	—	—	—	—
200 ⁰	0,470	0,488	0,509	0,537	0,565	0,590	0,606	0,618	—
250 ⁰	0,468	0,484	0,499	0,519	0,535	0,548	0,555	0,561	0,562
300 ⁰	0,467	0,482	0,495	0,510	0,521	0,530	0,535	0,539	0,541
350 ⁰	0,468	0,483	0,494	0,505	0,514	0,519	0,522	0,525	0,527
400 ⁰	0,469	0,484	0,493	0,503	0,511	0,517	0,522	0,525	0,527
450 ⁰	0,469	0,486	0,494	0,503	0,510	0,518			
500 ⁰	0,470	0,489	0,496	0,504	0,510	0,518			
550 ⁰	0,472	0,492	0,499	0,505	0,511	0,518			
Хольборнъ и Хеннингъ.		Кноблаухъ, Якобъ и Г. Моллье.				Получено путемъ экстраполяціи.			

гдѣ: p — давленіе перегрѣт. пара въ кгр. на кв. сант., t — температур. перегр. пара въ град. Цельсія и v — удѣльный объемъ (объемъ 1 кгр.) перегрѣт. пара въ куб. метрахъ.

При помощи этой формулы можетъ быть вычисленъ удѣльный объемъ перегрѣтаго пара для даннаго давленія и температурѣ перегрѣва.

Тумлирцемъ предложена ¹⁾ болѣе простая формула, составленная на основаніи опытовъ Бателли:

$$p \cdot v = 0,00467 (t + 273) - 0,0084 p.$$

Обѣ формулы даютъ близко подходящія другъ къ другу результаты.

Теплопроводность перегрѣтаго пара очень мала. Это слѣдуетъ изъ того, что въ одномъ и томъ же сосудѣ можетъ находиться какъ перегрѣтый паръ, такъ и насыщенный; въ длинныхъ трубопроводахъ, проводящихъ перегрѣтый паръ, всегда присутствуетъ конденсаціонная вода; если перегрѣтый паръ въ сосудѣ не двигается, то температура въ одномъ мѣстѣ сосуда можетъ очень сильно отличаться отъ температуры пара въ другомъ мѣстѣ; струя воды, введенная въ перегрѣтый паръ, очень медленно и незначительно понижаетъ его температуру.

¹⁾ Р. Линде нѣсколько измѣнилъ численныя значенія коэффициентовъ въ уравненіи Тумлирца:

$$p \cdot v = 0,00471 \cdot (t + 273) - 0,016 p$$

или

$$p (v + 0,016) = 0,00471 \cdot (t + 273)$$

Прим. ред.

7. Образование пузырьковъ пара. При нагреваніи воды въ сосудѣ замѣчается, что пузырьки пара образуются только въ извѣстныхъ мѣстахъ, всегда однѣхъ и тѣхъ же, и послѣдовательно отдѣляются, если условія нагреванія остаются одни и тѣ же.

До тѣхъ поръ, пока вся масса жидкости не нагреется до температуры кипѣнія, пузырьки пара, образовавшіеся въ нижнихъ слояхъ, уменьшаются, по мѣрѣ того какъ они поднимаются на поверхность, такъ какъ, проходя черезъ слои, менѣе нагрѣтые, они отдаютъ имъ свою скрытую теплоту, и конденсируясь, уменьшаются въ объемѣ. Напротивъ, когда вся жидкость приметъ температуру кипѣнія, пузырьки пара, поднимаясь вверхъ, увеличиваются въ объемѣ.

Это увеличеніе объема зависитъ отъ двухъ причинъ: 1) отъ уменьшенія давленія въ верхнихъ слояхъ и 2) отъ испаренія, которое продолжается на всей поверхности пузырька.

8. Теорія кипѣнія, особые виды выпариванія. Для того, чтобы кипѣніе началось при нормальной температурѣ, необходимо, чтобы въ массѣ жидкости заключался какой-нибудь газъ.

Что кипѣніе есть особый родъ испаренія, впервые высказалъ *Лякомъ* и впоследствии подтвердилъ *Жерве*, который произвелъ слѣдующіе опыты. Въ стеклянный сосудъ, наполовину наполненный водой, вводится стеклянная трубочка съ колоколомъ на концѣ, содержащимъ небольшой пузырекъ воздуха. При нагреваніи замѣчается, что воздушный пузырекъ начинаетъ увеличиваться въ объемѣ и изъ-подъ колокола начинаютъ послѣдовательно выходить пузырьки пара, при чемъ въ остальныхъ частяхъ сосуда кипѣнія не замѣчается.

Въ сосудъ, содержащій кипящую воду, вводятъ маленькую стеклянную чашечку, которая предварителью была хорошо вымыта въ алкогольѣ, чтобы уничтожить на стеклѣ присутствіе воздуха. Чашечкой накрываютъ одинъ изъ пузырьковъ кипящей жидкости; этотъ пузырекъ располагается въ верхней части чашечки и сейчасъ же становится центромъ очень энергичнаго парообразованія. Изъ-подъ чашечки начинаетъ выдѣляться множество пузырьковъ, слѣдующихъ одинъ за другимъ. Если черезъ нѣсколько времени прекратить нагреваніе жидкости, то кипѣніе остановится, паръ, содержащійся въ чашечкѣ, конденсируется и въ верхней ея части станетъ замѣтно присутствіе маленькаго воздушнаго пузырька.

Чтобы въ массѣ жидкости могло начаться образованіе пузырьковъ, не достаточно, чтобы въ этой жидкости находился газъ въ растворенномъ видѣ, необходимо, чтобы газъ присутствовалъ въ свободномъ состояніи. При нагреваніи воды до 60° — 70° Ц. начинается выдѣленіе воздуха, и предполагаютъ, что при этой температурѣ весь растворенный воздухъ уже выдѣленъ. На самомъ дѣлѣ это не такъ: нѣкоторая часть воздуха еще удержана водой, такъ какъ онъ оказывается въ конденсированныхъ парахъ. Этотъ остаточный воздухъ, повидимому, выдѣляется только при температурѣ кипѣнія, вслѣдствіе сродства къ стѣнкамъ сосуда. По крайней мѣрѣ, это слѣдуетъ изъ одного опыта *Жерве*, который показываетъ, что можно воду, содержащую въ растворенномъ видѣ

воздухъ, нагрѣвать до температуры высшей, чѣмъ точка кипѣнія, безъ того, чтобы кипѣніе началось. Кипѣніе начинается только послѣ того, какъ температура повысится на столько, что содержащіеся въ жидкости газы начнутъ выдѣляться въ свободномъ состояніи, или же это выдѣленіе газа будетъ произведено какимъ-либо другимъ способомъ, независимо отъ повышенія температуры. Для подтвержденія этого *Жерве* вводилъ въ сосудъ, содержащій воду, нагрѣтую до температуры выше 100° Ц., стеклянную чашечку и палочку. Сосудъ, чашечка и палочка были старательно обмыты, чтобы вмѣстѣ съ ними не могъ попасть въ жидкость воздухъ. Если палочкой тереть о чашечку, то, вслѣдствіе этого, оставшійся въ растворѣ воздухъ выдѣляется и кипѣніе сейчасъ же начинается.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что если сама жидкость въ сосудѣ, въ которомъ она заключена, не содержитъ совершенно свободныхъ газовъ, то кипѣніе не можетъ начаться при нормальной температурѣ.

Пузырьки пара образуются всегда около стѣнокъ нагрѣваемого сосуда и никогда не могутъ образоваться внутри самой жидкости. Но если въ середину сосуда ввести какое-нибудь твердое тѣло, то на всей его поверхности начнетъ образованіе пузырьковъ пара, т.-е. оно дѣйствуетъ какъ поверхность нагрѣва, хотя на самомъ дѣлѣ и не находится въ соприкосновеніи съ источникомъ тепла. Слѣдовательно, для того, чтобы внутри жидкости началось образованіе пузырьковъ пара, необходимо одновременно присутствіе молекулы твердаго тѣла и молекулы газообразнаго тѣла.

9. Форма и путь пузырьковъ пара. Первоначальная форма пузырька пара, находящагося въ соприкосновеніи со стѣнкой сосуда, есть полусфера, опирающаяся на стѣнку большимъ кругомъ. Увеличиваясь въ объемѣ, пузырекъ принимаетъ форму груши, и такъ какъ жидкость около нагрѣваемой стѣнки находится въ довольно сильномъ движеніи, то пузырекъ постепенно удлиняется, пока онъ не будетъ совершенно оторванъ и увлеченъ потокомъ жидкости.

Если жидкость двигается горизонтально надъ нагрѣваемой стѣнкой, то пузырекъ принимаетъ форму эллипсоида, при восходящемъ же движеніи струи пузырекъ имѣетъ форму приплюснутой сферы.

Но какъ только пузырекъ выйдетъ изъ струи жидкости, которая всегда движется надъ нагрѣваемой поверхностью, его скорость и направленіе движенія измѣняются въ зависимости отъ того, подымается ли пузырекъ внутри массы жидкости или по стѣнкѣ сосуда. Двигающійся такимъ образомъ пузырекъ представляется въ видѣ тѣмъ болѣе приплюснутой сферы, чѣмъ больше объемъ пузырька. Если пузырекъ подымается около стѣнки, то онъ движется наклонно, если же онъ подымается внутри жидкости, то онъ движется по винтовой линіи, шагъ и діаметръ которой тѣмъ больше, чѣмъ больше объемъ пузырька. Скорость же восхожденія, измѣряемая по вертикальному направленію, уменьшается съ возрастаніемъ объема пузырька.

Вмѣстѣ съ потокомъ движутся и пузырьки пара, большинство пузырьковъ прорывается на поверхность жидкости, но нѣкоторые изъ нихъ увлекаются потокомъ при нисходящемъ движеніи, пузырьки сопротивляются этому движенію, нѣкоторое время они остаются почти безъ всякаго движенія, пока не примутъ форму, позволяющую имъ подниматься вверхъ противъ теченія. Такое движеніе жидкости легко наблюдать, производя кипяченіе воды въ стеклянномъ цилиндрическомъ сосудѣ, и для большей ясности явленія въ воду нужно бросить какія-нибудь легкія тѣла, бумажки и т. п.

Скорость движенія потока при кипяченіи тѣмъ сильнѣе, чѣмъ сильнѣе кипѣніе; но при этомъ, какъ бы сильно кипѣніе ни было, отдѣльные пузырьки пара, образующіеся на стѣнкѣ сосуда, никогда не сливаются вмѣстѣ, а все время остаются раздѣльными другъ отъ друга.

Если какая-нибудь изъ брошенныхъ въ жидкость бумажекъ падаетъ случайно на поверхность нагрѣва, то она почти не движется по ней въ горизонтальномъ направленіи, что указываетъ на то, что на поверхности нагрѣва жидкость находится въ покоѣ, хотя въ то же время на разстояніи 1 мм. надъ поверхностью нагрѣва существуетъ очень сильный потокъ въ горизонтальномъ направленіи.

Это явленіе можетъ быть объяснено силой сцѣпленія, которую оказываютъ на жидкость стѣнки сосуда.

10. Вліяніе размѣра свободной поверхности. Если свободная поверхность испаренія меньше, чѣмъ обогрѣваемая поверхность, то движеніе жидкости внутри сосуда замѣчается въ менѣе сильной степени. Отдѣльные пузырьки, прежде чѣмъ выйти на поверхность, соединяются по нѣскольку вмѣстѣ, и количество пара, выдѣляемое поверхностью, оказывается значительно меньше.

Если сосудъ между поверхностью нагрѣва и свободной поверхностью имѣетъ сжатіе, то вся часть жидкости, лежащая поверхъ этого сжатія, не участвуетъ въ движеніи, и паръ выдѣляется на поверхность въ значительно меньшей степени; пузырьки, дойдя до суженія, сливаются другъ съ другомъ, и это сливаніе отдѣльныхъ пузырьковъ происходитъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше суженіе.

Въ этомъ случаѣ испареніе происходитъ только около обогрѣваемой стѣнки и около всплывающихъ пузырьковъ, свободная же поверхность въ испареніи совершенно не участвуетъ. Нагрѣтыя молекулы, не соприкасаясь съ ней, не отдаютъ ей своей теплоты, такимъ образомъ уменьшаютъ передачу теплоты къ свободной поверхности, которая остается почти бездѣятельной въ смыслѣ испаренія.

11. Сфероидальное состояніе. Если брызнуть каплю воды на металлическую поверхность, нагрѣтую до краснаго каленія, то будетъ замѣчаться явленіе, которое, повидимому, находится въ противорѣчій съ законами парообразованія и кипѣнія. Дѣйствительно, вода, попавшая на раскаленную поверхность, разбивается на мелкія капли, сфероидальныя формы, которыя приходятъ въ быстрое вращательное движеніе. Внутри этихъ капель не происходитъ кипѣнія, но онѣ понемногу испа-

ряются, такъ какъ, постепенно уменьшаясь въ объемѣ, онѣ совершенно исчезаютъ.

При введеніи воды на раскаленную поверхность осторожно, при помощи трубочки, можно заставить слиться нѣсколько маленькихъ капель въ одну большую, которая при этомъ принимаетъ форму сфероида, тѣмъ болѣе приплюснутаго, чѣмъ больше его объемъ.

Если металлическая поверхность съ находящимся на ней сфероидомъ жидкости будетъ охлаждаться, то при нѣкоторой температурѣ сфероидальное состояніе прекратится, вода смочитъ металлическую поверхность, сразу наступитъ бурное кипѣніе и быстрое превращеніе жидкости въ паръ.

Бутинъ занимался специально изученіемъ сфероидальнаго состоянія: онъ погружалъ маленькій термометръ во внутрь сфероида и, несмотря на то, что показанія термометра увеличивались вслѣдствіе вліянія лучистой теплоты, термометръ никогда не показывалъ температуры, соответствующей нормальной температурѣ испаренія, его показанія были около 95° Ц.

Потомъ М. Берже провѣрялъ эти измѣренія. Ему удалось получить сфероидъ очень большой величины, до 500 куб. сант.; онъ нашелъ, что температура высшихъ слоевъ такого сфероида колеблется около 90° Ц., а температура нижнихъ слоевъ — около 97° Ц., вѣроятно потому, что въ нижнихъ слояхъ больше сказывается вліяніе лучистой теплоты металлической поверхности.

Но если температура внутри сфероида всегда ниже, чѣмъ нормальная температура испаренія, то температура паровъ, отдѣляемыхъ сфероидомъ, всегда равна температурѣ раскаленной металлической стѣнки.

При сфероидальномъ состояніи между жидкостью и нагрѣтымъ тѣломъ не существуетъ соприкосновенія. Для подтвержденія этого Пагендорфъ произвелъ слѣдующій опытъ: къ нагрѣтой металлической чашкѣ прикрѣплялся одинъ проводникъ гальванической батареи, другой конецъ соединялся съ каплей жидкости, находящейся въ сфероидальномъ состояніи. До тѣхъ поръ, пока сфероидальное состояніе имѣло мѣсто, гальванометръ не указывалъ въ цѣпи присутствія тока, но какъ только температура чашки понижалась настолько, что сфероидальное состояніе уничтожалось, цѣпь замыкалась, что и служило указаніемъ того, что жидкость смочила и соприкоснулась съ металлической поверхностью.

Чтобы сфероидальное состояніе имѣло мѣсто, нѣтъ необходимости, чтобы металлъ былъ нагрѣтъ до краснаго каленія, нужно только, чтобы его температура превосходила 170° Ц.

Сфероидальное состояніе объясняется тѣмъ, что между жидкостью и горячей стѣнкой образуется слой паровъ, которые, приобрѣтая отъ нагрѣванія большую упругость, не позволяютъ жидкости соприкасаться со стѣнкой и въ то же время, являясь дурнымъ проводникомъ теплоты, допускаютъ лишь незначительное испареніе жидкости.

Передача тепла чрезъ котельную стѣнку.

12. Поглощеніе тепла поверхностью стѣнки. Поверхность котельной стѣнки поглощаетъ теплоту двумя способами:

- 1) Непосредственнымъ соприкосновеніемъ съ горячими газами.
- 2) Обмѣномъ лучистой теплотой съ раскаленными тѣлами, находящимися по сосѣдству со стѣнкой.

Обозначая чрезъ:

$Q_{\text{сопр.}}$ — (калор.) количество тепла, поглощаемое стѣнкой въ часъ при непосредственномъ соприкосновеніи съ газами,

$t_{\text{газъ}}$ — (град. Ц.) температуру газовъ,

ϑ_1 — (град. Ц.) температуру поверхности стѣнки,

H_k — поверхность стѣнки котла (кв. метр.),

α_1' — коэффициентъ теплопередачи для поверхности соприкосновенія согласно закону Ньютона, будемъ имѣть:

$$Q_{\text{сопр.}} = \alpha_1' H_k (t_{\text{газъ}} - \vartheta_1) \dots \dots \dots (1)$$

Количество тепла, передающееся лучеиспусканіемъ, согласно закону Стефана-Больцмана, будетъ:

$$Q_{\text{луч.}} = c \cdot \varphi \cdot H_{\text{луч.}} \left[\left(\frac{t_{\text{луч.}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\vartheta_1 + 273}{100} \right)^4 \right] \dots \dots \dots (2)$$

здѣсь:

$H_{\text{луч.}}$ — поверхность лучеиспускающаго тѣла (кв. метры),

$t_{\text{луч.}}$ — температура лучеиспускающаго тѣла (въ котлахъ зависитъ отъ температуры газовъ и приблизительно равна ей),

φ — относительное количество тепловыхъ лучей, падающихъ на котельную стѣнку,

c — коэффициентъ лучеиспусканія.

Общее количество тепла, поглощаемое 1 кв. метромъ котельной стѣнки въ единицу времени будетъ:

$$\frac{Q}{H_k} = \frac{Q_{\text{сопр.}} + Q_{\text{луч.}}}{H_k} = \alpha_1' (t_{\text{газъ}} - \vartheta_1) + c \cdot \varphi \cdot \frac{H_{\text{луч.}}}{H_k} \left[\left(\frac{t_{\text{луч.}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\vartheta_1 + 273}{100} \right)^4 \right] \dots \dots \dots (3)$$

Мы видимъ, что количество тепла, поглощеннаго 1 кв. м., въ одинъ часъ будетъ зависѣть:

- 1) отъ коэффициента теплопередачи поверхности соприкосновенія α_1' ,
- 2) отъ $\frac{H_{\text{луч.}}}{H_k}$, т.-е. отъ отношенія лучеиспускающей и поглощающей поверхности,
- 3) отъ φ — т.-е., отъ относительнаго количества падающихъ лучей, что зависитъ отъ относительнаго расположенія поверхностей, обмѣнива-

ющихся лучистой теплотой; наиболее выгоднымъ будетъ тотъ случай, когда эти поверхности расположены параллельно между собой.

4) Отъ коэффициента лучеиспусканія ϵ ; стѣнка, покрытая сажей, будетъ поглощать тепло лучше, чѣмъ полированная поверхность. Поэтому небольшой налетъ сажи полезенъ, пока онъ не сильно понижаетъ дальнѣйшую теплопроводность стѣнки.

5) Отъ разности температуръ $(t_{\text{газ}} - \vartheta_1)$ и $(t_{\text{луч.}} - \vartheta_1)$, при чемъ поглощеніе возрастаетъ не прямо пропорціонально этой разности, а болѣе быстро, такъ какъ во второмъ членѣ температуры входятъ въ четвертыхъ степеняхъ. Чѣмъ выше температура лучеиспускающаго тѣла, тѣмъ сильнѣе будетъ вліяніе второго члена.

Обыкновенно совмѣстное дѣйствіе передачи тепла непосредственнымъ соприкосновеніемъ и лучеиспусканіемъ выражаютъ болѣе простой зависимость

$$Q = \alpha_1 H_k (t_{\text{газ}} - \vartheta_1), \dots \dots \dots (4)$$

но при этомъ необходимо помнить, что въ такой простой формулѣ коэффициентъ *внѣшней теплопередачи* α_1 является величиной *переменной*, зависящей не только отъ состоянія поверхности нагрѣва, но также и отъ ϵ , φ , отношенія $H_{\text{луч.}} : H_k$ и отъ температуры газовъ, такъ что въ различныхъ мѣстахъ котла онъ будетъ различенъ, въ зависимости отъ того, какое участіе въ этомъ мѣстѣ принимаетъ лучеиспусканіе.

13. Полный коэффициентъ теплопередачи чистой стѣнки. Поглощенное поверхностью стѣнки тепло отъ газовъ, передается другой ея поверхностью водѣ или пару. Разсмотримъ случай чистой стѣнки, при чемъ размѣры поверхностей, омываемыхъ газами и водой, предположимъ неодинаковыми. Обозначимъ ихъ $H_{\text{газ}}$ и $H_{\text{вода}}$, далѣе назовемъ черезъ

ϑ_1, ϑ_6 — температуры газовой и водяной поверхности стѣнки,
 λ_2 — коэффициентъ внутренней теплопроводности стѣнки,
 α_1, α_4 — коэффициенты прохожденія тепла черезъ поверхности,
 δ_2 — толщину стѣнки
 $t_{\text{газ}}, t_{\text{вода}}$ — температуры газовъ и воды, омывающихъ стѣнку.

Тогда количество тепла (Q калор.), передающееся въ 1 часъ черезъ стѣнку будетъ:

$$Q = H_{\text{газ}} \alpha_1 (t_{\text{газ}} - \vartheta_1) = H_{\text{вода}} \alpha_4 (\vartheta_6 - t_{\text{вода}}),$$

откуда

$$\vartheta_1 = t_{\text{газ}} - \frac{Q}{H_{\text{газ}} \alpha_1}; \quad \vartheta_6 = t_{\text{вода}} + \frac{Q}{H_{\text{вода}} \alpha_4} \dots \dots \dots (5)$$

Выдѣлимъ внутри стѣнки безконечно тонкій слой, отстояцій на разстояніи x отъ внутренней поверхности. Назовемъ поверхность этого слоя черезъ H , температуру — ϑ , тогда при установившемся процессѣ должны имѣть

$$Q = H \cdot \lambda_2 \frac{d\vartheta}{dx} \quad \text{или} \quad d\vartheta = \frac{Q}{H \cdot \lambda_2} \cdot dx.$$

Интегрируемъ это выраженіе въ предѣлахъ отъ $x=0$ до $x=\delta_2$ получимъ

$$\vartheta_1 - \vartheta_6 = \frac{Q}{\lambda_2} \int_0^{\delta} \frac{dx}{H}$$

подставляя сюда полученные для ϑ_1 и ϑ_6 выраженія (5) найдемъ

$$Q = \frac{t_{\text{газъ}} - t_{\text{вода}}}{\frac{1}{H_{\text{газъ}} a_1} + \frac{1}{H_{\text{вода}} a_4} + \frac{1}{\lambda_2} \int_0^{\delta} \frac{dx}{H}} \dots \dots \dots (6)$$

Сравнивая это выраженіе съ выраженіемъ

$$Q = K' \cdot H_{\text{газъ}} (t_{\text{газъ}} - t_{\text{вода}})$$

получимъ выраженіе для полного коэффициента теплопередачи чистой стѣнки K'

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{H_{\text{газъ}}}{H_{\text{вода}}} \cdot \frac{1}{a_4} + \frac{H_{\text{газъ}}}{\lambda_2} \int_0^{\delta} \frac{dx}{H}} \dots \dots \dots (7)$$

Если $H_{\text{газъ}} = H_{\text{вода}} = H$, что съ достаточной точностью можно принять для котельныхъ стѣнокъ, то

$$K'_{\text{чист.}} = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_6} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} \dots \dots \dots (8)$$

14. Общій коэффициентъ теплопередачи котельной стѣнки K .

На самомъ дѣлѣ стѣнка чистой никогда вполнѣ не бываетъ и представляетъ сложное тѣло, состоящее изъ нѣсколькихъ слоевъ (металлъ, покрытый съ одной стороны налетомъ сажи и золы, а съ другой — накипью), а потому при дальнѣйшемъ прохожденіи поглощенной внѣшней поверхностью теплоты послѣдней приходится преодолевать сопротивленія при прохожденіи изъ одного слоя въ другой и внутри всѣхъ этихъ слоевъ; вслѣдствіе этого общій коэффициентъ теплопередачи K складывается изъ коэффициентовъ теплопередачи отдѣльныхъ слоевъ.

Обозначимъ черезъ

$\vartheta_1 \vartheta_2 \vartheta_3 \vartheta_4 \vartheta_5 \vartheta_6$ — температуры поверхностей (град. Ц.) слоевъ сажи, металла и накипи,

$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$ — коэффициенты внутренней теплопроводности тѣхъ же слоевъ,

$a_1 a_2 a_3 a_4$ — коэффициенты прохожденія тепла для соприкасающихся поверхностей.

$t_{\text{газъ}} t_{\text{в}} — температуры (град. Ц.) газовъ и воды или пара въ котлѣ. Тогда, согласно законовъ передачи тепла, будемъ имѣть:$

135751

$$Q = KH_k(t_{\text{газ}} - t_k) = \alpha_1 H_k(t_{\text{газ}} - \vartheta_1) = \frac{\delta_1}{\lambda_1} H_k(\vartheta_1 - \vartheta_2) = \alpha_2 H_k(\vartheta_2 - \vartheta_3) = \\ = \frac{\delta_2}{\lambda_2} H_k(\vartheta_3 - \vartheta_4) = \alpha_3 H_k(\vartheta_4 - \vartheta_5) = \frac{\delta_3}{\lambda_3} H_k(\vartheta_5 - \vartheta_6) = \alpha_4 H_k(\vartheta_6 - t_k), \quad (9)$$

откуда общий коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_4}} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (10)$$

Величинами $\frac{1}{\alpha_2}$ и $\frac{1}{\alpha_3}$, какъ весьма малыми по сравненію съ другими, можно пренебречь, тогда

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_4}} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (11)$$

Для кипящей воды $\alpha_4 = 4000$ до 6000 (Hütte изд. 21, стр. 40;

„ спокойной некипящей воды $\alpha_4 = 500 - 1000$;

„ сажи $\lambda_1 = 0,20$;

„ масла $\lambda_3 = 0,15$;

„ накипи $\lambda_3 = 2,00$;

„ желѣза $\lambda_2 = 50,00$

„ мѣди $\lambda_2 = 320,00$

Для чистой желѣзной стѣнки, толщиной 20 мм. ($\delta_r = 0,02$ м.), $\delta_1 = 0$, $\delta_3 = 0$, $\alpha_1 = 20$, слѣдовательно

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_4}} \simeq 20 = \alpha_1, \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (12)$$

при чемъ $\frac{1}{\alpha_4} = 1/5000 \quad \cdot \cdot \cdot \quad 1$

$\frac{\delta_2}{\lambda_2} = 0.02/50 \quad \cdot \cdot \cdot \quad 2$

$\frac{1}{\alpha_1} = 1/20 \quad \cdot \cdot \cdot \quad 250$

Изъ этого видно, что если сопротивленіе при переходѣ тепла отъ стѣнки къ водѣ принять за 1, то сопротивленіе при проходѣ въ самой стѣнкѣ будетъ 2, а при переходѣ отъ газовъ къ стѣнкѣ будетъ 250.

Слѣдовательно величины $\frac{1}{\alpha_4}$ и $\frac{\delta_2}{\lambda_2}$ являются ничтожными по сравненію съ

величиной $\frac{1}{\alpha_1}$, и потому практически совершенно безразлично изъ чего сдѣлана котельная стѣнка, изъ желѣза или изъ обладающей большей теплопроводностью мѣди.

Въ виду малыхъ значеній $\frac{\delta_2}{\lambda_2}$ и $\frac{1}{\alpha_4}$ по сравненію съ $\frac{1}{\alpha_1}$ можно считать, что для чистой котельной стѣнки полный коэффициентъ теплопередачи K приблизительно равенъ α_1 коэффициенту прохожденія теплоты черезъ наружную поверхность стѣнки¹⁾.

Итакъ, количество тепла, передающагося чрезъ котельную стѣнку водѣ или пару въ единицу времени будетъ²⁾:

$$Q = K \cdot H_k \cdot (t_{\text{газъ}} - t_k) \dots \dots \dots (13).$$

Слѣдовательно, для повышенія теплопередачи, мы должны повышать K и увеличивать разность температуръ $(t_{\text{газъ}} - t_k)$.

Изъ выраженія (11) видно, что для увеличенія K нужно уменьшать толщину налетовъ сажи и накипи (δ_1 и δ_3), при чемъ особенно вреднымъ оказывается сажа, для которой $\lambda_1 = 0,20$. Для накипи $\lambda_2 = 2,00$, слѣдовательно сопротивленіе сажи для прохода тепла въ 10 разъ больше, чѣмъ сопротивленіе накипи. Налетъ масла еще вреднѣе — для него $\lambda_3 = 0,15$. Изъ этого ясно, что нужно стѣнку поддерживать въ чистомъ состояніи. Затѣмъ нужно увеличивать коэффициентъ поглощенія поверхности α_1 , а это, какъ мы видѣли, въ сильной степени зависитъ отъ дѣйствія лучеиспусканія, поэтому для увеличенія теплопередачи чрезъ котельную стѣнку выгодно по сосѣдству съ ней помѣщать раскаленные тѣла (слой топлива, яркое пламя, кирпичную обмуровку и друг.) и, наоборотъ, не слѣдуетъ помѣщать болѣе холодныхъ тѣлъ, напримѣръ, рядомъ съ перегрѣвателемъ пара котельную стѣнку, такъ какъ при этомъ болѣе горячій перегрѣватель будетъ излучать на холодную стѣнку и его K получится меньше.

Наконецъ нужно увеличить коэффициентъ теплопередачи α_4 , на который, какъ показываютъ опыты, оказываетъ вліяніе скорость движенія воды, омывающей стѣнку. Чѣмъ сильнѣе циркуляція воды, тѣмъ болѣе омывается стѣнка водой и менѣе паромъ, а вслѣдствіе этого повышается и α_4 .

Что касается до увеличенія разности $(t_{\text{газъ}} - t_k)$, то для этого нужно газъ заставлять хорошо перемѣшиваться. Температура газовъ около поверхности стѣнки всегда ниже, чѣмъ въ остальной массѣ, такъ какъ при соприкосновеніи съ поверхностью газы охлаждаются. При энергичномъ перемѣшиваніи температура газовъ около стѣнки приближается къ средней температурѣ остальной массы, вслѣдствіе чего и теплопередача увеличивается. Такъ какъ мы обыкновенно измѣряемъ среднюю температуру

¹⁾ Нужно замѣтить, что это будетъ практически справедливо въ томъ случаѣ когда $H_{\text{газъ}} = H_{\text{вода}}$, но если эти величины сильно отличаются (какъ, напримѣръ, въ ребристыхъ нагрѣвателяхъ) тогда, какъ видно изъ форм. (7) множители $H_{\text{газъ}}/H_{\text{вода}}$ могутъ дать величину K , сильно отличающуюся отъ α_1 .

²⁾ Замѣтимъ, что если $H_k = 1$ и $t_{\text{газъ}} - t_{\text{вода}} = 1$, то $K = Q$, т.-е. вообще коэффициентъ теплопередачи представляетъ собой количество тепла (калор.), передающееся черезъ единицу поверхности стѣнки (1 кв. метръ) при разности температуръ $(t - t_{\text{газъ}} - t_{\text{вода}})$ въ 1 град. Ц.

газовъ, а по сосѣдству со стѣнкой измѣрить ее не можемъ, то при испытаніи въ формулу (13) вставляется всегда нѣсколько высшая температура ($t_{\text{газъ}}$), чѣмъ та, подъ вліяніемъ которой теплопередача происходитъ, а потому при получаемой изъ опыта величинѣ Q наблюдаемый K получается уменьшеннымъ. При хорошемъ перемѣшиваніи температура газовъ около стѣнки приближается къ температурѣ ($t_{\text{газъ}}$), вставляемой въ формулу, и K какъ бы увеличивается.

Перемѣшиваніе газовъ достигается и повышеніемъ скорости ихъ движенія. При повышеніи скорости газовъ увеличивается треніе ихъ о стѣнки каналовъ, вслѣдствіе чего порождаются вихревыя движенія, которыя и перемѣшиваютъ газы.

Тѣхъ же результатовъ, въ смыслѣ повышенія температуры прилегающихъ къ поверхностямъ нагрѣва частицъ газовъ, можно достигъ искусственнымъ перемѣшиваніемъ газовъ, ставя въ каналахъ перегородки и другія препятствія.

Точно такъ же для увеличенія разности ($t_{\text{газъ}} - t_k$) нужно заставлять воду, омывающую стѣнку, циркулировать и этимъ отводить отъ стѣнки нагрѣвшіяся частицы воды, замѣняя ихъ болѣе холодными.

15. Температура котельной стѣнки. Температуру котельной стѣнки можно опредѣлить изъ равенства (9), считая, что $\frac{1}{a_2} = \frac{1}{a_3} = 0$.

$$\vartheta_3 = t_k + \frac{Q}{H_k} \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{a_4} \right) \dots \dots \dots (14).$$

Изъ этого видно, что температура котельной стѣнки будетъ тѣмъ выше, чѣмъ выше температура воды или пара, омывающихъ стѣнку, чѣмъ больше передается тепла $\left(\frac{Q}{H_k} \right)$ черезъ единицу поверхности нагрѣва въ часъ, чѣмъ толще стѣнка (δ_2), чѣмъ толще слой накипи (δ_3) и чѣмъ менѣе онъ теплопроводенъ (λ_3). Для желѣза $\lambda_2 = 50$, для накипи $\lambda_3 = 2$, для масла $\lambda_3 = 0,15$. Такимъ образомъ, особенно вреднымъ является налетъ масла. Толстый налетъ сажи, который при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ понижаетъ величину Q , будетъ уменьшать и температуру стѣнки.

Чтобы характеризовать, какъ различные факторы могутъ отзываться на величинѣ K и на температурѣ стѣнки и показать, какихъ температуръ можетъ достигать стѣнка въ различныхъ частяхъ котла, приведена табл. 3, вычисленная проф. *К. В. Киршемъ*. При вычисленіи этой таблицы a_1 принималось нѣсколько больше по сравненію съ величиной K , обычно получаемой при испытаніи котловъ, и затѣмъ K , приведенное въ табл. II, снова пересчитывалось по формулѣ (12), чтобы показать при этомъ малую разницу между K и a_1 . Изъ этой таблицы видно, что при измѣненіи скорости циркуляціи въ экономайзерѣ (послѣдніе элементы поверхности нагрѣва котельной установки, служащіе для подогрева питательной воды, поступающей въ котель) коэффициентъ a_4 повышается отъ

500 до 2000, но при этомъ K почти не измѣняется (14,8 и 14,45), что указываетъ на то, что скорость циркуляціи въ экономайзерахъ значенія не имѣетъ ¹⁾.

Изъ таблицы видно, что накипь въ экономайзерѣ толщиной въ 5 мм. понижаетъ K на 3,8%, а слой сажи въ 2 мм. понижаетъ K на 13%. Отсюда слѣдуетъ, что накипь на стѣнкахъ гладкотрубнаго экономайзера оказываетъ малое вліяніе, тогда какъ налетъ сажи очень вреденъ. Для поддержанія хорошаго K необходимо поверхность очищать отъ сажи.

Если желѣзную трубу котла замѣнить мѣдной, то, какъ видно изъ таблицы, K измѣнится всего на 0,3%.

Циркуляція воды, способная измѣнить α_1 отъ 1000 до 5000, измѣняетъ при этомъ K всего 1,5%, т.-е. очень незначительно.

Накипь въ заднихъ частяхъ поверхности нагрѣва мало измѣняетъ K ; при толщинѣ накипи въ 5 мм. K уменьшается на 5%. Болѣе сильно дѣйствуетъ масло: налетъ въ 1 мм. понижаетъ K на 11,5%; также сильно понижаетъ K налетъ сажи, при толщинѣ въ 2 мм. K уменьшается на 16,6%. При внутреннемъ загрязненіи температура металлической стѣнки замѣтно повышается. Вообще при загрязненіи накипью условія работы заднихъ ходовъ измѣняются не особенно рѣзко. Болѣе замѣтное вліяніе оказываютъ налеты сажи и золы, почему *поверхность нагрѣва нужно особенно старательно содержать въ чистотѣ съ внешней стороны.*

По мѣрѣ того какъ возрастаютъ температуры газовъ и соотвѣтственно увеличивается α_1 , вліяніе накипи на K сказывается сильнѣе. Но главнымъ образомъ присутствіе накипи вредно тѣмъ, что вызываетъ повышеніе температуры стѣнки. Совершенно чистая стѣнка даже при очень сильномъ напряженіи ($\frac{Q}{H_k} = 300.000$ калор., или 470 кгр. въ часъ нормальнаго пара), подвергаясь непосредственному дѣйствію лучистой теплоты раскаленного слоя топлива, не нагрѣвается выше 275° Ц. Но та же стѣнка, покрытая накипью въ 2 мм. пріобрѣтаетъ при этомъ напряженіи температуру выше 500° Ц., т.-е. прочность желѣза при этомъ значительно уменьшается (см. причины, ослабляющія крѣпость желѣза).

Котельная стѣнка, омываемая газами при температурѣ 1000° Ц., но не подверженная прямому излученію топки, даже при сильномъ загрязненіи накипью (10 мм.), нагрѣвается лишь до 364° Ц., т.-е. до температуры, при которой прочность желѣза еще сохраняетъ нормальную величину.

¹⁾ Тутъ же можно отмѣтить, что принципъ встрѣчнаго движенія воды и газовъ въ экономайзерахъ оказываетъ вліяніе на K въ томъ смыслѣ, что при встрѣчномъ движеніи средняя разность температуръ газовъ и воды ($t_{\text{газ}} - t_{\text{вода}}$) получается большая а потому и количество тепла передается черезъ поверхность экономайзера больше, чѣмъ при параллельномъ движеніи. Въ приближенную же формулу входитъ одна и та же величина ($t_{\text{газ}} - t_{\text{вода}}$) какъ для встрѣчнаго, такъ и для параллельнаго тока, а потому вычисленный для встрѣчнаго тока K на основаніи испытанія получается какъ бы болѣе высокій. По указанной здѣсь причинѣ экономайзеръ Грина и другіе циркуляціонные экономайзеры работаютъ различно.

ТАБЛИ

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_4}}$$

	α_1	стѣнка		внѣшнее за- грязненіе.		внутреннее за- грязненіе.	
		δ_2 и λ_2	λ_2	δ_1	λ_1	δ_3	λ_3
Экономейзеръ Грина.	15	0,01	50	0	0	0	0
	"	"	"	"	"	"	"
	"	"	"	"	"	0,005	2
	"	"	"	0,002	0,2	0	0
Вторые ходы водотрубныхъ котловъ ср. $t_{\text{газъ}} \sim 400^\circ$.	20	0,003	50 жел.	0	0	0	0
	"	0,003	300 мѣдь	0	0	0	0
	"	"	50	0	0	0	0
	"	"	"	0,002 сажа зола.	0,2	0	0
	"	"	"	0	0	0,002	2,0 накипь.
	"	"	"	0	0	0,005	2,0 накипь.
	"	"	"	0	0	0,001	0,15 масло.
	"	"	"	0,002	0,2	0,005 + 0,001	2,0 0,15
	"	"	"	"	"	"	"
Первые ходы водотрубныхъ котловъ	30	0,003	50	0	0	0	0
	"	"	"	0,002	0,2	0	0
	"	"	"	"	"	0,005	2,0
Начало 1-го хода, 2—3-й рядъ тр., не получающій теплоты прямымъ излу- ченіемъ топки.	50	0,003	50	0	0	0	0
	"	0,003	"	0	0	0,005	2,0
	"	"	"	0	0	0,010	2,0

ЦА 3.

$$\text{Температура стѣнки со стороны газовъ } \vartheta_s = t + \frac{Q}{H} \left(\frac{1}{\alpha_4} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)$$

α_4	K	измѣненіе K въ % осн.	средняя разность $t_{\text{газъ}} - t_{\text{вода}}$	Число калорій, проход. черезъ 1 кв. м. въ 1 ч. и число килогр. норм. пара съ 1 кв. м. въ 1 ч. (Q/H и D/H)	Превышеніе температуры стѣнки Δt надъ терм. воды t	ϑ_s
2000 (циркуляц.)	14,8	(—1,3%)	$\sim 150^\circ$	2220 3,5	$t+1,5^\circ$	
500 почти стояч. вода.	14,45	—2,3%				
2000	14,25	—3,8%				
"	12,87	—13%				
5000	19,87	(—0,7%)	200°	3980 6,2	$197+1=$	198°
"	19,92	+0,3%	"			
1000	19,60	—1,5%	"	3940	$197+4=$	201°
5000	16,60	—16,6%	"	3320	$197+1=$	198°
"	19,53	—1,7%	"	3910	$197+5=$	202°
"	19,0	—5,0%	"	3800	$197+10,5=$	207,5
"	17,58	—11,5%	"	3500	$197+24,5=$	221,5
"	14,4	—27,5%	"	2880 4,7	$197+27,5$	224,5
5000	29,77	(—0,7%)	600°	17860 28,1	$197+4,7=$	201,7
"	22,9	—23%	"	13740		
"	27,7	—7%	"	16620	$197+46=$	243
5000	49,35	(—1,3%)	800°	39480 62	$197+10=$	207
"	43,9	—11%	"	35120	$197+97=$	294
"	39,6	(—19,5)	"	31680 50	$197+167=$	364°

	α_1	стѣнка δ_2^{mm}	λ_2	внѣшн. загряз. δ_1	λ_1	внутр. загряз. δ_3	λ_3
Топочное пространство.	(180)	0,003	50	0	0	0	0
"	"	"	"	0	0	0,002	2,0
Напряженіе котла 25 кгр. пара на 1 кв. м. въ часъ $D/H=25$ кгр.	"	"	"	0	0	0,005	2,0
"	"	"	"	0	0	0,010	2,0
"	"	"	"	0,001	0,2	0,005	2,0
Тоже $D/H \approx 40$ кгр. $\alpha=1,2$	(270)	0,003	50	0	0	0	0
"	"	"	"	0	0	0,002	0,2
Жаровая труба комбинир. котла діам.=900 мм. Напряже- ніе рѣшетки $\frac{B}{R}=200$ кгр. $\alpha=1,3$	(130)	0,012	50	0	0	0	0
"	"	"	"	0	0	0,002	2,0
Перегрѣватель противотокъ (газъ— перегр. паръ).	40	0,004	50	0	0	0	0
"	"	"	"	0	0	0	0
"	"	"	"	0	0	0,002	2,0
"	50	"	"	0	0	0	0
Воздушный подогреватель газъ—воздухъ.	15	0,01	50	0	0	0	0
"	"	"	"	0,002	0,2	0	0
Паровой подогреватель. Насыщенный паръ—кон- денсирующійся. Хорошее удаленіе воздуха и отводъ конденсата.	10000	0,002	50 жест.	0	0	0	0
"	"	"	"	0	0	0	0
"	"	0,0015	300 мѣдъ.	0	0	0	0
"	"	0,002	50	0	0	0,002 накипь	2,0
"	"	"	"	0,001	0,15 масло	0	0
Неконденсирующ. перегр. паръ—вода больш. скорост.	200	0,002	50	0	0	0	0
вода—вода.	500 мало подвиж.	0,002	50	0	0	0	0
"	2000 цирк.	0,002	"	0	0	0	0

α_1	K	измѣненіе k въ $\%$ осн.	средняя разность $t_{газъ} - t_{вода}$	Q/H и D/H въ 1 часъ.	$t + \Delta t$	θ_3
5000	(170) $\sigma=0,36$		$\sim 1200^\circ$	200000 315	197+52=	249
"	(147) $\sigma=0,26$	(-13,5%)		176000	197+222=	419
"	(121) $\sigma=0,21$	29%		145000	197+400=	597 ⁰
"	93	(-45%)		111600	197+587=	784 ⁰
"	75			90000	197+248=	445
5000	(250)	(-3,5%)	$\sim 1300^\circ$	300000 470	197+78=	275
"	(202)			242000	197+305=	502
5000	~ 170		~ 1200	200000 315	197+88=	385
"	144	-15,4%		173000	197+249=	446
200	33,5	(-16%)	700—350= =350 max	11720 18,6	350+6Q= противотокъ	410
100	28,0		"	9800	350+99=	449
"	26,0	-7,8%	"	9100	350+101=	451
"	33,2		900—350	17600	370+180=	550 ⁰
30 (скорость)	10,0	-33%	$\sim 150^\circ$			
"	9,1	-9%				
500 мало подв. вода.	470 cal.	-70%				
2000 циркул. вода	1560					
2000	1670	+7%				
2000	610	-60%				
"	137	-91%				
500	142					
500	246					
500	470					

Загрязнение сажей понижает температуру металлической стѣнки, позволяя ей работать съ значительнымъ загрязненіемъ накипью (5 мм.) въ топочномъ пространствѣ, подѣ дѣйствіемъ лучистой теплоты топлива, не нагреваясь при этомъ выше 450° Ц., что еще для желѣза допустимо.

Если вычистить такую стѣнку снаружи отъ сажи, а внутри оставить накипь, то стѣнка можетъ перегорѣть, что и замѣчалось при работѣ водотрубныхъ котловъ, когда послѣ обдувки золы и сажи трубки около топки перегорали.

У перегрѣвателей, для которыхъ α_1 измѣняется отъ 100 до 200, K значительно отличается отъ α_1 . Температура стѣнокъ не превышаетъ 450° Ц., даже при температурѣ пара 350° Ц. и температурѣ газа 700° Ц. Когда температура газа поднимается до 900° , температура стѣнки достигаетъ 550° , что уже будетъ вызывать слишкомъ быстрый износъ перегрѣвателя.

Точно такъ же въ воздушномъ подогревателѣ K значительно отличается отъ α_1 .

Въ паровомъ подогревателѣ K сильно отличается отъ α_1 и сильно зависитъ отъ скорости движенія воды около поверхности, такъ какъ въ зависимости отъ этой скорости λ_1 можетъ измѣняться отъ 500 до 2000. Вліяніе накипи и осадка масла сильно сказывается на K . Точно такъ же мѣдная стѣнка даетъ болѣе высокій K по сравненію съ желѣзомъ.

Въ общемъ, изъ разсмотрѣнія таблицы можно видѣть, что накипь сравнительно мало вліяетъ на K , и потому мало измѣняетъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла, и въ этомъ отношеніи присутствіе накипи не такъ важно, но въ то же время накипь можетъ вызвать сильный перегрѣвъ стѣнки, и нельзя допускать отложенія толстыхъ слоевъ накипи въ мѣстахъ, гдѣ газы имѣютъ температуру выше 800° Ц.

16. Передача тепла чрезъ стѣнку, омываемую жидкостями съ перемѣнной температурой.

Формула

$$Q = K \cdot H_k (t_{\text{газъ}} - t_{\text{вода}})$$

даетъ намъ количество тепла, передаваемое стѣнкой въ томъ случаѣ, когда разность $(t_{\text{газъ}} - t_{\text{вода}})$ постоянная величина.

Въ паровыхъ котлахъ, газы, двигаясь около стѣнки и отдавая тепло, постепенно охлаждаются. Температура воды или пара, омывающихъ стѣнку съ другой стороны, можетъ оставаться постоянной (случай кипѣнія воды въ котлѣ) или можетъ измѣняться (случай подогревателя воды или перегрѣвателя пара). При этомъ количество тепла, переданное стѣнкой, будетъ представляться слѣдующими формулами:

а) Температура $(t_{\text{вода}})$ воды постоянна. Выдѣлимъ безконечно малый элементъ поверхности нагрева dH . Температуру газовъ, соприкасающихся съ такимъ элементомъ, можно принять постоянно равной t , тогда количество тепла, передающееся черезъ этотъ элементъ въ часъ времени, будетъ

$$dQ = K \cdot (t - t_{\text{вода}}) dH.$$

Въ то же время соприкасающіеся со стѣнкой газы теряютъ такое же количество тепла и ихъ температура понизится на dt . Обозначая черезъ B — (кгр). количество топлива, сожженаго въ часъ; V — объемъ газовъ (куб. метр.), получающихся при сжиганіи одного кгр. топлива и c — ихъ теплоемкость, найдемъ

$$-dQ = V \cdot c \cdot B \cdot dt.$$

Сравнивая оба эти равенства, получимъ

$$dH = - \frac{V \cdot c \cdot B}{K} \cdot \frac{dt}{t_{\text{газъ}} - t_{\text{вода}}},$$

откуда

$$H_k = \frac{V \cdot c \cdot B}{K} \int_2^1 \frac{dt}{t_{\text{газъ}} - t_{\text{вода}}} = \frac{V \cdot c \cdot B}{K} \cdot \ln \frac{t_{1\text{газъ}} - t_{\text{вода}}}{t_{2\text{газъ}} - t_{\text{вода}}} \quad (15)$$

При выводѣ этой формулы предполагалось, что K и c постоянны, на самомъ дѣлѣ они переменны, и потому формула (15) можетъ примѣняться къ стѣнкѣ лишь такого размѣра, въ предѣлахъ которой величины c и K можно съ достаточной точностью считать постоянными. При расчетѣ котельныхъ установокъ ихъ поверхность разбиваютъ на нѣсколько участковъ, и для каждаго такого участка намѣчаютъ среднія величины для K и c , послѣ чего и примѣняютъ формулу (15); такъ, напримѣръ, сдѣлано при вычисленіи таблицы I.

Если извѣстны B , c , V , и K , то по форм. (15) можно опредѣлить величину поверхности нагрѣва (H_k), нужную для охлажденія газовъ отъ температуры $t_{1\text{газъ}}$ до температуры $t_{2\text{газъ}}$. Или, наоборотъ, имѣя величину H_k , можно опредѣлить насколько она охладитъ соприкасающіеся съ ней газы. Наконецъ, по этой же формулѣ можетъ быть при испытаніяхъ опредѣленъ K , если извѣстны остальные входящія въ формулу величины.

в. Температура воды или пара переменны. Точное разсмотрѣніе этого случая приводитъ къ слишкомъ сложнымъ формуламъ, неудобнымъ для пользованія. Но для встрѣчнаго движенія газовъ и жидкости можно получить болѣе простую и вмѣстѣ съ тѣмъ достаточно точную формулу слѣдующимъ разсужденіемъ.

Если газы охлаждаются отъ $t_{1\text{газъ}}$ до $t_{2\text{газъ}}$, то отданное ими количество тепла будетъ

$$Q = V \cdot c \cdot B (t_{1\text{газъ}} - t_{2\text{газъ}}) \quad (16)$$

Въ тоже время, если вода подогревается отъ $t_{1\text{вода}}$ до $t_{2\text{вода}}$, при чемъ разности крайнихъ температуръ сохраняютъ равенство $t_{1\text{газъ}} - t_{2\text{вода}} = t_{2\text{газъ}} - t_{1\text{вода}}$, то и во всѣхъ промежуточныхъ стадіяхъ разница между температурой газовъ и воды очень близко подходитъ къ разности меж-

ду средними температурами охлаждающихся газовъ и нагревающейся жидкости, т.-е. разность между температурами все время очень близка къ

$$\frac{t_{1 \text{ газъ}} + t_{2 \text{ газъ}}}{2} - \frac{t_{1 \text{ вода}} + t_{2 \text{ вода}}}{2},$$

а потому количество тепла, переданное стѣнкой, очень близко будетъ подходить къ величинѣ

$$Q = K \cdot H_k \left(\frac{t_{1 \text{ газъ}} + t_{2 \text{ газъ}}}{2} - \frac{t_{1 \text{ вода}} + t_{2 \text{ вода}}}{2} \right) \dots (17)$$

Сравнивая (16) и (17), получимъ

$$H_k = \frac{V \cdot c \cdot B}{K} \cdot \frac{t_{1 \text{ газъ}} - t_{2 \text{ газъ}}}{\frac{t_{1 \text{ газъ}} + t_{2 \text{ газъ}}}{2} - \frac{t_{1 \text{ вода}} + t_{2 \text{ вода}}}{2}} \dots (18)$$

Эта формула даже въ тѣхъ случаяхъ, когда отношеніе

$$\frac{t_{\text{газъ}1} - t_{\text{вода}2}}{t_{\text{газъ}2} - t_{\text{вода}1}}$$

измѣняется отъ $\frac{1}{2}$ до 2, даетъ ошибку не больше 4% и съ удобствомъ можетъ быть приложена къ расчету поверхностей нагрева экономейзеровъ (подогревателей) и перегревателей пара, въ которыхъ температура воды и пара является величиной переменной.

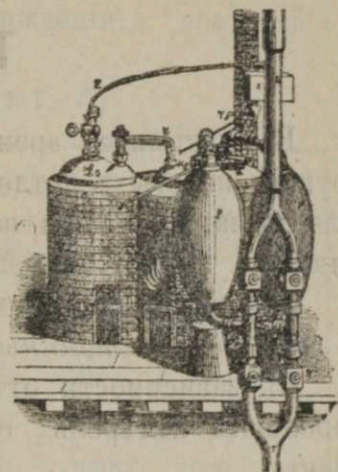
Историческое развитіе паровыхъ котловъ.

17 Въ 1663 г. маркизь *Ворчестеръ* устроилъ аппаратъ для подъема воды, въ которомъ сосудъ, приготавлиющій паръ, былъ уже отдѣленъ отъ всасывающаго прибора, и тѣмъ положилъ начало паровому котлу, какъ отдѣльному аппарату.

Современникъ маркиза Ворчестера, *Денизь Папинъ*, въ 1690 г. придѣлалъ къ своему котлу, для варки пищи, предохранительный клапанъ, который съ тѣхъ поръ сталъ необходимою принадлежностью всякаго парового котла.

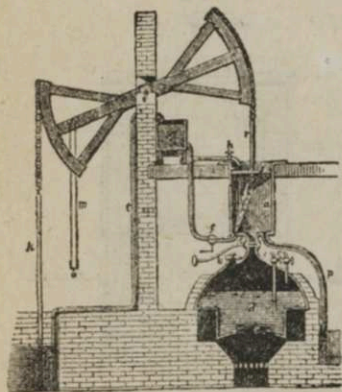
Въ 1699 г. въ рукахъ *Томаса Савери* паровой котелъ еще больше усовершенствовался. На фиг. 1 представлено устройство парового пожарнаго насоса Савери. Паровой котелъ состоялъ изъ двухъ эллипсоидальныхъ чугунныхъ сосудовъ. Паръ приготавлился собственно въ большемъ сосудѣ, меньшій же служилъ для питанія водой. Вода въ него поступала по трубкѣ изъ верхняго сосуда, затѣмъ впускной кранъ запирался и вода въ маломъ котлѣ нагревалась; когда давленіе въ немъ

дѣлалось больше, чѣмъ въ большомъ котлѣ, то открывали кранъ, и вода изъ малаго котла перегонялась въ большой. Самый насосъ состоялъ изъ двухъ сосудовъ *p*, соединенныхъ трубкой съ водопроводной трубой, на которой находились два клапана. Одинъ изъ сосудовъ *p* наполнялся паромъ, послѣ чего кранъ запирался. При охлажденіи пара, въ сосудѣ образовывалась пустота, и вода всасывалась чрезъ нижній клапанъ, затѣмъ при впускѣ пара вода вытѣснялась вверхъ. Въ то же время въ другомъ сосудѣ *p* паръ конденсировался. Въ своемъ котлѣ Савери впервые примѣнилъ пробные краны для опредѣленія высоты уровня воды въ котлѣ.



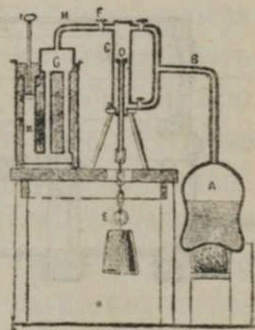
Фиг. 1.

Овальная форма котла давала слишкомъ малую поверхность нагрѣва, и потому она вскорѣ была оставлена. Въ 1705 г. *Ньюкоменъ* построилъ котель, представленный на фиг. 2. Для большей прочности дно его было сдѣлано въ видѣ свода, выпуклостью внутрь. Котель омывался газами съ боковъ и имѣлъ пробные краны и предохранительный клапанъ. Паръ употреблялся для приведенія въ движеніе шахтнаго насоса при помощи цилиндра *a*, въ которомъ паръ конденсировался подъ вліяніемъ струи воды, притекающей изъ сосуда *g*, послѣ чего поршень вдавливался въ цилиндръ атмосфернымъ давленіемъ и поднималъ штангу насоса.



Фиг. 2.

Въ 1789 г. *Смитонъ* помѣстилъ топку внутри котла *Ньюкомена*, и такимъ образомъ впервые устроилъ вертикальный котель съ внутренней топкой.



Фиг. 3.

Желая еще больше увеличить поверхность нагрѣва, *Уаттъ* вытянулъ котель въ горизонтальномъ направленіи, и впервые получилъ горизонтальный котель, который онъ назвалъ „вагономъ“ (*Waggon*) (его поперечный разрѣзъ *A*, напоминающій употреблявшіеся въ то время фургоны, представленъ на фиг. 3). Имъ же впервые было примѣнено для построения котловъ желѣзо. Эта форма котла, благодаря небольшому давленію (полъ-атмосф.), была лѣтъ 60 тому назадъ въ большомъ ходу, въ особенности въ Ланкаширѣ. Но по мѣрѣ возрастанія давленія пара, неправильно искривленная форма стѣнокъ оказалась недостаточно прочной, и въ настоящее время котель *Уатта* совершенно оставленъ.

Наиболѣе рациональной формой для котла, какъ въ смыслъ легко-

сти исполненія, такъ и въ смыслъ прочности, является цилиндръ, почему теперь почти все паровые котлы и состояются преимущественно изъ отдельныхъ цилиндровъ, прочно соединенныхъ между собою.

Типы котловъ.

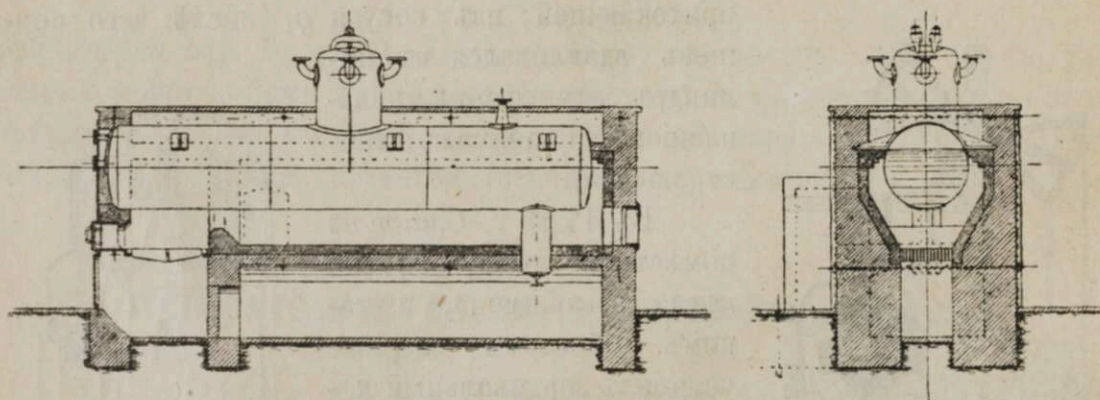
Въ настоящее время можно встрѣтить множество различныхъ конструкций паровыхъ котловъ, но причиной появленія большинства изъ нихъ было желаніе обойти патентъ ранѣе построеннаго котла. Здѣсь мы приведемъ только наиболѣе характерные типы.

Сообразно со своимъ назначеніемъ, котлы могутъ быть раздѣлены на заводскіе (постоянные и переносные), паровозные и пароходные.

Въ зависимости отъ того, въ какомъ направленіи котлы имѣютъ наибольшее измѣреніе, они раздѣляются на горизонтальные и вертикальные.

Смотря по тому, какъ расположена топка, внутри ли сосуда съ водою или внѣ его, котлы раздѣляютъ на котлы съ внутренней и внешней топкой.

18. Цилиндрическій котель. Самымъ простымъ по своей конструкции можно считать обыкновенный цилиндрическій котель (фиг. 4). Онъ



Фиг. 4.

былъ введенъ въ употребленіе англичаниномъ Вульфомъ и появился, какъ необходимое видоизмѣненіе котла Уатта, вмѣстѣ съ повышеніемъ давленія пара. Днища у такихъ котловъ сначала дѣлались полусферическими, но потомъ для облегченія работы, ихъ стали дѣлать только слегка выпуклыми или совсѣмъ плоскими. Топка располагается подъ котломъ, горячіе газы омываютъ нижнюю половину котла и затѣмъ выходятъ прямо въ трубу.

Достоинство подобнаго котла въ томъ, что онъ дешевъ, очень удобенъ для осмотра и очистки, легко поддается исправленію, позволяетъ устройство большой топки, въ которой можно сжигать самое дешевое топливо; содержитъ большое количество воды по сравненію съ поверхностью нагрѣва и имѣетъ, по сравненію съ поверхностью нагрѣва, боль-

шую свободную поверхность воды, отъ которой пузырьки пара отдѣляются спокойно, не увлекая съ собой воды—паръ получается сухой. Вслѣдствіе большого объема воды, давленіе пара поддерживается равномернымъ.

Невыгодныя стороны котла — очень массивная, дорого стоящая кирпичная кладка, съ большими поверхностями охлажденія и, вслѣдствіе

Табл. 4 къ фиг. 4.

этого, большая потеря теплоты. Та же массивная кладка и большой объемъ воды дѣлаютъ пригодными цилиндрическіе котлы только въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ работа идетъ непрерывно, иначе при остановкахъ теплоты, накопленная въ стѣнкахъ будетъ пропадать бесполезно, на растопку же потре-

Поверхность нагрѣва въ кв. мет.	Котель.		Кирпичная кладка.			Вѣсъ при 6 атм.
	Длина.	Діам.	Длина.	Ширина.	Высота.	
2,5	2600	600	3250	1700	2050	550 кгр.
5	3800	750	4450	1850	2200	1150 "
7,5	5100	850	5750	1950	2300	1700 "
10	6200	950	6850	2050	2400	2200 "
12,5	7400	1000	8050	2100	2450	3300 "
15	8000	1100	8750	2200	2550	3700 "
20	9400	1200	10200	2300	2650	4500 "

буется слишкомъ много времени, чтобы снова нагрѣть воду и кладку. Чтобы котель имѣлъ большую поверхность нагрѣва, его необходимо дѣлать большой длины; дѣйствительно, въ Англіи такіе котлы встрѣчаются длиною въ 30 метр. Слѣдовательно, цилиндрическіе котлы требуютъ очень большого помѣщенія. Къ недостаткамъ такихъ котловъ нужно отнести и то, что выдѣляющіяся изъ раствора въ водѣ соли, а также и грязь, осаждаются на нижнюю часть котла, т.-е. какъ разъ на наиболѣе нагрѣтую поверхность, вслѣдствіе чего въ этомъ мѣстѣ образуется крѣпкая накипь, трудно удаляемая и плохо проводящая теплоту, отчего котель легко можетъ прогорѣть. Цилиндрической котель нагрѣвается неравномѣрно (нижняя половина сильнѣе, чѣмъ верхняя), вслѣдствіе чего въ стѣнкахъ проявляются большія внутреннія напряженія, швы разстраиваются и текутъ.

Вслѣдствіе указанныхъ неудобствъ цилиндрическихъ котловъ, они употребляются теперь рѣдко и, главнымъ образомъ встрѣчаются на желѣзодѣлательныхъ заводахъ, гдѣ обогрѣваются горячими газами, отходящими изъ калильных печей и въ каменноугольныхъ кояхъ, гдѣ объ экономіи топлива не особенно заботятся.

Діаметръ цилиндрическихъ котловъ дѣлается отъ 0,6 до 1,5 метра.

Въ какой-нибудь части котла долженъ быть лазъ, черезъ который можно было бы проникнуть во внутрь котла.

Длинные цилиндрическіе котлы лучше при установкѣ подвѣшивать къ балкамъ, при помощи пружинъ или при помощи рычаговъ съ контргрузами, а не опирать котлы на кладку, такъ какъ при осадкѣ кладки,

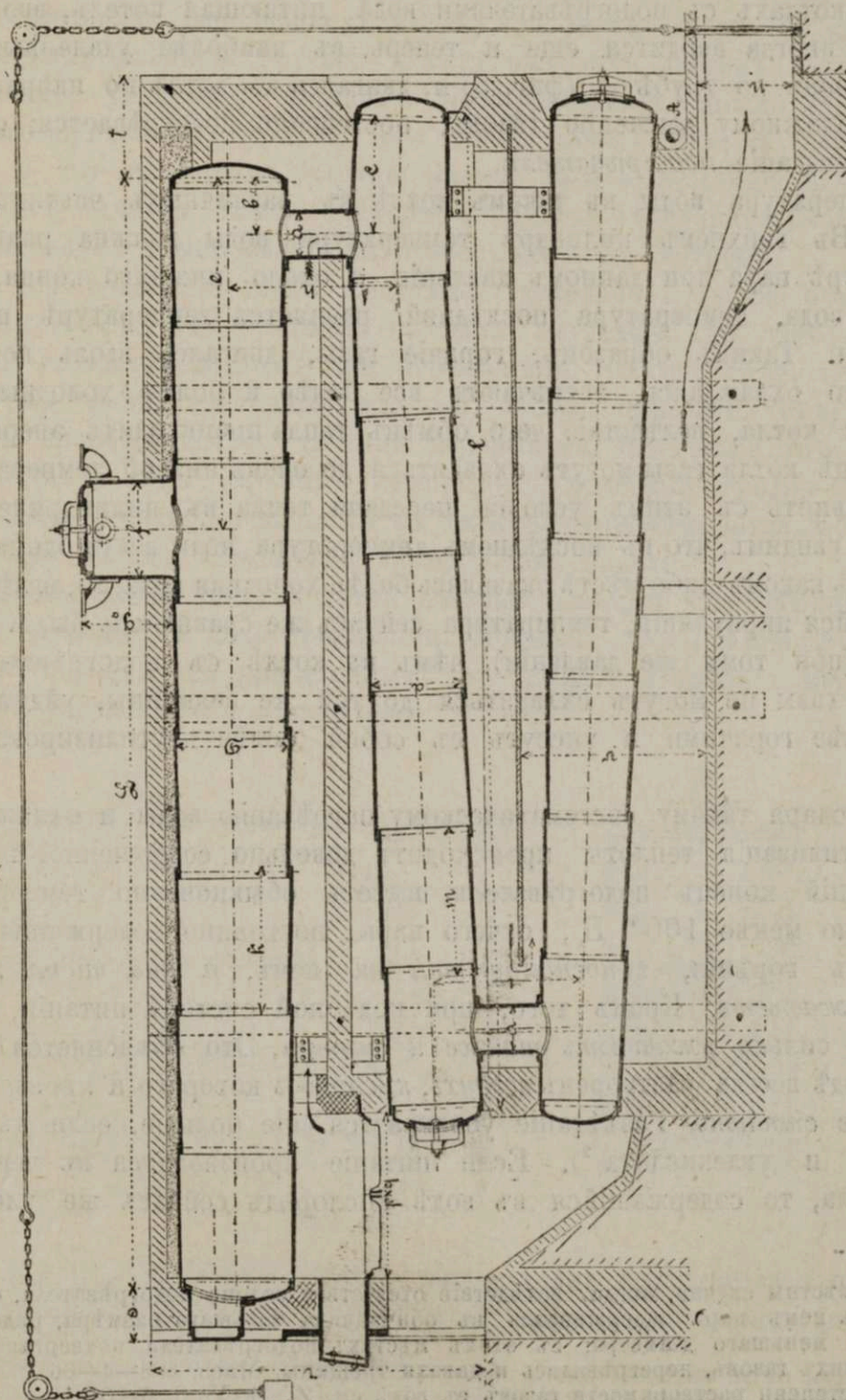
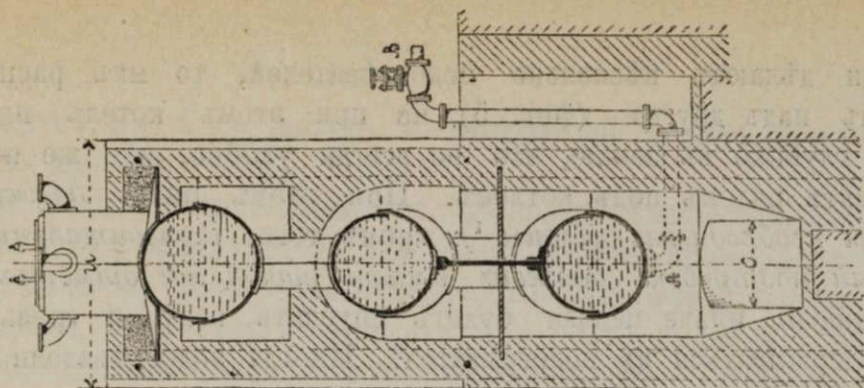
котель можетъ легко прогнуться, и въ поперечныхъ швахъ появится течь, а иногда швы могутъ напрягаться настолько сильно, что причинять разрывъ котла.

19. Котлы съ подогревателями. Желая уменьшить площадь, занимаемую цилиндрическимъ котломъ, его разбиваютъ на части и ставятъ одну подъ другой; такимъ образомъ получается система котловъ, извѣстныхъ въ практикѣ подъ названіемъ *котловъ съ подогревателями* (фиг. 5).

Нижнія части котла соединяются съ верхней посредствомъ *подтрубковъ* или *штуцеровъ*. Размѣры соединительнаго штуцера должны быть таковы, чтобы въ него легко можно было пролѣзть, и чтобы онъ былъ достаточно проченъ. Въ виду этого *диаметръ его не слѣдуетъ дѣлать менѣе 450 мм.*, и толщину стѣнки не менѣе 10 мм. Штуцеровъ бываетъ иногда нѣсколько по длинѣ, но лучше дѣлать одинъ, большого размѣра, помѣщая его у конца цилиндра. Такъ какъ верхняя часть котла нагревается сильнѣе, чѣмъ нижняя, то расширяются онѣ неравномѣрно и при существованіи нѣсколькихъ подтрубковъ, въ послѣднихъ могутъ появляться вредныя напряженія, — отчего штуцера быстро разрушаются. Для избѣжанія этого неудобства соединительные штуцера дѣлаются длинными (болѣе 550 мм.), или же котлы соединяются однимъ штуцеромъ. Такъ какъ въ нижней части котла можетъ образоваться паръ, то *этой части котла слѣдуетъ давать уклонъ и штуцера располагать въ высшихъ точкахъ*, дабы паръ могъ свободно притекать къ штуцерамъ и по нимъ подниматься въ верхній котель. Если же эти уклоны не будутъ соблюдены, то въ нижнемъ котлѣ будетъ скопляться паръ, и въ этихъ мѣстахъ котель можетъ прогорѣть. Нужно замѣтить, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ, *при очень сильной топкѣ*, несмотря на приданные подогревателямъ уклоны, въ верхнемъ подогревателѣ можетъ образоваться такое количество пара, что *верхняя стѣнка не будетъ смачиваться водой и перегоритъ*. Этотъ же уклонъ необходимъ и для того, чтобы при промывкѣ изъ котла можно было свободно спустить грязь. Обыкновенно *верхнему котлу достаточно давать уклонъ отъ 0,005 до 0,01*, а *нижнимъ котламъ или подогревателямъ, — отъ 0,01 до 0,02*.

Табл. 5 къ фиг. 5.

Поверх. пар. кв. метровъ.	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>r</i>	<i>u</i>
40	8000	800	7200	650	300	1200	1100	2450	1570
45	8400	1000	7300	700	300	1400	1100	2500	1780
50	8900	1100	8400	750	350	1600	1100	2600	2150
55	9500	1250	8700	750	350	1800	1200	2800	2350
65	10000	1250	9000	800	400	1900	1200	3200	2350
70	11000	1250	9500	800	400	2000	1200	3700	2350



Если дѣлають нѣсколько подогревателей, то ихъ располагають или одинъ надъ другимъ (фиг. 5), но при этомъ котель приходится зарывать глубоко въ землю, что не всегда удобно, или же подогреватели ставятъ рядомъ подъ котломъ. При этомъ опять *должны быть соблюдены необходимые уклоны* ¹⁾; кромѣ того, *горизонтальный соединительный подтрубокъ долженъ имѣть такой же діаметръ, какъ и подогреватели*, иначе нельзя будетъ спускать воду и грязь, и паръ будетъ задерживаться въ подогревателѣ. Иногда подогреватели располагаются одинъ подъ другимъ, сбоку котла.

Въ котлахъ съ подогревателями вода, питающая котель, вводилась ранѣе, а иногда вводится еще и теперь, въ наиболѣе удаленный отъ топки конецъ по трубѣ А (фиг. 5) и, двигаясь въ котлѣ по направленію противоположному движенію газовъ, постепенно подогревается; отсюда и самое названіе *подогреватели*.

Температура воды въ такомъ котлѣ въ различныхъ частяхъ различная. Въ верхнемъ цилиндрѣ температура воды должна равняться температурѣ пара при данномъ давленіи, а около нижняго конца, куда вводится вода, температура послѣдней равняется температурѣ питающей воды. Такимъ образомъ, горячіе газы, двигаясь вдоль котла и постепенно охлаждаясь, встрѣчаютъ все болѣе и болѣе холодныя поверхности котла, вслѣдствіе чего обмѣнъ тепла происходитъ энергично, и въ концѣ котла газы могутъ охладиться до очень низкой температуры. Если сравнить съ этимъ условія передачи тепла въ цилиндрическомъ котлѣ, то увидимъ, что въ послѣднемъ температура воды вездѣ одинаковая (если бы въ какомъ-либо мѣстѣ оказалась болѣе холодная вода, то, вслѣдствіе появившейся циркуляціи, температура сейчасъ же сравнялась бы) и болѣе высокая (при томъ же давленіи), чѣмъ въ котлѣ съ подогревателями, а потому газы не могутъ охладиться до той же величины, уйдутъ изъ котла болѣе горячими и унесутъ съ собой болѣе неутилизованнаго тепла.

Благодаря такому систематическому нагрѣванію воды и охлажденію газовъ, утилизація теплоты происходитъ довольно совершенно, но при этомъ задній конецъ подогревателя имѣетъ обыкновенно температуру значительно менѣе 100° Ц., отчего пары, постоянно содержащіеся въ продуктахъ горѣнія, *конденсируются на немъ, и эта часть котла быстро ржавѣетъ*. Кромѣ того, при подобной системѣ питанія, подогреватели сильно *ржавѣютъ также и внутри*. Это объясняется тѣмъ, что въ водѣ всегда растворенъ *воздухъ, кислородъ* котораго и *производитъ разѣданіе стѣнокъ*. Разѣданіе усиливается еще больше, если въ водѣ находится и *углекислота* ²⁾. Если питаніе производится въ верхнюю часть котла, то содержащійся въ водѣ кислородъ сейчасъ же улетучи-

¹⁾ Известны случаи, когда, вслѣдствіе отсутствія уклона подогревателя, образовавшійся въ немъ паръ задерживался въ обичайкахъ большаго размѣра, рядомъ съ обичайками меньшаго діаметра; въ этихъ мѣстахъ подогреватели, подвергаясь дѣйствію горячихъ газовъ, перегрѣвались и давали трещины. Mach. 388—4—06.

²⁾ О степени растворимости газовъ въ водѣ см. Z. D. V. G. 5—08.

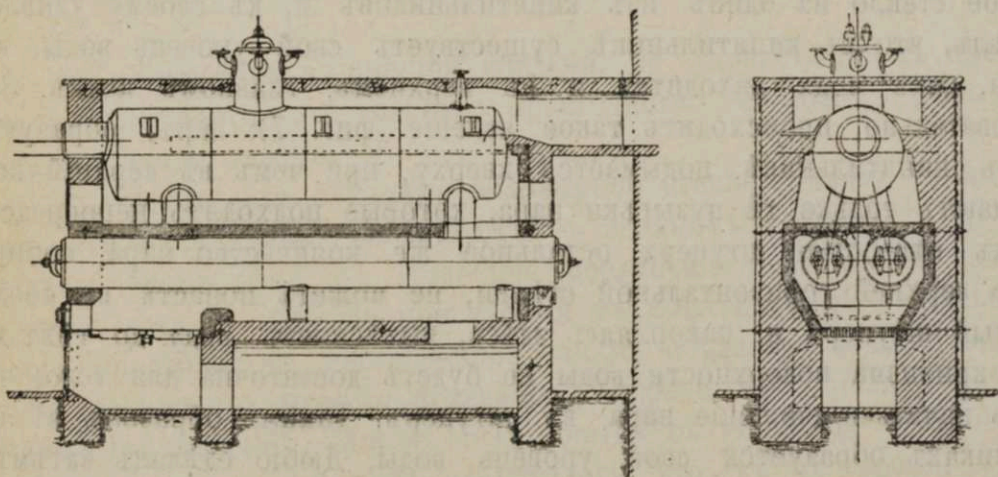
вается и отводится прочь съ паромъ, и потому не можетъ оказывать такого вреднаго дѣйствія.

Если при питаніи внизъ желаютъ нѣсколько уменьшить ржавчину котловъ съ подогревателями, то для этого питаніе производятъ или теплою водою, или же котелъ заставляютъ работать форсированно; въ послѣднемъ случаѣ, газы будутъ выходить при болѣе высокой температурѣ и для ихъ охлажденія надо ставить особый аппаратъ — экономайзеръ.

Выгода котловъ подобной системы состоитъ еще въ томъ, что, давая подогревателямъ небольшой діаметръ, ихъ можно дѣлать съ сравнительно тонкими стѣнками, отчего котелъ выходитъ легкимъ и дешевымъ. Впрочемъ, уменьшать діаметръ подогревателей можно только до извѣстнаго предѣла, а именно, его не слѣдуетъ дѣлать меньше 800 мм., и ни въ какомъ случаѣ нельзя брать діаметръ меньше 600 мм., иначе чистка котла становится крайне затруднительною¹⁾. Общая длина котла обыкновенно не превосходитъ 33 метровъ.

Котлы съ подогревателями содержатъ довольно большой объемъ воды, вслѣдствіе чего они пригодны въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется сохраненіе постоянства давленія при переменномъ расходѣ пара. Обладая въ то же время массивной кладкой, они не пригодны тамъ, гдѣ работа котла производится съ частыми перерывами. Вслѣдствіе того, что топка расположена подъ верхнимъ цилиндромъ, колебаніе уровня воды не представляетъ большой опасности въ смыслѣ перегрѣва котла. Котлы эти удобны для чистки. Кирпичная кладка очень проста.

Вышеприведенная табл. 5 даетъ главные размѣры встрѣчающихся въ практикѣ котловъ съ подогревателями. Понятно, что при проектированіи новыхъ котловъ отъ приведенныхъ въ таблицѣ размѣровъ могутъ быть сдѣланы значительныя отступленія.



Фиг. 6.

20. Котлы съ кипятилниками. Если топка располагается подъ нижними барабанами, то такая система извѣстна подъ названіемъ „кот-

¹⁾ Въ случаѣ очень тѣсныхъ пространствъ внутри котла, человекъ легко можетъ завязнуть. Извѣстны случаи, когда завязнувшимъ рабочимъ приходилось оставаться въ теченіе многихъ часовъ въ самомъ критическомъ положеніи, прежде чѣмъ были разрублены соотвѣтствующія части, и рабочий былъ освобожденъ.

ловъ съ кипяtilьниками“. Въ этомъ случаѣ нижніе цилиндры прямо назначаются для приготовленія пара, откуда происходитъ и самое названіе. Подобные котлы появились впервые во Франціи, гдѣ они и до сихъ поръ еще въ употребленіи. Кипяtilьниковъ бываетъ два или три, которые располагаются въ рядъ подѣ главнымъ котломъ (фиг. 6).

Табл. 6 къ фиг. 6.

Поверхн. нагрѣва въ кв. метр.	Верхн. котель.		Кипяtilьникъ.		Кирпичная кладка.		
	Діам.	Длина.	Діам.	Длина.	Длина.	Шири- на.	Высота.
21	900	3800	600	4600	4600	2360	2880
25	1000	4500	550	5800	5700	2300	3750
35	1000	4900	750	6000	6000	2600	3950
40	1100	5000	630	6150	6100	2500	4000
45	1100	7200	650	8300	8200	2500	4050
50	1200	7800	700	8900	8800	2600	4200
60	1300	8500	750	9600	9600	2700	4400
70	1400	9200	800	10300	10300	2800	4550

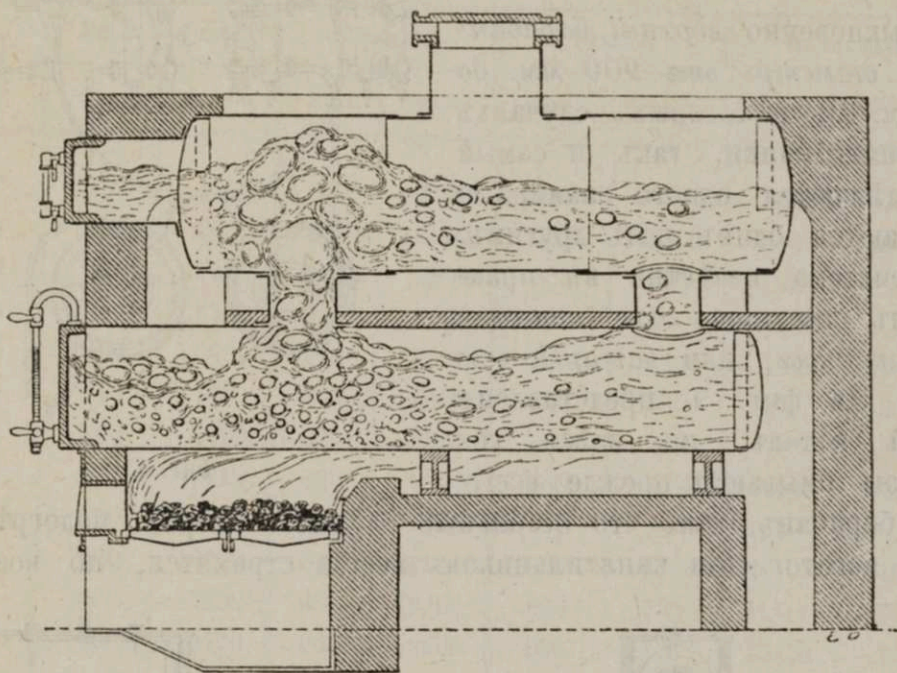
Горячіе газы сначала омы-
ваютъ кипяtilьники, за-
тѣмъ идутъ подѣ нижней
половиной котла впередъ,
надѣ верхней половиной на-
задѣ и выходятъ въ ды-
мовой боровъ. Соединя-
ются кипяtilьники съ кот-
ломъ при посредствѣ шту-
церовъ, которыхъ дѣлается
два, три и даже болѣе,
смотря по длинѣ кипя-
tilьника.

Совѣтуютъ дѣлать
только два соединитель-
ныхъ штуцера, предпола-

гая, что при этомъ получается лучшая циркуляція; по одному штуцеру вода опускается внизъ, по другому поднимается вверхъ. На самомъ же дѣлѣ, въ такихъ котлахъ правильной циркуляціи воды не происходитъ. Это интересное и вмѣстѣ съ тѣмъ чрезвычайно важное явленіе было случайно открыто *Полемъ Дюбіо*, главнымъ инженеромъ Общества владѣльцевъ паровыхъ котловъ юго-востока Франціи. Дюбіо поставилъ водо-
мѣрное стекло на одинъ изъ кипяtilьниковъ и, къ своему удивленію, увидѣлъ, что въ кипяtilьникѣ существуетъ свой уровень воды, въ то время, какъ вода находится и въ верхнемъ, главномъ котлѣ. Здѣсь, слѣдовательно, происходитъ такое явленіе (фиг. 7): паръ, образующійся въ кипяtilьникѣ, подымается кверху, при чемъ въ верхній котель попадаютъ только тѣ пузырьки пара, которые подходятъ непосредственно къ отверстію штуцера; остальное же количество пара, собираясь около верхней горизонтальной стѣнки, не можетъ попасть въ соединительный штуцеръ и, накопляясь здѣсь, вытѣсняетъ воду до тѣхъ поръ, пока кривизна поверхности воды не будетъ достаточна для того, чтобы могло начаться движеніе пара въ штуцеръ. Такимъ образомъ въ кипяtilьникахъ образуется свой уровень воды. Дюбіо сдѣлалъ затѣмъ наблюденіе надѣ цѣлымъ рядомъ котловъ, и оказалось, что во всѣхъ котлахъ съ кипяtilьниками, соединяются ли они съ главнымъ цилиндромъ однимъ или нѣсколькими штуцерами, происходитъ то же самое; при чемъ оказалось, что стрѣла кривой поверхности воды въ кипяtilьникѣ приблизительно равна 50 мм., при высотѣ воды въ главномъ котлѣ въ 1 метръ. При дальнѣйшемъ увеличеніи высоты воды на 100 мм. эта стрѣла увеличивается на 10 мм.

Образующіеся пузырьки пара, поднявшись до поверхности воды въ кипятильникѣ, скользятъ по ней до соединительнаго штуцера; здѣсь они соединяются въ большіе пузыри, какъ это бываетъ всегда въ томъ случаѣ, когда пару приходится проходить черезъ суженное пространство, и всплываютъ на поверхность воды котла, производя сильныя толчки, такъ какъ каждый разъ по выходѣ большого пузыря пара изъ штуцера, вода устремляется на его мѣсто, производя въ водомѣрномъ стеклѣ сильное волненіе.

Такимъ образомъ въ котлахъ съ кипятилниками не можетъ быть и рѣчи о циркуляціи воды, и котлы эти, если верхняя стѣнка кипятиль-



Фиг. 7.

ника не обмурована кирпичной кладкой, не удовлетворяютъ требованію закона, гласящаго, что паровое пространство не можетъ быть обогрѣваемо горячими газами.

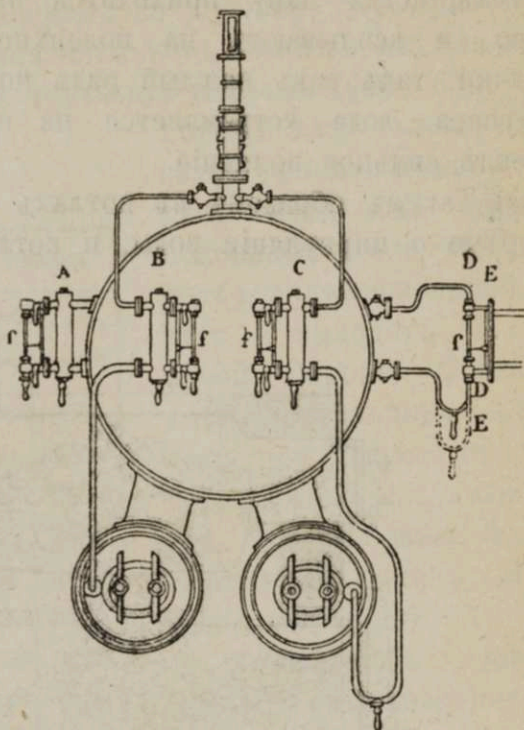
Въ нѣкоторыхъ случаяхъ водомѣрное стекло ставятъ такимъ образомъ, что одну трубку соединяютъ съ верхнимъ котломъ, а другую съ кипятильникомъ (фиг. 8). Подобное соединеніе совершенно неправильно, такъ какъ, вслѣдствіе присутствія въ кипятильникѣ отдѣльнаго парового пространства, поставленное такимъ образомъ водомѣрное стекло даетъ совершенно ложныя показанія. Летюлье и Пинель приводятъ въ „Revue Industrielle“, Mai — 1893, опытъ съ подобной установкой водомѣрнаго стекла, при чемъ оказывалось, что въ то время, какъ уровень въ котлѣ былъ выше нормальнаго, въ водомѣрномъ стеклѣ не было совершенно воды.

Такъ какъ верхняя стѣнка кипятильника не смачивается водой, то она сильно перегрѣвается, и вслѣдствіе этого весь кипятильникъ искривляется; поэтому, если кипятильникъ соединенъ нѣсколькими шту-

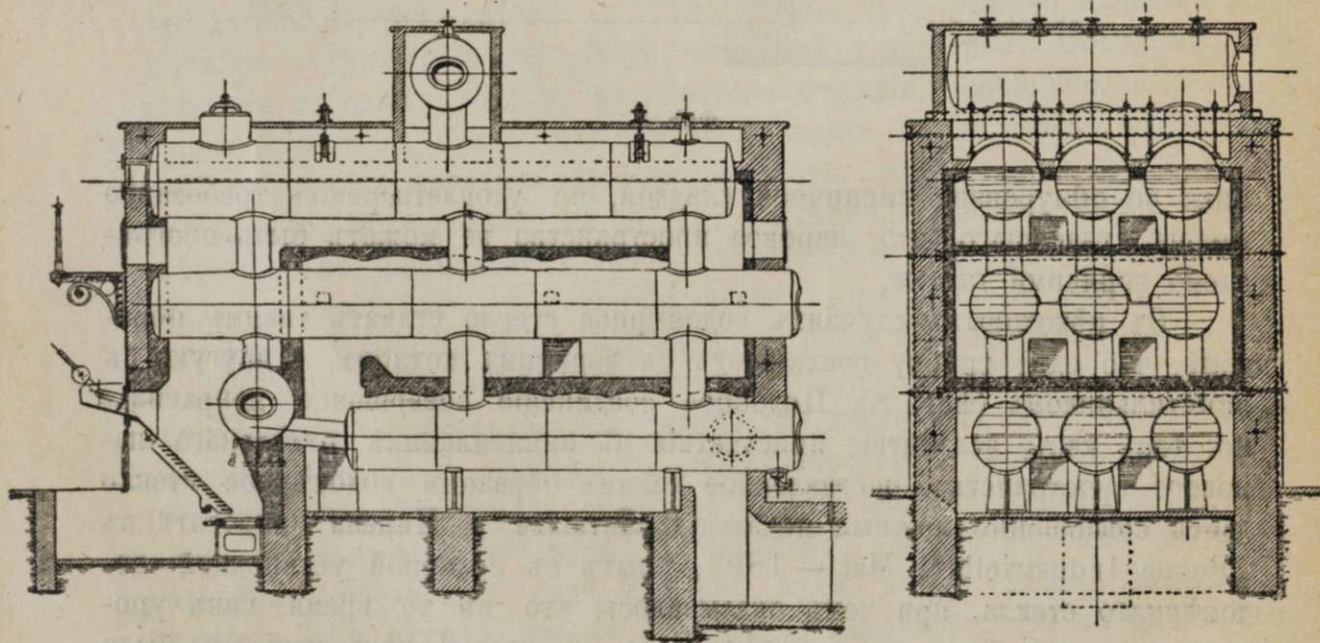
церами съ главнымъ котломъ, то во всемъ устройствѣ могутъ проявиться очень сильныя, опасныя для котла напряженія.

Изъ всего вышесказаннаго слѣдуетъ, что для безопасной работы котловъ съ кипятилниками, послѣдніе слѣдуетъ соединять съ главнымъ котломъ однимъ большимъ соединительнымъ штуцеромъ и верхнюю часть кипятилника, около которой всегда находится паръ, обмуровывать кирпичомъ, чтобы защитить ее отъ перегрѣва ¹⁾.

Обыкновенно верхній барабанъ имѣетъ діаметръ отъ 900 мм. до 1500 мм. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ какъ кипятилники, такъ и самый котель дѣлаются одного размѣра и располагаются одинъ надъ другимъ. Такая система извѣстна въ практикѣ подъ названіемъ *соединенныхъ кипятилниковъ*, или *батареиныхъ котловъ*. На фиг. 9 представленъ подобный котель, но здѣсь горячіе газы омываютъ прежде всего верхній барабанъ, такъ что остальные служатъ скорѣе подогревателями. При изготовленіи кипятилниковъ всегда стремятся, по возможно-



Фиг. 8.



Фиг. 9.

сти, уменьшить ихъ діаметръ, при чемъ котель для производства того же количества пара получается легче. *Дѣлатъ кипятилники меньше*

¹⁾ Случай такого перегрѣва и выпучины приведенъ въ Z. B. R. V. 27 — 2 — 04.

800 мм. не слѣдуетъ, имѣя въ виду удобства очистки. Въ кипятильни-кахъ это условіе еще болѣе важно, чѣмъ въ подогревателяхъ, такъ какъ здѣсь грязь осѣдаетъ на поверхности, омываемая самыми горячими га-зами, и потому легко образуется твердая накипь, которую отдѣлать очень трудно.

Длина цилиндровъ обыкновенно не превосходитъ 13 метр. Если при такой длинѣ и небольшомъ діаметрѣ кипятильниковъ размѣры кот-

Табл. 7 къ фиг. 9.

Поверхность нагрѣва въ кв. мет.	Верх. котель.		Средній.		Нижній.		Кирпичная кладка.		
	Діам.	Длина.	Діам.	Длина.	Діам.	Длина.	Длина.	Шири- на.	Высота.
60	750	4500	650	5100	650	3500	5350	4000	3050
75	750	5600	660	6300	660	4500	6550	4000	3100
90	800	5100	800	5800	800	4100	6050	4150	3250
115	800	5950	800	6500	800	4700	6900	4150	3250
120	800	6800	800	7500	800	5800	7800	4150	3300
135	800	7600	800	8400	800	6500	8700	4200	3300
150	800	8500	800	9350	800	7400	9600	4250	3300
160	800	9150	800	9750	800	7900	10000	4250	3450
180	900	9950	800	10700	800	8850	11000	4500	3500
200	1000	10000	800	10800	800	8900	11100	4700	4100
220	1000	11600	800	12400	800	10650	12550	4700	3900
240	1000	12700	800	13500	800	11500	13750	4700	3900

ла получаютъ недостаточными, то ставится рядомъ еще одна или двѣ систе-мы кипятильниковъ. Всѣ системы имѣютъ общую топку и наверху соединя-ются общимъ барабаномъ, который служитъ для собиранія пара. Въ виду различнаго расширенія кипятильниковъ, соединительныя ножки необхо-димо дѣлать достаточно длинными, не менѣе 550 мм., чтобы сообщить имъ большую упругость. Очень удобно этими же ножками пользоваться, какъ поддержкой для верхнихъ кипятильниковъ; въ такомъ случаѣ онѣ должны имѣть достаточные размѣры, чтобы выдержать, не сминаясь, вѣсъ лежащихъ на нихъ кипятильниковъ, наполненныхъ водой.

Площадь стѣненія соединительныхъ штуцеровъ слѣдуетъ брать равной $1/60$ — $1/80$ отъ поверхности нагрѣва, съ которой штуцеру при-ходится отводить паръ; но въ виду удобства очистки и осмотра, діа-метръ соединительныхъ ножекъ не слѣдуетъ дѣлать меньше 450 мм. Толщина желѣза штуцеровъ — не менѣе 10 мм. Кипятильники долж-ны ставиться также съ уклонами, но большими, чѣмъ подогрева-тели, а именно 0,02—0,025, и штуцера должны помѣщаться въ высшихъ точкахъ. Отдѣльные барабаны кипятильниковъ должны кле-паться такимъ образомъ, чтобы соединительные швы не затрудняли движенія пара.

Въ подобныхъ котлахъ выходъ пара изъ кипяtilьниковъ еще больше затрудненъ, чѣмъ въ предыдущей системѣ, и потому въ каждомъ кипяtilьникѣ образуется паровое пространство и всѣ соединенныя съ нимъ неудобства. Если даже верхнія стѣнки кипяtilьниковъ будутъ обмурованы, то кладка можетъ разстроиться и повлечь за собой перегрѣвъ кипяtilьниковъ и ихъ разрушеніе, чѣмъ и объясняются многіе взрывы.

Такіе котлы впервые появились очень давно, затѣмъ, вслѣдствіе присущихъ имъ недостатковъ, были оставлены. Въ сравнительно недавнее время они опять получили распространеніе на нашихъ фабрикахъ. Едва ли это можно признать рациональнымъ; если такую систему котловъ почему-либо приходится ставить, то лучше помѣщать топку подъ верхнимъ котломъ, обращая кипяtilьники въ подогреватели.

Котлы съ кипяtilьниками предъ простыми цилиндрическими имѣютъ *преимущество* только въ вѣсѣ и въ томъ, что ремонтъ кипяtilьниковъ производить дешевле, чѣмъ цилиндрическаго котла (при этой системѣ прогораетъ главнымъ образомъ кипяtilьникъ). Утилизациа теплоты въ *этихъ котлахъ* не особенно совершенна. Лучшихъ результатовъ достигаютъ, соединяя нѣсколько системъ кипяtilьниковъ вмѣстѣ, при чемъ относительное количество теплоты, теряемое черезъ кладку, получается меньше.

Замѣтный *недостатокъ* такихъ котловъ — сырой паръ, вслѣдствіе длиннаго пути, который пару приходится проходить, и легкое образованіе твердой накипи (въ особенности, если вода содержитъ сернокислыя соли), причиняющей трудную очистку. Если вода содержитъ углекислыя соли, то, при питаніи воды въ верхній котелъ, твердой накипи въ кипяtilьникахъ собирается немного, такъ какъ часть ея осѣдаетъ на стѣнки верхняго котла. Въ такомъ случаѣ много накипи собирается въ нижнемъ кипяtilьникѣ только подъ ножками, куда она смывается изъ верхнихъ кипяtilьниковъ и въ этихъ мѣстахъ нижніе кипяtilьники очень часто образуютъ выпучины и даже прогораютъ ¹⁾. Для предупрежденія такого неудобства, полезно подъ соединительный штуцеръ ставить желѣзные листы на ножкахъ, на которыхъ и будетъ собираться накипь; стѣнка же котла останется чистой. Къ неудобствамъ такихъ котловъ нужно отнести ихъ громоздкіе размѣры, что особенно сказывается при перевозкѣ. Обыкновенно приходится перевозить котелъ по частямъ и производить окончательную склепку на мѣстѣ. Иногда, для облегченія сборки, соединительные штуцера дѣлаются изъ двухъ

1) Инж.-техн. Лопатто въ №№ 1, 2, 3 „Инженера“ 1904 г. появленіе отдулинъ приписываетъ совмѣстному дѣйствію охлаждающаго тока воздуха и слѣдующему затѣмъ перегрѣву, въ присутствіи накипи. Охлажденное мѣсто стѣнки котла сжимается, при чемъ ваходящаяся въ соприкосновеніи съ водой горячая накипь, сохраняя свои размѣры, отстаетъ отъ стѣнки; — образуется родъ парового прослойка, который при дальнѣйшемъ нагрѣвѣ стѣнки вызываетъ ея перегрѣвъ, ослабленіе и затѣмъ выпучиваніе стѣнки подъ вліяніемъ внутренняго давленія въ котлѣ. Прекращается деформациа вслѣдствіе того, что лопнувшая накипь пропускаетъ воду, которая и охлаждаетъ снова стѣнку.

Едва ли здѣсь играетъ большую роль охлажденіе стѣнки; перегрѣвъ можетъ произойти и безъ этого.

частей, такъ что на мѣстѣ приходится только свернуть фланцы на болтахъ или склепать.

Котлы съ жаровыми трубами.

21. Корнвалійскій котелъ. Желая еще больше увеличить поверхность нагрѣва котла, не увеличивая при этомъ занимаемаго имъ мѣста, внутри котла помѣщаютъ трубу, чрезъ которую пропускаютъ горячіе газы. Такая труба называется *жаровой* или *пламенной* трубой. Котелъ подобной конструкции впервые былъ построенъ Оливеромъ Ивенсомъ въ 1800 г.

Первоначально въ такихъ котлахъ топка располагалась подъ котломъ, но подобное устройство оказалось нерациональнымъ, такъ какъ при этомъ наиболѣе нагрѣвается нижняя часть котла, т.-е. какъ разъ то мѣсто, гдѣ болше всего скопляется грязь и которое наименѣе доступно для очистки, вслѣдствіе чего здѣсь быстро образуется твердая накипь, и котелъ прогораетъ. Чтобы устранить указанные недостатки, англійскій инженеръ Ричардъ Тревичикъ (Trevithick) помѣстилъ топку внутри жаровой трубы. Такіе котлы нашли особенно большое распространеніе въ Корнвалисѣ, почему они и извѣстны подъ названіемъ корнвалійскихъ.

Въ настоящее время топку почти всегда располагаютъ внутри жаровой трубы (фиг. 10), или же придѣлываютъ ее передъ трубой, но непремѣнно самые горячіе газы движутся прежде всего по жаровой трубѣ.

Табл. 8 къ фиг. 10.

Поверх. нагрѣва кв. мет.	<i>ab</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>l</i>	<i>D</i>	<i>d</i>
12,5	0,41	0,7	0,58	2,9	1,3	0,58
15	0,5	0,85	0,58	3,7	1,3	0,58
18	0,58	1,0	0,58	4,3	1,3	0,58
20	0,75	1,2	0,63	4,9	1,5	0,63
25	0,88	1,4	0,63	5,7	1,5	0,63
30	1,2	1,6	0,76	6,1	1,6	0,76
35	1,4	1,8	0,76	6,8	1,6	0,76
45	1,7	2,0	0,85	8,5	1,8	0,85

Котелъ снаружи обдѣлывается кирпичомъ различнымъ образомъ: 1.—по выходѣ изъ жаровой трубы газы идутъ по бокамъ котла и затѣмъ возвращаются назадъ подъ котломъ (фиг. 10); 2.—по выходѣ изъ жаровой трубы, газы направляются подъ котломъ и возвращаются по бокамъ; 3.—газы изъ жаровой трубы идутъ впередъ по одной сторонѣ котла и возвращаются назадъ по другой, при чемъ вертикальная ось жаровой трубы должна быть сдвинута въ сторону второго хода отъ вертикальной оси котла (типъ завода Schulz Knaudt, фиг. 11). Изъ этихъ трехъ способовъ болѣе рациональными оказываются второй и третій, такъ какъ при этомъ котелъ нагрѣвается болѣе равномерно. При первомъ же способѣ бока нагрѣваются гораздо сильнѣе, чѣмъ верхъ и низъ, вслѣдствіе чего котелъ испытываетъ при работѣ вредныя напряженія отъ неравномернаго расширенія, и болѣе быстро разрушается. При болѣе сильномъ нагрѣвѣ боковыхъ стѣнокъ, послѣднія стремятся удлиниться, а верхняя и нижняя части котла препятствуютъ имъ въ этомъ, вслѣд-

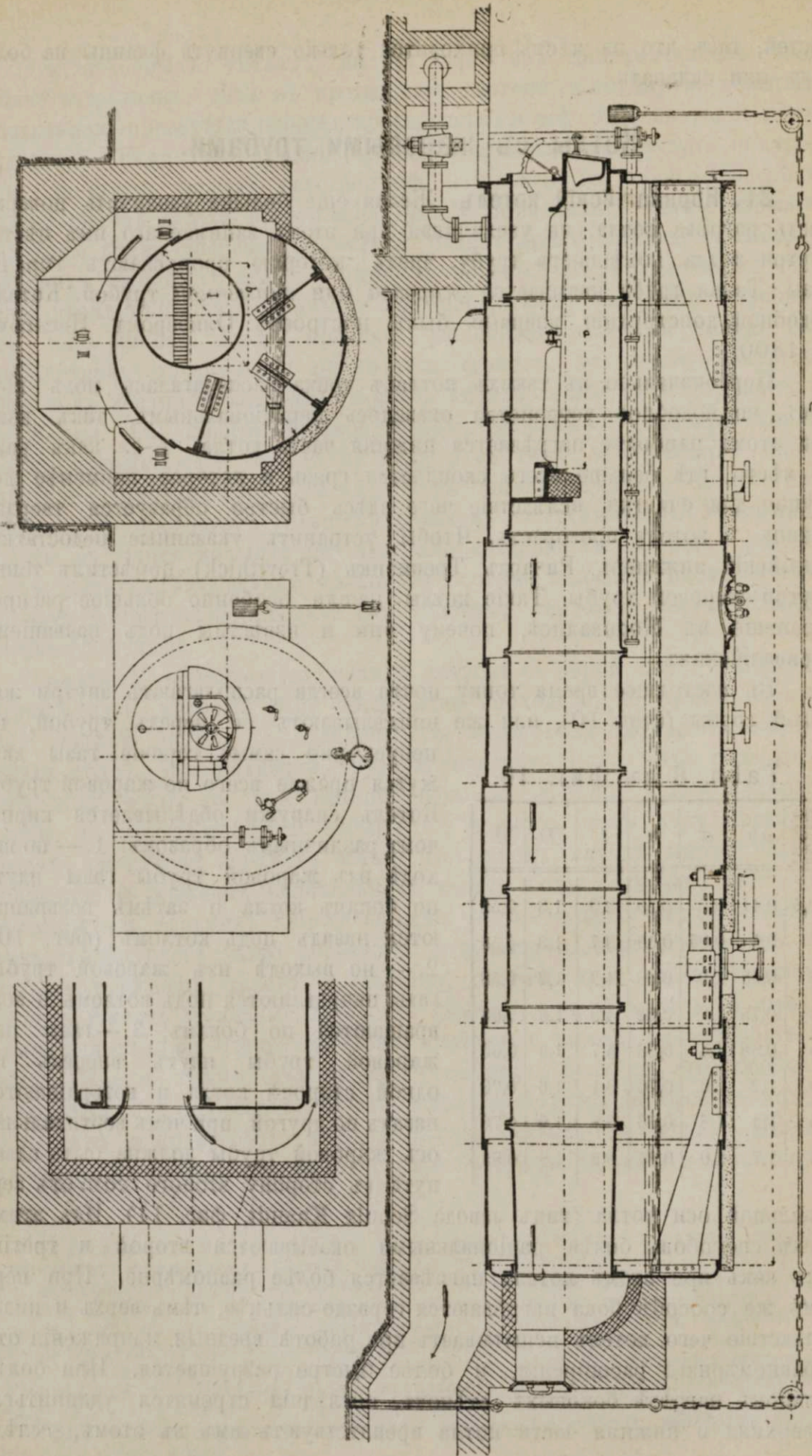
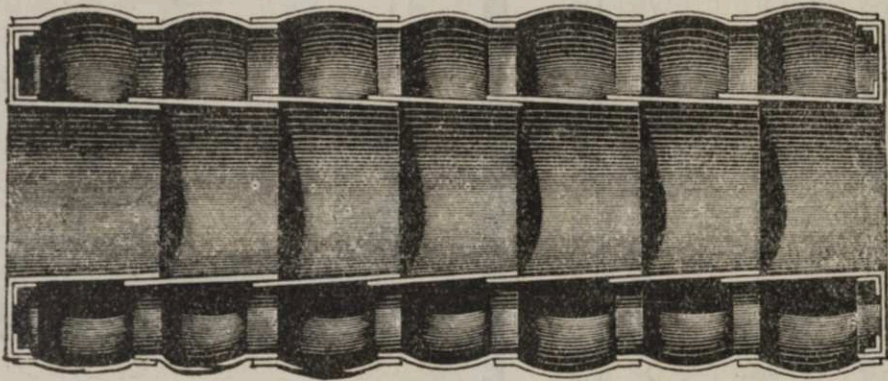


FIG. 10.

ствіе чего боковыя стѣнки изгибаются волнообразно, какъ это представлено въ карикатурномъ видѣ на фиг. 12, при чемъ перегибы происходятъ въ швахъ, какъ наиболѣе слабыхъ частяхъ стѣнки, и, вслѣдствіе этого, при такой обмзкѣ поперечные швы котловъ страдаютъ.

При проходѣ горячихъ газовъ подъ котломъ, температура внутри корнвалійскаго котла распредѣляется наиболѣе равномерно, но подобная обмзка представляетъ то неудобство, что боковые каналы, получаютъ тѣсными и недоступными для чистки и осмотра котла.

При обмзкѣ по третьему способу въ нижней части канала получится достаточное мѣсто для того, чтобы человѣкъ могъ свободно про-



Фиг. 12.

лѣзть. При такой обмзкѣ котла жаровая труба сдвигается въ сторону второго хода, по которому движутся болѣе горячіе газы. Вслѣдствіе чего узкая полоса воды между трубой и внѣшней стѣнкой болѣе быстро обра- щается въ паръ и въ котлѣ появляется энергичная циркуляція воды вокругъ трубы, что способствуетъ лучшему уравниванію температуръ ¹⁾ воды въ котлѣ.

На фиг. 11 верхняя часть котла перекрыта сводами, образующими каналъ, по которому, впрочемъ, горячіе газы не движутся и своды служатъ только для изоляціи верхней части котла отъ потерь тепла. Вмѣсто устройства сводовъ можно покрывать котелъ изолирующимъ веществомъ такъ, какъ показано на фиг. 10 и фиг. 14.

На нижеприведенной таблицѣ даны размѣры корнвалійскихъ котловъ, исполняемыхъ заводомъ *Schulz Knaudt, Essen a/Ruhr*.

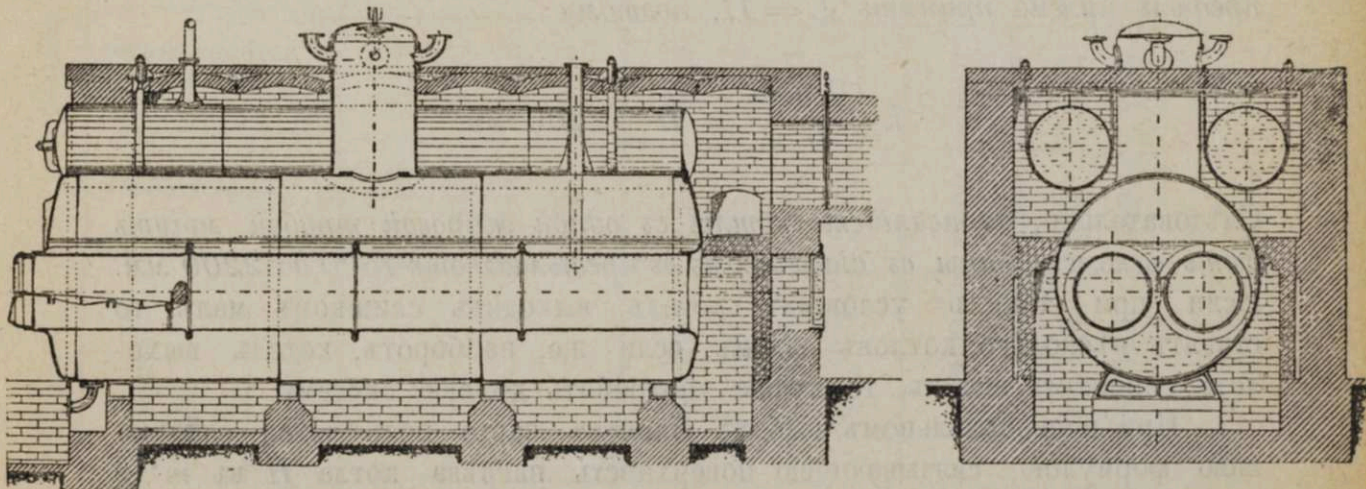
¹⁾ Рациональность подобной обмуровки корнвалійскаго котла вполне подтверждена опытами, произведенными въ Механической Лабораторіи Императорскаго Техническаго Училища. При растопкѣ котла лабораторіи температура верхняго и нижняго уровня воды не разнилась болѣе, чѣмъ на 31° Ц. (тогда какъ при обмуровкѣ по другимъ способамъ эта разность доходитъ въ иныхъ случаяхъ до 100° съ лишнимъ; см. ниже „Опыты съ раскаленными стѣнками“ и *Z. B. R. V. № 10—93—06*). Когда же въ котлѣ образовалось давленіе, то температура нижнихъ слоевъ быстро, почти скачкомъ, уравнилась съ верхними слоями, что нужно приписать появленію энергичной циркуляціи, вслѣдствіе выдѣленія пузырей пара въ большемъ количествѣ въ узкомъ пространствѣ между жаровой трубой и вторымъ газоходомъ; — пузыри, подымаясь вверхъ, заставляютъ и весь столбъ воды вращаться около жаровой трубы. Подробности опытовъ см. статью К. В. Кирша Б. П. О. 385—04.

Аналогичныя же наблюденія надъ растопкой корнвалійскаго котла приведены въ *Z. B. R. V. № 5—41—05. № 21—219—08*.

Табл. 9 къ фиг. 11.

Диаметръ котла, метры.	Длина котла, метры.	Внутренний диам. жаровой трубы, метры.	Внешний диам. жаровой трубы.	Днище.						Поверхность нагрѣва, кв. метры.	Кирпичная кладка.				
				Диаметръ отверстия.	Сдвигъ оси въ вертик. направленіи.	Сдвигъ оси въ горизонт. направленіи.	Высота отогнутого борта.	Выпуклость въмѣстѣ съ бортомъ.	Ширина.		Длина.	Высота.	Толщина передней стѣнки.	Толщина задней стѣ- нки.	Боковой стѣнки.
1,6	4,00	0,80	0,90	0,985	125	125	105	230	20	2,97	4,80	2,3	380	510	510
1,6	5,00	0,80	0,90	0,985	125	125	105	230	26	2,97	5,80	2,3	380	510	510
1,6	6,00	0,80	0,90	0,985	125	125	105	230	32	2,97	6,80	2,3	380	510	510
1,8	4,50	0,95	1,05	1,140	100	145	120	250	30	3,18	5,30	2,4	380	510	510
1,8	6,00	0,95	1,05	1,140	100	145	120	250	40	3,18	6,80	2,4	380	510	510
1,8	7,50	0,95	1,05	1,140	100	145	120	250	50	3,18	8,30	2,4	380	510	510
2,0	6,00	1,10	1,20	1,280	100	150	120	250	45	3,64	6,90	2,5	380	510	640
2,0	7,50	1,10	1,20	1,280	100	150	120	250	56	3,64	8,40	2,5	380	510	640
2,0	8,70	1,10	1,20	1,280	100	150	120	250	65	3,64	9,60	2,5	380	510	640
2,2	8,75	1,25	1,35	1,425	140	180	160	300	75	3,84	9,75	2,6	380	510	640
2,2	10,00	1,25	1,35	1,425	140	180	160	300	86	3,84	11,00	2,6	380	510	640
2,2	10,80	1,25	1,35	1,425	140	180	160	300	93	3,84	11,80	2,6	380	510	640

Четвертый способъ обмазки состоитъ въ томъ, что изъ жаровыхъ трубъ горячіе газы идутъ подъ котломъ, по одному общему ходу, затѣмъ поднимаются поверхъ котла и проходятъ надъ нимъ въ боровъ (фиг. 13).



Фиг. 13.

Этотъ способъ обмазки, согласно русскимъ законамъ, допустимъ только въ томъ случаѣ, если газы, прежде чѣмъ соприкоснуться съ паровымъ пространствомъ, омоютъ поверхность нагрѣва, превосходящую въ 20—40 разъ площадь колосниковой рѣшетки ¹⁾. Такой способъ обмазки даетъ равно-

¹⁾ 20 — при естественной тягѣ и 40 при искусственной.

мѣрное распредѣленіе температуръ; нижній каналъ получается просторнымъ, не затрудняя осмотра и чистки; кромѣ того при этомъ обогрѣвается и паровое пространство, слѣдовательно, паръ нѣсколько подсушивается и выходитъ болѣе сухой. Въ верхнемъ ходѣ можно ставить два цилиндрическихъ котла, по которымъ пропускается питательная вода, для подогреванія ея предъ поступленіемъ въ котель. Температура воды въ этихъ подогревателяхъ будетъ ниже, чѣмъ температура воды въ самомъ котлѣ, и это позволитъ охладить отходящіе газы до болѣе низкой температуры. Невыгодная сторона такой обмуровки — большая, горячая поверхность кладки, требующая очень хорошей изоляціи, иначе будетъ большая потеря тепла въ пространство.

Одно изъ самыхъ важныхъ условий для хорошаго дѣйствія корнвалійскихъ котловъ, это такіе размѣры и положеніе жаровой трубы, при которыхъ было бы удобно производить очистку и осмотръ внутренности котла, и равномерный нагрѣвъ котла.

Обыкновенно діаметръ жаровой трубы d берутъ равнымъ половинѣ діаметра котла D . Для того, чтобы очистка была возможна, труба въ нижней части не должна подходить къ котлу ближе, чѣмъ на 150 мм., между верхнею частью трубы и котломъ не должно быть менѣе 600 мм., поэтому наименьшій допустимый діаметръ котла опредѣлится изъ слѣдующаго равенства:

$$D = \frac{D}{2} + 150 + 600; D \geq 1500 \text{ мм.}$$

длина котла не должна быть больше 5 діаметровъ и за крайній предѣлъ нужно принять $L = 11$, поэтому

$$L \leq \frac{11 \text{ м.}}{5 \text{ м.}} \text{ и } D \leq 2200 \text{ мм.}$$

Слѣдовательно, корнвалійскіе котлы съ одной жаровой трубой могутъ быть рекомендованы съ діаметромъ въ предѣлахъ отъ 1500 до 2200 мм. Если при такихъ условіяхъ котель выходитъ слишкомъ малъ, то ставятъ нѣсколько котловъ рядомъ; если же, наоборотъ, котель выходитъ слишкомъ великъ, то лучше употребить другую систему.

При первоначальномъ выборѣ діаметра часто пользуются слѣдующею формулою, связывающею поверхность нагрѣва котла H въ m^2 и его діаметръ D въ m :

$$D = 0,26 \sqrt{H}.$$

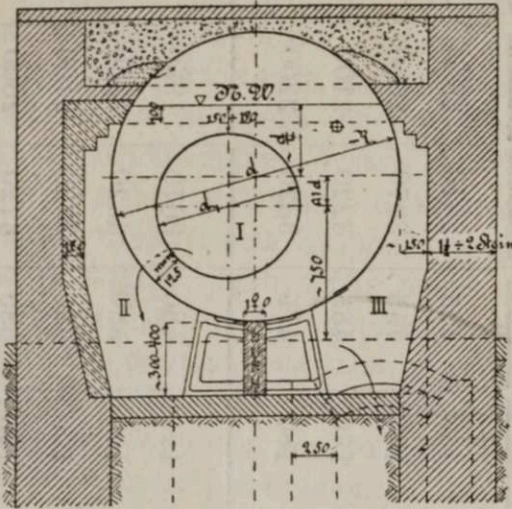
Если давленіе пара въ котлѣ требуется выше 6 атм., то корнвалійскіе котлы съ гладкой жаровой трубой дѣлаются съ діаметромъ только до 1800 мм., такъ какъ гладкія жаровыя трубы болѣе 900 мм. получаютъ слишкомъ тяжелыми. Поверхность нагрѣва подобныхъ кот-

ТАБЛИЦА 10.

Котлы сь одной жаровой трубой.

Диаметръ котла.	Диаметръ жаровой трубы.		Длина котла. мм.	Поверхность нагрева котла. кв. м.	Площадь колосниковой решетки. кв. м.	Объём воды ното простр-ства. куб. м.	Объём паростр-ства. куб. м.	Свѣтъ осн трубы въ верхн. напр-влени.	Свѣтъ осн трубы въ горизонт. напр-влени.	Высота норм. уровня нать осью котла.	Ширина вмазки снаружн.	Ширина вмазки внутрн.	Высота вмазки нать полость.
	Гладкой.	Волнистой.											
1100	550	—	3500	11,4	0,38	1,7	0,6	100	110	295	2160	1400	1710
1200	600	—	4000	14,6	0,48	2,5	0,7	115	120	320	2260	1500	1770
1300	650	—	4000	15,6	0,52	2,9	0,7	120	130	360	2360	1600	1830
1400	700	—	5000	21,9	0,77	4,3	1,2	130	140	390	2460	1700	1890
1500	—	700/800	5500	25,9	0,97	4,9	1,5	140	150	425	2970	1850	2000
1600	—	750/850	6000	30,4	1,04	6,7	1,8	150	160	455	3070	1950	2060
1700	—	800/900	6500	35,7	1,10	8,4	2,2	160	170	485	3220	2100	2120
1800	—	850/950	7000	41,1	1,26	10,2	2,7	170	180	475	3320	2200	2180
1600	—	800/900	6000	31,7	1,10	6,6	1,6	125	125	480	3070	1950	2025
1800	—	950/1050	7000	44,1	1,40	9,5	2,1	145	100	580	3320	2200	2100
2000	—	1100/1250	8000	56,9	1,84	13,2	2,8	150	100	650	3520	2400	2200
2200	—	1250/1350	9000	71,8	2,34	17,0	4,4	180	140	685	3720	2600	2340

ловъ обыкновенно не превосходитъ 40 кв. метр. Для котловъ большихъ размѣровъ употребляются болѣе прочныя волнистыя трубы (фиг. 11),



Фиг. 14.

На фиг. 14 представлены данныя, опредѣляющія расположеніе жаровой трубы относительно оси котла, а также положеніе водяного уровня и огновой

линии. и, въ такомъ случаѣ, котлы съ одной жаровой трубой исполняются до 2200 мм. въ діаметрѣ, съ поверхностью нагрѣва до 90 кв. метровъ. Нужно стараться, чтобы первый поперечный шовъ не попалъ въ топочное пространство; это, однако, не важно въ томъ случаѣ, когда примѣняется скрѣпленіе Адамсона, показанное, напр., на фиг. 10. Часто первый барабанъ сваривается со вторымъ и получается такимъ образомъ барабанъ до 2600 мм. длиной. Продольные швы жаровыхъ трубъ располагаются всегда въ нижней части, такъ, чтобы они находились по крайней мѣрѣ на $\frac{1}{4}$ діам. ниже колошниковой рѣшетки; дѣлается это

съ цѣлью защитить ихъ отъ дѣйствія жара.

Какъ уже было сказано, труба, сдвинутая въ бокъ отъ вертикальнаго діаметра котла, является выгодной въ смыслѣ болѣе совершенной циркуляціи въ котлѣ. Кромѣ того, такое положеніе трубы дѣлаетъ болѣе удобной работу человѣка при очисткѣ котла, такъ какъ рабочій имѣетъ возможность помѣщаться стоя въ большомъ вертикальномъ пространствѣ. Чтобы человѣку легче было передвигаться, къ внѣшней оболочкѣ котла приклепывается угольникъ, на который рабочій можетъ опираться ногой.

27. Ланкаширскіе котлы. Желая увеличить размѣры корнвалійскаго котла, въ Ланкаширѣ стали строить котлы съ двумя жаровыми трубами (фиг. 15, 16, 17 и 18). Такіе котлы извѣстны подъ именемъ *ланкаширскихъ* и очень распространены въ Англіи.

Топки располагаются обыкновенно или внутри жаровыхъ трубъ, или передъ ними. Все, что было сказано относительно вмазки корнвалійскихъ котловъ, остается справедливымъ и по отношенію ланкаширскихъ.

Здѣсь тоже непрѣмнымъ условіемъ правильности дѣйствія котла является его доступность для осмотра и очистки, и равномерность нагрѣва. Съ этой цѣлью *разстояніе между трубами не должно быть меньше 300 мм.*, чтобы человѣкъ могъ пролѣзть между ними въ нижнюю часть котла. Иногда трубы ставятся болѣе близко и въ нижней части котла дѣлается особый лазъ. Присутствіе большого лаза въ нижней части котла неудобно также и потому, что при пропариваніи черезъ прокладку, что случается довольно часто, приходится для перемѣны прокладки спускать всю воду изъ котла; а для этой операціи, если

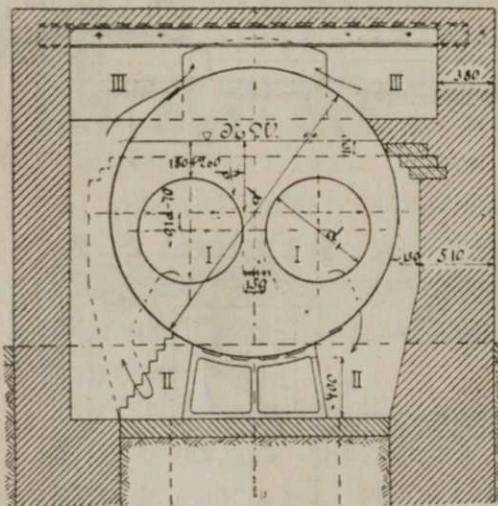
производить ее надлежащимъ образомъ, требуется не мѣнѣе сутокъ; такимъ образомъ, вслѣдствіе незначительныхъ обстоятельствъ, котелъ долженъ быть остановленъ на продолжительное время¹⁾. Если же лазъ находится въ верхней части, то для перемѣны прокладки нужно спустить только паръ, на что требуется одинъ — два часа. Если потомъ поставить условіе, что жаровыя трубы не должны подходить къ стѣнкамъ котла ближе, чѣмъ на 140 мм., и что діаметръ жаровой трубы d , какъ это обыкновенно бываетъ, равенъ одной трети діаметра котла D , то, допустивъ, что разница между хордой, проходящей черезъ центры жаровыхъ трубъ, и діаметромъ котла D , равна 50 мм., наименьшій діаметръ опредѣлится изъ слѣдующаго равенства:

$$D = \frac{2}{3} D + 300 + 280 + 50,$$

откуда

$$D \geq 1890 \text{ мм.}$$

Съ другой стороны діаметръ ланкаширскихъ котловъ не дѣлается больше 3000 мм.



Фиг. 19.

На фиг. 19 даны указанія относительно расположенія жаровыхъ трубъ, а также положенія водяного уровня и огневой линіи.

Слѣдовательно, ланкаширскіе котлы рационально строить съ діаметромъ въ предѣлахъ отъ 1890 мм. до 3000 мм., хотя при очень большомъ давленіи въ котлы до вышшаго предѣла благоразуміе не доходитъ.²⁾

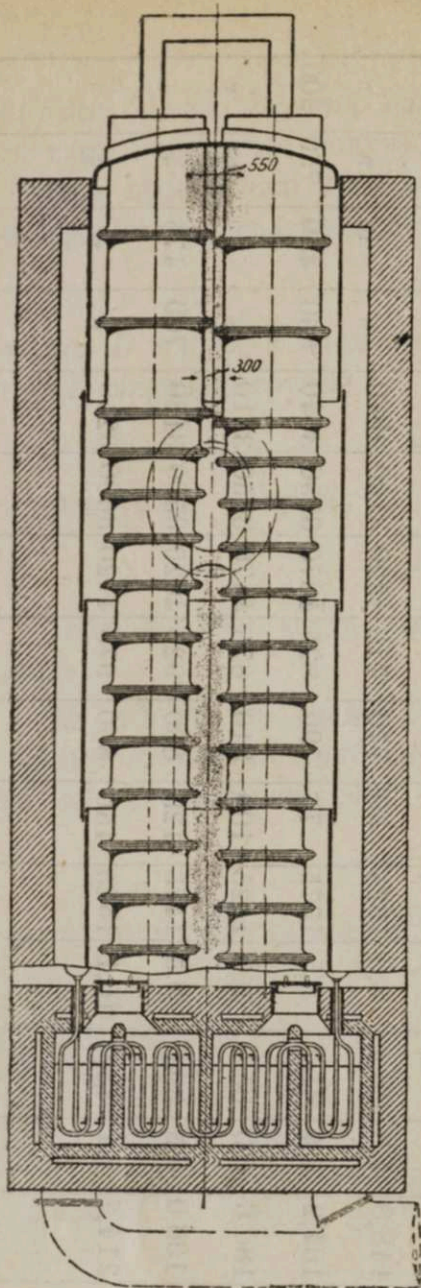
Поверхность нагрѣва ланкаширскихъ котловъ колеблется въ настоящее время въ предѣлахъ отъ 35 до 140 m^2 , большей же частью до 100 m^2 . Для удобнаго помѣщенія топки, жаровая труба должна имѣть діаметръ не меньше 750 mm .; поэтому въ тѣхъ случаяхъ, когда, по приведеннымъ отношеніямъ, жаровыя трубы выходятъ меньшихъ размѣровъ, въ мѣстѣ топки ихъ уширяютъ.

¹⁾ Присутствіе лаза въ нижней и въ верхней части котла полезно въ томъ отношеніи, что при ихъ открытіи устанавливается токъ воздуха, который производитъ вентиляцію внутри котла и дѣлаетъ присутствіе людей внутри котла безопаснымъ и болѣе комфортабельнымъ. Бывали случаи, что вслѣдствіе отсутствія вентиляціи, когда торопились влѣзть въ котелъ, люди задыхались. Поэтому, если сама конструкція котла не обуславливаетъ такой вентиляціи, то необходимо ее вызвать искусственно, что можетъ быть легко достигнуто, если во внутрь котла ввести легкую желѣзную трубу, которая съ другого конца соединяется съ боровомъ, тогда сейчасъ по введеніи черезъ верхній лазъ такой трубы установится сильная тяга во внутрь котла и котелъ заполнится хорошимъ воздухомъ. (Болѣе подробно о необходимости такой вентиляціи см. парагр. „Ремонтъ парового котла“).

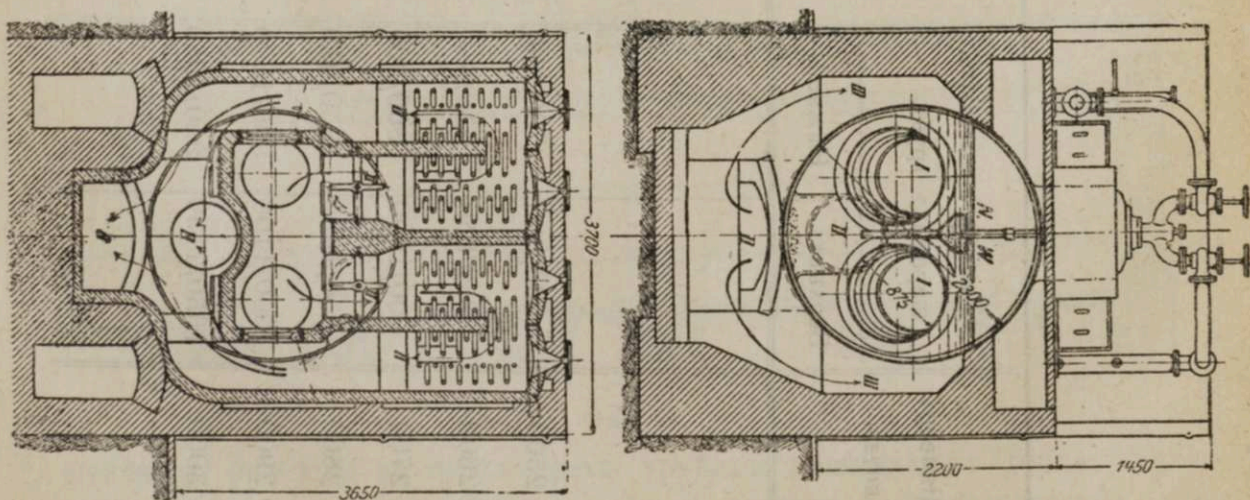
²⁾ На Брюссельской выставкѣ котелъ Piedboeuf съ 3-мя жаров. трубъ и верхнимъ трубчатымъ имѣлъ $D = 3000$ мм. при 12 атм. давленія Z. D. и M. 4 34—10.

ТАБЛИЦА 11.
Котлы съ двумя жаровыми трубами.

Диаметръ котла.	Диаметры жаровыхъ трубъ.		Длина котла. мм.	Поверхность нагрева котла. кв. м.	Площ. кососен- ной рѣшетки. кв. м.	Объёмъ вода- ного простран- ства. куб. м.	Объёмъ паро- вого простран- ства. куб. м.	а	b	с	f	k	l	п	о	р	q
	Гладкой.	Волнистой.															
1700	600	—	5500	35,0	1,08	6,5	2,3	775	100	425	3220	2100	2050	500	250	400	300
1800	650	—	6000	41,3	1,30	7,8	2,6	825	110	450	3320	2200	2110	—	—	450	—
1900	675	—	6500	47,6	1,40	9,1	3,4	875	115	470	3420	2300	2165	—	—	500	350
2000	720	700/800	8000	68,4	1,95	12,0	4,9	925	130	490	3520	2400	2250	525	300	—	—
2100	770	750/850	8500	76,3	2,24	14,1	5,5	970	140	530	3620	2500	2300	—	—	—	—
2200	820	800/900	9000	85,2	2,55	16,5	6,0	1040	150	580	3720	2600	2350	550	350	600	—
2300	870	850/950	9500	96,2	2,88	19,0	6,7	1085	160	620	3920	2700	2400	—	—	700	450
2400	920	900/1000	10000	107,0	3,13	21,9	7,3	1140	170	660	3970	2850	2475	600	400	—	—
2500	970	950/1050	10500	118,1	3,60	24,9	8,1	1180	180	700	4120	3000	2550	—	425	—	—



Фиг. 22.



«странствѣ для котла, и, кромѣ того, нагрѣваніе котла происходитъ болѣе равномернѣ, но, вѣроятно, вслѣдствіе дорогой цѣны и затруднительной чистки употребляются рѣдко.

Въ таблицѣ 12 приведены основныя данныя для котловъ съ тремя жаровыми трубами.

Существуютъ также котлы съ тремя трубами, у которыхъ топка помещается только въ одной трубѣ, и газы, пройдя по ней, возвращаются по другой трубѣ, идутъ назадъ по третьей и затѣмъ уходятъ въ боровъ. Такіе котлы кирпичной кладки не имѣютъ, и дымовые каналы образуются самимъ котломъ. Встрѣчаются рѣдко и современнымъ требованіямъ (большое напряженіе) не удовлетворяютъ.

Заводъ Паукша (Н. Paucksch, A. G., Landsberg a. W.) строить котлы съ тремя трубами такъ (фиг. 22), что третья труба не имѣетъ топки. Это не выгодно въ томъ отношеніи, что размѣръ колосниковой рѣшетки получается нѣсколько меньше, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда рѣшетка помещается во всѣхъ трехъ трубахъ. Третья труба до передняго днища не доходитъ и позволяетъ увеличить въ передней части діаметръ жаровыхъ трубъ, а вмѣстѣ съ этимъ нѣсколько увеличить и размѣръ рѣшетки. Присутствіе третьей трубы въ передней части котла выгодно тѣмъ, что передняя часть нагрѣвается сильнѣе и вслѣдствіе проявленія циркуляціи воды въ котлѣ получается болѣе равномерное распредѣленіе температуръ въ котлѣ при растопкѣ и болѣе быстрый прогрѣвъ котла. Такъ при испытаніи подобнаго котла проф. Левицкимъ получились слѣдующіе результаты: температура воды въ водомѣрномъ стеклѣ при началѣ растопки 43° Ц. термометръ, поставленный въ нижній лазъ на разстояніи 900 мм., показывалъ $29,5^{\circ}$ Ц., черезъ 12 мин. послѣ начала растопки термометръ сталъ подыматься; черезъ 16 мин. началось парообразование; давленіе въ 8 атм. было достигнуто черезъ 56 мин., при чемъ термометръ подъ жаровыми трубами показывалъ 53° Ц. Черезъ 100 мин. термометръ сталъ быстро подыматься и черезъ 2 часа и 27 мин. достигъ до 175° Ц., что соотвѣтствовало давленію пара въ котлѣ. (Болѣе подробно см. статью Кирша Б. П. О. 385 — 04).

При подобномъ же испытаніи котла съ двумя жаровыми трубами, приблизительно съ тою же поверхностью нагрѣва и при томъ же часовомъ расходѣ топлива, парообразование началось черезъ 37 мин., а полное давленіе было достигнуто черезъ 1 часъ 30 мин., при чемъ термометръ подъ жаровыми трубами показывалъ 52° Ц. Полное уравненіе температуръ было достигнуто спустя 4 часа 27 мин. Такимъ образомъ котель съ тремя трубами далъ паръ на 34 мин. скорѣе, а уравненіе температуръ произошло на 2 часа ранѣе. Еще лучше въ этомъ отношеніи котлы съ одной жаровой трубой, сдвинутой на бокъ.

29. Котлы Галловей. Для увеличенія поверхности нагрѣва въ корнвалійскихъ котлахъ, Галловей предложилъ въ жаровыхъ трубахъ ставить небольшія коническія трубки (*Галловеевскія трубки*). Ихъ ставятъ нѣсколько по длинѣ жаровой трубы, при чемъ онѣ поочередно слегка на-

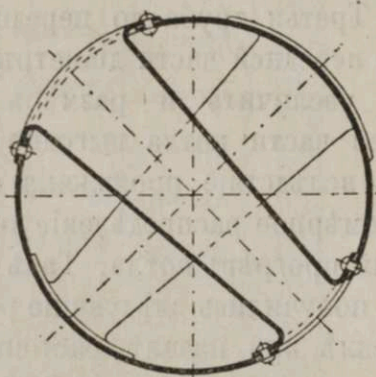
клоняются то въ ту, то въ другую сторону (фиг. 23 и 25). Галловеевскія трубки укрѣпляютъ жаровую трубу отъ сплющиванія.

Обычныя размѣры Галловеевскихъ трубъ (фиг. 23):

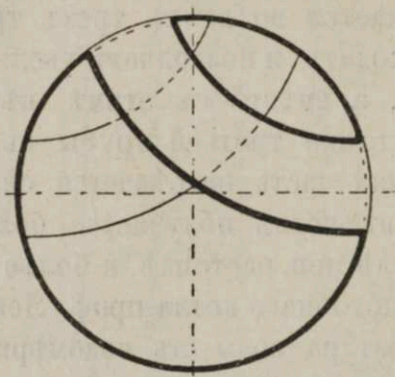
При діам. жаровой трубы	700	750	800	850 мм.
Діаметръ D Галловеевской трубки	270	270	305	305 "
" d " " " " "	140	140	150	150 "

Толщина стѣнки отъ 9 до 15 мм. (по расчету). Ставятся трубки на разстояніи 1250—1500 мм. другъ отъ друга. При жаровыхъ трубахъ меньшаго діаметра, вслѣдствіе трудности постановки, Галловеевскія трубки не употребляются.

Заводъ Фицнеръ-Гампера видоизмѣнилъ форму Галловеевскихъ трубъ — фиг. 24, дѣлая ихъ овальными, изогнутыми, равнаго діаметра. Отгибъ ихъ въ верхней части жаровой трубы сдѣланъ съ цѣлью свободнаго доступа внутрь жаровой трубы.



Фиг. 23.



Фиг. 24.

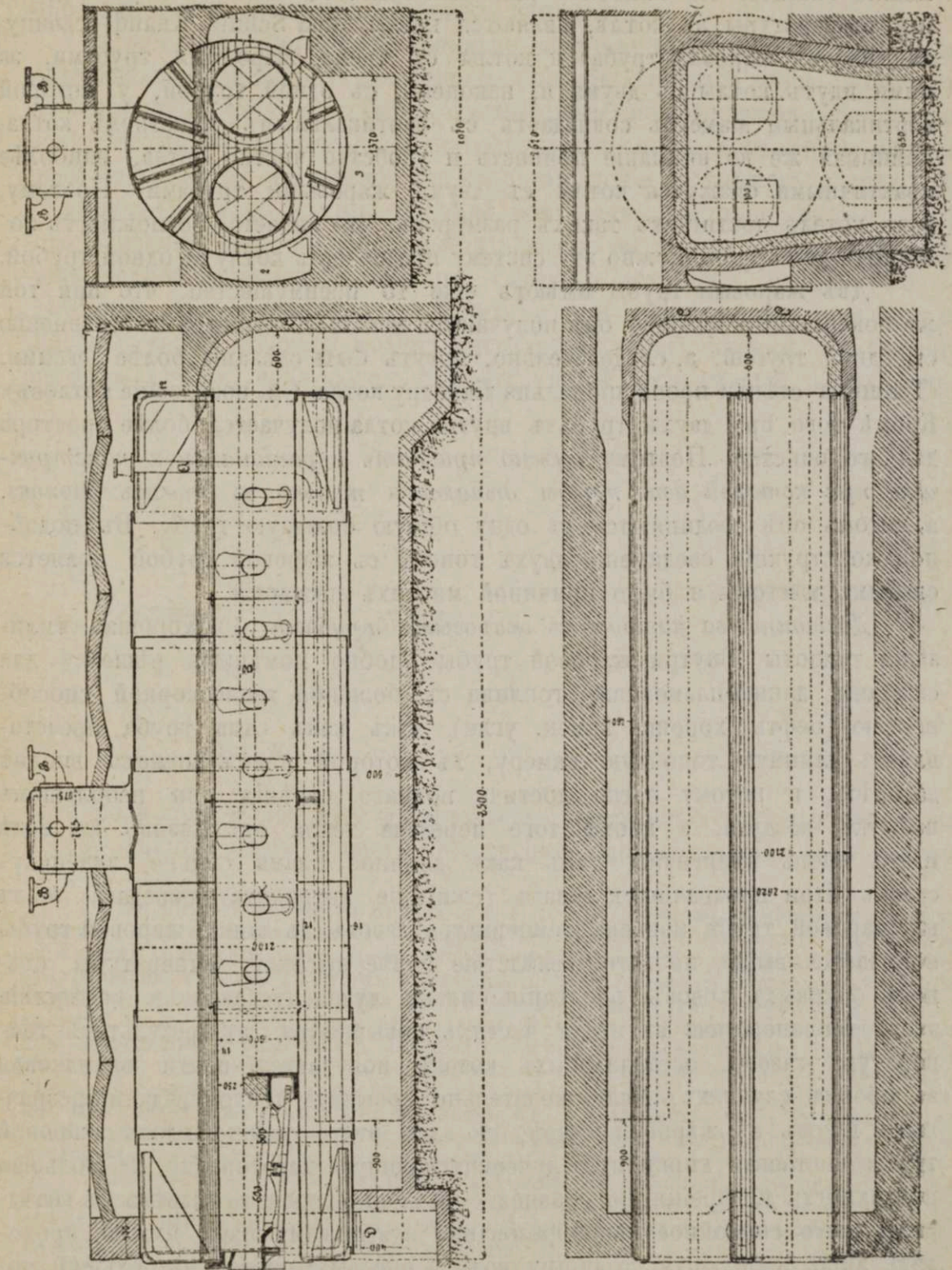
Своими трубками Галловей думалъ достигъ лучшей циркуляціи воды и, вслѣдствіе этого, болѣе равномернаго распредѣленія температуры въ котлѣ; но, какъ показали specially произведенные опыты Флетчера (см. добавленіе), замѣтнаго вліянія на циркуляцію воды эти трубки не оказываютъ, а потому, являясь деталью вообще дорогой, очень неудобной для очистки и осмотра и, вслѣдствіе этого, въ нѣкоторыхъ случаяхъ легко портящейся, едва ли могутъ быть особо рекомендованы.

30. Котлы Паукша. Паукшъ для улучшенія теплопередачи дѣлаетъ жаровую трубу изъ цилиндровъ различныхъ діаметровъ (фиг. 22) чѣмъ достигается лучшее перемѣшиваніе газовъ ¹⁾.

Если газы въ трубѣ двигаются совершенно не перемѣшиваясь, то слой газовъ, прилегающій къ поверхности нагрѣва и отдающій котлу тепло охлаждается, вслѣдствіе чего передача тепла уменьшается, такъ какъ количество тепла передающагося черезъ стѣнку пропорціонально разности температуръ газовъ и воды, омывающихъ стѣнку. Между тѣмъ горячая центральная часть газовъ почти не принимаетъ участія въ теплопередачѣ, такъ какъ прозрачные газы почти не лучеиспускаютъ, а образовавшійся холодный

¹⁾ Перемѣшиваніе газовъ въ жаровыхъ трубахъ необходимо,

прослойка около стѣнки не позволяетъ болѣе горячимъ газамъ отдавать тепло непосредственнымъ соприкосновеніемъ. Слѣдовательно, для повы-



Фиг. 25.

шенія интенсивности теплопередачи нужно удалить отъ стѣнки охлажденные газы и подвести къ ней болѣе горячіе изъ средней части, что и достигается перемѣшиваніемъ газовъ.

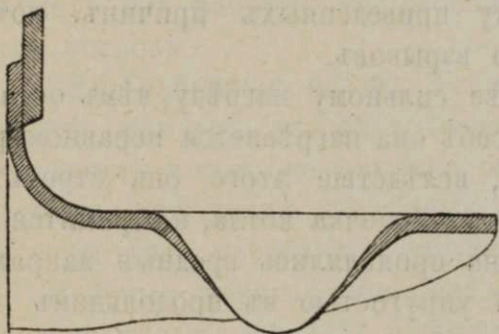
31. Сравнительныя достоинства и недостатки котловъ съ жаровыми трубами. Сравнивая между собой котлы съ жаровыми трубами, можно сказать, что наиболѣе рациональными, въ отношеніи распредѣленія температуры въ котлѣ, являются котлы типа Schulz Knaudt (сдвинутая набокъ жаровая труба) и котлы съ тремя жаровыми трубами, за ними идутъ котлы съ двумя и, наконецъ, съ одной трубой, у которой вертикальный діаметръ совпадаетъ съ вертикальнымъ діаметромъ котла; принимая же во вниманіе цѣнность и удобство чистки котла, наиболѣе практичными окажутся котлы съ двумя жаровыми трубами. Поэтому, разъ котелъ достигаетъ такихъ размѣровъ, что является возможность помѣстить двѣ трубы, нужно эту систему предпочесть котлу съ одной трубой.

Двѣ жаровыя трубы имѣютъ еще то преимущество, что при той же поверхности нагрѣва онѣ получаютъ меньшаго діаметра по сравненію съ одной трубой, а, слѣдовательно, могутъ быть сдѣланы болѣе легкими. (Толщина стѣнки пропорціональна діаметру котла. См. построеніе котловъ). Кромѣ того при двухъ трубахъ внутри котла получается болѣе простора для его очистки. Поэтому *нужно признать нераціональною конструкцію, при которой двѣ трубы дѣлаются только въ мѣстѣ топокъ, а потомъ онѣ соединяются въ одну общую большую трубу.* Въ подобной конструкціи соединеніе двухъ топокъ съ жаровой трубой является слабымъ мѣстомъ и было причиной многихъ несчастій.

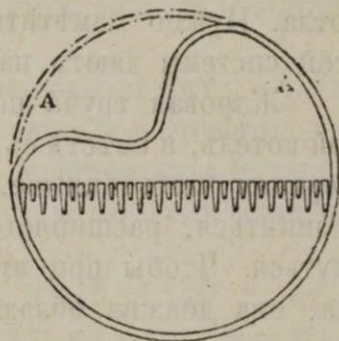
Достоинства котловъ съ жаровыми трубами. 1) Хорошая утилизація теплоты. Внутри жаровой трубы удобно помѣщать рѣшетку для сжиганія длиннопламеннаго топлива съ большой теплотворной способностью (нефть, хорошіе камен. угли), такъ какъ сама труба представляетъ длинную топочную камеру, въ которой пламя можетъ вполне догорѣть, и потому легко достичь полного горѣнія при небольшомъ избыткѣ воздуха, а кромѣ того передача тепла отъ газовъ къ водѣ идетъ очень энергично, такъ какъ длинное пламя сильно лучеиспускаетъ. При прозрачныхъ газахъ (сжиганіе антрацита) передача тепла въ жаровой трубѣ меньше, температура газовъ въ концѣ жаровой трубы получается выше, но зато, вслѣдствіе болѣе высокой температуры стѣнокъ боковыхъ ходовъ, послѣднія сильно лучеиспускаютъ и вслѣдствіе этого теплопередача въ этихъ частяхъ повышается; въ результатѣ температура газовъ, оставляющихъ котелъ получается почти одинаковая въ обоихъ случаяхъ. Если желательно повысить теплопередачи прозрачныхъ газовъ въ жаровой трубѣ, то для этого можно вдоль жаровой трубы поставить кирпичную лучеиспускающую перегородку. 2) Большая поверхность испаренія по сравненію съ поверхностью нагрѣва, и вслѣдствіе этого спокойное парообразование: пузырькамъ пара нужно проходить лишь небольшую толщину воды и они выдѣляются на большой поверхности, вслѣдствіе чего нѣтъ сильнаго бурленія воды, и вода меньше увлекается паромъ въ видѣ механической примѣси — паръ получается болѣе сухой. Кромѣ того, пузырьки пара, поднимаясь кверху, сейчасъ же отдѣляются отъ стѣнокъ котла, вслѣдствіе благопріятствующей кривизнѣ стѣнокъ; вслѣдствіе этого стѣнки всегда омываются чистой водой

безъ примѣси пара и лучше передають теплоту. 3) Котлы эти достаточно удобны для очистки и внутренняго осмотра. 4) Размѣръ кладки у котловъ съ жаровыми трубами не великъ, поэтому потеря тепла въ пространство и засасываніе воздуха невелики.

Слабая сторона такихъ котловъ—жаровая труба большого діаметра, подверженная внѣшнему давленію и дѣйствію сильнаго жара помѣщающейся внутри ея топки. Очень часто, вслѣдствіе недосмотра кочегара или вслѣдствіе порчи питательныхъ и водоуказательныхъ аппаратовъ, уровень воды понижается настолько, что жаровая труба, обнажаясь, раскаляется и выпучивается во внутрь, подобно тому, какъ показано на фиг. 26¹⁾. Это особенно легко можетъ случиться въ виду того, что слой воды надъ трубой небольшой (его не слѣдуетъ допускать менѣе 100 — 150 мм.). Но, независимо отъ этого, и при нормальномъ уровнѣ воды жаровая труба все-таки можетъ раскалиться и разрушиться. Это бываетъ въ томъ случаѣ, если котель питается водой, содержащей жиры, напр.,



Фиг. 26.



Фиг. 27.

если вода получается изъ конденсатора. Достаточно небольшому количеству такого жира попасть на стѣнку, расположенную надъ топкой,

1) По мнѣнію Кнауда (O. Knaudt. Z — 1779 — 06), на сплющиваніе трубы главнымъ образомъ вліяетъ неправильность ея формы. Отклоненіе отъ правильной цилиндрической формы сильно понижаетъ коэффициентъ надежности. Такъ для трубы діам. 1350 мм., рассчитанной съ коэффициентомъ надежности 5,2 (по сравненію съ началомъ видимыхъ измѣненій) разница въ діаметрѣ въ 35 мм. понизила этотъ коэффициентъ до 3,6, а разница въ 167 мм. понизила коэф. надежности до 1,9. Постепенныя отклоненія трубы отъ правильной формы могутъ произойти вслѣдствіе неравномѣрнаго нагрѣва трубы въ верхней и нижней части, въ особенности въ топочномъ пространствѣ. Приведенное выше отклоненіе на 35 мм. произошло въ теченіе 300 дней работы трубы, при чемъ оно шло совершенно равномѣрно все время, что и указываетъ, что дѣйствующей причиной здѣсь была температура, а не давленіе пара, такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ отклоненія по мѣрѣ ихъ возрастанія должны бы были ити все быстрее и быстрее.

Müller въ Z. 779—09 предѣляетъ аналитически добавочныя напряжения вслѣдствіе неравномѣрнаго нагрѣва жаровыхъ трубъ и приходитъ къ заключенію, что эти напряжения могутъ вызвать въ нихъ значительныя деформаціи. Онъ считаетъ, что такія напряж. приобретаютъ наибольшую величину въ мѣстѣ А, отчего въ этомъ мѣстѣ и получаются наибольшія выпучины, когда онѣ не зависятъ отъ низкаго уровня или слишкомъ большого давленія.

Если желѣзо мягкое, то обыкновенно сплющиваніе трубы не причиняетъ большаго несчастья, даже если въ сплюсненномъ мѣстѣ расположенъ заклепочный шовъ, который въ такихъ случаяхъ только начинаетъ течь. Если же близъ деформирующагося листа помѣщается шовъ съ укрѣпляющимъ кольцомъ Адамсона, не позволяющій листу плавно согнуться, или помѣщается плохо сработанный сварной шовъ, то листъ часто разрывается (даетъ поперечную трещину) съ очень серьезными послѣдствіями.

чтобъ стѣнка перегрѣлась и выпучилась, при форсированной работѣ котла. Въ этомъ случаѣ труба перегрѣвается обыкновенно съ боку, приблизительно подъ угломъ въ 45° отъ колосниковой рѣшетки. Объясняется это тѣмъ, что паръ, образующійся съ боку трубы, не отдѣляется сейчасъ отъ стѣнки, а подымается по ней и, пройдя дугу въ 45° , примѣшивается къ пару, который въ этомъ мѣстѣ образуется особенно сильно, вслѣдствіе того, что подъ такимъ угломъ начинается особенно сильное дѣйствіе лучистой теплоты. Скопившійся въ этомъ мѣстѣ паръ не позволяетъ водѣ смачивать стѣнку, вслѣдствіе чего послѣдняя раскаляется и выпучивается, какъ показано на фиг. 27 ¹⁾. Для избѣжанія этого, *у котловъ съ внутренней топкой жаровую трубу необходимо поддерживать въ чистомъ состояніи*. При всѣхъ указанныхъ деформацияхъ трубы, если матеріалъ, изъ котораго труба приготовлена, достаточно мягокъ, кромѣ порчи котла и остановки работы на время ремонта, никакихъ серьезныхъ послѣдствій не произойдетъ, если же матеріалъ плохъ, то труба разорвется, и тогда неминуемо послѣдуетъ взрывъ котла. Нужно замѣтить, что, въ виду приведенныхъ причинъ, котлы этой системы даютъ наибольшее число взрывовъ.

Жаровая труба подвергается болѣе сильному нагрѣву, чѣмъ остальной котель, и вмѣстѣ съ тѣмъ сама по себѣ она нагрѣвается неравномерно (верхняя часть больше, чѣмъ нижняя), вслѣдствіе этого она стремится удлиниться, расширяется сильнѣе, чѣмъ оболочка котла, и стремится согнуться. Чтобы при этомъ въ трубѣ не проявлялись вредныя напряженія, она должна обладать достаточной упругостью въ продольномъ направленіи, а кромѣ того, должна хорошо сопротивляться внѣшнему давленію, стремящемуся сплюснуть жаровую трубу, наконецъ поверхность трубы должна быть такова, чтобы она способствовала перемѣшиванію проходящихъ по ней газовъ, благодаря чему послѣдніе болѣе совершенно отдаютъ свое тепло. Всѣмъ этимъ требованіямъ гладкая труба совершенно не удовлетворяетъ; гораздо лучшей во всѣхъ отношеніяхъ является волнистая труба, такъ какъ волны сообщаютъ трубѣ большую упругость

¹⁾ Интересные случаи смятія жаровыхъ трубъ приведены въ Z. D und. M. 201—04 и 107—05; также Glasers Annalen 335—1891.

Чтобы исправить деформировавшуюся трубу, ее сначала нагрѣваютъ, а затѣмъ выправляютъ при помощи домкратовъ. Эту операцію нужно производить, по возможности быстро, иначе труба можетъ остыть, и тогда будетъ трудно ее выправить. Для большаго удобства работы, для нагрѣванія трубы, внутрь ея можетъ быть введена жаровня особой конструкціи съ дутьемъ, представляющая изъ себя родъ горна; эта жаровня можетъ поддерживаться на рычагахъ и быстро вводиться и выниматься изъ трубы. Для нажатія удобнѣе всего употреблять гидравлическій домкратъ — тоннъ въ 15—20. Между разогрѣтымъ мѣстомъ и домкратомъ нужно проложить еще одинъ круглый листъ, разогрѣтый до красна, чтобы уменьшить охлажденіе трубы, или того мѣста, которое соприкасается съ домкратомъ.

Для опредѣленія величины деформации трубъ имѣются особые инструменты см. Eg. 342—II—902.

Случай когда прогнулась не только труба, но и соединеніе Адомсона. Z. D и T. 124—3—10.

Случай, когда во всѣхъ отношеніяхъ доброкачественная волнистая жаровая труба сплюснулась вслѣдствіе налета жира описанъ въ Z. d. V. d. I, 1641—07.

То же. Z. D. und. M. 458—11—08.

Сплющ. волнистыя трубы ихъ броненосц. Dupuy-de-Lome и Wattignies. Kumo. Chaudières Marines Z. E. Bertin. стр. 227.

въ продольномъ направленіи и большую жесткость въ поперечномъ, и вмѣстѣ съ тѣмъ, образуя большіе выступы, способствуютъ прекрасному перемѣшиванію газовъ.

Къ недостаткамъ же котловъ съ жаровыми трубами, какъ и вообще котловъ въ внутренней топкой, нужно отнести неравномѣрный нагрѣвъ ихъ, и вслѣдствіе этого проявленіе внутреннихъ вредныхъ напряженій.

Наконецъ, котлы съ жаровыми трубами, будучи вообще большого діаметра, требуютъ болѣе толстыхъ листовъ, которые трудно гнуть, пригонять и пр., и потому такіе котлы выходятъ всегда тяжелѣе и дороже, чѣмъ другіе котлы. Но, съ другой стороны, кирпичная кладка обходится у этихъ котловъ дешевле, чѣмъ въ другихъ системахъ.

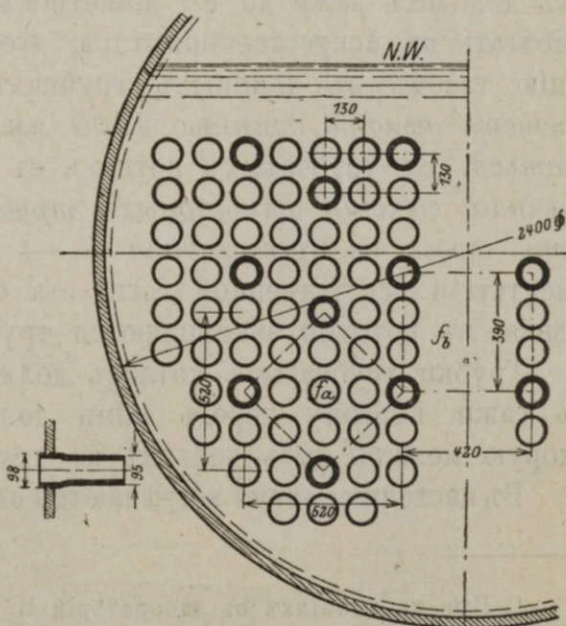
Котлы съ жаровыми трубами имѣютъ небольшую поверхность нагрѣва (обыкновенно не больше 100 кв. метр.) и потому они являются особенно пригодными для мелкихъ котельныхъ установокъ, позволяя выполнять ихъ изъ нѣсколькихъ отдѣльныхъ единицъ, которыя можно выводить изъ работы, не особенно повышая напряженность работающих котловъ.

32. Трубчатые котлы. Увеличивая число жаровыхъ трубъ и уменьшая ихъ діаметръ, мы тѣмъ самымъ будемъ увеличивать нагрѣвательную поверхность котла, не измѣняя занимаемого имъ пространства и, такимъ образомъ, постепенно перейдемъ къ типу котловъ, которые въ практикѣ извѣстны подъ названіемъ *трубчатыхъ*.

Впервые такого типа котлы предложены около 1830 г. почти одновременно во Франціи барономъ Сегюе (Séguier) и въ Англіи Бутсомъ (Booth) и сейчасъ же примѣнены Георгомъ Стефенсономъ для его первыхъ паровозовъ.

Въ различныхъ системахъ встрѣчаются трубки, діаметромъ отъ 32 до 230 мм., но наиболѣе употребительные размѣры трубъ колеблются въ предѣлахъ отъ 45 до 90 мм. Трубки такого размѣра, въ отличіе отъ жаровыхъ, называются *дымогарными* а также *прогарными*.

Трубчатые котлы представляютъ удобство въ томъ отношеніи, что, занимая мало мѣста, даютъ большую поверхность нагрѣва. Кромѣ того газы, двигаясь внутри трубокъ малаго діаметра, лучше отдаютъ теплоту, чѣмъ при движеніи по жаровымъ трубамъ большаго діаметра. Это относится къ прозрачнымъ газамъ, которые, разбиваясь на мелкія струйки въ дымогарныхъ трубкахъ отдаютъ тепло какъ бы по всей своей массѣ, тогда какъ при движеніи по большой жаровой трубѣ газы, соприкасаю-



Фиг. 28.

какъ при движеніи по большой жаровой трубѣ газы, соприкасаю-

щіея съ холодной поверхностью котла и охлажденные, мѣшаютъ передачу тепла отъ всей остальной массы газовъ. Если при передачѣ тепла участвуетъ и лучеиспусканіе, то картина мѣняется. Поэтому для увеличенія теплопередачи въ дымогарныхъ трубкахъ полезно вставлять въ нихъ желѣзныя полосы, которыя, накаляясь, отдаютъ тепло лучеиспусканіемъ и повышаютъ теплопередачу ¹⁾.

Въ виду сказаннаго, обыкновенно стараются уменьшить діаметръ трубокъ, чтобы при этомъ передача теплоты происходила болѣе совершенно. Но уменьшать діаметръ трубокъ можно до тѣхъ поръ, пока этимъ не будетъ затруднена тяга и не будетъ затруднительно чистить трубки.

Въ цѣляхъ осмотра и очистки поверхности трубокъ и удобства проникновенія въ нижнюю часть котла, трубки часто располагаютъ двумя группами (фиг. 28) съ промежуткомъ посрединѣ въ 400—450 мм.

Часть трубокъ иногда играетъ роль анкерныхъ связей (показано на фиг. 28 толстыми линіями). Ихъ стѣнки дѣлаются тогда толщиной до 7 мм. Концы трубокъ при этомъ снабжаются рѣзбой (11 винтовъ на 1").

Длина трубокъ должна находиться въ извѣстномъ отношеніи къ ихъ діаметру. Если трубки сдѣлать слишкомъ длинными, то при движеніи своемъ газы могутъ настолько охладиться, что въ концѣ трубки передача тепла будетъ происходить ужъ крайне слабо, и потому выгоды, получаемыя отъ нѣскольکو большаго парообразованія котла, не будутъ окупать затратъ, связанныхъ съ увеличеніемъ длины трубокъ. Въ виду этого, *желательно, чтобы длина трубъ не превосходила ихъ діаметра больше, чѣмъ въ 40—50 разъ*; но въ практикѣ встрѣчаются котлы, у которыхъ длина трубокъ равна 60 діаметрамъ. Въ паровозахъ же, гдѣ величина поверхности нагрѣва является первымъ условіемъ, длина трубокъ доходитъ даже до 80 діаметровъ, но въ этомъ случаѣ необходимо прибѣгать къ искусственной тягѣ, чтобы преодолѣть сопротивленіе движенію газомъ въ длинныхъ трубкахъ. Вообще дымогарныя трубки *не слѣдуетъ дѣлать длиннѣе 4500 мм., иначе онѣ способны легко прогибаться*. Въ трубчатыхъ котлахъ съ обыкновенной тягой *площадь поперечнаго сѣченія дымогарныхъ трубокъ берется такая, чтобы скорость газовъ не превосходила 3—4 м.* Въ паровозныхъ котлахъ, въ присутствіи искусственной тяги, эта скорость доходитъ иногда до 6 м. Стѣнка, въ которой закрѣпляются трубки, называется *рѣшеткой*.

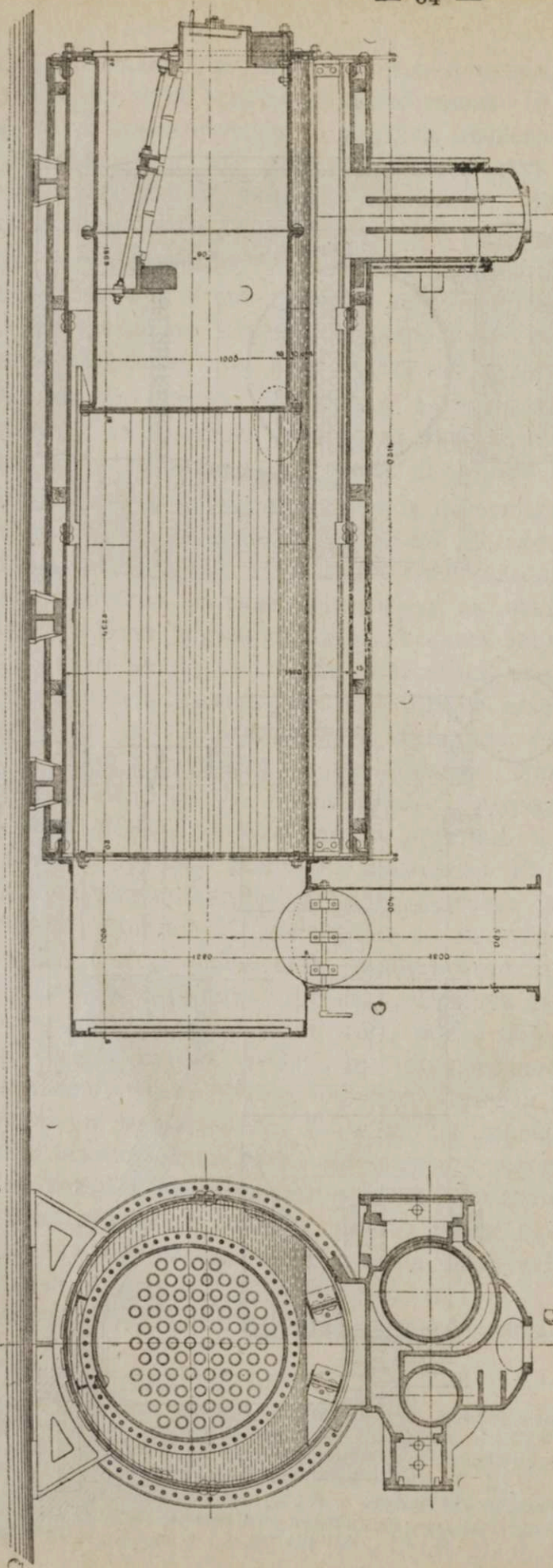
Трубки трубчатыхъ котловъ должны почти каждый день очищаться отъ сажи, поэтому передъ ними должна быть сдѣлана дверца, черезъ которую можетъ быть доступъ къ трубкамъ.

Въ настоящее время встрѣчаются слѣдующіе типы трубчатыхъ котловъ.

¹⁾ При испытаніяхъ въ лабораторіи И. Т. У. комбинаціоннаго котла въ дымогарныхъ трубкахъ при измѣненіи температуры газовъ отъ 755° до 940° и скорости газовъ отъ 3,8 до 9,5 м. коэффициентъ теплопередачи K измѣнялся для трубокъ безъ вставокъ отъ 14 до 22 и со вставками отъ 20 до 31. См. Б. П. О.

Для лучшаго перемѣшиванія газовъ и повышенія вслѣдствіе этого K въ трубки вставляются кольца. При опытахъ съ подобными кольцами на паровозахъ температура дымовой коробки понижалась на 58° или 180°. См. И. М. О., ноябрь 1911.

Фиг. 30.



щаются къ передней части котла по трубкамъ и затѣмъ идутъ назадъ съ боковъ котла. Въ остальномъ котель остается одинаковымъ съ только что описаннымъ, но только въ большинствѣ случаевъ трубки располагаются какъ указано на фиг. 28.

Американской системѣ вмазки какъ болѣе простой, нужно отдать предпочтеніе.

Къ недостаткамъ котла Паукша нужно отнести то, что трудно прикрѣплять части арматуры, вслѣдствіе присутствія спереди дымовой коробки.

Кромѣ того, уже было указано на неудобство помѣщать топку подъ котломъ, такъ какъ при этомъ не только часть теплоты теряется черезъ стѣнки кладки, но и самый сильный жаръ дѣйствуетъ на нижнюю часть

1) Приспособленіе для очистки сажи въ трубахъ вертикальн. котловъ; примѣнено и для горизонтальн. Изготавливается Fred Clork Boiler Cleoning Co., 93 Nassou Str. New—York. D. A. 1448—7—5—08.

Аппаратъ для сдуванія съ трубокъ сажи и золы—„Romoneur“ — при помощи наметанія воздуха—струей пара—изготавливается заводомъ W. H. Willcox & Co.—Southwark—jt, Zondon E. C.—Eng. 766—6—08. T. E. 299—9—08.

Аппараты для чистки сажи въ трубахъ Изв. М. С. № 12, авг. 157—08.

котла, а въ этомъ мѣстѣ какъ разъ осѣдаетъ вся грязь, которая, пригорая, образуетъ твердую накипь, совершенно не удаляемую продувкой, вслѣдствіе этого котелъ легко можетъ прогорѣть.

21. Трубчатый котелъ съ внутренней топкой (фиг. 30). Здѣсь въ передней части котла имѣется жаровая труба большого діаметра, въ которой и помѣщается топка, а затѣмъ эта труба переходитъ въ мелкія трубки. Газы движутся къ задней части котла, выходятъ въ дымовую коробку и въ трубу. Въ дымовой коробкѣ дѣлается дверка, для того, чтобы можно было производить очистку трубокъ отъ сажи. Этотъ котелъ можетъ быть обмазанъ такъ же, какъ котлы съ жаровыми трубами.

На фиг. 30 изображенъ котелъ безъ кирпичной обмазки, который можно переставлять съ мѣста на мѣсто. Такой типъ котловъ называется также *полулокомобильнымъ*.

22. Локомобильный котелъ. Въ тѣхъ случаяхъ, когда топка котла должна производиться особенно усиленно, какъ напримѣръ въ локомотивахъ, гдѣ при сравнительно небольшомъ котлѣ необходимо получить какъ можно больше пару, приходится самую топочную камеру дѣлать большихъ размѣровъ, и въ этомъ случаѣ ей придаютъ особый видъ, представленный на фиг. 31. Такъ какъ подобныя топки были впервые примѣнены на паровозахъ, то котлы такого типа извѣстны вообще подъ названіемъ *паровозныхъ*.

Въ настоящее время такіе котлы, малаго размѣра, употребляются для локомотивовъ и называются въ такомъ случаѣ *локомобильными*. Они иногда употребляются и въ заводской практикѣ.

При построеніи подобнаго котла главной задачей является получить котелъ легкій, занимающій немного мѣста и въ то же время дающій большое количество пара.

Табл. 13 къ фиг. 30.

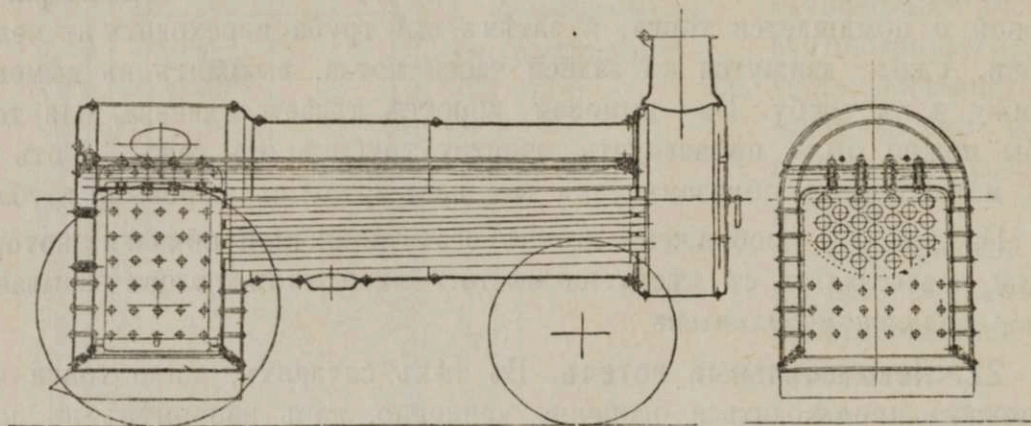
Номеръ, нагнѣвъ въ кв. метр.	Внѣшн. цилиндръ.		Жаровая труба.		Трубки.	
	Діам.	Длина.	Діам.	Длина.	Внѣшн. діам.	Число
10	740/970	2550	610	900	60	28
13	760/980	2850	610	965	60	32
16	800/1020	3000	640	1040	60	37
20	860/1120	3300	740	1200	60	43
22	1300	3500	800	1300	60	48
26	1300	3870	850	1470	60	54
32	1370	4200	850/950	1570	60	58
37	1370	4300	900/1000	1700	60	64
40	1420	4400	900/1000	1720	60	67
45	1430	4550	950/1030	1850	60	76
52	1550	4650	1050/1150	1850	60	84
60	1590	5000	1000/1200	1950	60	94
75	1730	5200	1200/1275	2000	76	86
90	1890	5700	1250/1350	2200	76	96

Въ виду этого здѣсь приходится трубки брать малаго діаметра и большой длины, при чемъ для сообщенія газамъ надлежащей скорости въ трубкахъ приходится прибѣгать къ искусственной тягѣ.

Обыкновенно въ такихъ котлахъ газы изъ трубокъ выходятъ настолько охлажденными, что ихъ можно безъ особенныхъ потерь отводить прямо въ дымовую трубу. Для этой цѣли всѣ трубки сводятся въ общую камеру, называемую *дымовой коробкой*, изъ которой газы уже и выходятъ въ дымовую ру

бу. Локомотивные котлы не обкладывают кирпичной кладкой, а обдѣлываютъ снаружи только плоскими проводниками тепла.

Трубки должны идти, повышаясь немного по направлению къ дымовой коробкѣ. Безъ этого уклона, при растопкѣ тяга долго не устанавливается, и котелъ дымить.



Фиг. 31.

Въ таблицѣ 14 приведены относительные размѣры небольшихъ локомотивныхъ котловъ.

У большихъ локомотивовъ діаметръ цилиндрической части котла достигаетъ до 2000 мм., а длина до 5000 мм. и болѣе.

Такие котлы выходятъ легкими, позволяютъ быстро разводить паръ и работаютъ довольно экономично.

Недостатки ихъ тѣ же, что и у всѣхъ вообще трубчатыхъ котловъ.

Табл. 14 къ фиг. 31.

Цилиндрич. часть.		Топочная часть.			Топочная коробка.			Дымогарн. трубки.		Дымовая коробка.		Поверхность нагрева, кв. мет.
Діам., метры.	Длина, метры.	Длина, метры.	Ширина, мет.	Высота, метры.	Длина, метры.	Ширина, мет.	Высота, метры.	Число.	Діам., мм.	Длина, метры.	Діам., метры.	
0,57	1,525	0,660	0,750	1,02	0,505	0,604	0,68	17	51	0,340	0,75	6,3
0,72	1,525	0,740	0,810	1,06	0,570	0,630	0,70	23	51	0,380	0,88	7,0
0,78	1,835	0,795	0,890	1,20	0,600	0,710	0,81	24	57	0,395	0,97	10,0
0,825	2,215	0,840	0,990	1,32	0,640	0,800	0,90	30	57	0,415	1,02	15,0
0,825	2,400	0,850	1,110	1,32	0,650	0,800	0,90	34	57	0,420	1,02	17,5
0,85	2,400	0,880	1,050	1,35	0,680	0,850	0,93	36	57	0,450	1,05	20,0
0,9	2,450	0,950	1,150	1,50	0,750	0,935	1,02	45	64	0,480	1,15	25,0
1,0	2,500	1,050	1,251	1,68	0,820	1,030	1,13	55	64	0,510	1,28	33,0
1,1	2,500	1,150	1,400	1,84	0,910	1,160	1,22	64	64	0,540	1,43	38,0

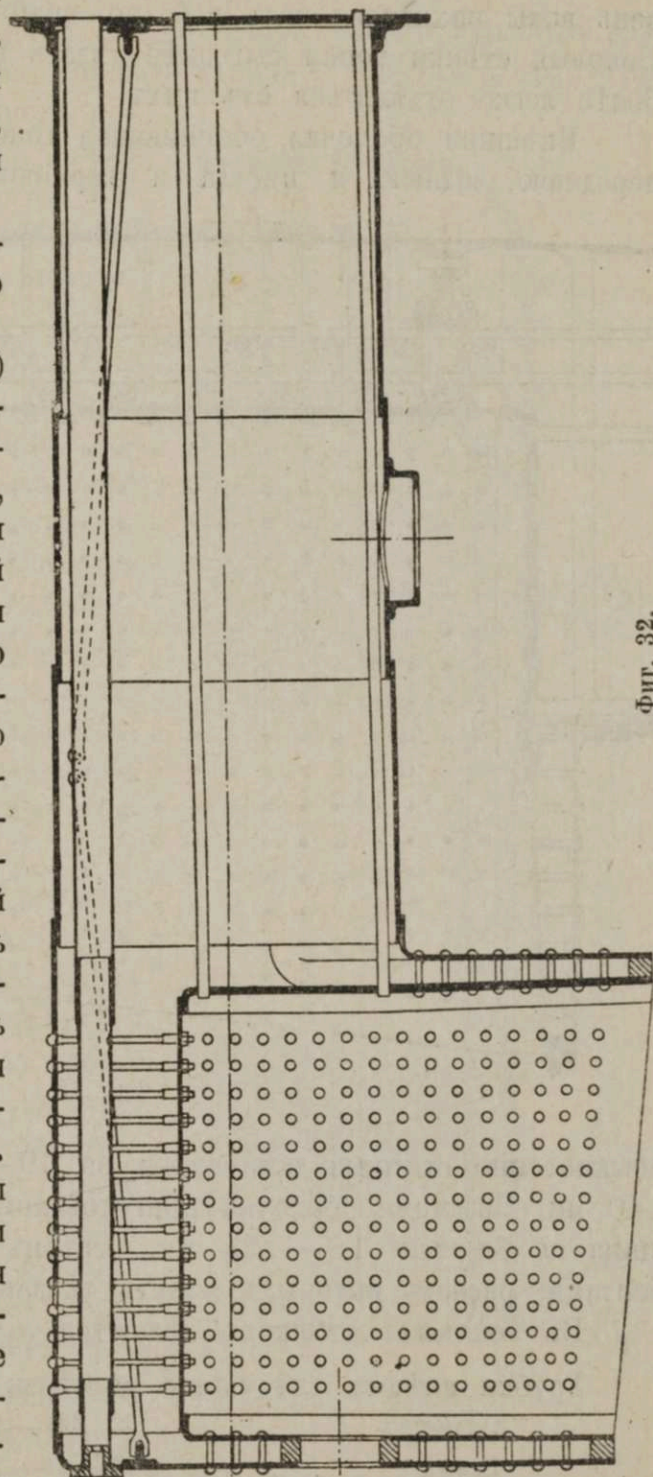
23. Паровозный котелъ. Паровозный котелъ сохранилъ въ общихъ чертахъ тотъ же типъ, какой имѣлъ котелъ знаменитаго перваго паровоза „Рокетъ“, только измѣнились его размѣры и конструкція деталей.

Котель у паровоза „Рокетъ“ имѣлъ поверхность нагрѣва 14 кв. м., современные паровозы имѣютъ котлы съ поверхностью нагрѣва въ 200 кв. м., а въ Америкѣ доходятъ до 750 кв. м. Типъ котла, назначеннаго собственно для паровоза, представленъ на фиг. 32 и 33. Котель состоитъ изъ цилиндрической части, заполненной трубками, и призматической, въ которой помѣщается топка.

Цилиндрическая часть дѣлается діам. отъ 1000 мм. до 1900 мм.

Топочная камера (фиг. 33) имѣетъ плоскія стѣнки, которыя плохо сопротивляются дѣйствующему на нихъ давленію, вслѣдствіе чего онѣ должны быть скрѣплены съ внѣшней оболочкой котла анкерными болтами. Въ виду того, что стѣнки топочной камеры подвергаются сильному нагрѣванію по сравненію съ внѣшней оболочкой, онѣ испытываютъ значительныя деформации, и потому матеріалъ какъ для самой камеры, такъ и для анкерныхъ болтовъ долженъ быть возможно мягкій, вязкій. Для болтовъ обыкновенно употребляется красная мѣдь, марганцевая бронза или очень мягкое желѣзо. Точно также, стѣнки камеры изготовляются изъ красной мѣди (Германія и Англія) ¹⁾ хотя американцы предпочитаютъ употреблять для этой цѣли мягкое желѣзо; какъ увидимъ впослѣдствіи, это имѣетъ свое значеніе.

Мѣдныя стѣнки у топочныхъ камеръ имѣютъ обыкновенно толщину въ 16—20 мм.; рѣшетки для трубъ 26—28 мм. Желѣзныя топки могутъ быть сдѣланы значительно тоньше, напр., рѣшетки можно дѣлать не толще 12 мм., при



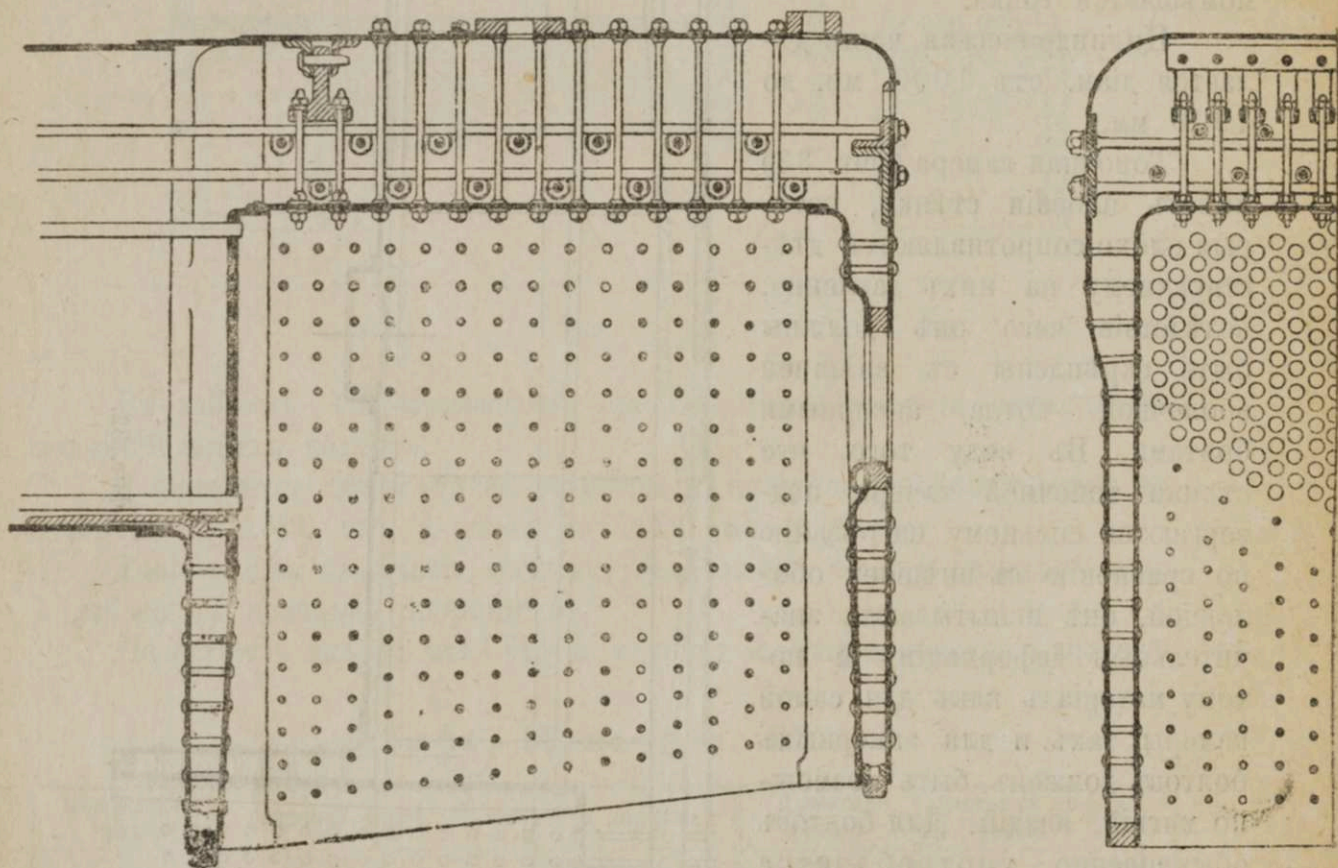
Фиг. 32.

¹⁾ Въ Z. B. R. V. 123—05 приведенъ примѣръ, гдѣ мѣдная топка подверглась болѣе сильному разрыву, чѣмъ желѣзные части.

чемъ онѣ, получаютъ очень упругими, легче слѣдуютъ за деформациями трубокъ, и потому послѣднія менѣе текутъ.

Верхняя стѣнка топки располагается такимъ образомъ, чтобъ уровень воды находился надъ ней, по крайней мѣрѣ, на 120—150 мм. Боковыя стѣнки топки выгоднѣе дѣлать наклонными, чтобъ паръ могъ болѣе легко отдѣляться отъ нихъ.

Внѣшняя оболочка, объемлющая топочную камеру, имѣетъ боковыя, переднюю, заднюю, а иногда и верхнюю стѣнки плоскія; внизу она



Фиг. 33.

обыкновенно отстоитъ отъ топки на 60—80 мм., вверху на 100—140 мм. Внѣшняя оболочка готовится всегда изъ желѣза и толщина ея берется 18—20 мм., затѣмъ она скрѣпляется анкерными болтами, расчетъ которыхъ будетъ указанъ дальше.

Въ боковыхъ стѣнкахъ дѣлаются ручные лазы для чистки

Трубки имѣютъ слѣдующіе размѣры:

діаметръ	40—52	мм.
длина	3000—5000	„
толщина	3—3,5	„
число	120—300	„ и болѣе.

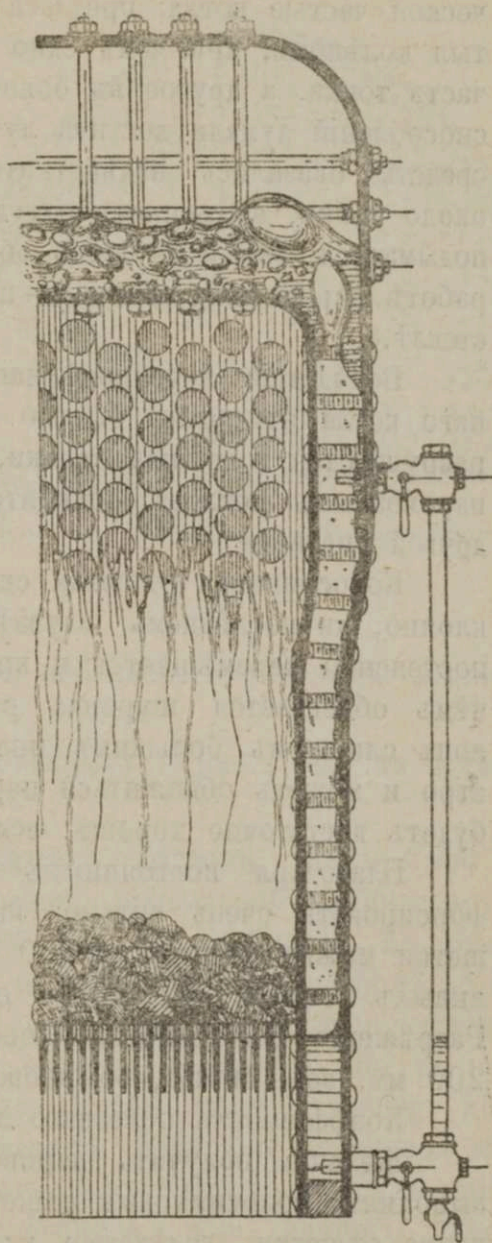
разстояніе между трубками иногда дѣлается очень малымъ,—до 15 мм. По направленію къ дымовой коробкѣ трубы идутъ, нѣсколько повышаясь.

Всѣ дымогарныя трубы выводятся въ общую дымовую коробку, которая обыкновенно имѣетъ размѣръ, равный цилиндрической части

котла и готовится изъ желѣза толщиною 10—15 мм. Въ верхней части коробка имѣетъ отверстіе для трубы, въ нижней части дѣлается иногда отверстіе для удаленія золы, закрывающееся крышкой, а спереди имѣется дверца, открывая которую, можно производить прочистку дымогарныхъ трубокъ.

Паровозные котлы, благодаря искусственной тягѣ и большимъ размѣрамъ топочной камеры, даютъ хорошее сгораніе топлива, а трубчатая поверхность хорошо утилизируетъ полученную теплоту (въ случаѣ, если трубки чисты), вслѣдствіе этого паровозный котелъ является однимъ изъ самыхъ энергичныхъ парообразователей. Съ кв. метра поверхности нагрѣва такого котла снимаютъ до 80 кгр. пару въ часъ.

Паровой котелъ современнаго локомотива долженъ давать въ часъ до 10000 кгр. пара, поэтому интенсивность испаренія въ такомъ котлѣ должна быть доведена до крайнихъ предѣловъ. Къ счастью, условія работы паровознаго котла очень благопріятны для такого форсированнаго парообразованія. Тотъ же самый котелъ, обращенный въ заводскій и стоящій спокойно, будетъ въ состояніи дать лишь $\frac{1}{2}$ часть этого количества пара, не вызывая сильнаго перегрѣва отдѣльныхъ частей. Это обстоятельство нужно объяснить тряской, которую котелъ испытываетъ въ пути, вслѣдствіе чего вода очень сильно волнуется и энергично омываетъ горячія поверхности, механически удаляя съ нихъ образующійся паръ, тогда какъ въ спокойномъ котлѣ въ различныхъ частяхъ у горячихъ стѣнокъ образуются паровые прослойки, обусловливающіе сильный перегрѣвъ стѣнокъ при форсированной работѣ. Тѣмъ не менѣе стѣнки топочныхъ камеръ у паровыхъ котловъ обыкновенно скоро перегораютъ. Происходитъ это вслѣдствіе того, что въ узкомъ пространствѣ между стѣнкой камеры и внѣшней оболочкой котла не можетъ происходить никакой циркуляціи воды, а вмѣстѣ съ тѣмъ парообразованіе около этой стѣнки, получающей излученіемъ громадное количество тепла, идетъ очень энергично, и потому все это пространство за-



Фиг. 34.

полнено исключительно паромъ. Справедливость этого легко подтвердить, если въ стѣнку котла вставить водомѣрное стекло. Вода покажется только въ самой нижней части стекла и тѣмъ укажетъ, что все пространство заполнено паромъ (фиг. 34). Для устраненія этого недостатка предлагались различные способы, — такъ, напримѣръ, предлагали ставить перегородку между двумя стѣнками — топочной и наружной; предлагали соединять нижнюю часть пространства отдѣльной трубой съ цилиндрической частью котла; предлагали ставить внутри топки трубки, изогнутыя колѣномъ, при чемъ одно колѣно должно было входить въ верхнюю часть топки, а другое въ боковыя ея стѣнки. При помощи такихъ приспособленій думали достигъ лучшей циркуляціи, но на опытѣ всѣ эти средства оказались неэффективными. Паръ, заполняя пространство около топки, вытѣсняетъ оттуда воду, при чемъ уровень ея въ котлѣ подымается; это и служитъ объясненіемъ общеизвѣстнаго явленія при работѣ паровознаго котла, — повышенія уровня воды въ водомѣрномъ стеклѣ.

Вслѣдствіе неравномѣрнаго нагрѣва различныхъ частей паровознаго котла, эти котлы быстро разрушаются (ломаются анкерные болты, разрушаются топочныя стѣнки, разстраиваются швы), и потому ремонтъ паровозныхъ котловъ обходится дороже, чѣмъ ремонтъ котловъ всякой другой системы.

Колосниковая рѣшетка ставится или горизонтально или слегка наклонно, въ послѣднемъ случаѣ топливо при сотрясеніи паровоза само постепенно перемѣщается и происходитъ вытряхиваніе золы и шлаковъ, чѣмъ облегчается шуровка рѣшетки. Не слѣдуетъ только дѣлать уклонъ слишкомъ большимъ иначе топливо перемѣщается слишкомъ быстро и можетъ обнажиться передняя сторона рѣшетки; уклонъ въ 1/10 будетъ достаточно хорошъ, если это допускаетъ размѣръ колесъ.

Благодаря постояннымъ сотрясеніямъ паровозный котель можно форсировать очень сильно; на кв. м. поверхности колосниковой рѣшетки можно сжигать до 500 кгр. угля въ часъ, тогда какъ въ постоянныхъ котлахъ эта цифра обыкновенно не превосходитъ 200 кгр. Разрѣженіе въ дымовой коробкѣ при усиленной топкѣ достигаетъ до 200 мм. вод. столба, обыкновенно же оно равно 125 мм.

Коэффициентъ полезнаго дѣйствія этихъ котловъ около 0,65.

Желаніе получить паровозы очень большой мощности заставило выполнять колосниковыя рѣшетки очень большихъ размѣровъ. Такъ какъ длина рѣшетки, вслѣдствіе условій шуровки топлива, не можетъ быть сдѣлана болѣе 3-хъ метр., то пришлось увеличивать поперечный размѣръ рѣшетки, при чемъ пришлось рѣшетку подымать довольно высоко, чтобы она могла, располагаясь надъ рамой паровоза, упираться настолько, насколько это позволяетъ габаритъ пути. Такой типъ паро-

¹⁾ Endurance of locomotiv flue material. Объ изнашиваніи рѣшетокъ и развальцов. трубокъ М. Е. 788—08.

Для болѣе свободнаго расширенія топочныхъ камеръ, предложено отдѣльные листы соединять волнистыми подкладками. См. М. Е. 72—7—07.

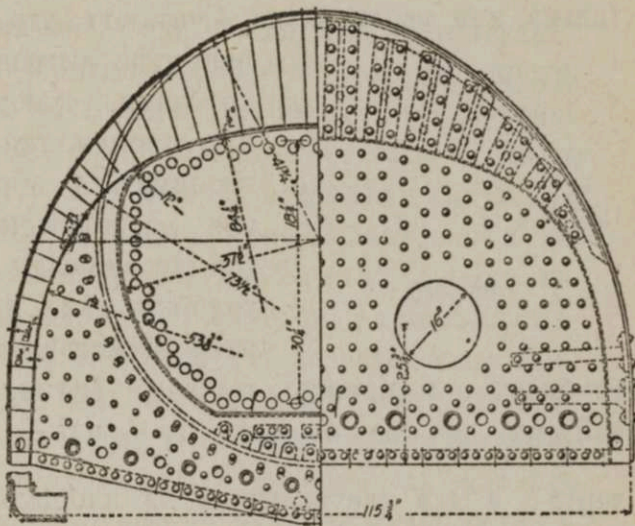
возныхъ котловъ былъ предложенъ Вутеномъ (Wooten) и въ настоящее время въ большомъ распространеніи въ Америкѣ. На фиг. 35 представлена топка Вутена, исполненная заводомъ Baldwin Locomotiv Works, въ Филадельфіи, съ громадной колосниковой рѣшеткой, имѣющей площадь 90 кв. футъ. Діам. котла 6 ф. 8 д., въ немъ помѣщаются 511 трубокъ діам. 2 д., длиной 14 ф. 8 д., дающихъ поверх. нагрѣва 3890 кв. футъ; кромѣ того, топка имѣетъ поверхн. нагр. 215 кв. ф., такъ что общая поверхн. нагрѣва котла равна 4115 кв. футъ ¹⁾).

Въ паровозныхъ котлахъ поверхность, на которой выделяется паръ, слишкомъ мала по сравненію съ поверхностью нагрѣва, и потому паръ получается всегда очень сырой, такъ что въ нѣкоторыхъ случаяхъ прибѣгаютъ къ сепараторамъ.

Срокъ службы паровозныхъ котловъ опредѣляется отъ 8 до 10 лѣтъ, хотя существуютъ котлы проработавшіе 15 лѣтъ при довольно грязной водѣ, что объясняется очень высокимъ

качествомъ матеріала и сравнительно небольшимъ рабочимъ давленіемъ (до 10 атм.).

Дальнѣйшія подробности о паровозныхъ котлахъ см. въ отдѣлѣ о построеніи котловъ ¹⁾).



Фиг. 35.

24. Главные недостатки трубчатыхъ котловъ. Какъ было уже сказано, однимъ изъ главныхъ условий правильной работы котловъ является возможность ихъ внутренней очистки и осмотра. Къ сожалѣнію, *трубчатые котлы совершенно не удовлетворяютъ этому условію.* Вся внутренность трубчатого котла заполнена трубками, преграждающими доступъ внутрь его, и потому очистка и осмотръ могутъ производиться только крайне несовершенно. Чтобы хотя нѣсколько помочь этому затрудненію, трубки располагаютъ группами, оставляя между ними промежутки, въ которые можетъ помѣститься мальчикъ или рабочий можетъ просунуть руку и скребкомъ, хотя немного, очистить

¹⁾ О новыхъ типахъ американскихъ паровозныхъ котловъ см. Z. d. V. d. I. 1228—05., М. Е. 72 и 107—1—03, Proc. of Institution Civil Engineers—1903, докладъ Р. J. Cowan; въ извлеченіи помѣщенъ въ Bulletin de la Commission Internationale du Congrès des Chemins de Fer, Juin 1904, и Б. П. О. 1907 г.

О большихъ паровозныхъ котлахъ см. докладъ Churchward'a (Large Locomotive Boilers), читанный въ Institute of Mechanical Engineers, febr. 16—1906. Перепечатанъ въ Engineering 258—2—06 и М. Е. 254—2—06, также 362—9—09.

¹⁾ См. также. Новость паровозного дѣла на Коломенскомъ заводѣ. Б. П. О. 273—1910 г.

поверхность трубок и котла. Эти промежутки между группами трубок вмѣстѣ съ тѣмъ значительно облегчаютъ выходъ пара ¹⁾.

Трубки располагаются или такимъ образомъ, что ихъ центры находятся въ углахъ квадратовъ (фиг. 36), или такъ, что ихъ центры находятся въ углахъ правильныхъ треугольниковъ. Кромѣ того, первое расположение можетъ быть исполнено такъ, что съ вертикалями будутъ совпадать или стороны квадрата или его діагонали, точно также, и во второмъ случаѣ, одна изъ сторонъ треугольника можетъ быть горизонтальна или вертикальна. Считаютъ, что послѣднее расположение является



Фиг. 36.

наиболѣе выгоднымъ, такъ какъ при этомъ между трубками остаются довольно большіе вертикальные промежутки, по которымъ можетъ свободно подниматься образующійся паръ, а кромѣ того, при расположеніи по угламъ треугольника, на той же площади рѣшетки можно помѣстить болѣе трубокъ, чѣмъ при расположеніи по угламъ квадрата. Дѣйствительно, называя разстояние между

трубками a и діаметръ трубки d , мы для расположенія по угламъ квадрата найдемъ, что на площади $(a + d)^2$ — помѣщается одна трубка (4 чет-

верти), а для треугольника на площади $\frac{(a + d)^2}{2} \cos 30^\circ$ помѣщается $\frac{1}{2}$

трубки или на площади $(a + d)^2$ при такомъ расположеніи помѣстится

$2 \cdot \frac{2}{\cos 30^\circ} = 1,155$ трубки. Разстояние между трубками не должно быть меньше 25 мм., иначе выходъ для пара будетъ слишкомъ за-

¹⁾ Для очистки накипи съ трубокъ въ послѣднее время предлагаются особые аппараты, представляющіе изъ себя родъ молоточковъ, которые на длинной трубкѣ вводятся во внутрь дымогарныхъ трубокъ. Черезъ трубку, на которой прикрѣпленъ, подобный аппаратъ, пропускается подъ сильнымъ давленіемъ воздухъ, вода или паръ, которые приводятъ молоточекъ въ движеніе. Постукивая съ внутренней стороны поверхности трубки, молоточекъ обиваетъ съ нее накипь и такимъ образомъ очищаетъ дымогарную трубку. Подобные механические очистители трубокъ, дѣйствующіе ударомъ, представляютъ, по мнѣнію Гартфордскаго Общества (The Locomotive 91—oct—04), значительную опасность, такъ какъ благодаря ударамъ, трубки могутъ въ нѣкоторыхъ мѣстахъ принимать неправильную форму и сплющиваться; въ особенности это является опаснымъ въ томъ случаѣ, когда аппаратъ остается въ одномъ положеніи долгое время и удары наносятся въ большомъ числѣ по одному и тому же мѣсту. Кромѣ того, вслѣдствіе ударовъ, трубки вытягиваются, такъ что концы послѣ очистки выступаютъ изъ рѣшетки на 3—4 мм., что, конечно, влечетъ за собой ослабленіе закрѣпленія трубокъ въ рѣшеткѣ и связанную съ этимъ течь. Наконецъ, если аппаратъ приводится въ движеніе паромъ, который выходитъ изъ аппарата внутри трубки, то послѣдняя нагревается значительно выше по сравненію съ остальными частями котла, при чемъ какъ ослабляется закрѣпленіе трубки, такъ и вообще матеріалъ ея очень сильно напругается. Такимъ образомъ, при употребленіи подобныхъ аппаратовъ нужно быть очень осторожнымъ и по мнѣнію Гартфордскаго Общества, слѣдуетъ соблюдать слѣдующіе правила; 1) при употребленіи аппарата долженъ все время передвигаться, чтобы удары не наносились по одному и тому же мѣсту; 2) аппаратъ долженъ приводиться въ движеніе давленіемъ не большимъ 20—30 фунтовъ на кв. д.; 3) паръ не долженъ проходить черезъ холодную трубку и нагревать ее; 4) лучше аппаратъ приводить въ движеніе при помощи сжатого воздуха; 5) послѣ каждой очистки подобнымъ аппаратомъ котель долженъ быть очень внимательно осмотрѣнъ, чтобы убѣдиться въ томъ, что на немъ не появилось какихъ-либо трещинъ или удлинненія трубокъ; 6) работа такимъ аппаратомъ не должна поручаться лицамъ, въ сообразительности которыхъ и пониманіи дѣла не вполне увѣрены.

труднителенъ: кромѣ того, рѣшетка, въ которой закрѣплены трубки, можетъ легко дать трещину; наконецъ, промежутки между трубками скоро затянутся грязью, послѣ чего дѣйствіе котла будетъ вполне остановлено.

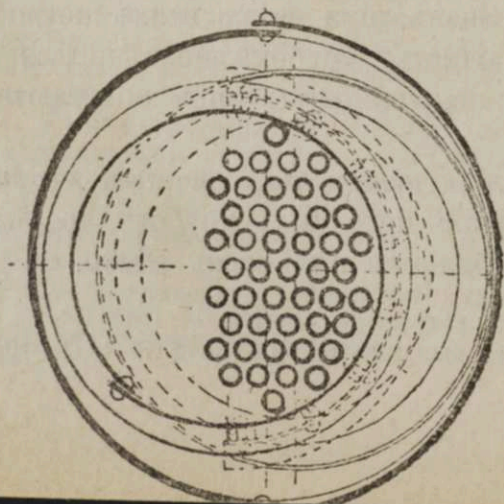
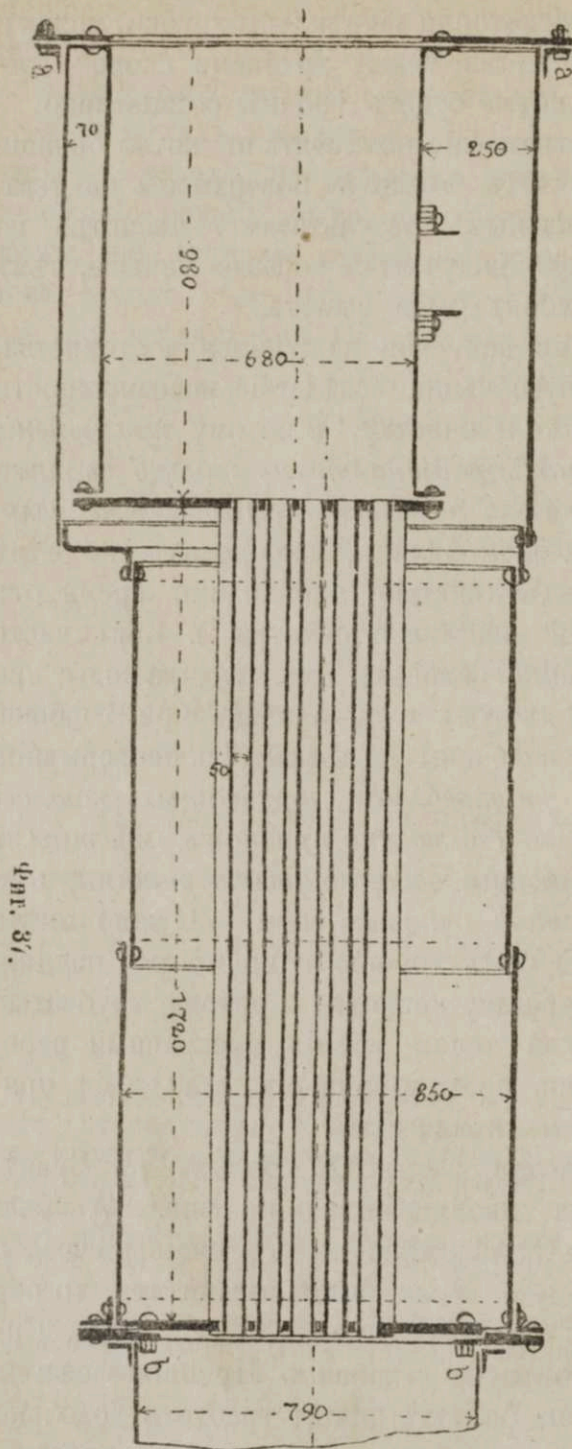
Вообще, нужно замѣтить, что стремленіе помѣстить въ котлѣ больше трубокъ малаго діаметра, чтобъ получить большую поверхность нагрѣва, обыкновенно приводитъ къ отрицательнымъ результатамъ. Несмотря на увеличеніе поверхности нагрѣва, пара получается гораздо меньше, чѣмъ въ томъ случаѣ, если бы часть трубокъ была вынута.

Такимъ образомъ, несмотря на всѣ свои кажущіяся достоинства, трубчатые котлы являются крайне неудобными, вслѣдствіе невозможности производить ихъ внутренній осмотръ и очистку, а потому *примѣненіе трубчатыхъ котловъ можно признать рациональнымъ только въ тѣхъ случаяхъ, когда небольшой размѣръ котла является необходимымъ условіемъ*—напримѣръ, въ паровозахъ, локомотивахъ, пароходахъ; но и въ такихъ случаяхъ, для безопаснаго ихъ дѣйствія, необходимо время отъ времени вынимать трубки для полной очистки и осмотра ¹⁾. Какъ часто нужно производить подобную операцію, зависитъ отъ качества воды; при плохой водѣ нужно вынимать разъ въ годъ и даже чаще; при хорошей водѣ эти промежутки могутъ быть увеличены до трехъ лѣтъ непрерывной работы котла. Что же касается до *употребленія трубчатыхъ котловъ въ обывденной заводской практикѣ, то его можно признать умѣстнымъ только въ томъ случаѣ, если питающая вода не даетъ накипи, или если приняты мѣры къ предварительной очисткѣ воды*.—Нужно имѣть въ виду, что разъ котель не можетъ быть хорошо очищенъ отъ накипи, то послѣдняя весьма затрудняетъ передачу теплоты, и потому трубчатый котель, представляя съ теоретической точки зрѣнія прекрасный паробразователь, можетъ оказаться очень неэкономичнымъ вслѣдствіе присутствія въ немъ накипи въ большомъ количествѣ.

Съ цѣлью облегчить очистку котла, заводъ *Р. Вольфъ*, въ Букау, предложилъ систему трубчатого котла, изображенную на фиг. 37. Какъ видно изъ чертежа, днища котла не приклепаны къ его цилиндрической части, а привернуты на болтахъ *a* и *b*. Если болты отвинтить, то оба днища съ прикрѣпленными къ нимъ трубками можно вынуть вонъ. Система эта не нашла себѣ большого распространенія. Причина лежитъ, вѣроятно, въ томъ, что закрѣпленіе на болтахъ днищъ требуетъ довольно искусной работы, иначе они парятъ; кромѣ того, при каждой перестановкѣ днищъ, приходится мѣнять слишкомъ много болтовъ, что влечетъ за собой уже порядочные расходы; наконецъ, при всѣхъ этихъ неудобствахъ, все-таки произвести осмотръ и очистку трубокъ вполне нельзя—можно очистить трубки только лежащія снаружи, внутреннія же остаются недоступными.

Иногда трубки дѣлаются такой конструкціи, что ихъ можно вынимать каждую отдѣльно, но выниманіе подобныхъ трубокъ чрезвычайно затруднительно, и потому употребляются онѣ очень рѣдко.

¹⁾ Машина, при помощи которой чистятся вынутыя трубки I. А. 217—1—18—06.



Другой большой недостаток трубчатых котловъ, это часто появляющаяся течь въ мѣстахъ закрѣпленія трубокъ. Течь особенно бываетъ замѣтна въ трубчатыхъ котлахъ съ внутренней топкой; въ этомъ случаѣ трубки нагрѣваются гораздо сильнѣе, чѣмъ котелъ, и потому, расширяясь, слегка перемѣщаются въ мѣстахъ закрѣпленія, слѣдствіемъ чего и бываетъ течь. Для уменьшенія этого Бахъ предлагаетъ при раскаткѣ трубокъ нагрѣвать ихъ, вкладывая въ нихъ горячее желѣзо ¹⁾. Ослабленію закрѣпленія трубокъ способствуетъ чрезмѣрное нагрѣваніе рѣшетки, которое особенно сильно происходитъ со стороны топки. Вслѣдствіе высокой температуры, въ этомъ мѣстѣ парообразование вокругъ трубокъ идетъ очень энергично; рѣшетка, съ закрѣпленными въ ней трубками оказывается окруженной водой съ большой примѣсью пара, вслѣдствіе чего поглощеніе теплоты значительно уменьшается, что ведетъ за собой значительный перегрѣвъ рѣшетки и трубокъ и уничтожаетъ плотность ихъ соединенія.

Кромѣ того, у неопытнаго кочегара при открываніи топочныхъ дверейъ каждый разъ въ топку врывается холодный воздухъ, который охлаждаетъ сразу рѣшетку и закрѣпленные въ ней трубки и такимъ образомъ заставляетъ ихъ сокращаться. Все это, взятое вмѣстѣ, очень легко можетъ разстроить плотное соединеніе трубокъ съ рѣшеткой и повлечь за собою сильную течь ²⁾. Нужно

¹⁾ См. Б. П. О. — 324 — 03.

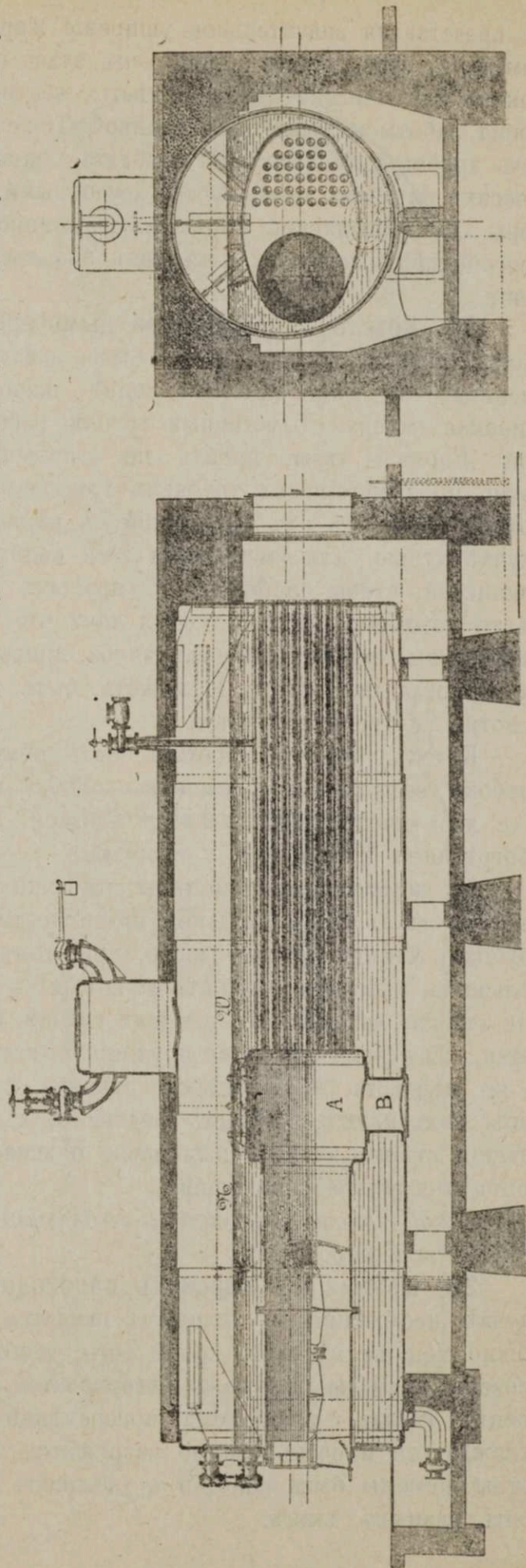
²⁾ Въ докладѣ о паровозныхъ котлахъ Уэлсъ (Wells) указываетъ на то, что

замѣтить, что разъ такая течъ появилась, то уничтожить ее, не вынимая трубокъ, почти невозможно, такъ какъ въ промежуткѣ между трубкой и рѣшеткой попадаетъ накипь и грязь, которыя и нарушаютъ плотность соединенія. Иногда въ такихъ случаяхъ, для большаго укрѣпленія концовъ, загоняютъ въ трубки кольца, но подобная мѣра, вслѣдствіе указанной выше причины, не всегда оказывается дѣйствительной. Для плотности соединенія необходимо, чтобы поверхность трубки и отверстія въ рѣшеткѣ были совершенно чисты.

До нѣкоторой степени течъ въ трубахъ можно предупредить, если пускать въ нихъ газы уже слегка охлажденные.

25. Котелъ Ферберна.

Охлажденіе газовъ можетъ быть произведено, помѣщая рѣшетку въ длинной жаровой трубѣ. Это и имѣлъ въ виду Фербернъ при проектированіи своего котла, изображеннаго на фиг. 38. Какъ видно изъ чертежа, сзади жаровыхъ трубъ поставлена камера А, одна стѣнка которой представляетъ рѣшетку для трубокъ. Камера имѣетъ въ сѣченіи эллиптическую форму



Фиг. 38.

температуры въ котлѣ при растопкѣ и охлажденіи распределяются очень неравномѣрно, а также происходитъ сильное охлажденіе трубокъ при введеніи въ котелъ холодной питательной воды. Отъ этихъ причинъ и появляются по мнѣнію Уелса, течъ въ трубкахъ паровозныхъ котловъ. (М. Е. 222—2—06).

и, представляя значительное уширение жаровой трубы, заставляет газы замедлять свое движение, при чемъ здѣсь осѣдаетъ зола, увлеченная изъ топки. Для очистки камеры имѣется вертикальная труба *В*, которая во время работы закрывается заслонкой. Такіе котлы нѣсколько устраняютъ течь трубокъ, но зато они выходятъ слишкомъ длинными и потому во многихъ случаяхъ оказываются неудобными: Присутствіе внутри котла камеры *А*, неправильной формы, подверженной внѣшнему давленію, также неособенно желательно, такъ какъ она требуетъ очень прочнаго скрѣпленія.

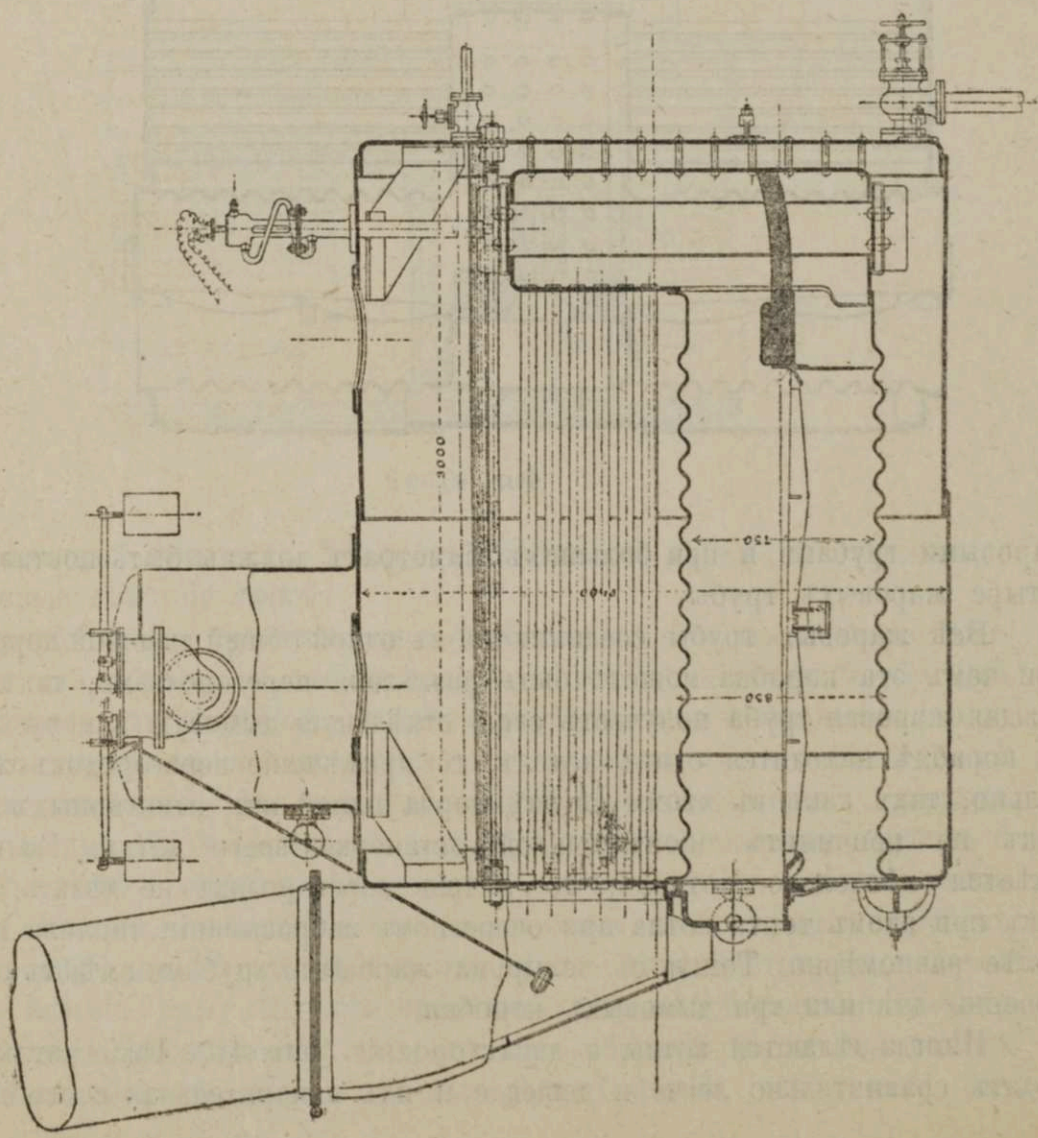
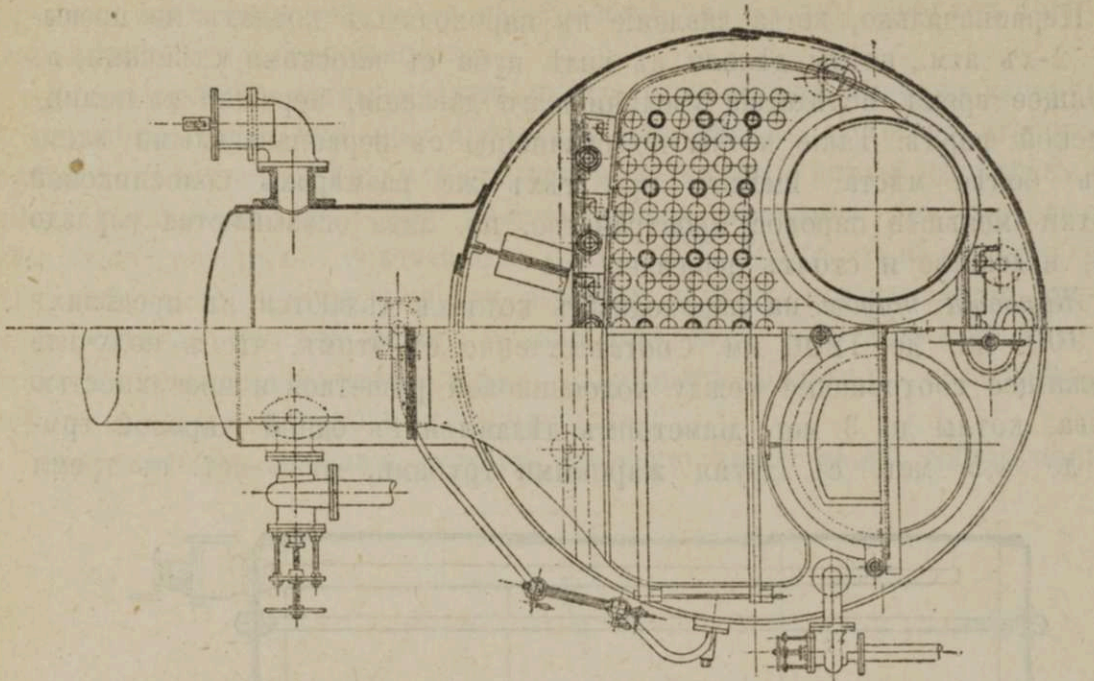
26. Котель съ обратными дымогарными трубами. Чтобы избѣжать большой длины котла, была предложена конструкція, представленная на фиг. 39. Въ концѣ жаровой трубы помѣщена болѣе широкая камера. Дымогарныя трубки расположены надъ жаровой трубой. Горячіе газы, пройдя по жаровой трубѣ, возвращаются обратно по дымогарнымъ трубкамъ уже не столь высокой температуры, и потому плотность ихъ соединеній съ рѣшеткой сохраняется въ данномъ случаѣ лучше. Для уменьшенія течи необходимо жаровую трубу дѣлать волнистой, чтобы сообщить ей упругость въ продольномъ направленіи. Часто подобныя котлы строятся такъ что передняя стѣнка, въ которой закрѣплены трубки и жаровая труба, привертывается къ цилиндрической части котла на болтахъ и можетъ быть легко отнята для очистки и осмотра внутренности котла.

Котель можетъ работать безъ обмуровки (фиг. 39), газы изъ трубокъ выходятъ въ дымовую коробку и отводятся оттуда въ трубу. Или же котель обкладывается кладкой, и газы, выйдя изъ трубокъ, обогрѣваютъ котель еще и снаружи.

Въ котлахъ такой системы, имѣющихъ большіе размѣры, стараются главную часть нагрѣвательной поверхности образовать изъ дымогарныхъ трубокъ, увеличивая ихъ число; при этомъ задняя камера образуется изъ большихъ плоскихъ стѣнокъ, въ которыхъ и закрѣпляются трубки. Большія стѣнки являются въ данномъ случаѣ, съ одной стороны, очень удобными, такъ какъ онѣ легко пружинять (если связи поставлены правильно и не мѣшаютъ деформациямъ стѣнки) и, слѣдуя за движеніями трубокъ, сохраняютъ плотность соединеній, съ другой стороны, какъ всегда, плоскія стѣнки вносятъ излишнюю опасность и излишніе расходы на ремонтъ анкерныхъ скрѣпленій

Такой конструкціи котлы въ большинствѣ случаевъ примѣняются на рѣчныхъ пароходахъ.

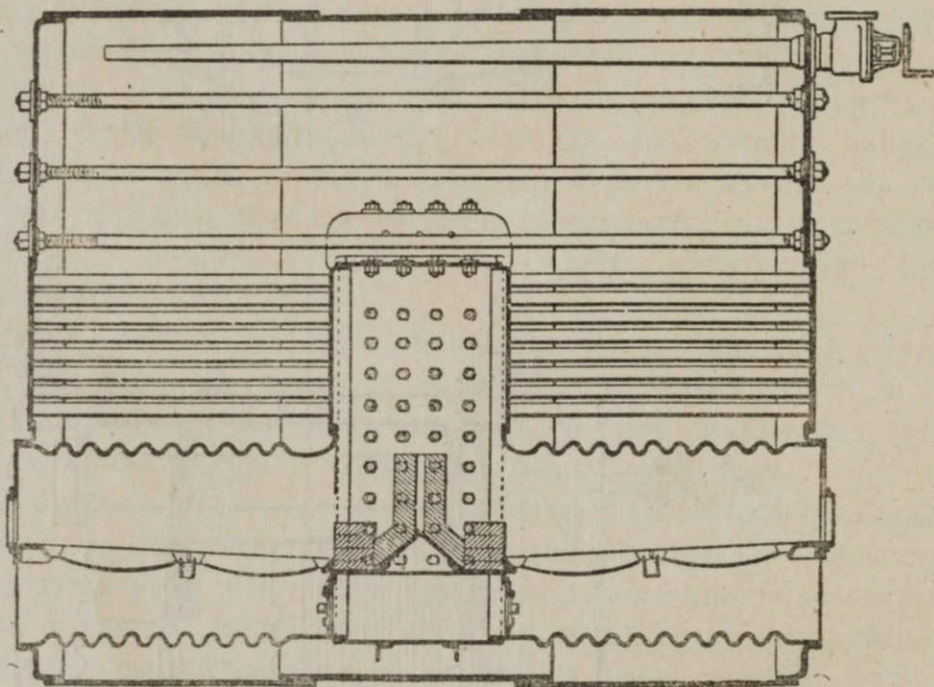
28. Котлы для морскихъ пароходовъ (Шотландскіе). Въ этомъ случаѣ необходимымъ условіемъ является, чтобы котель занималъ возможно меньше мѣста и, кромѣ того, чтобы при качкѣ перемѣщающійся уровень воды не обнажалъ поверхностей, подверженныхъ дѣйствію горячихъ газовъ, иначе онѣ попеременно будутъ то нагрѣваться, то охлаждаться и очень быстро разрушатся. Вслѣдствіе такого требованія, котлы должны быть коротки и большого діаметра — послѣдній дѣлаютъ почти равнымъ длинѣ.



Фиг. 39.

Первоначально, когда давленіе въ пароводныхъ котлахъ не превышало 2-хъ атм., котлы дѣлали въ видѣ куба съ плоскими стѣнками, въ настоящее время, вслѣдствіе увеличившаго давленія, перешли къ цилиндрической формѣ. Такіе котлы по сравненію съ первоначальными занимаютъ болѣе мѣста, имѣютъ при тѣхъ же размѣрахъ колосниковой рѣшетки меньшее паровое пространство, но зато оказываются гораздо легче, надежнѣе и стоятъ дешевле.

Жаровыя трубы на пароводныхъ котлахъ дѣлаются въ предѣлахъ отъ 900 мм. до 1200 мм. Соотвѣтственно съ этимъ, чтобъ получить надлежащее соотношеніе между колосниковой рѣшеткой и поверхностью нагрѣва, котлы до 3 мет. діаметромъ дѣлаются съ одной жаровой трубой, до 4,5 мет. съ двумя жаровыми трубами, до 5 мет. съ тремя



Фиг. 40.

жаровыми трубами и при большихъ діаметрахъ должны быть поставлены четыре жаровыхъ трубы.

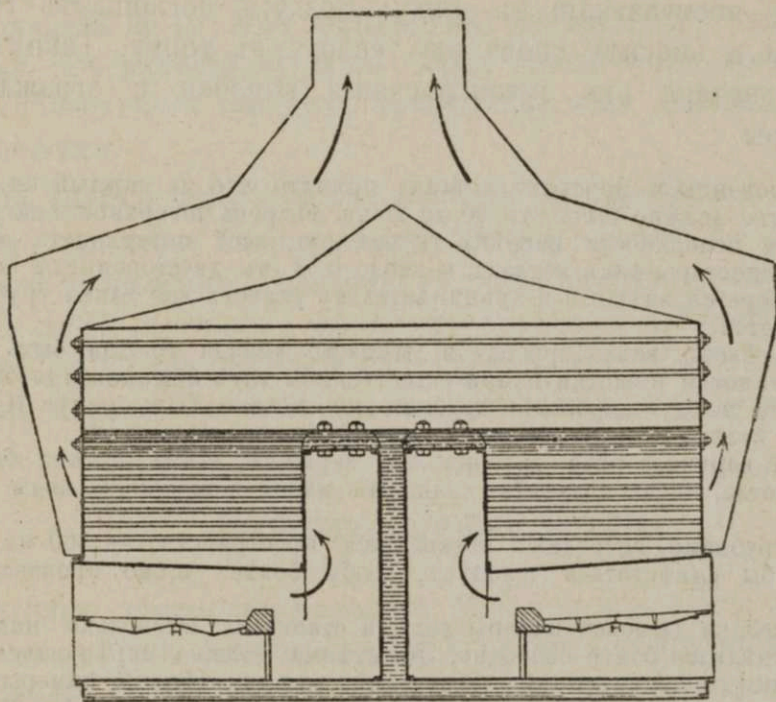
Всѣ жаровыя трубы соединяются въ одной общей дымовой коробкѣ, при чемъ эта коробка можетъ быть раздѣлена перегородками, такъ что каждая жаровая труба получаетъ свою отдѣльную дымовую камеру. Если на кораблѣ находится одинъ котелъ, то примѣненіе перегородокъ желательно, такъ какъ въ этомъ случаѣ порча одной изъ дымогарныхъ трубокъ не причинитъ окончательной остановки всего котла. Если же имѣется нѣсколько котловъ, то лучше перегородокъ не дѣлать, такъ какъ при этомъ топка котла при очередномъ забрасываніи топлива идетъ болѣе равномерно. Топки съ четырьмя жаровыми трубами имѣютъ обыкновенно двѣ или три дымовыхъ коробки.

Иногда дѣлаются котлы и двухсторонніе (фиг. 40). Такіе котлы выходятъ сравнительно легче и дешевле, и ихъ испарительная способность

получается болѣе высокой, но въ изготовленіи такіе котлы требуютъ большаго искусства и осторожности.

Двухсторонніе котлы имѣютъ иногда одну общую дымовую камеру: это неудобно тѣмъ, что при прочисткѣ рѣшетки въ одной изъ топокъ нарушается дѣйствіе всѣхъ остальныхъ, поэтому такіе котлы встрѣчаются рѣдко. Обыкновенно въ одну общую камеру выходятъ двѣ жаровыя трубы, оси которыхъ совпадаютъ (фиг. 40). Чтобъ газы двигались болѣе правильно, иногда посреди дымовой камеры выкладывается кирпичная стѣнка; но это дѣлать опасно такъ какъ стѣнка сильно накаляется и лучеиспусканіемъ сильно нагрѣваетъ рѣшетку, разстраивая закрѣпленныя въ ней трубки и вызывая течь.

Рациональнѣе снабжать каждую жаровую трубу своей собственной



Фиг. 41.

дымовой камерой (фиг. 41). Хотя это удорожаетъ котель, но обусловливаетъ лучшее дѣйствіе топокъ.

Снаружи котла придѣлывается *дымовая коробка*, въ которую входятъ газы изъ трубокъ и затѣмъ направляются въ дымовую трубу. Она готовится изъ желѣзныхъ листовъ, скрѣпленныхъ при помощи угольниковъ, съ плотными швами, чтобъ дымъ не могъ изъ нея выходить въ котельныя помѣщенія. Въ передней стѣнкѣ дѣлаются дверцы, открывая которыя, можно бы было производить прочистку и перемѣну трубокъ и выемку золы изъ коробки. Въ нижней части коробка должна имѣть не менѣе 300 мм. по направленію длины котла и быть ниже трубокъ по крайней мѣрѣ на 50 мм. Иначе эта часть очень быстро заполняется золой, и нижніе ряды трубокъ оказываются бездѣйствующими. Кверху коробка идетъ расширяясь, такъ что въ верхней части она имѣетъ размѣръ, по крайней мѣрѣ, въ два раза большій, чѣмъ внизу. За-

тѣмъ коробка переходитъ въ дымовую трубу и эта часть называется *дымовымъ каналомъ*. Форма канала зависитъ, конечно, отъ относительнаго положенія трубы и котла. Сѣченіе этого канала должно быть не менѣе сѣченія трубокъ.

Коробка готовится изъ желѣза толщиной отъ 4 до 6 мм. Въ тѣхъ случаяхъ, когда вѣсъ котла желательнѣе, по возможности, облегчить, эта толщина можетъ быть взята и 3 мм. Дверцы дѣлаются изъ такого же желѣза. Съ внутренней стороны къ дверцамъ, на растояніи около 40 мм., прикрѣпляется плита, 6 мм. толщины, защищающая дверцу отъ удара горячихъ газовъ. Снаружи къ дымовой коробкѣ на нѣкоторомъ растояніи прикрѣпляется желѣзная обшивка такъ, чтобы между коробкой и обшивкой оставался промежутокъ, черезъ который могъ бы проходить воздухъ, поступающій въ топку. Воздухъ поглощаетъ теплоту стѣнокъ коробки и вноситъ снова эту теплоту въ топку. Такимъ образомъ уменьшается потеря отъ лучеиспусканія коробки и ограждаются отъ жары кочегары.

Въ обыкновенныхъ морскихъ котлахъ принято, что на каждый кв. метръ колосниковой рѣшетки должно быть отъ 20 до 27 кв. метровъ поверхности нагрѣва трубокъ. Отношеніе поверхности нагрѣва трубокъ ко всей поверхности нагрѣва котла около 0,80 въ одностороннихъ котлахъ и около 0,88 въ двустороннихъ котлахъ (размѣръ трубокъ берется внѣшній и принимается въ расчетъ вся длина трубки, переднее днище не считается).

Площадь сѣченія всѣхъ трубокъ и дымового канала должна быть не менѣе $\frac{1}{7}$ площади колосниковой рѣшетки и при естественной тягѣ обыкновенно берется $\frac{1}{5}$.

Растояніе между жаровыми трубами не должно быть менѣе 100 мм., иначе между трубами будетъ скопляться паръ и трубы будутъ перегорать.

Растояніе верхняго ряда трубокъ отъ вершины котла должно быть не менѣе 0,28 діаметра котла, иначе получится слишкомъ малая поверхность воды для выдѣленія пара.

Между трубами посрединѣ оставляется пространство въ 300 мм. ширины, въ которое могъ бы помѣститься человекъ, чтобы болѣе удобно производить очистку трубокъ.

Плоская стѣнка дымовой камеры должна ставиться нѣсколько наклонно, чтобы паръ отъ нея отдѣлялся болѣе свободно. Эта стѣнка должна скрѣпляться анкерными болтами съ заднимъ днищемъ котла. Растояніе между стѣнкой камеры и днищемъ внизу не должно быть менѣе 150 мм., а въ верхней части не менѣе 250 — 300 мм., иначе очень трудно производить чистку котла и очистку.

Объемъ пароваго пространства паровыхъ котловъ зависитъ отъ типа машинъ, для которыхъ они готовятъ паръ. Чѣмъ меньше оборотовъ будетъ дѣлать машина при большомъ ходѣ поршня, тѣмъ неравномѣрнѣе она будетъ брать паръ изъ котла и тѣмъ большее паровое пространство долженъ имѣть котелъ, чтобы въ немъ не происходило сильнаго бурленія, такъ какъ всякій разъ при понижающемся давленіи вода будетъ сильно вскипать. Въ виду этого для колесныхъ пароходовъ, гдѣ машины дѣлаютъ малое число оборотовъ, размѣръ пароваго пространства долженъ быть больше, чѣмъ для пароходовъ винтовыхъ.

Ситонъ считаетъ нужнымъ имѣть размѣръ пароваго пространства на каждую индикаторную силу машины 0,8 куб. фута для колесныхъ пароходовъ; 0,65 куб. фута для товарныхъ винтовыхъ пароходовъ, и 0,55 для быстроходныхъ пассажирскихъ винтовыхъ пароходовъ. Нужно также замѣтить, что чѣмъ выше давленіе, тѣмъ меньше можетъ быть паровое пространство.

Размѣръ трубы въ паровыхъ котлахъ выбирается такъ, чтобы быть въ соотвѣтствіи съ общимъ видомъ судна. Въ военномъ флотѣ при естественной тягѣ поперечное сѣченіе трубы дѣлается равнымъ $\frac{1}{8}$ площади колосниковой рѣшетки, въ торго-

вомъ флотѣ $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{4}$. Высота трубы около 13 метровъ. Такъ какъ въ военныхъ судахъ котлы форсированно работаютъ рѣдко, то и труба можетъ быть соотвѣтственно меньше, что, конечно и желательно.

Въ настоящее время на судахъ котлы предпочитаютъ заставлять работать съ очень большимъ давленіемъ, обыкновенно не менѣе 12 атм., чаще же 13 атм. и болѣе, и затѣмъ при впускѣ пара въ машину понижаютъ давленіе; при этомъ паръ нѣсколько высушивается и, кромѣ того, въ котлахъ не представляется надобности имѣть большого парового пространства, что особенно важно для водотрубныхъ котловъ.

Для увеличенія парообразовательной способности пароходныхъ котловъ *Сервомъ* были предложены особыя дымогарныя трубки, съ продолжными внутренними ребрами. Трубки Серва при тѣхъ же условіяхъ даютъ поверхность нагрѣва на 75% болѣе и, какъ показали опыты, производятъ пара на 30% болѣе, чѣмъ обыкновенныя трубки. Ихъ готовятъ, прокатывая полосы съ ребрами, эти полосы затѣмъ свертываются въ трубку и свариваются. Высота ребра составляетъ обыкновенно 0,2 діаметра, число реберъ доходить до 10. При такихъ соотношеніяхъ внутренняя обогрѣваемая газами поверхность трубокъ Серва значительно превосходитъ внутреннюю поверхность гладкихъ трубъ, при чемъ движеніе газовъ почти не затрудняется.

Такія трубки примѣняются также и на паровозахъ.

Около концовъ, на разстояніи 300 мм., реберъ не дѣлаютъ, чтобы можно было производить раскатку. Сначала опасались, что трубки Серва, вслѣдствіе своей жесткости, не будутъ сгибаться и будутъ давать течь въ рѣшеткахъ, но на самомъ дѣлѣ на американскихъ паровозахъ, гдѣ трубки Серва были примѣнены въ большомъ количествѣ, течь даже уменьшилась.

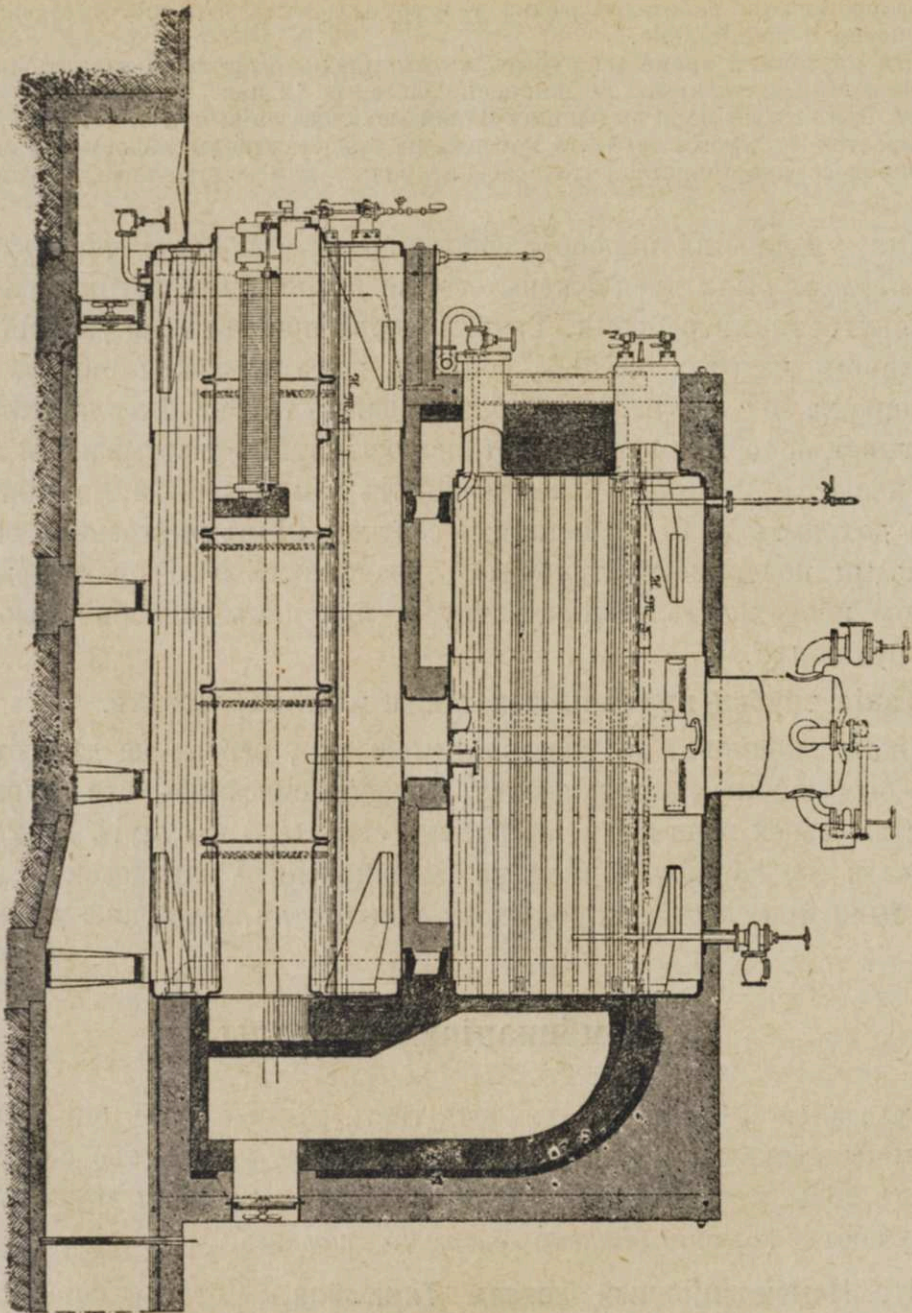
Комбинаціонные котлы.

Съ цѣлью нѣсколько охладить газы, прежде чѣмъ они попадутъ въ дымогарныя трубки, а также желая увеличить количество содержащейся въ котлѣ воды, соединяютъ трубчатые котлы съ котлами другихъ системъ, и получаютъ комбинаціонныя системы котловъ.

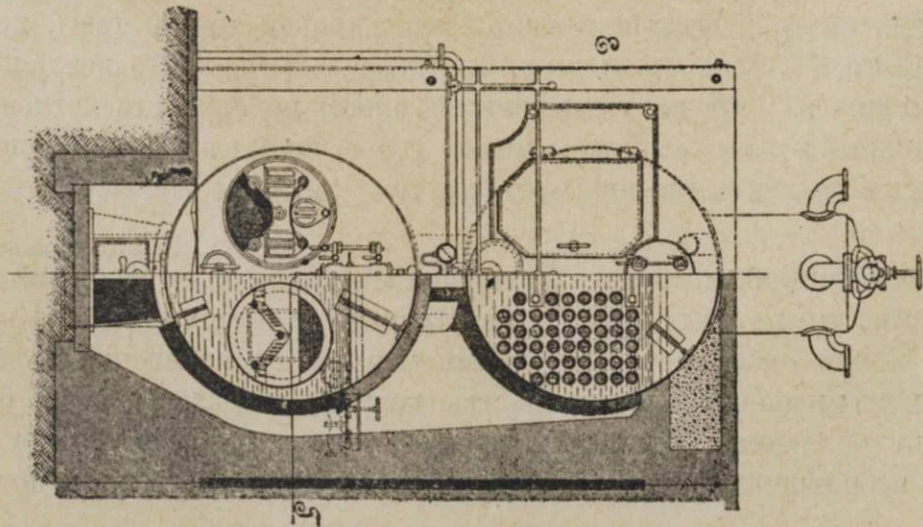
41. Комбинаціонный котель Тишбейна. Котель *Тишбейна* представляетъ собою комбинацію трубчатого котла съ *корнвалійскимъ* или *ланкаширскимъ*. Топка помѣщается въ жаровой трубѣ; газы, пройдя по жаровой трубѣ, входятъ въ дымогарныя трубки верхняго котла и затѣмъ, направляясь въ боровъ, омываютъ внѣшнюю поверхность котловъ. Верхній и нижній котлы соединены между собою двумя штуцерами; по одному изъ нихъ вода двигается внизъ, по другому смѣсь воды и пара подымается вверхъ.

Комбинаціонный котель Тишбейна оказывается неудобнымъ въ томъ отношеніи, что въ немъ паровое пространство имѣется только въ верхнемъ котлѣ, и оно оказывается слишкомъ малымъ по сравненію съ большой массой воды и большой поверхностью нагрѣва; вслѣдствіе этого образующіеся въ большомъ количествѣ пузырьки пара выдѣляются на сравнительно небольшой поверхности, вода очень бурлитъ, и паръ получается

Фиг. 42.



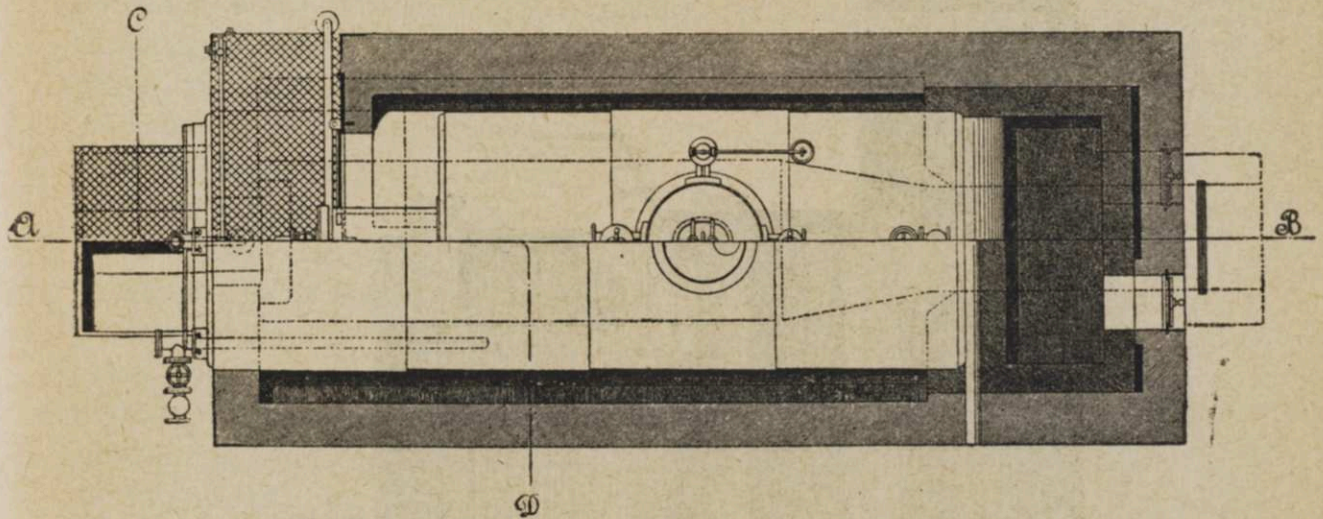
Фиг. 43.



очень сырой. Наконецъ, при такой системѣ котла, какъ замѣчено, происходитъ большое отложеніе накипи на трубкахъ и на задней рѣшеткѣ верхняго котла, вслѣдствіе чего эта рѣшетка, перегрѣваясь, очень скоро даетъ трещины, и ее приходится мѣнять. При форсированной работѣ нагреваніе нижняго и верхняго котловъ разнятся довольно значительно, и это весьма вредно отзывается на прочности соединительныхъ штуцеровъ, которые даютъ течь въ швахъ и трещины въ цѣлыхъ мѣстахъ. Вслѣдствіе столькихъ недостатковъ, котель Тишбейна въ настоящее время почти не употребляется, но онъ послужилъ типомъ для нижеслѣдующихъ котловъ, въ которыхъ указанные недостатки устранены.

42. Комбинаціонный котель Вейнлига. Этотъ котель предложенъ въ 1876 г. и представляетъ тоже соединеніе коривалійскаго или ланкаширскаго котла съ трубчатымъ (фиг. 42—44).

Оба котла соединены однимъ штуцеромъ, и потому различныя по величинѣ деформациі верхняго и нижняго котловъ не могутъ имѣть вред-

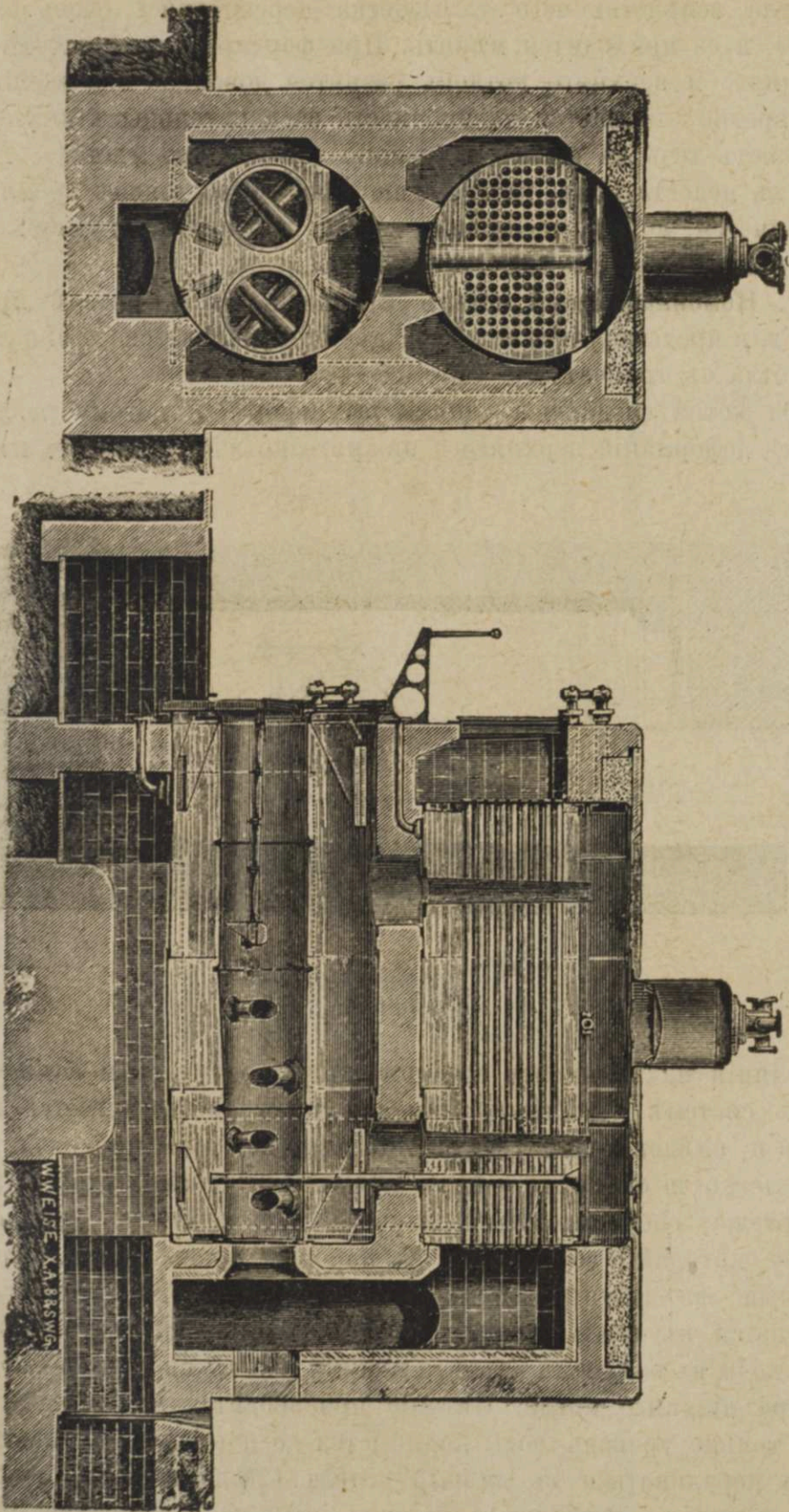


Фиг. 44.

наго вліянія на прочность соединительнаго штуцера и самихъ котловъ какъ въ системѣ Тишбейна. Паровое пространство имѣется въ обоихъ котлахъ и, слѣдовательно, выдѣленіе пара изъ воды происходитъ сравнительно легко и спокойно,—паръ получается болѣе сухой. Какъ видно изъ чертежа, соединительный штуцеръ переходитъ въ верхнемъ котлѣ въ трубу, которая и соединяетъ оба паровыя пространства. Черезъ соединительный же штуцеръ проходитъ трубка, верхній конецъ которой расширяется въ видѣ воронки и оканчивается на высотѣ нормальнаго уровня воды въ верхнемъ котлѣ, а нижній конецъ опущенъ въ водяное пространство нижняго котла. Питаніе производится въ верхній котель, и и какъ только уровень воды поднимется до нормальной высоты, она начинаетъ переливаться въ нижній котель. Слѣдовательно, вообще достаточно слѣдить за тѣмъ, чтобъ уровень воды поддерживался на надлежащей высотѣ въ нижнемъ котлѣ, но для большей безопасности лучше ставить водомѣрные аппараты и въ верхнемъ котлѣ.—Газы въ котлѣ Вейнлига

движутся по жаровымъ трубамъ, затѣмъ поднимаются къ верхнему котлу, проходятъ по трубкамъ къ фронту котла, выйдя изъ трубокъ, омываютъ

Фиг. 45.

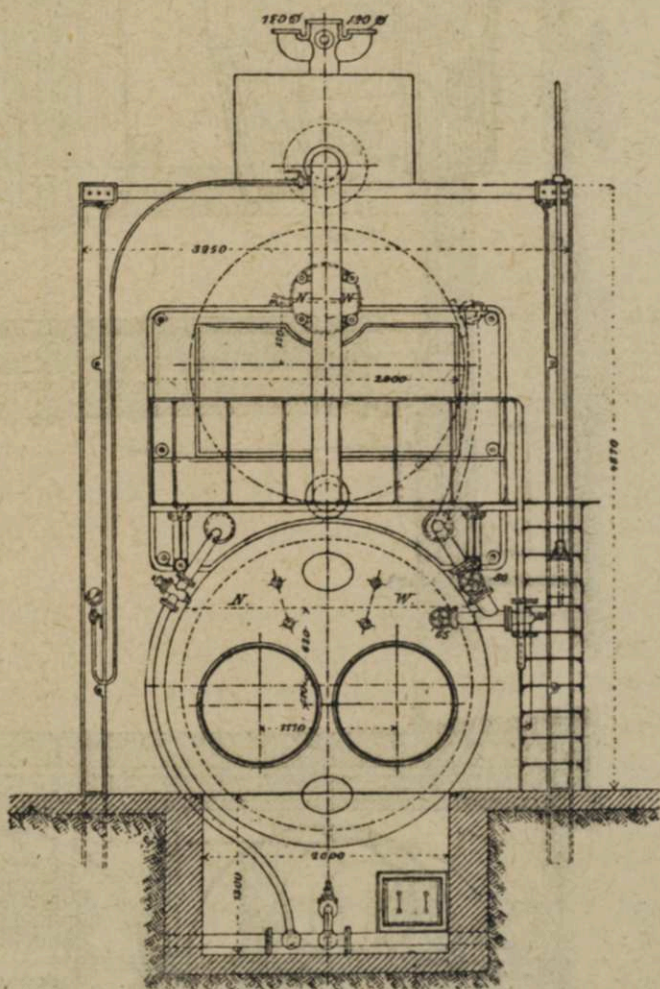


верхній и нижній котлы съ внѣшной стороны, послѣ чего уходятъ въ боровъ. При обмазкѣ этого котла нужно имѣть въ виду, что паровое про-

странство нижняго котла, соприкасающееся съ заднимъ днищемъ, не должно подвергаться дѣйствию еще очень горячихъ (около 900°) въ этомъ мѣстѣ газовъ, поэтому вся часть днища выше жаровой трубы должна быть выложена огнеупорнымъ кирпичомъ. Для поддержанія этой стѣнки устраивается сводъ. Подобный сводъ, вслѣдствіе высокой температуры, очень часто трескается и перегораетъ. Это является однимъ изъ большихъ неудобствъ котла Вейнлига.

Если въ комбинаціонномъ котлѣ Вейнлига газы по выходѣ изъ трубокъ заставляютъ сразу омывать поверхность обоихъ котловъ (верхняго и нижняго) и потомъ выходить въ боровъ, расположенный внизу, въ задней части, то передняя часть нижняго котла получаетъ слишкомъ мало теплоты, такъ какъ газы изъ трубокъ направляются прямо къ борову. Это, конечно, вызываетъ неравномѣрное распредѣленіе температуръ въ нижнемъ котлѣ и сопряженное съ этимъ появленіе вредныхъ внутреннихъ напряженій. Для устраненія этого боровъ располагаютъ въ самой высшей части котла и посреди котла ставятъ поперечную вертикальную стѣнку съ отверстіемъ въ нижней части, такъ что газы по выходѣ изъ трубокъ опускаются внизъ, огибаютъ стѣнку и потомъ поднимаются около задней части котла вверхъ въ боровъ. Того же можно достигъ, заставляя газы послѣдовательно омывать сначала верхній котель, а потомъ нижній, какъ это показано на фиг. 45. Газы, по выходѣ изъ дымогарныхъ трубокъ, движутся по боковымъ каналамъ верхняго котла къ задней части, опускаются въ боковые каналы нижняго котла, по нимъ движутся къ переднему фронту и наконецъ по нижнему каналу уходятъ въ боровъ.

Въ этомъ котлѣ показано два соединительныхъ штуцера. Но при устройствѣ комбинаціонныхъ котловъ весьма важно обезпечить независимое положеніе одного котла относительно другого, и потому соединеніе однимъ штуцеромъ гораздо предпочтительнѣе. Во многихъ случаяхъ въ настоящее время совершенно не дѣлаютъ этого штуцера,



Фиг. 46.

соединяя паровое и водяное пространства обоих котлов длинными, упругими трубами из желѣза, расположенными съ внѣшней стороны обмуровки (фиг. 46—47). При такомъ устройствѣ верхній котелъ можетъ быть поставленъ или подвѣшанъ на особыхъ балкахъ. Кирпичная кладка въ такихъ котлахъ, вслѣдствіе ея большой высоты, должна исполняться съ особой тщательностью и хорошо скрѣпляться связями.

Въ приведенной ниже таблицѣ 15 даны главные размѣры котловъ типа Вейнлига, исполняемыхъ заводомъ Паукша (Aktien-Gesellschaft in Landsber a/Warthe).

Табл. 15 къ фиг. 42—44.

Верхній котелъ.				Нижній котелъ.				Поверх.нагрѣва, кв. метры.	Кирпичная кладка.				
Диаметръ, метры.	Длина, метры.	Трубки.		Диаметръ, метры.	Длина, метры.	Жар.труб.			Ширина, метры.	Длина, метры.	Высота, метры.	Толщина бок. стѣнъ, кир- пичей.	Толщина пе- редней и зад. стѣнки, кирп.
		Диам., мм.	Число.			Диам., метры.	Число.						
1,570	2,600	70	72	1,60	3,985	0,80	1	70	2,71	4,540	3,850	1,5	1,5
1,650	2,820	70	86	1,70	4,255	0,85	1	85	2,81	5,075	4,000	1,5	1,5
1,750	3,100	76	84	1,80	4,545	0,90	1	100	3,17	5,405	4,150	2	1,5
1,800	3,190	76	90	1,90	4,645	0,70	2	113	3,27	5,495	4,200	2	1,5—2
1,830	3,430	76	94	1,90	4,885	0,70	2	125	3,27	5,735	4,200	2	1,5—2
1,885	3,760	82	90	2,00	5,215	0,75	2	140	3,37	6,065	4,350	2	1,5—2
2,000	3,670	82	102	2,10	5,155	0,80	2	155	3,47	6,025	4,500	2	1,5—2
2,000	3,920	82	102	2,10	5,405	0,80	2	165	3,47	6,275	4,600	2	1,5—2
2,100	3,580	82	124	2,20	5,095	0,85	2	175	3,57	6,940	4,650	2	1,5—2
2,100	3,800	82	124	2,20	5,315	0,85	2	185	3,57	6,160	4,650	2	1,5—2
2,200	3,710	82	134	2,30	5,290	0,90	2	195	3,67	6,150	4,825	2	1,5—2
2,200	3,910	82	134	2,30	5,490	0,90	2	205	3,67	6,350	4,825	2	1,5—2
2,300	3,925	88	134	2,40	5,525	0,95	2	220	3,80	6,365	5,000	2	1,5—2
2,300	4,125	88	134	2,40	5,725	0,95	2	233	3,80	6,565	5,000	2	1,5—2
2,400	3,840	88	152	2,50	5,450	1,00	2	250	3,90	6,280	5,150	2	1,5—2

Такъ какъ трубчатые котлы, въ виду прогиба трубокъ, не дѣлаютъ длинными (не болѣе 4—5 метр.), то и нижній котелъ нѣтъ смысла дѣлать длиннымъ. Въ противномъ случаѣ на долю верхняго, трубчатого котла выпадаетъ слишкомъ малая работа. Вслѣдствіе этого комбинаціонные котлы такой системы обыкновенно приготавливаются короткими и имѣютъ лишь большіе размѣры въ вертикальномъ направленіи.

Съ передней или задней стороны передъ трубчатымъ котломъ должно быть оставлено мѣсто, чтобы можно было производить чистку и перемѣну испорченныхъ трубокъ.

Нижній котелъ дѣлается обыкновенно съ двумя жаровыми трубами, чтобы получить большую поверхность колосниковой рѣшетки; но вслѣдствіе большой поверхности нагрѣва всего котла и при такомъ устройствѣ топку приходится сильно форсировать.

Для прочистки трубокъ верхняго котла отъ сажи и золы въ передней стѣнкѣ дѣлается дверца, черезъ которую открывается доступъ ко всѣмъ трубкамъ. Чтобы не терять теплоты, дверцы изнутри слѣдуетъ обкладывать дурнымъ проводникомъ, напр., толстымъ слоемъ азбеста.

Такъ какъ при открытіи такой дверцы въ дымовые каналы будетъ засасываться большое количество воздуха, то открывать ее и чистить трубки можно только въ то время, когда топка котла прекращена и заслонка опущена.

Чтобы дать возможность очищать трубки отъ золы, не останавливая работы котла, въ передней стѣнкѣ, позади дверцы ставится еще рѣшетка,

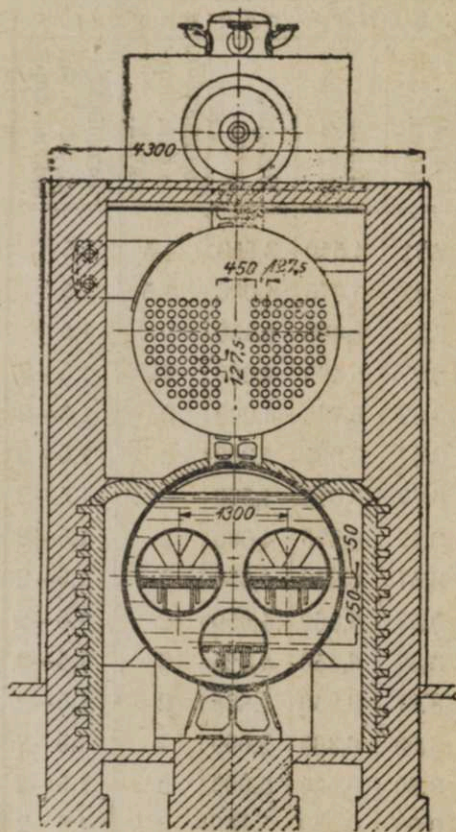
съ отверстиями противъ каждой изъ трубокъ; такія отверстія закрываются колпачками, которые можно открывать по очереди и чистить помѣщающуюся противъ отверстія трубку; при этомъ воздуха въ дымовые каналы будетъ попадать самое незначительное количество. Для большаго удобства въ нѣкоторыхъ котельныхъ передъ котлами устанавливается передвижная рама, на которой подвѣшенъ стержень для прочистки. Рисунокъ такого приспособленія представленъ въ Z. D. und V. G. 47—5—04.

Фирма *В. Н. Hellmann*, въ Прагѣ, снабжаетъ дверцы проходящими черезъ нихъ короткими подтрубками, закрываемыми снаружи колпачками. При закрытіи дверецъ эти подтрубки близко подходят къ дымогарнымъ трубкамъ и служатъ направляющими для щетки, которую можно ввести, открывши колпачокъ. Такимъ образомъ прочистка трубокъ можетъ производиться во время работы котла, не

открывая дверецъ, не вводя излишняго воздуха. Чтобы не препятствовать движенію газовъ, стѣнки подтрубокъ продырявлены. Рис. см. Z. D. und M. 2873—05.

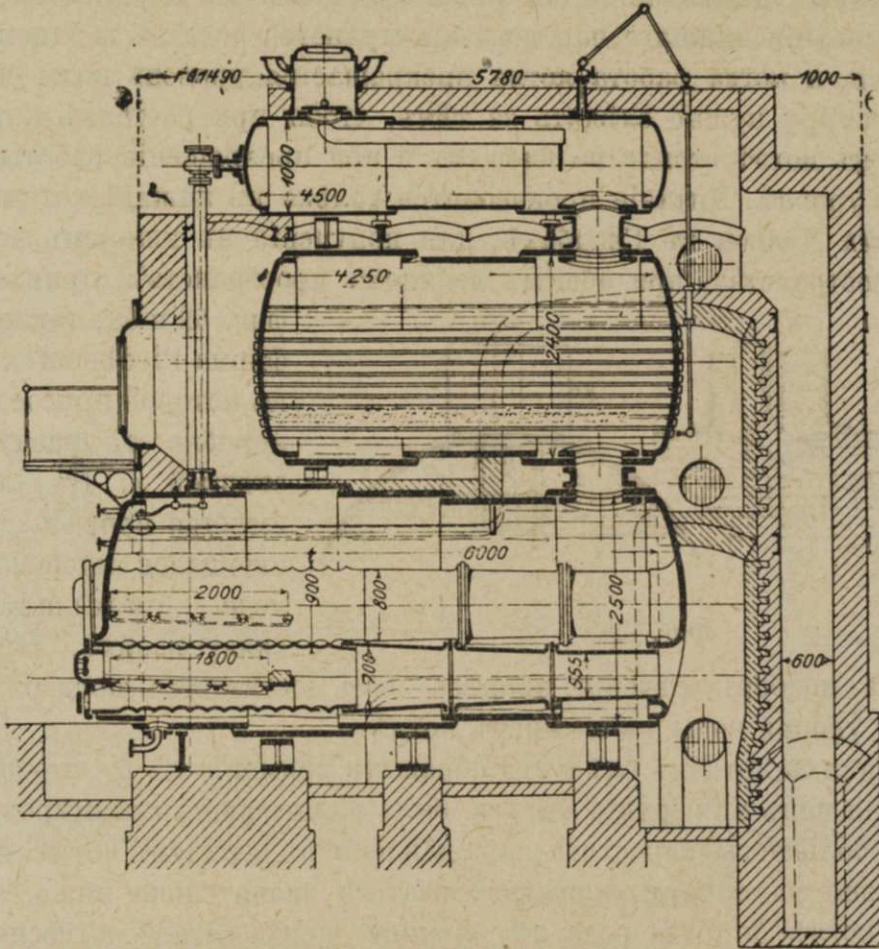
43. Котель Бернингауза (фиг. 46—48). Для избѣжанія частаго ремонта кладки, на нѣмецкомъ заводѣ *E. Berninghaus*, въ *Duisburg'*ѣ, нижній котель ставятъ слегка наклонно, вслѣдствіе чего паровое пространство не соприкасается съ заднимъ днищемъ, и потому его незачѣмъ обдѣлывать огнеупорнымъ кирпичемъ, а стѣнку, направляющую движеніе газовъ, ставятъ прямо на самый котель и этимъ избѣгаютъ устройства свода.

44. Котель, Пьебёфа J. Piedboeuf, Düsseldorf-Oberbilk (фиг. 49—51). Верхній и нижній котлы соединены штуцеромъ, тѣмъ не менѣе въ каждомъ котлѣ имѣется свое собственное паровое пространство. Въ нижнемъ котлѣ,

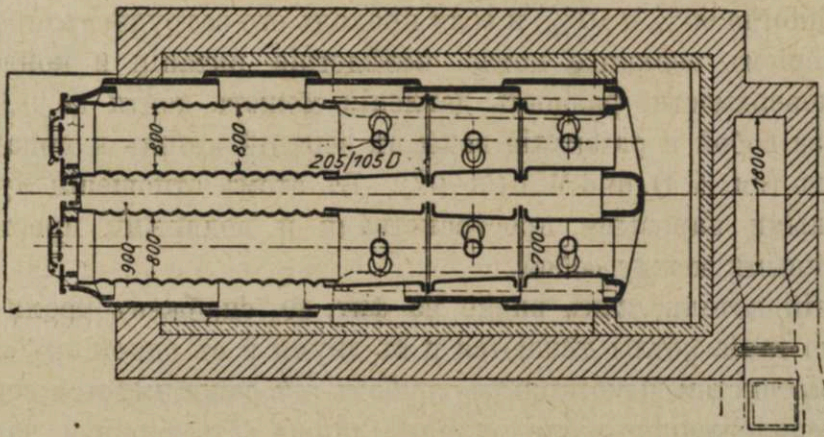


Фиг. 49.

недалеко от соединительного штуцера поставлена вертикальная перегородка, которая не позволяет образующемуся в нижнем котле пару проходить в штуцер, вследствие чего в нижнем котле и образуется



Фиг. 50.



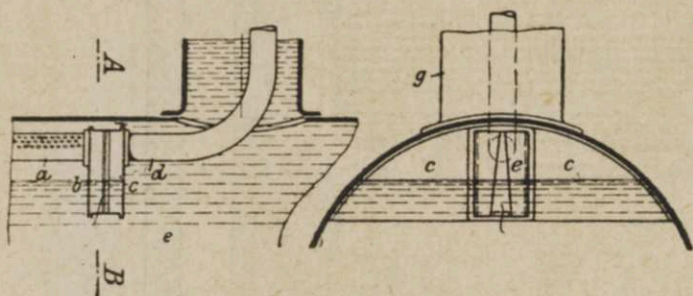
Фиг. 51.

паровое пространство ¹⁾. Это пространство соединено с верхним паровым пространством трубой, в верхней части которой поставлен клапан,

¹⁾ На Брюссельской Выставке 1910 г. котель Piedboeuf в 500 кв. м. поверхн. нагрева имела диам. 3000 мм. (нижнего и верхнего), толщину стѣнки 26 мм., работала при 12 атм., давая в среднем 20 кгр. пару в часъ съ кв. м. поверхн. нагр. Z. D. M. 434—10.

соединенный съ поплавкомъ. Когда въ нижнемъ котлѣ накопится паръ и уровень воды понизится, то вмѣстѣ съ этимъ опустится и поплавокъ, откроетъ клапанъ и перепуститъ паръ въ верхнее пространство, такимъ образомъ уровень воды удерживается въ нижнемъ котлѣ на постоянной высотѣ. При образованіи нижняго парового пространства вода въ верхнемъ котлѣ подымается, а когда работа котла прекращается, уровень воды снова падаетъ; кочегару нужно слѣдить за тѣмъ, чтобы при растопкѣ котла вода въ верхнемъ котлѣ стояла на низшемъ и при прекращеніи работы на нормальномъ уровнѣ. Питаніе производится только въ нижній котель.

Фирма Дюшюи въ Гладбахѣ, для полученія въ нижнемъ котлѣ парового пространства, при общемъ водяномъ пространствѣ, примѣняетъ,—



Фиг. 52.

фиг. 52 и 53, также какъ и фирма Piedboeuf, стѣнку *c*, къ которой присоединяется коробка съ раздѣляющей стѣнкой *e*. Въ стѣнкѣ *e* имѣется прорѣзъ съ измѣняющейся площадью прохода, уменьшающеюся снизу вверхъ. При опре-

дѣленномъ подборѣ сѣченія прорѣза въ *e* достигается поддержаніе постоянного уровня воды въ нижнемъ котлѣ.

Въ такихъ котлахъ слѣдуетъ обращать вниманіе на то, чтобы труба, проводящая паръ въ верхній котель, была надлежащихъ размѣровъ; иначе при очень большихъ скоростяхъ пара давленіе въ верхнемъ котлѣ, дающемъ сравнительно мало пару, можетъ оказаться значительно ниже, чѣмъ въ нижнемъ котлѣ, и тогда вода изъ нижняго котла будетъ вытѣсняться въ верхній.

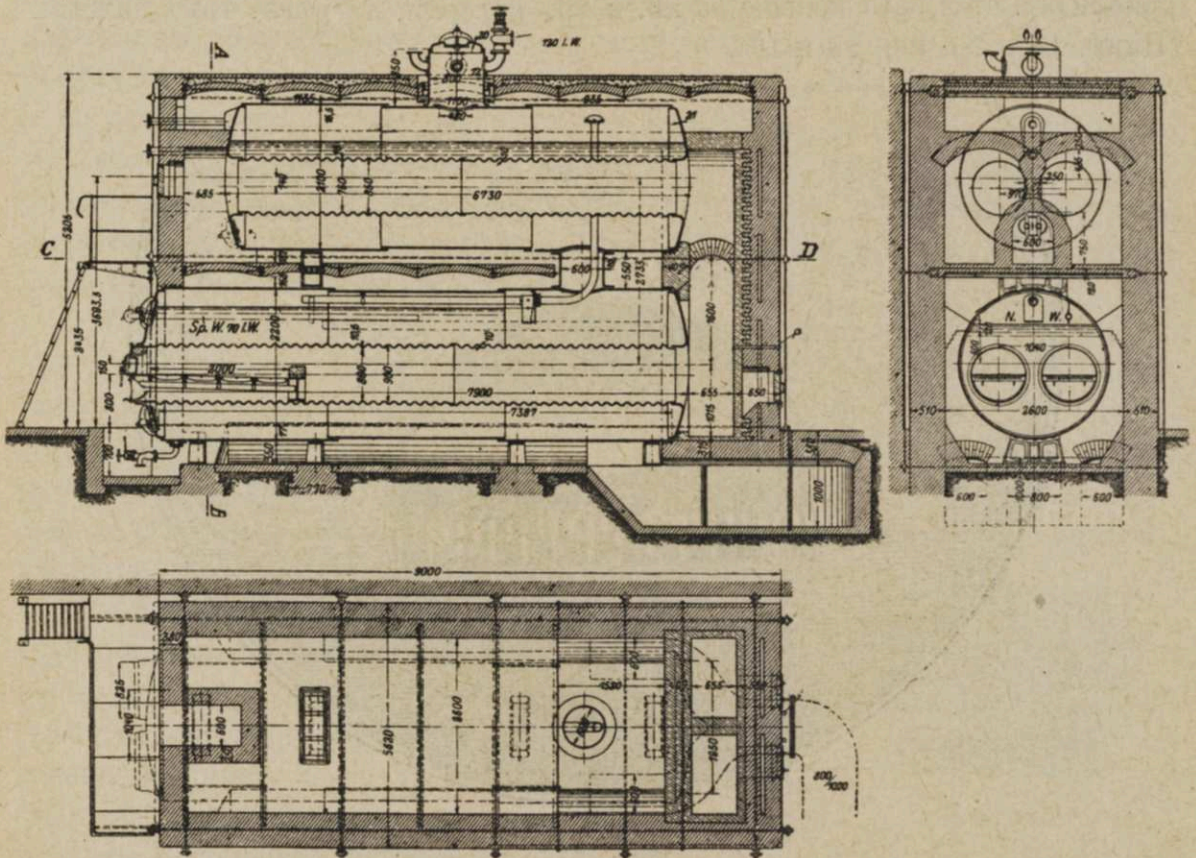
Въ нижнемъ котлѣ пара образуется значительно больше, чѣмъ въ верхнемъ (иногда 90% и 10%) и если проходъ его затрудненъ, то, совмѣстно съ охлажденіемъ верхняго котла вслѣдствіе питанія и конденсаціи по внѣшней поверхности, разность давленія можетъ дойти до 0,8 атм., что повлечетъ за собой перетеканіе воды въ верхній котель и попаданіе ее въ паропроводъ (см. Z. D. und M. 545—07). Въ этомъ отношеніи лучше котлы съ отдѣльными паровыми пространствами и водяными пространствами, не соединенными между собой.

Нижній котель, какъ видно на фиг. 49, снабженъ тремя жаровыми трубами, но такіе котлы дѣлаются и съ двумя и съ одной трубой.

Для прочистки дымогарныхъ трубокъ отъ сажи имѣется вертикальная трубка, расположенная около задняго днища. Въ верхней части трубка соединена при помощи шалнеровъ съ котломъ, средняя часть трубки проходитъ черезъ втулку, помѣщенную въ сводикѣ, а къ нижнему концу прикрѣплена поперечная трубка, имѣющая отверстія противъ каждой дымогарной трубки. Пуская въ вертикальную трубку паръ изъ котла и двигая эту трубку вверхъ и внизъ, можно продуть всю находящуюся въ дымогарныхъ трубкахъ сажу.

Желательно обмуровку комбинаціоннаго котла измѣнить такъ, чтобы газы изъ жаровыхъ трубъ омывали внѣшнюю поверхность котла; при этомъ болѣе высокая температура повыситъ лучеиспусканіе стѣнокъ кладки, и общій коэффициентъ теплопередачи k увеличится; самый котелъ будетъ работать болѣе напряженно и обогрѣваться равномернѣе. Охлажденные газы поступятъ въ трубки, гдѣ k не зависятъ отъ лучеиспусканія и не зависятъ, слѣдоват., отъ температуры.

Кромѣ того и днище (рѣшетка) верхняго котла со стороны входа газовъ въ трубки будетъ менѣе нагрѣваться уже сильно охлажденными газами, вслѣдствіе чего не будетъ появляться течи трубокъ. Тогда какъ при направленіи газовъ изъ жаровыхъ въ дымогарныя трубки нагрѣвъ рѣшетки при высокой температурѣ газовъ можетъ получиться болѣе сильный



Фиг. 53.

еще вслѣдствіе того, что на рѣшетку излучаетъ тепло вертикальная кирпичная стѣнка, а излученіе быстро повышается съ повышеніемъ температуры. Указаннымъ образомъ обмурованъ котелъ, изображенный на фиг. 49—51.

Газы, по выходѣ изъ жаровыхъ трубъ, идутъ подъ котломъ, затѣмъ возвращаются по бокамъ нижняго котла, поднимаются около задняго днища къ верхнему котлу, проходятъ черезъ дымогарныя трубки, омывають снаружи верхній котелъ и, поднявшись вверхъ, уходятъ въ боровъ.

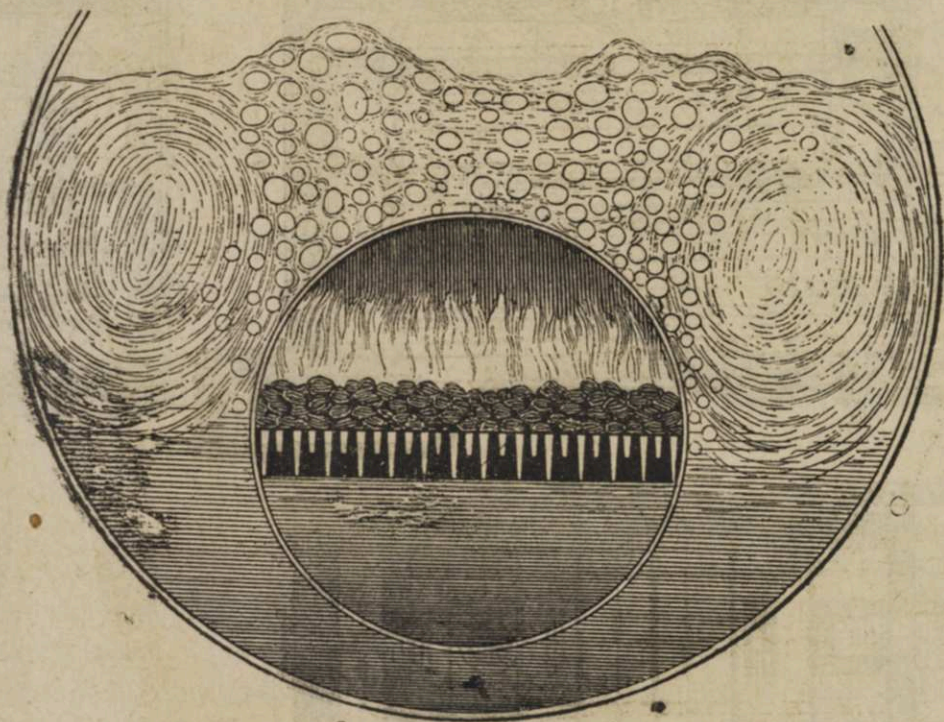
Комбинаціонные трубчатые котлы, какъ и просто трубчатые, умѣстны только въ томъ случаѣ, если вода совершенно чистая. При такомъ условіи они являются очень экономичными парообразователями. Но, обладая обыкновенно большою поверхностью нагрѣва, которая обходится довольно дорого, такіе котлы могутъ примѣняться только при большихъ установкахъ.

Трубочатые котлы комбинируются также и съ кипяtilьниками. Въ этомъ случаѣ все неудобства, присущія кипяtilьникамъ, сказываются здѣсь еще въ болѣе сильной степени, такъ какъ выходъ пара изъ кипяtilьниковъ въ такихъ котлахъ еще болѣе стѣсненъ трубками.

При проектированіи этихъ котловъ нужно имѣть въ виду тѣ указанія, которыя были даны при описаніи котловъ съ кипяtilьниками.

Нужно также замѣтить, что верхній трубчатый котелъ въ комбинаціонныхъ котлахъ обыкновенно прибавляетъ сравнительно мало къ паропроизводительности котла; главная масса пара получается въ нижнемъ котлѣ.

По опытамъ А. С. Ломшакова [на Путиловскомъ заводѣ (Докладъ проф. Г. Ф. Деппа Парижск. Конгрессу 1900 г.) верхній котелъ давалъ пара приблизит. въ 2 раза меньше на кв. метръ поперхн. нагрѣва, чѣмъ нижній. (Напр. 18 и 7,3 или 28 и 12).



Фиг. 54.

Понятно, что кромѣ указанныхъ комбинацій могутъ быть и другія, напр., ланкаширскаго котла съ галловеевскимъ или ланкаширскимъ, какъ указано на фиг. 53, изображающей котелъ завода Dupuis въ Гладбахѣ.

45. Сравнительныя достоинства и недостатки котловъ съ внѣшней и внутренней топкой. Нѣкоторые изъ разсмотрѣнныхъ нами паровыхъ котловъ были съ внѣшней, а другіе съ внутренней топкой.

Внѣшняя топка имѣетъ то достоинство, что размѣръ ея не стѣсненъ размѣрами котла, и потому она можетъ быть легко приспособлена для топлива всевозможныхъ сортовъ. Такіе котлы могутъ топиться даже самыми плохими и дешевыми сортами горючаго матеріала.

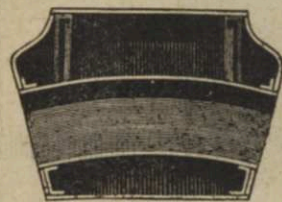
Недостатки котловъ съ внѣшней топкой, главнымъ образомъ, заключаются въ томъ, что большое количество теплоты теряется стѣнками топки.

Поэтому, при всѣхъ равныхъ прочихъ условіяхъ, котлы съ внѣшней топкой будутъ на нѣсколько процентовъ работать хуже, чѣмъ котлы съ внутренней топкой ¹⁾).

Расположеніе точки внутри котла, въ смыслѣ утилизаціи теплоты гораздо выгоднѣе, но, вмѣстѣ съ тѣмъ, такое расположеніе точки значительно стѣсняетъ ея размѣры, и потому внутренняя топка, можетъ имѣть мѣсто только при употребленіи хорошаго топлива, съ высокой теплотворной способностью.

Какъ на весьма важный недостатокъ, присущій паровымъ котламъ съ внутренней топкой, нужно указать на слабую циркуляцію, и вслѣдствіе этого, неравномѣрное распредѣленіе температуры въ различныхъ частяхъ котла. Въ такихъ котлахъ вода, главнымъ образомъ, нагрѣвается въ частяхъ, лежащихъ выше колосниковой рѣшетки,—здѣсь происходитъ циркуляція, и температура въ этой части котла поддерживается довольно равномѣрная. Вода же, лежащая ниже рѣшетки, нагрѣвается весьма слабо и по температурѣ сильно разнится отъ верхнихъ слоевъ. Явленіе, которое происходитъ внутри котла, представлено на фиг. 54. Надъ трубой происходитъ сильное парообразование; съ боковъ вода циркулируетъ; подъ топкой же вода находится въ покоѣ, и ея температура тѣмъ ниже, чѣмъ гуще положена штриховка на чертежѣ.

Большая разница въ распредѣленіи температуръ въ заводскихъ котлахъ, имѣющихъ кирпичную кладку, слѣдовательно обогрѣваемыхъ также и снизу, замѣчается, главнымъ образомъ, во время растопки котла. Въ это время, какъ показали опыты, произведенные въ лабораторіи Императорскаго Техническаго Училища ²⁾, разность температуръ можетъ достигать до 140° Ц. Затѣмъ, черезъ нѣсколько часовъ температура уравнивается и разница остается въ 45—50° Ц. Въ котлахъ же, не имѣющихъ обмазки, рѣзкая разница температуръ нижнихъ и верхнихъ слоевъ воды остается все время работы. Такое состояніе котла очень вредно отзывается на его прочности: котель коробится, какъ показано въ карик. видѣ на фиг. 55 и потому многіе строители старались искусственно произвести циркуляцію и уравнивать температуру ³⁾.



Фиг. 55.

Для этой цѣли предлагались механическія приспособленія, которые

¹⁾ См. Б. П. О. 483 и 497—09.

²⁾ См. также опыты Левингтона Флетчера, въ концѣ книги. Также Z. d. Z. d. I. 34—03 и Б. П. О. № 1—01 и № 5—04.

См. также о распредѣленіи темпер. внутри котла Z. 34—1—03.

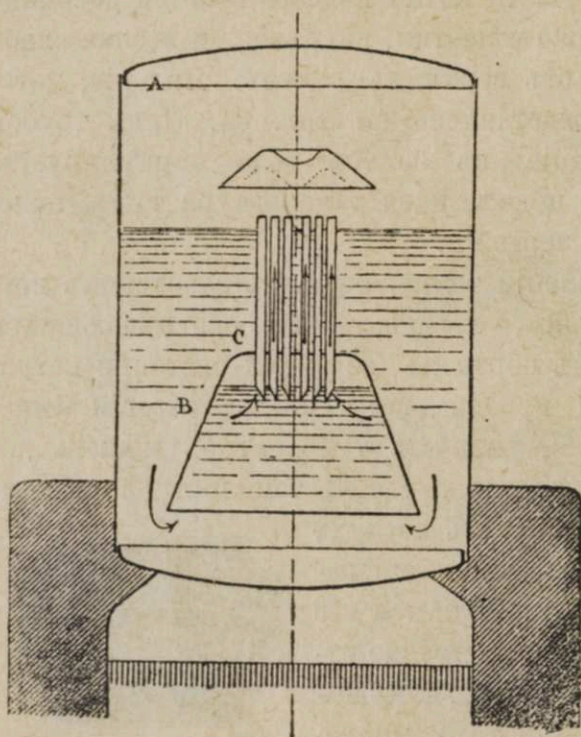
³⁾ Какъ показываютъ статистическія данныя, котлы съ внутренней топкой даютъ менѣе несчастныхъ случаевъ (смертныхъ, такъ какъ о таковыхъ только и имѣются вполнѣ достовѣрныя свѣдѣнія), чѣмъ котлы съ наружной топкой. Впрочемъ, по мнѣнію Компера, директора французскаго О-ва по надзору за паровыми котлами (Association Parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur), дѣлая такой выводъ, нужно имѣть въ виду, что котлы съ внутренней топкой получили особенно большое распространеніе за послѣднее время, и потому статистическія данныя относятся, главнымъ образомъ, къ котламъ сравнительно новымъ. Кромѣ того, котлы съ внутренней топкой послужившіе матеріаломъ для статистики особенно распространены въ Германіи, гдѣ котлы не особенно сильно напрягаются, и гдѣ построеніе котловъ стоитъ очень высоко. Annales des Mine. (1904). Z. D. und. M. 183—04.

должны были приводить массу воды въ движеніе, но такія приспособленія, помѣщаясь внутри котла, не могли дѣйствовать исправно, и потому распространенія не получили.

Галловеемъ были предложены его циркуляціонныя трубки, но, какъ показали опыты Флетчера, эти трубки замѣтнаго измѣненія въ дѣйствіе котла не вносятъ, и потому не могутъ быть признаны рѣшающими вопросомъ.

Предлагали для уравниванія температуры примѣнить принципъ инжектора Жифара; опыты во французскомъ флотѣ получились неудовлетворительные, хотя Флетчеръ даетъ объ этомъ способѣ болѣе благоприятный отзывъ.

Для той же цѣли предложили одинаковые по идеѣ приборы, различающіеся только въ конструктивныхъ деталяхъ. Cooper & Greiff (Eng. 488—10—04), Howaldt (Z. d. V. d. I—34—03) и Schmidt (Z. D. und M. 306—05).



Фиг. 56.

Устройство ихъ состоитъ въ томъ, что въ нижней части котла помѣщается трубка, изогнутая спиралью или иной конструкціи; одинъ конецъ трубки соединенъ съ паровымъ пространствомъ котла, а другой съ питательнымъ насосомъ. Паръ входитъ въ спираль, подогреваетъ окружающую ее воду, а самъ конденсируется, при чемъ конденсатъ откачивается питательнымъ насосомъ и примѣшивается къ питающей водѣ. Такое приспособленіе уравниваетъ температуру при растопкѣ, но начинаетъ дѣйствовать только послѣ того, какъ въ котлѣ появился паръ, а до того момента неравенство температуръ имѣетъ мѣсто.

Болѣе энергично дѣйствуетъ въ этомъ смыслѣ жаровая труба,

сдвинутая на бокъ, какъ объ этомъ уже говорилось выше.

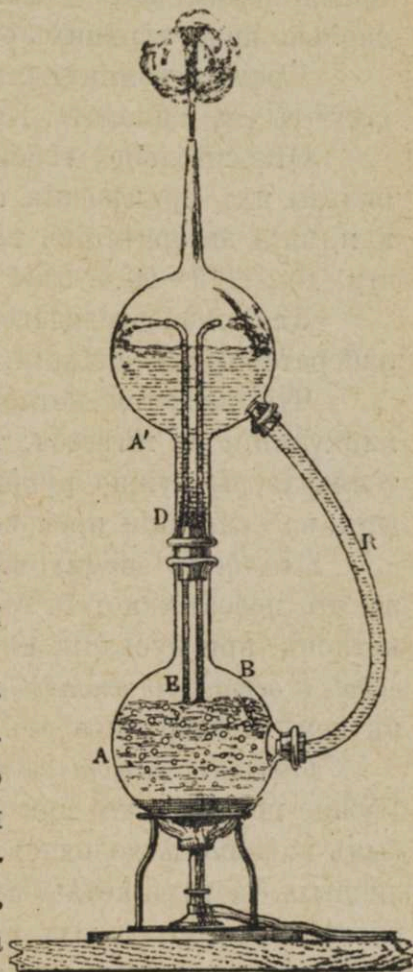
Можно также уравнивать температуру, вводя въ нижнюю часть котла паръ изъ другого котла; но это опять неудобно въ томъ отношеніи, что приходится имѣть для этой цѣли специальный котель.

46. Циркуляціонная помпа Дюбіо. Принципъ устройства циркуляціоннаго, или эмульсіоннаго прибора Дюбіо представленъ на фиг. 56. Какъ видно, въ водѣ помѣщается колоковъ *B*, въ верхней части котораго закрѣплены трубочки, выходящія на поверхность воды; нижніе концы трубочекъ скошены подъ угломъ въ 45°. Диаметръ трубокъ берется отъ 15 до 30 мм. При кипѣніи подъ колоколомъ собирается паръ, который вытѣсняетъ воду, и какъ только уровень воды опустится до нижняго края трубочки, въ нее попадаетъ пузырекъ пара, за которымъ входитъ небольшое количество воды, затѣмъ вновь пузырекъ пара, и т. д. Весьма

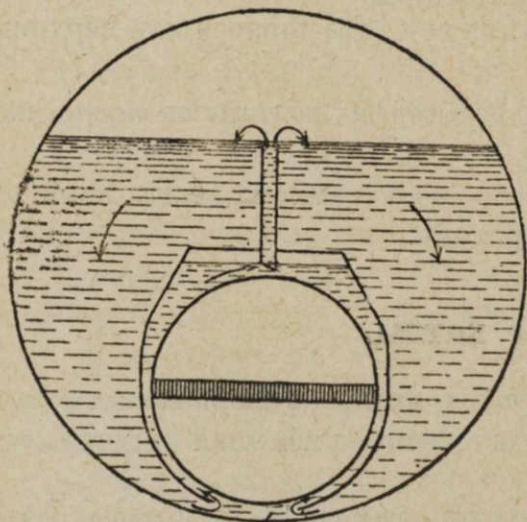
важно, чтобы діаметръ трубки не былъ великъ, такъ чтобы попавшій въ нее пузырь пара заполнялъ все поперечное сѣченіе, при чемъ вся трубка окажется заполненной чередующимися пузырями пара и прослойками воды; вѣсь столба смѣси внутри трубки будетъ гораздо меньше вѣса соотвѣтствующаго столба воды, вслѣдствіе чего снизу явится значительная сила, заставляющая смѣсь, заполняющую трубку, быстро двигаться вверхъ—установится сильная энергичная циркуляція ¹⁾).

Дѣйствіе аппарата Дюбіо очень ясно можно наблюдать на приборѣ, представленномъ на фиг. 57. Какъ скоро въ нижнемъ шарѣ А начнется кипѣніе, устанавливается очень сильный токъ смѣси пара и воды по трубочкамъ Е. Циркуляція появляется настолько сильная, что если въ нижній шаръ положить какія-нибудь твердыя тѣльца, то они будутъ циркуляціей перенесены въ верхній сосудъ.

Прежде чѣмъ такой приборъ начнетъ дѣйствовать надлежащимъ образомъ, вода изъ трубочекъ будетъ выбрасываться съ перерывами. Это происходитъ отъ того, что вода, притекающая по трубкѣ R, охлаждаетъ нижній сосудъ и заставляетъ конденсироваться образовавшійся въ немъ паръ, вслѣдствіе чего дѣйствіе прибора на нѣкоторый промежутокъ времени останавливается. Когда же температура во всемъ приборѣ сравняется, циркуляція происходитъ непрерывно.



Фиг. 57.



Фиг. 58.

Въ паровыхъ котлахъ приборъ сначала уравниваетъ температуру воды во всемъ котлѣ, а затѣмъ уже начинаетъ дѣйствовать, какъ эмульсіонный приборъ.

Трубки Дюбіо можно примѣнить въ котлахъ всевозможныхъ системъ. Устройство прибора для котловъ съ внутренней топкой будетъ подобно представленному на фиг. 58. Первоначально котелъ долженъ быть наполненъ водой такимъ образомъ, чтобы уровень ея былъ выше трубокъ. Тогда при топкѣ установится слабый токъ воды, какъ показано стрѣлками, обусловливаемый разностью плотностей и будетъ продолжаться до тѣхъ поръ,

¹⁾ Описаніе опытовъ, подтверждающихъ выгоду примѣненія эмульсеровъ Дюбіо, см. въ Z. d. V. d. I. 807—97.

пока во всемъ котлѣ вода не нагреется до температуры кипѣнія, послѣ чего начнется циркуляція, порождаемая эмульсированіемъ. Во время нормального дѣйствія аппарата уровень воды лучше держать нѣсколько ниже верхнихъ окончностей трубокъ.

Кромѣ упомянутыхъ приборовъ для побужденія циркуляціи существуютъ еще аппараты Кнапика, Фойгта и друг.

Относительно дѣйствительности работы подобныхъ аппаратовъ и пользы ихъ примѣненія пока не имѣется вполне достовѣрныхъ указаній и мнѣнія авторитетовъ по этому вопросу расходятся (см. Z. D. und. M. стр. 163—179—208—1904 года) ¹⁾.

Для окончательнаго выясненія требуются правильно поставленные лабораторныя испытанія.

Что касается котловъ, въ которыхъ аппаратовъ для возбужденія циркуляціи не имѣется, то для достиженія въ нихъ болѣе равномерной температуры нужно руководствоваться указаніями, которые даетъ Флетчеръ на основаніи произведенныхъ имъ испытаній:

Слѣдуетъ котелъ передъ растопкой наполнять теплою водою, если же это невозможно, то въ случаѣ, когда работаютъ совмѣстно нѣсколько котловъ, при пусканіи въ ходъ одного изъ нихъ, слѣдуетъ его наполнить водою и оставить стоять въ теченіе по крайней мѣрѣ 24 часовъ, чтобы вода въ немъ подогрѣлась отъ сосѣднихъ котловъ.

Растопку слѣдуетъ производить возможно медленно—около 12 часовъ. Нужно помнить, что при быстрой растопкѣ, въ томъ случаѣ, когда котелъ былъ наполненъ холодною водою, вслѣдствіе разности температуръ въ различныхъ частяхъ котла, послѣдній настолько напрягался, что въ серединѣ растопки, въ его швахъ показывалась течь, которая снова прекращалась, когда температура уравнивалась. Конечно, такое напряженіе котла не можетъ не отзываться на его прочности.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, во время растопки и работы котла, *Хорошо открывать продувной кранъ и спускать воду, выводя такимъ образомъ изъ нижней части холодную воду и замѣняя ее болѣе горячей ихъ верхнихъ слоевъ.*

Кромѣ того, *ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ котловъ съ внутренней топкой питать въ нижнюю часть.*

Второй дымовой ходъ лучше дѣлать подъ котломъ, такъ какъ это тоже способствуетъ уравниванію температуръ.

Водотрубные котлы.

Какъ мы видѣли, отъ цилиндрическаго котла съ жаровыми трубами къ котлу трубчатой системы перешли постепенно, уменьшая діаметръ жа-

¹⁾ Эберле, на основаніи произведенныхъ имъ опытовъ въ лабораторіи Баварскаго О-ва, отрицаетъ пользу циркуляторовъ: они не способствуютъ уравниванію температуры при растопкѣ и не повышаютъ коэф. полезн. дѣйств. котла.—Z. V. R. V. №№ 21, 22, 23—08. см. также Z. B. R. V. 6—09.

Изв. С. М. В. П. К. 49, 73 и 09.

Тоже подтверждается опытами, описанными въ Z. D. und M. —6—09.

ровыхъ трубъ и увеличивая число ихъ, желая при этомъ получить котель съ большей поверхностью нагрѣва, слѣдовательно, съ большей паропроизводительной способностью, занимающій въ то же время малое мѣсто. Того же самаго можно достигъ, исходя изъ типа котловъ съ кипятивильниками, уменьшая діаметръ послѣднихъ и увеличивая ихъ число. Такія трубы, наполненныя кипящей водой, называются *кипятивильными*, а самые котлы подобной системы *водотрубными котлами*.

47. Первый водотрубный котель былъ построенъ *Вильямомъ Баклей* еще въ 1766 г. Но впервые удачное примѣненіе на практикѣ водотрубный котель получилъ въ рукахъ американца *Джемса Ромсея*, который и долженъ считаться творцомъ котловъ подобной системы. Въ 1788 г. онъ взялъ въ Англіи патентъ на котель, въ которомъ топка окружалась ящикомъ съ плоскими стѣнками, и все пространство между ними было заполнено трубками. Въ 1793 г. Фультонъ употреблялъ такой котель для своихъ пароходовъ.

Водотрубные котлы отличаются тѣмъ, что состоятъ изъ большого числа отдѣльных частей, соединеніе которыхъ требуетъ довольно искусной работы и удачной конструкціи, чтобъ на практикѣ не представлять большихъ неудобствъ. Вѣроятно вслѣдствіе этого водотрубные котлы довольно медленно входили въ употребленіе и только сравнительно недавно нашли себѣ громадное распространеніе, такъ что на послѣднихъ всемірныхъ выставкахъ экспонируемые котлы были преимущественно водотрубныхъ системъ.

Водотрубные котлы могутъ быть подраздѣлены на:

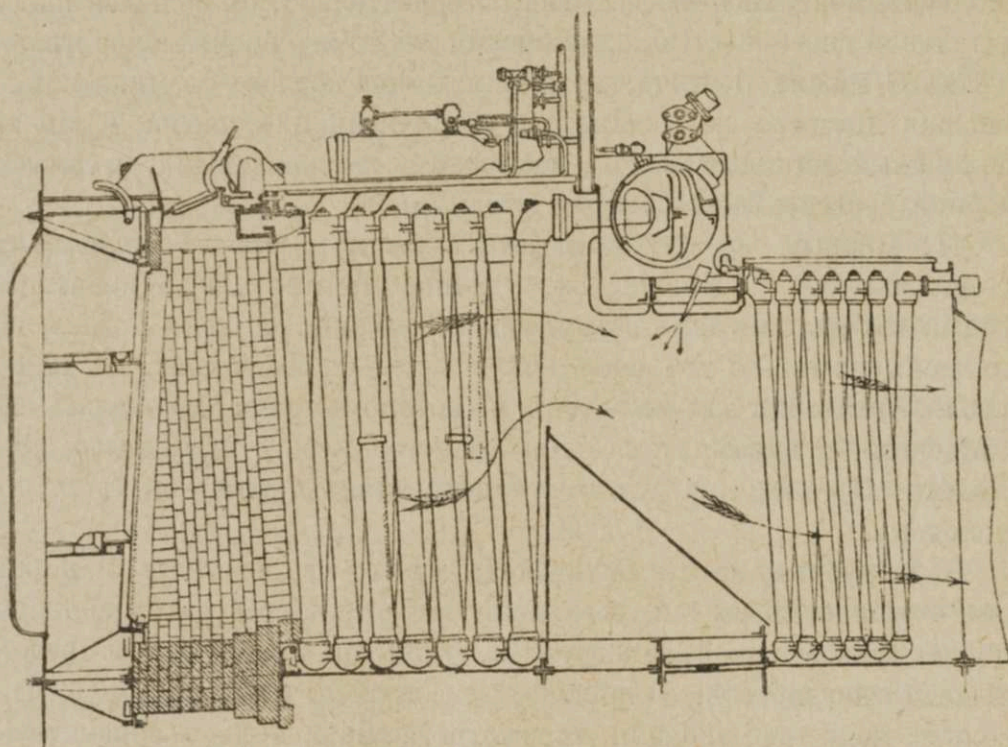
І. Котлы безъ циркуляціи воды.

А) Водотрубные котлы, въ которыхъ вода находится исключительно въ кипятивильныхъ трубахъ.

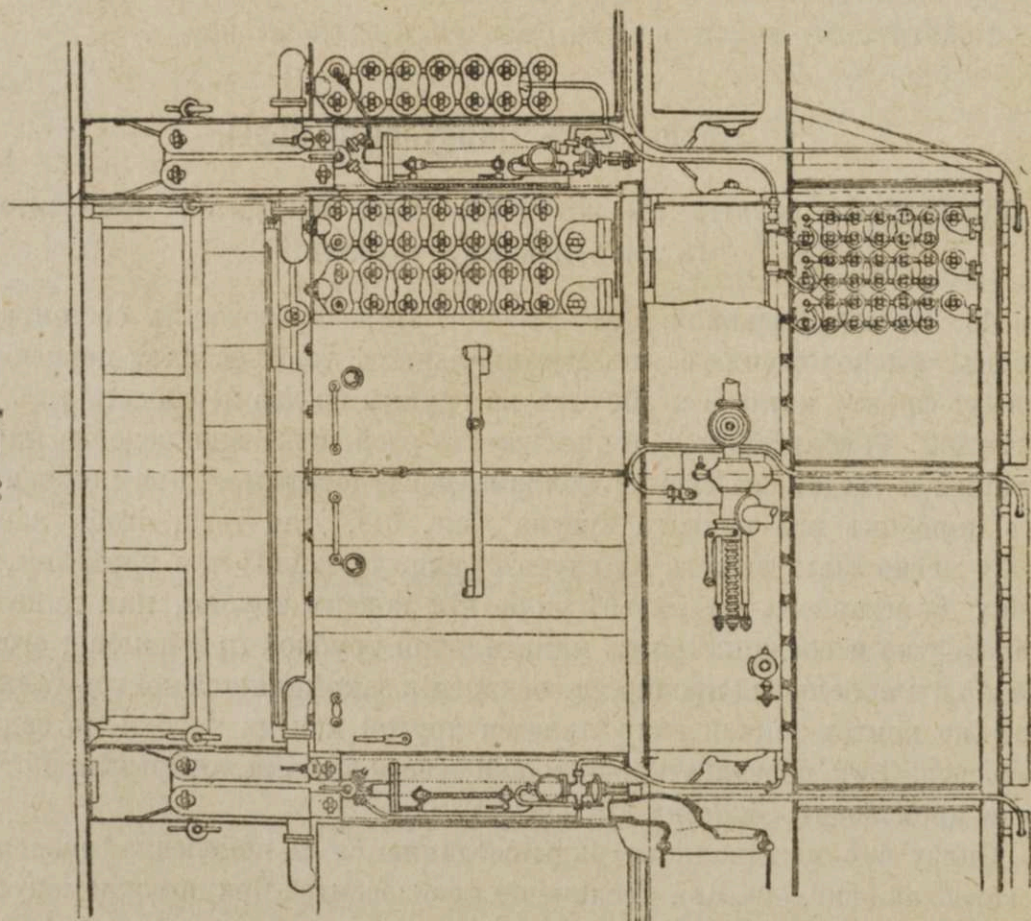
48. Котель *Бельвиля* (фиг. 59—60). Парообразователь состоитъ изъ трубокъ, расположенныхъ въ вертикальныхъ плоскостяхъ, перпендикулярныхъ фронту котла и разбитыхъ на группы по два вертикальныхъ ряда въ каждой. Трубки въ каждой изъ группъ расположены наподобіе маршей лѣстницы и соединены своими концами послѣдовательно при помощи особыхъ коробокъ изъ ковкого чугуна (фиг. 61). Для того, чтобы каждую трубку легко было вынуть въ случаѣ ремонта, концы ихъ нарѣзаны, и въ коробку *В* вставленъ на рѣзбѣ короткій конецъ трубки, или нипель *а*, который уже и соединяется съ кипятивильной трубкой при помощи стонной муфты *б* и для большей прочности соединенія закрѣпляется контръ-гайкой *с*; такой же контръ-гайкой закрѣпляется другой конецъ трубки въ заднихъ коробкахъ. Всѣ переднія коробки снабжены люками, открывши которые можно производить очистку трубокъ.

Снизу всѣ вертикальные ряды соединяются съ поперечной *питательной коробкой* (фиг. 59—61). Соединеніе производится при помощи конуса *т*, завинченнаго въ соединительную коробку и прижатого къ коробкѣ *В* при

Фиг. 59.

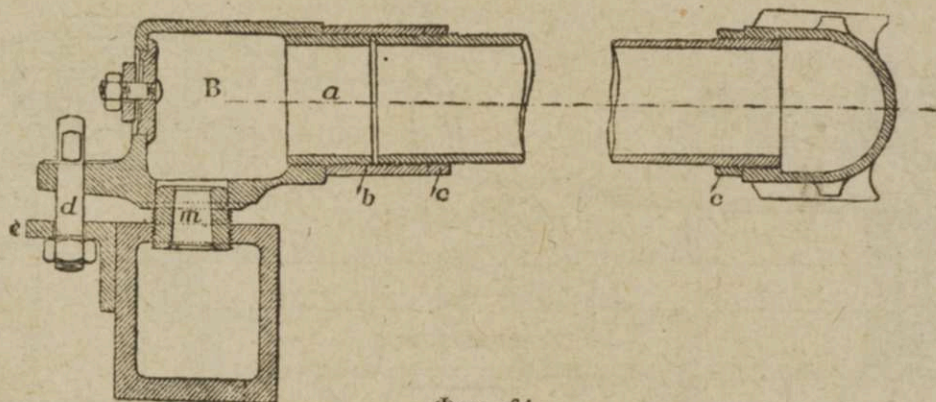


Фиг. 60.



помощи болта *d*; для плотности соединенія въ этомъ мѣстѣ прокладывается еще никкелевое кольцо.

Вверху всѣ трубы соединяются съ *коллекторомъ* (фиг. 62). Внутри коллектора поставлено корыто *C* и, кромѣ того, перегородки 1—2—3;



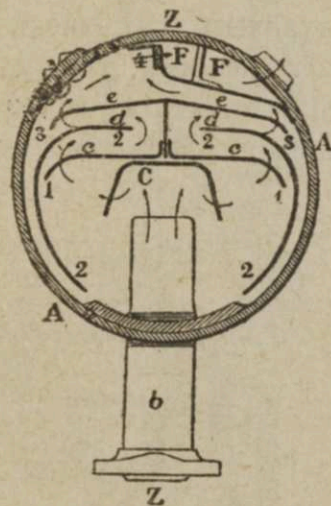
Фиг. 61.

первая и послѣдняя по краямъ зазубрены въ видѣ гребенки. Всѣ эти перегородки назначены для отдѣленія воды, примѣшанной къ пару. Зубцы по краямъ перегородокъ способствуетъ такому отдѣленію.

Питательная вода приводится въ верхній коллекторъ на срединѣ его длины. Входя сюда подъ сильнымъ давленіемъ, струя воды ударяется въ дно корыта *C* (фиг. 62), распыляется, падаетъ на дно коллектора и здѣсь смѣшавшись съ водой, отдѣленной отъ пара, сильно подогрѣтая, стекаетъ по боковой вертикальной трубкѣ въ нижнюю питательную коробку, изъ которой и поступаетъ въ кипятильныя трубы.

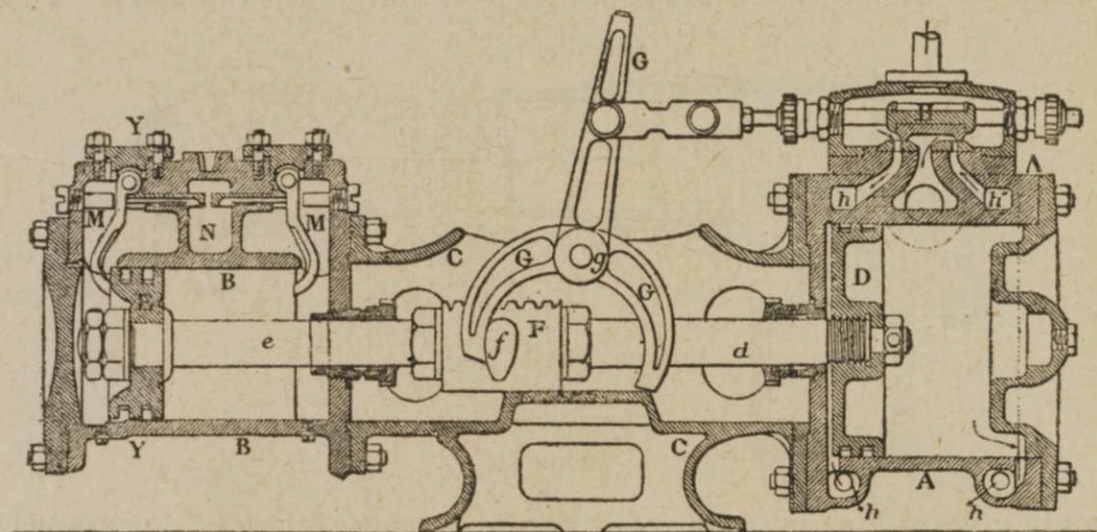
Въ котлахъ новѣйшей конструкціи Бельвиль ставятъ не болѣе 6—7 рядовъ наклонныхъ трубокъ. Нормальный уровень воды находится на срединѣ высоты трубокъ, и, слѣдовательно, въ трубкахъ никакой циркуляціи воды не происходитъ. Въ каждой вертикальной серіи трубокъ выдѣленіе пара идетъ какъ бы въ отдѣльномъ котлѣ. Выдѣляющійся паръ увлекаетъ съ собой массу воды, такъ что верхняя половина трубокъ заполнена очень сырымъ паромъ, который и предупреждаетъ перегрѣвъ трубокъ. Вода отдѣляется въ верхнемъ коллекторѣ. На боковой вертикальной трубкѣ поставленъ *грязевикъ*, въ которомъ могутъ осаждаться выдѣляющіяся изъ раствора соли. Въ этомъ же грязевикѣ поставленъ и продувной кранъ.

Такъ какъ въ котлѣ находится очень мало воды, то всякое небольшое измѣненіе въ интенсивности топки или въ расходѣ пара сказывается на давленіи пара, поэтому при котлѣ необходимо имѣть автоматически дѣйствующие аппараты для поддержанія постоянного давленія. Эти аппараты нужно считать какъ бы составляющими часть котла Бельвиля.



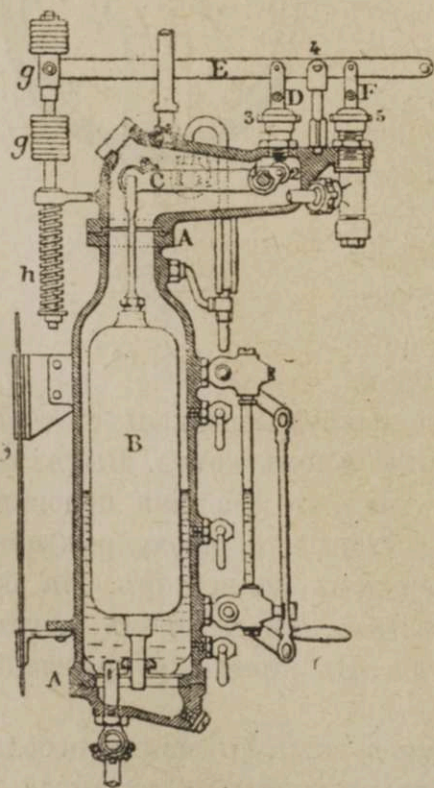
Фиг. 62.

Питаніе производится при помощи парового насоса прямого дѣйствія системы Бельвиль (фиг. 63). Распределе́ніе совершается при помощи простого золотника, передвигаемаго рычагомъ *G*, въ который упирается



Фиг. 63.

кулачекъ *f*. Поршень водяного цилиндра *E*, подходя къ своимъ крайнимъ положеніямъ, упирается въ рычаги *MM*; эти рычаги открываютъ небольшія отверстія, сообщающія пространства цилиндра по обѣимъ сторонамъ поршня; вслѣдствіе этого, давленіе во всасывающей части цилиндра сразу повышается, и поршень, получивъ сразу сильный толчокъ, переставляетъ быстро золотникъ. Насосъ работаетъ непрерывно, скорость же его регулируется въ зависимости отъ того, насколько открыть питательный клапанъ, и слѣдовательно, въ зависимости отъ большаго или меньшаго сопротивленія въ питательной трубѣ.



Фиг. 64.

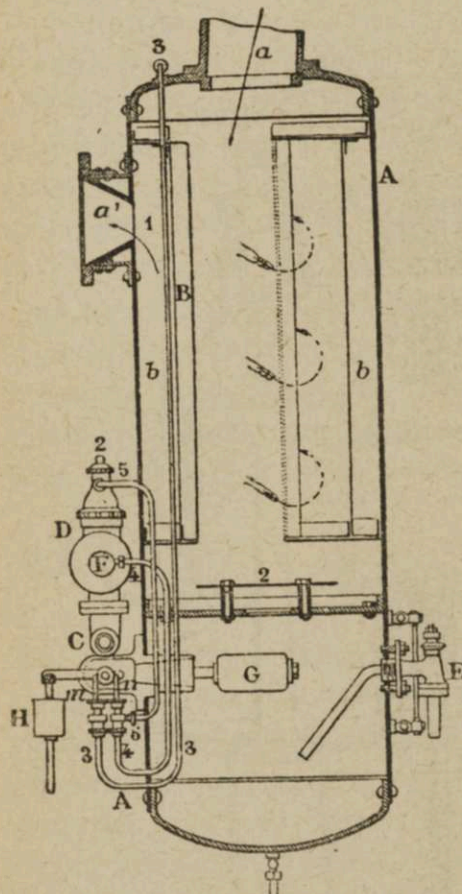
Нормальный уровень воды въ котлѣ поддерживается при помощи аппарата, представленнаго на фиг. 64. Этотъ приборъ ставится на трубкѣ, соединяющей самую нижнюю коробку съ самой верхней трубкой. На приборѣ поставлено водомѣрное стекло и пробные краны. Уровень воды въ стеклѣ при такомъ соединеніи прибора будетъ стоять на одной высотѣ съ уровнемъ воды въ котлѣ. Внутри прибора помещается поплавокъ *B*, соединяющійся съ рычагомъ *C*. Рычагъ имѣетъ точку опоры *1* и на другомъ плечѣ его помещается роликъ *2*, упирающійся въ штифтъ *D*, проходящій черезъ сальникъ *3*. Штифтъ *D* упирается, въ свою очередь въ рычагъ *E* имѣющій точку

опоры 4 и на одномъ плечѣ штифтѣ F; этотъ послѣдній, проходя черезъ сальникъ 5, соединяется съ питательнымъ клапаномъ. Вся эта система уравновѣшена при помощи контръ-грузовъ *g* и пружины *h*. При пониженіи или повышеніи уровня вода повышается или понижается поплавковъ *B* и, дѣйствуя на питательный клапанъ, поддерживаетъ уровень воды постоянно на одной и той же высотѣ.

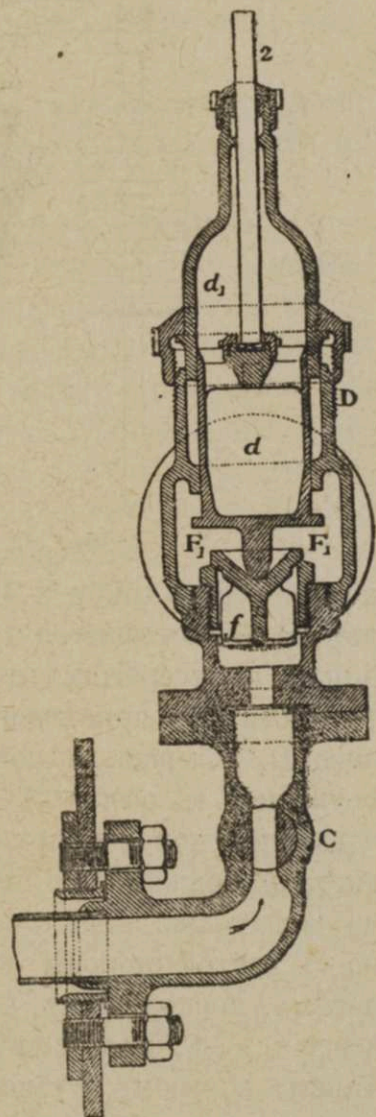
Сепараторъ. Для окончательнаго отдѣленія пара отъ воды на паровой трубѣ ставится сепараторъ, конструкція коего указана на фиг. 65.

Онъ состоитъ изъ желѣзнаго цилиндра *A*. Паръ проводится въ отверстие *a* и выходитъ въ отверстие *a'*; на своемъ пути паръ долженъ обойти поставленную перегородку *b*, и при поворотахъ, вслѣдствіе центробѣжной силы, отъ него отдѣляется вода, которая стекаетъ въ нижнюю

часть сосуда. Перегородка 2 поставлена на всякій случай, чтобъ паръ не могъ при своемъ движеніи опять увлечь стекающую внизъ воду. Нижняя часть сосуда представляетъ изъ себя конденсационный горшокъ особой конструкции. Его назначеніе удалять воду по мѣрѣ ея накопленія и въ то же время не пропускать пара. Достигается это слѣдующимъ образомъ: вода или



Фиг. 65.

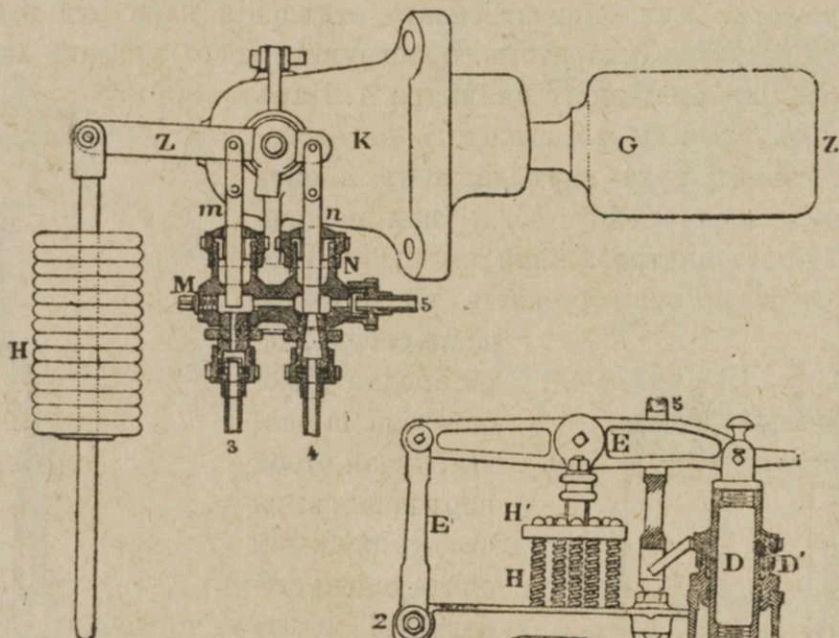


Фиг. 66.

паръ, стремящійся выйти изъ сосуда, удерживается клапаномъ *F*, изображеннымъ въ большемъ масштабѣ на фиг. 66. Если сепараторъ наполненъ паромъ, то клапанъ *F* плотно закрытъ, вслѣдствіе того, что паръ по трубкѣ 3 проходитъ въ трубку 5 (сообщеніе между трубкой 3 и 5 болѣе ясно показано на фиг. 67) и давитъ на поршень *b*, площадь котораго гораздо больше, чѣмъ площадь клапана. Если же нижняя часть сепаратора наполняется водой, то поплавковъ *S* всплываетъ и, поворачивая рычагъ *Z* (фиг. 67) и передвигая штифты *m* *n*, закрываетъ трубку 3 и открываетъ трубку 4; этимъ уравни-

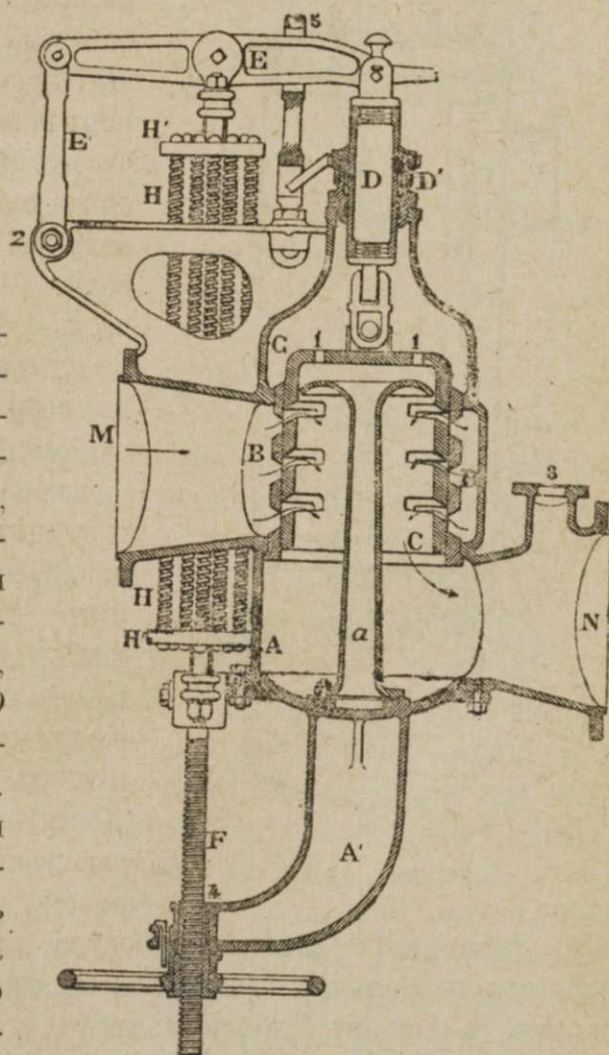
вѣшивается давленіе надъ поршнемъ въ пространствѣ F_1F_1 (фиг. 66), послѣ чего клапанъ можетъ открываться и выпустить собравшуюся въ сепараторѣ воду. Затѣмъ грузъ G опускается, и клапанъ опять становится плотно закрытымъ.

Регуляторъ давленія изображенъ на фиг. 68. Паръ притекаетъ въ отверстіе M , проходитъ черезъ цилиндръ съ отверстіями B и затѣмъ вы-



Фиг. 67.

ходитъ черезъ трубу N . Внутри цилиндра B помещается другой цилиндръ съ отверстіями, плотно приточенный; онъ привѣшенъ къ поршню D , который, въ свою очередь, подвѣшенъ къ рычагу E . Этотъ рычагъ при помощи пружинъ H и винта F прижимается книзу и нажимаетъ также внизъ и поршень D , но съ другой стороны, поршень D паромъ, проходящимъ черезъ отверстія 1—1, подымается вверхъ. Такимъ образомъ устанавливается известное равновѣсіе, обуславливающее известное открытіе оконъ въ цилиндрѣ B . Если давленіе пара въ пространствѣ C повышается, то поршень D подымается вверхъ, закрываетъ окна B , и этимъ понижаетъ давленіе до надлежащей величины и обратно. При помощи винта F можно натягивать пружины H и этимъ регулировать давленіе въ пространствѣ C , или въ трубопроводѣ.



Фиг. 68.

Кипятильные трубы готовятся изъ стали діаметромъ отъ 82 до 115 мм.; толщина ихъ измѣняется въ зависимости отъ давленія и діаметра, но всегда трубы нижнихъ рядовъ, какъ болѣе сильно нагрѣвающіяся, берутся болѣе толстыя. Такъ напримѣръ, при діаметрѣ трубокъ въ 100 мм. толщина первыхъ двухъ рядовъ берется въ 8 мм., третьяго и четвертаго—въ 6 мм. и слѣдующихъ—въ 4 мм. Въ случаѣ порчи трубы требуется 5—6 часовъ для замѣны ея новой.

Для большей сухости пара въ верхней части котла ставится вторая серия трубокъ, въ которой паръ просушивается (фиг. 59—60) ¹⁾.

Котлы Бельвиля употребляются какъ для заводской практики, такъ и для морского дѣла и изъ водотрубныхъ котловъ они были первыми приняты въ французскомъ флотѣ.

Поставленные на сушѣ, они обкладываются кирпичной кладкой; спереди дѣлается металлическій фронтъ. На пароходахъ они ставятся въ металлическихъ футлярахъ.

Котлы Бельвиля удобны въ томъ отношеніи, что могутъ быть очень быстро растоплены (въ 20—25 мин.). Въ 1900 году англійскимъ адмиралтействомъ была назначена особая коммиссія для выясненія достоинствъ и недостатковъ котловъ Бельвиля. Послѣ многочисленныхъ испытаній, въ своемъ отчетѣ, появившемся въ 1902 г., коммиссія между прочимъ вполне признаетъ, что котелъ Бельвиля, когда онъ новый и работаетъ при хорошихъ условіяхъ, представляетъ хорошій генераторъ пара, но быстрая потеря имъ своей работоспособности при работѣ на плавающихъ корабляхъ, серьезные недостатки, обнаруженные въ немъ, и необходимость тщательнаго ухода за нимъ—все это дѣлаетъ котелъ Бельвиля, по мнѣнію коммиссіи, нежелательнымъ для флота. Докладъ коммиссіи полностью напечатанъ въ Eng. 54—7—02 и въ извлеченіи въ Б. П. О. 303—03.

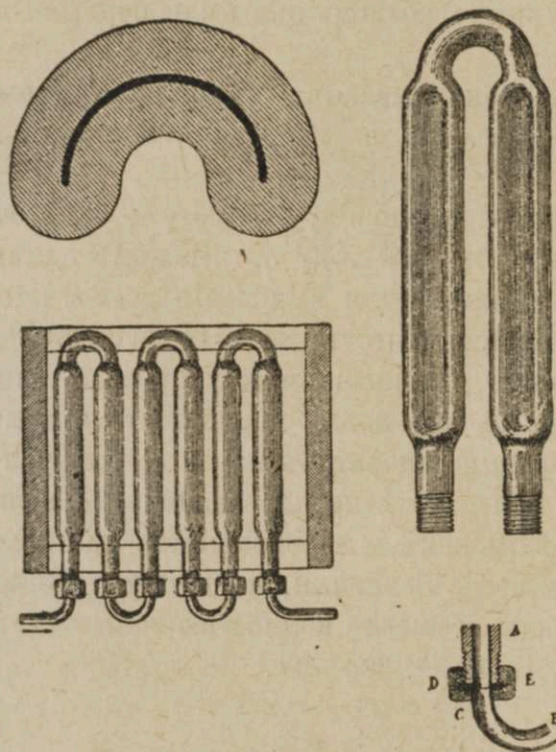
В) Котлы безъ содержанія воды.

48. Котелъ Серполе. Существуютъ водотрубные котлы, въ которыхъ совершенно не имѣется запада воды,—вода, какъ только входитъ въ трубы, сейчасъ же испаряется, и весь котелъ заполненъ только паромъ. Типичнымъ представителемъ котловъ такой системы является котелъ *Серполе*. Въ прежнее время котлы Серполе состояли изъ сплюснутыхъ толстыхъ мѣдныхъ трубокъ, изогнутыхъ по спирали. Такія трубы, съ очень тонкой щелью внутри ихъ, располагались одна надъ другой въ тонкѣ, раскачивались, и какъ только въ нихъ попадала вода, она испарялась и выходила уже изъ трубокъ въ видѣ перегрѣтаго пара.

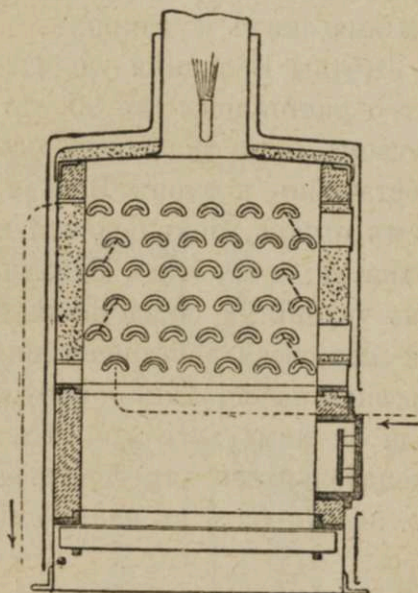
Первоначальной конструкціи котла Серполе приписывали слѣдующіе недостатки: неравномѣрную работу—(иногда котелъ давалъ слишкомъ сырой паръ, а иногда слишкомъ перегрѣтый), неэкономную утилизацію топлива, частыя остановки вслѣдствіе засоренія трубокъ. Всѣ эти недостатки

¹⁾ Въ нѣкоторыхъ случаяхъ выше перегрѣвателя ставится еще серия трубокъ для подогрева питательной воды. См. Z. d. V. d. I. 941—05.

менѣе замѣчаются въ конструкціи котла, показанной на (фиг. 69—70). Котель состоитъ изъ отдѣльныхъ элементовъ, расположенныхъ горизонтальными рядами одинъ надъ другимъ. Каждый такой элементъ приготовленъ изъ тянутой стальной трубки безъ шва, которой при помощи штамповки придано сѣченіе, показанное на чертежѣ. Дѣйствіе штамповки не распространяется на концы трубокъ, которые поэтому остаются цилиндрическими и легко могутъ быть соединены между собой, образуя одинъ непрерывный каналъ. Вода приводится съ нижняго конца этого канала, испаряется внутри его и въ видѣ сухого и перегрѣтаго пара выходитъ на его верхнемъ концѣ.



Фиг. 69.



Фиг. 70.

Серполе употребляетъ для производства своихъ элементовъ трубы трехъ размѣровъ, сообразно съ парообразовательной способностью, которую долженъ давать котель:

- | | | | | |
|----|------------|--------|----------|--------|
| 1) | діаметровъ | 63 мм. | толщиною | 10 мм. |
| 2) | » | 73 » | » | 12 » |
| 3) | » | 83 » | » | 13 » |

такія трубы соотвѣтственно вѣсятъ на погонный метръ 13,32 кгр., 18,4 кгр. и 22,88 кгр.

Вслѣдствіе примѣняемаго способа штамповки, получающаяся внутри трубокъ щель имѣетъ длину, равную полуокружности внутренняго очертанія трубокъ. Ея толщина измѣняется отъ 1 до 3 мм., соотвѣтственно размѣрамъ и эффекту, который желаютъ получить отъ трубы. Понятно, что построенный такимъ образомъ котель содержитъ очень мало воды, и потому онъ долженъ быть очень чувствителенъ къ перемѣнамъ въ степени интенсивности топки. На самомъ дѣлѣ котель Серполе содержитъ въ себѣ довольно

большой запас теплоты, но послѣдній заключается не въ водѣ, а въ металлическихъ стѣнкахъ котла, служа и въ этомъ случаѣ регуляторомъ колебаній въ работѣ топки. Нагрѣтая масса металлическихъ стѣнокъ является очень значительной по сравненію съ тѣмъ количествомъ воды, которое онѣ окружаютъ. Дѣйствительно, трубы діаметромъ 63 мм. погонный метръ которой вѣситъ 13,32 кгр., заключаетъ на той же длинѣ всего 0,125 кгр. воды, т.-е. вѣсъ металла въ 106 разъ больше вѣса воды. Слѣдовательно, количество теплоты, заключенное въ трубкахъ, сравнительно очень велико и можетъ служить регуляторомъ при переменномъ дѣйствіи топки ¹⁾).

Въ новомъ котлѣ отдѣльные элементы расположены другъ надъ другомъ въ шахматномъ порядкѣ, такъ что газы при движеніи своемъ постоянно сталкиваются съ ними и хорошо отдаютъ теплоту. Котель въ смыслѣ утилизаціи теплоты работаетъ довольно экономично.

Что касается засоренія котла, то, какъ оказывается, при новой его конструкціи засоренія почти не замѣчается, а если оно и происходитъ, то стоитъ только нѣсколько разъ быстро опорожнить котель и затѣмъ снова его наполнить, какъ онъ опять дѣлается чистъ.

Это явленіе нужно объяснить, вѣроятно, тѣмъ, что послѣ продувки котла и образованія въ немъ пустоты, притекающій въ котель обратнѣ паръ измѣняетъ температурѣ накипи, заставляя ее лупиться и потомъ увлекаетъ ее съ собой, двигаясь по трубкамъ съ большой скоростью. Въ общемъ котлы Серполе оказываются довольно прочными, по крайней мѣрѣ, съ тѣхъ поръ, какъ была введена новая конструкція этихъ котловъ, многіе установки работаютъ исправно.

Главнымъ образомъ котлы Серполе примѣнимы для очень мелкихъ двигателей.

¹⁾ Это еще лучше можно пояснить численнымъ примѣромъ. Обыкновенно температура трубокъ очень высока и при работѣ котла можетъ испытывать колебанія, доходящія до 200° Ц. Имѣя въ виду такую цифру колебанія температуры, опредѣлимъ, какой длины можетъ быть испаренъ столбъ воды съ поперечнымъ сѣченіемъ, равнымъ щели трубки, за счетъ пониженія температуры стѣнокъ ея на указанную выше величину, если начальная температура воды—0° Ц., и процессъ испаренія происходитъ при 760 мм. рт. столба.

Удѣльная теплоемкость стали 0,1166, а количество теплоты, необходимое для испаренія 1 килограмма при указанныхъ условіяхъ составляетъ (по Молье) 639, 7 калорій.

Мы получимъ для трубы діаметромъ 63 мм.:

$$\frac{13,32 \cdot 0,1166 \cdot 200}{639,7 \cdot 0,125} = 3,88 \text{ мет.}$$

Слѣдовательно, тѣмъ количествомъ теплоты, которое отвѣчаетъ колебанію температуры трубки въ 1 метръ длиною на 200° Ц., можно испарить столбъ воды длиною въ 3,88 мет., т.-е. количество воды, въ 3,88 раза больше того, которое заключается въ 1 погонномъ метрѣ трубки.

Точно также можно опредѣлить, на сколько понизится температура трубокъ при испареніи всего, содержащагося въ нихъ количества воды:

$$\frac{639,7 \cdot 0,125}{13,32 \cdot 0,1166} = 51,4^{\circ} \text{ Ц.}$$

II. Водотрубные котлы съ циркуляціей воды.

Водотрубные котлы съ циркуляціей воды, наиболѣе распространенные въ современныхъ паровыхъ установкахъ, характеризуются тѣмъ, что въ нихъ главные элементы, содержащіе воду, такъ расположены относительно другъ друга и такъ соединены между собой, что частицы воды имѣютъ возможность совершать круговой путь.

Такой круговоротъ воды конструктивно осуществляется различными способами, разсмотрѣнными ниже при описаніи отдѣльныхъ разновидностей котловъ этой группы.

Сухопутные водотрубные котлы съ циркуляціей воды можно разбить на двѣ группы: котлы съ малымъ уклономъ кипяtilьныхъ трубокъ и котлы, въ которыхъ трубки имѣютъ крутой уклонъ или расположены вертикально. За первыми установилось наименованіе «горизонтальныхъ» водотрубныхъ котловъ, а за вторыми наименованіе «вертикальныхъ».

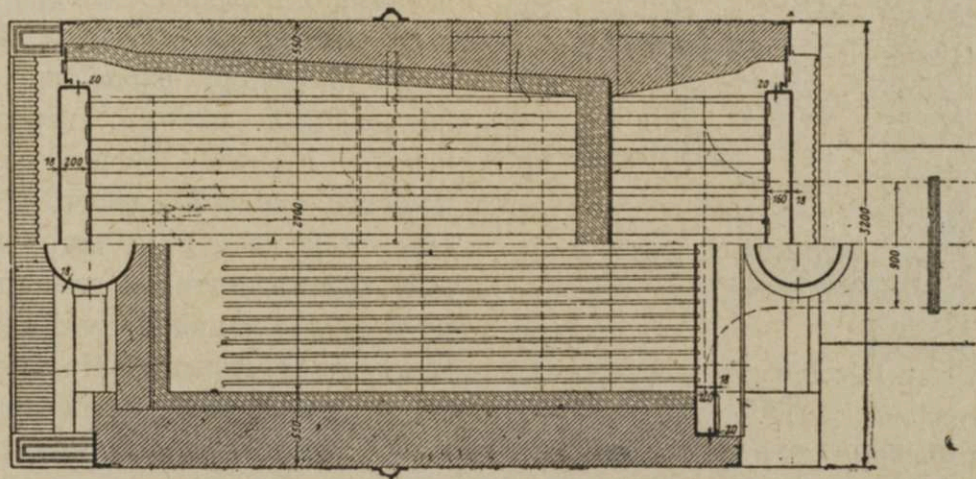
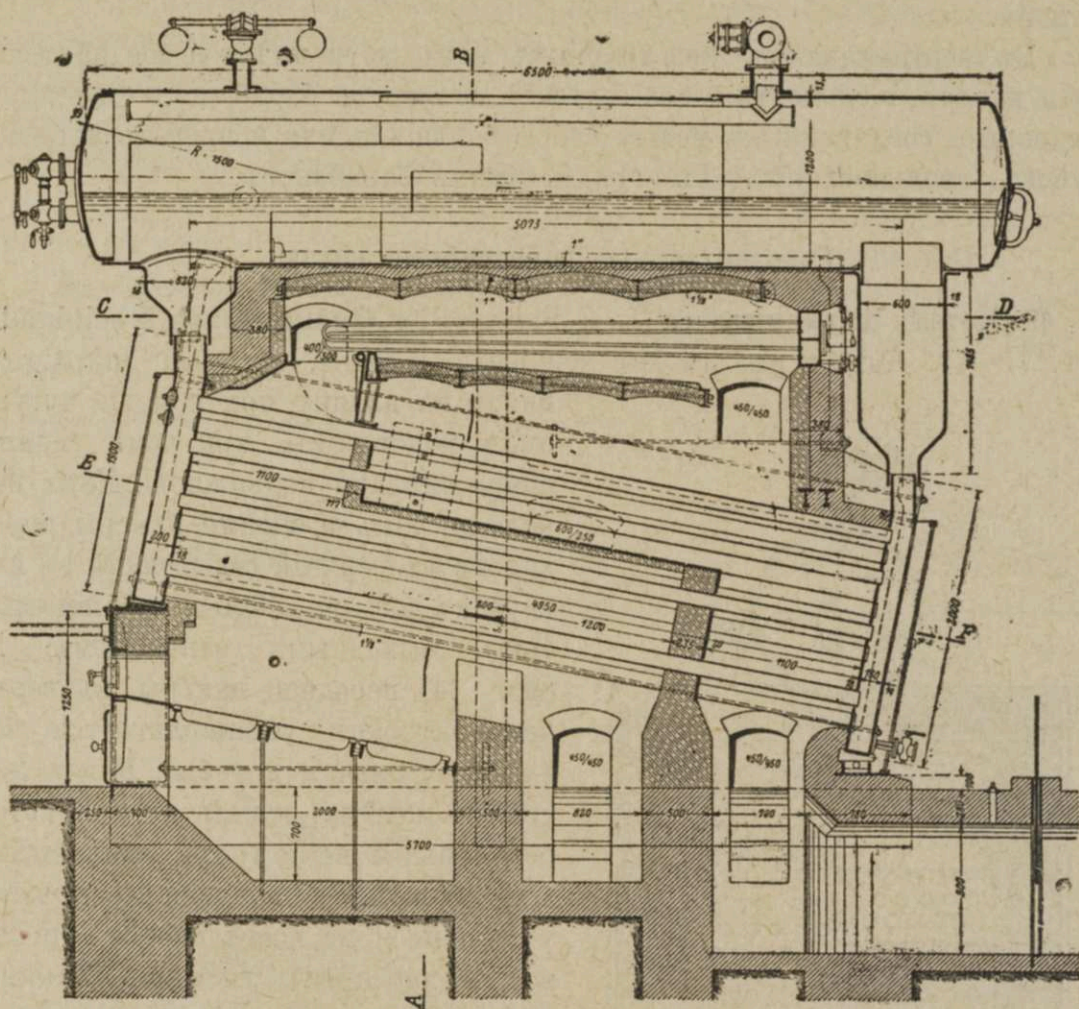
Главными составными элементами «горизонтальныхъ» водотрубныхъ котловъ являются, кромѣ кипяtilьныхъ трубокъ, расположенный надъ ними цилиндрическій резервуаръ—верхній барабанъ—и камеры. Послѣднія служатъ соединительнымъ звеномъ между верхнимъ барабаномъ и кипяtilьными трубками. Камеръ можетъ быть или двѣ,—по одной на переднемъ и заднемъ концѣ трубокъ,—или одна,—только на переднемъ ихъ концѣ, или, наконецъ, можетъ быть нѣсколько камеръ. Соотвѣтственно съ этимъ котлы данной группы можно раздѣлить на двукамерные, однокамерные и многокамерные. Изъ послѣднихъ, въ свою очередь можно выдѣлить котлы, въ которыхъ каждая двѣ камеры съ комплектомъ связанныхъ съ ними трубъ, а при одностороннемъ расположеніи камеръ—каждая отдѣльная камера съ ея трубками являются настолько обособленными, какъ элементы котла, что могутъ быть, въ случаѣ надобности, удаляемы, не вызывая своимъ отсутствіемъ безусловной необходимости останавливать работу котла. Такіе обособленные элементы котла принято называть секціями, а самые котлы—секціональными.

Водяныя камеры однокамерныхъ и двукамерныхъ котловъ заключаютъ въ себѣ по двѣ плоскія стѣнки значительныхъ размѣровъ. Такія стѣнки не способны при обычной своей толщинѣ противостоятъ давленію пара и потому укрѣпляются при помощи особыхъ связей (анкерныхъ болтовъ), которыя связываютъ двѣ взаимно-противолежащихъ стѣнки, будучи ввинчены и въ ту и въ другую.

Кипяtilьныя трубки закрѣпляются въ стѣнкахъ камеръ путемъ раскатки (развальцовки), каковая операція состоитъ въ томъ, что конецъ трубки, свободно входящій въ отверстіе стѣнки камеры «раздается» помощью особаго инструмента, вслѣдствіе чего діаметръ трубки въ этомъ мѣстѣ увеличивается, и края ея крѣпко прижимаются къ краямъ отверстія. Возникающая при этомъ сила тренія оказывается съ избыткомъ достаточной, чтобы удержатъ трубку въ отверстіи.

Кипяtilьныя трубки обычно располагаются такъ (фиг. 73), чтобы для потоковъ газовъ не образовалось прямыхъ вертикальныхъ проходовъ,

и частицы газовъ, выходя изъ какого-либо промежутка между двумя со-
сѣдними трубками горизонтальнаго ряда, встрѣчали бы поверхность трубки
слѣдующаго ряда. При такомъ расположеніи трубокъ поверхность ихъ



Фиг. 71—72.

будеть болѣе полно омываться газами, а частицы послѣднихъ будутъ лучше перемѣшиваться между собой.

Для доступа къ трубкамъ противъ мѣста ихъ закрѣпленія дѣлаются въ стѣнкѣ камеры отверстія («люки»), закрываемыя особыми крышками.

Знакомство съ этими и другими деталями, а также съ конструкціей водяныхъ камеръ и способомъ ихъ соединеній съ верхнимъ барабаномъ дано ниже при разсмотрѣніи отдѣльныхъ разновидностей водотрубныхъ котловъ.

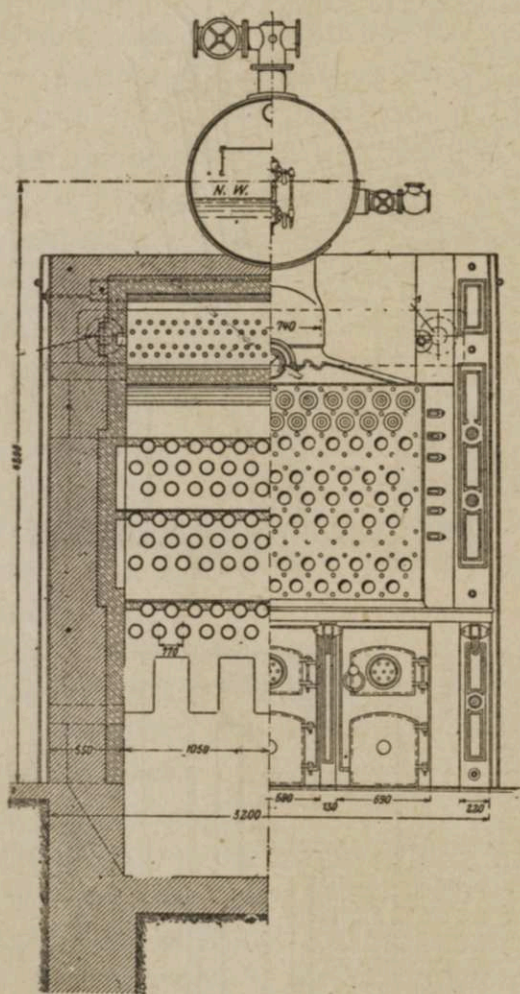
Въ «вертикальныхъ» водотрубныхъ котлахъ не имѣется соединительныхъ камеръ, и элементъ котла состоитъ изъ двухъ барабановъ—верхняго и нижняго, соединенныхъ между собой большимъ или меньшимъ числомъ трубокъ, ввальцованныхъ въ стѣнки самихъ барабановъ.

Горизонтальные водотрубные котлы.

49. Котелъ Штейнмюллера (L. C. Steinmüller, Gummersbach, Rheinland).

Фиг. 71—73. Котелъ имѣетъ двѣ водяныхъ камеры, которые опираются

внизу на кладку при помощи чугунныхъ подставокъ, при чемъ задняя опора сдѣлана подвижною. Какъ передняя, такъ и задняя камеры переходятъ въ верхній своей части въ на-трубокъ довольно большого діаметра. Надъ выходнымъ отверстіемъ *А* (фиг. 74) передней камеры въ верхнемъ барабанѣ устанавливается четырехъ-угольная коробка *В* изъ листового желѣза, задняя стѣнка которой сдѣлана ниже трехъ остальныхъ, а двѣ боковыя въ верхней своей части удлинены и на всемъ своемъ протяженіи перекрыты листомъ. Такимъ образомъ потокъ воды, поднимающейся изъ передней камеры, при выходѣ изъ нея изолированъ отъ водной массы верхняго барабана. Потокъ, насыщенный паромъ, переливается черезъ заднюю стѣнку коробки, причемъ освобождающійся паръ стремится кверху и, встрѣчая на пути препятствіе со стороны верхняго листа, направляется къ выходу изъ-подъ перекрытія. На этомъ пути значительная часть воды, примѣшан-



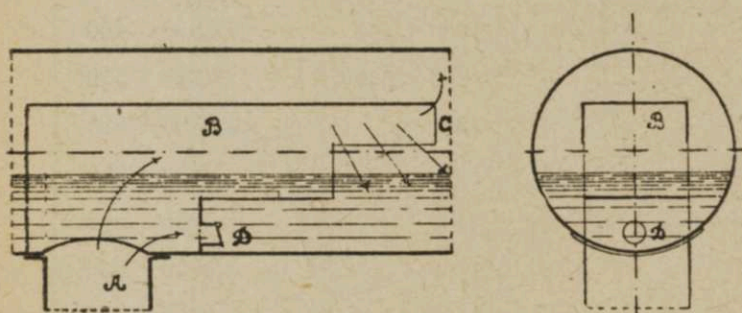
Фиг. 73.

ной къ пару, отъ него отдѣляется, и паръ, такимъ образомъ, получается болѣе сухимъ ¹⁾. Въ задней стѣнкѣ имѣется отверстіе, переходящее въ короткую трубу, снабженную на концѣ клапаномъ (*D*). Вода, менѣе насыщенная пузырями пара, частью направляется въ эту трубу и, открывъ

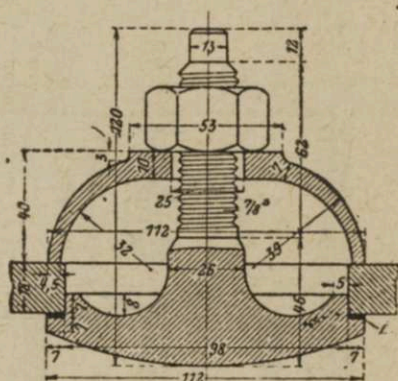
¹⁾ Въ Лабораторіи И. Т. У. котелъ Штейнмюллера даже при самой форсированной работѣ (40 кг. съ 1 кв. м.) давалъ паръ съ влажностью, не превышающей 1 %.

клапанъ, входитъ въ водное пространство нижней части барабана. Отвѣтвленіемъ потока болѣе горячей воды въ нижнюю часть барабана имѣется въ виду выровнять температуру воды въ этомъ мѣстѣ, такъ какъ именно сюда попадаетъ питательная вода. Благодаря описанному приспособленію устраняется, кромѣ этого, такъ называемое захлебываніе выходного устья передней камеры. Явленіе это состоитъ въ томъ, что изъ устья камеры то вырывается большое количество пара, то вода изъ барабана устремляется въ устье, нарушая правильность естественной циркуляціи.

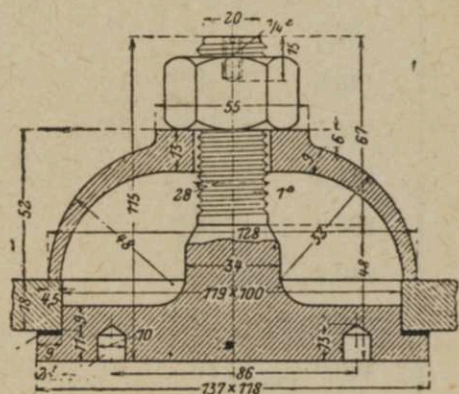
Въ первоначальныхъ конструкціяхъ котла Штейнмюллера поднимающійся изъ передней камеры потокъ воды направлялся въ каналъ четырехъ-



Фиг. 74.



Фиг. 75.



Фиг. 76.

угольного сѣченія, закрытый также и сверху, возвышающійся надъ уровнемъ воды и доходящій почти до устья задней камеры. Выходъ для пара имѣлся лишь на концѣ канала, а дно канала было снабжено поперечными щелями прямоугольной формы для стока воды.

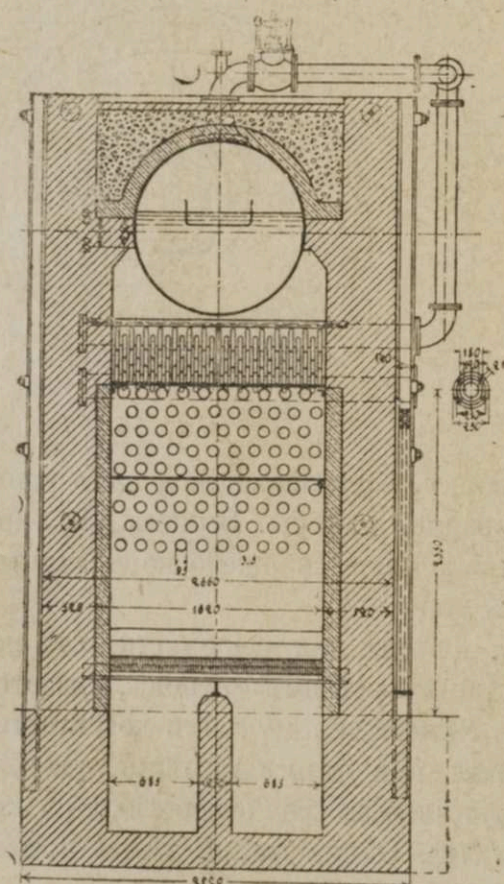
Для вставки и развальцевки трубъ, а также для ихъ очистки отъ накипи, въ стѣнкахъ камеръ, противолежащихъ устьямъ трубокъ, имѣются люки, закрываемые крышками (фиг. 75). Уплотненіе въ люкѣ достигается тонкимъ резиновымъ кольцомъ. Такъ какъ при формѣ крышки, указанной на фиг. 75 она не можетъ быть просунута черезъ свое отверстіе, то часть люковъ дѣлается овальной формы (фиг. 76). Одинъ такой люкъ приходится на 2 на 3 горизонтальныхъ ряда трубокъ.

Для очистки поверхности трубокъ струей пара отъ золы и сажи на лобовой и въ задней сторонѣ кладки имѣются узкія вертикальныя окна, по одному съ каждой стороны камеръ.

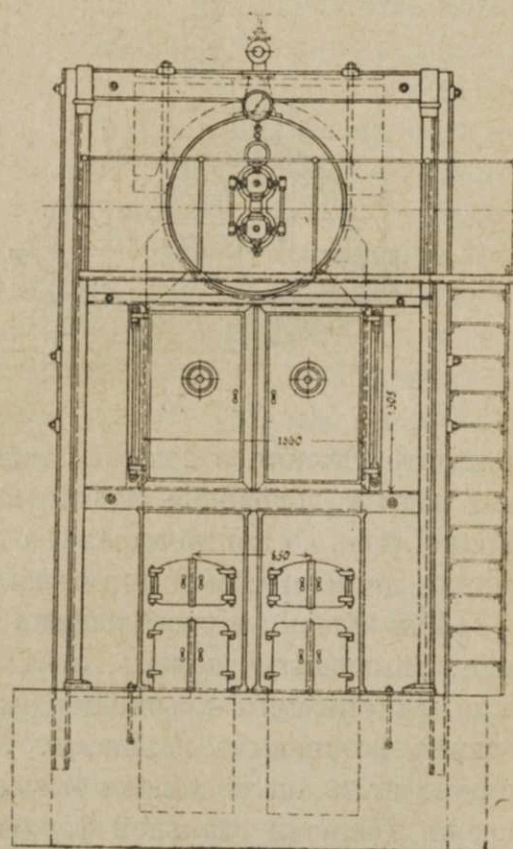
Таблица 16 приводитъ данныя о главныхъ размѣрахъ котла.

Таблица 16 къ фиг. 71—73.

Поверхность нагрѣва кв.м.	Водяныя трубки.				Верхній барабанъ.			Размѣры кладки.		
	Число го- ризонт. рядовъ.	Число вер- тикальн. рядовъ.	Длина. м. м.	Внутренній и внѣшній діа- метры м. м.	Число.	Діаметръ м. м.	Длина м. м.	Длина м. м.	Ширина м. м.	Высота м. м.
29,6	6	4	4050	88/95	1	700	5400	4800	1800	3950
49,9	8	5	—	—	1	900	—	—	1970	4800
73,4	8	6	5000	—	1	—	6300	5700	2120	—
97,9	8	8	—	—	1	1000	—	—	2550	4900
146,6	8	12	—	—	1	1200	6500	—	3200	5100
195,5	8	16	—	—	1	1350	—	—	3830	5250
244,4	8	20	—	—	1	1500	—	—	4550	5400
293,2	8	24	—	—	2	1100	—	—	5250	5000
242,2	8	28	—	—	2	1300	—	—	5950	5350
390,0	9	21	—	—	2	1400	—	—	—	5600
460,9	10	30	—	—	2	1500	—	—	6150	5800



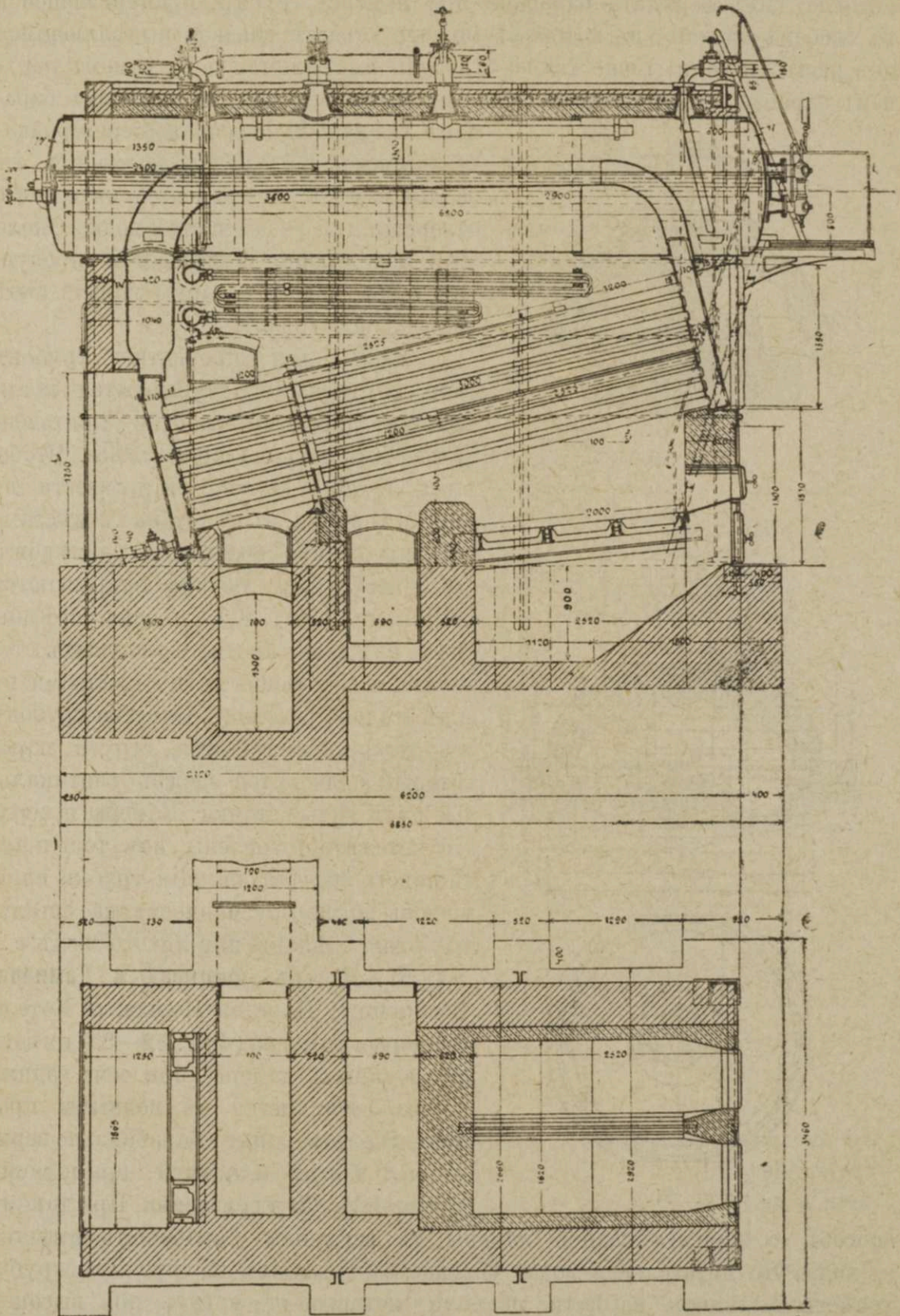
Фиг. 78.



Фиг. 79.

50. Котель Бютнера. (Büttner & Co, въ Uerdingen a. Rhein). Осо-бенность его (фиг. 77—79) заключается въ томъ, что передняя и зад-

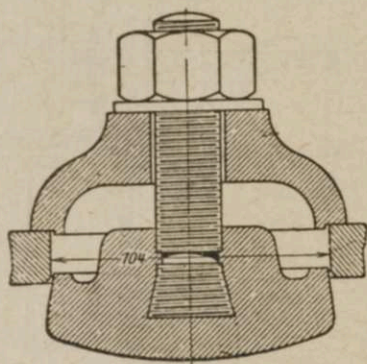
няя камеры соединяются съ верхнимъ барабаномъ при помощи откры-
таго желоба, такъ что вода, поднимающаяся изъ передней камеры, течетъ по



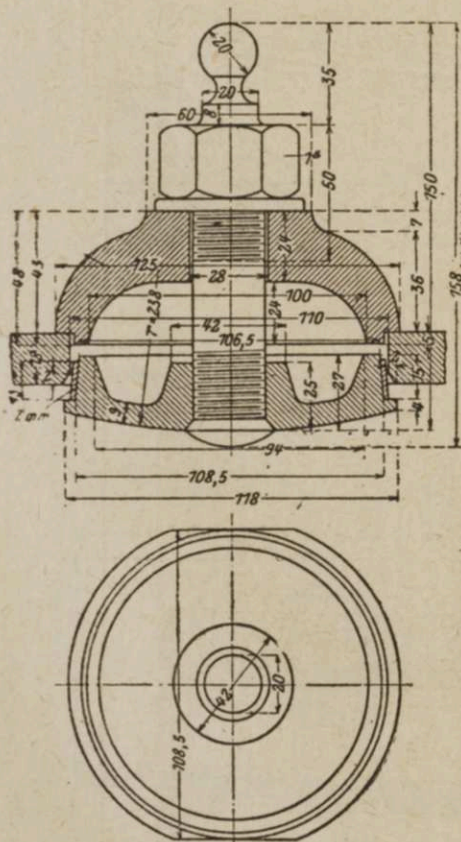
Фиг. 77.

желобу до задней камеры и затѣмъ, вмѣстѣ съ водой изъ верхняго барабана,
опускается внизъ. Этимъ достигается болѣе свободная циркуляція воды,

такъ какъ сохраняется часть живой силы, приобрѣтенной водою при восходящемъ движеніи въ передней камерѣ. Питательная вода вводится въ переднюю часть верхняго барабана при помощи трубки, оканчивающейся въ особомъ желобѣ, въ которомъ можетъ осѣдать грязь и выделяющіяся изъ раствора соли; точно также эти соли выделяются и въ самомъ верхнемъ барабанѣ, и чтобы накипь не попадала въ трубы, въ верхнемъ барабанѣ сдѣлана поперечная перегородка,



Фиг. 80.



Фиг. 81.

не допускающая грязь подходить къ задней камерѣ, гдѣ имѣются въ желобѣ отверстія для ввода чистой воды. Около этой перегородки помѣщается продувная труба, черезъ которую можетъ быть удалена вся грязь.

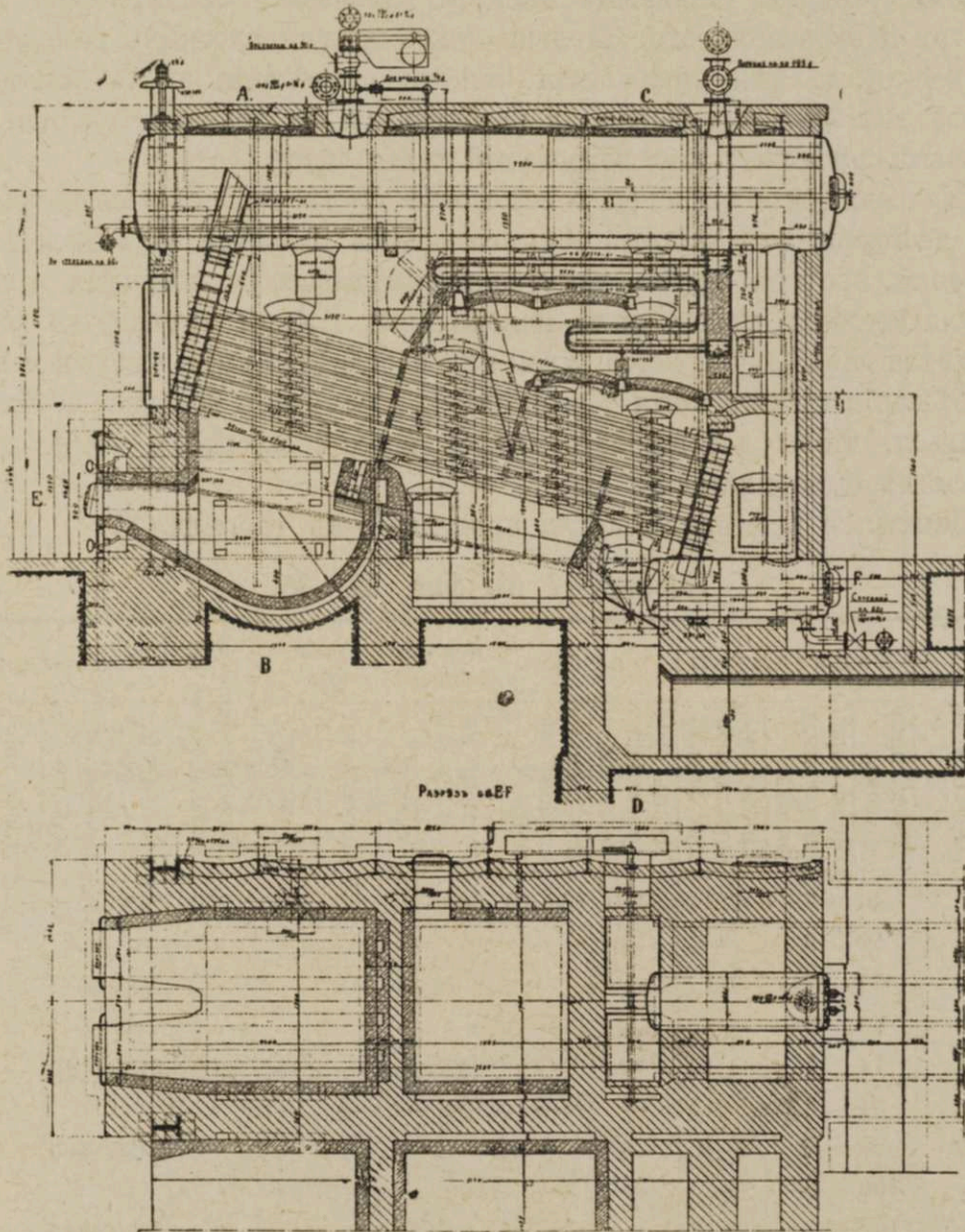
Люки для прочистки трубокъ (фиг. 80) изнутри закрываются коническими пробками, плотно приточенными, безъ всякихъ прокладокъ. Чтобы такія пробки можно было ввести во внутрь коробки, въ нѣкоторыхъ мѣстахъ сдѣланы люки, большихъ размѣровъ, отверстія этихъ люковъ закрываются крышками (фиг. 81), плоско срѣзанными на двухъ противоположныхъ сторонахъ и снабженными прокладками въ видѣ мѣдныхъ колецъ. Очистка трубокъ отъ сажи производится струей пара, который подводится черезъ вертикальные пустотѣлые стояки. Камеры и верхній котелъ изготовлены изъ топочнаго листового желѣза, нижнія трубки изготовлены по способу Маннесманна, остальные ряды сдѣланы изъ литого желѣза.

51. Котелъ Фицнера и Гампера.

(Сосновицы, Царство Польское) Котелъ Фицнера и Гампера (Фиг. 82—85) имѣетъ двѣ водяныхъ камеры, при чемъ задняя камера соединяется съ воднымъ пространствомъ верхняго барабана не верхней своей частью, а нижней—при помощи спускной трубы и грязевика. При такомъ

способѣ соединенія задней камеры съ верхнимъ барабаномъ имѣется въ виду, что питательная вода, увлекаемая теченіемъ въ спускную трубу, успѣетъ выделить на пути тѣ соли, которыя не могутъ при высокой температурѣ оставаться въ растворѣ, и, попавши въ грязевикъ—резервуаръ значительнаго діаметра, оставятъ въ немъ какъ часть выдѣлившихся солей, такъ и часть механически примѣшанныхъ къ питательной водѣ твер-

дыхъ частицъ. Такимъ образомъ, есть основаніе ожидать, что въ кипятильныя трубы попадетъ болѣе чистая вода и въ нихъ отложится меньше накипи. Кромѣ того, при подведеніи воды изъ верхняго барабана въ нижнюю часть задней камеры надо ожидать, что скорость теченія въ нижнемъ ряду трубокъ, будетъ больше, нежели въ рядахъ выше лежащихъ, такъ



Фиг. 82—83.

какъ частицы воды, направляющіяся вверхъ, встрѣтятъ на пути больше сопротивленія вслѣдствіе тренія о стѣнки камеры и встрѣчающихся на пути препятствій въ видѣ связей, выступающихъ концовъ трубокъ и крышекъ люковъ.

Присутствіе длинной спускной трубы сообщаетъ котлу извѣстную степень эластичности и даетъ относительно большую свободу трубкамъ удлинаться.

Надъ входнымъ отверстіемъ изъ передней камеры въ верхній бара-

банъ устанавливается склепанная изъ тонкаго желѣза коробка, направляющая потокъ воды, богатой паромъ, и изолирующая его отъ водной массы верхняго барабана. Этимъ имѣется въ виду облегчить процессъ выдѣленія пара.

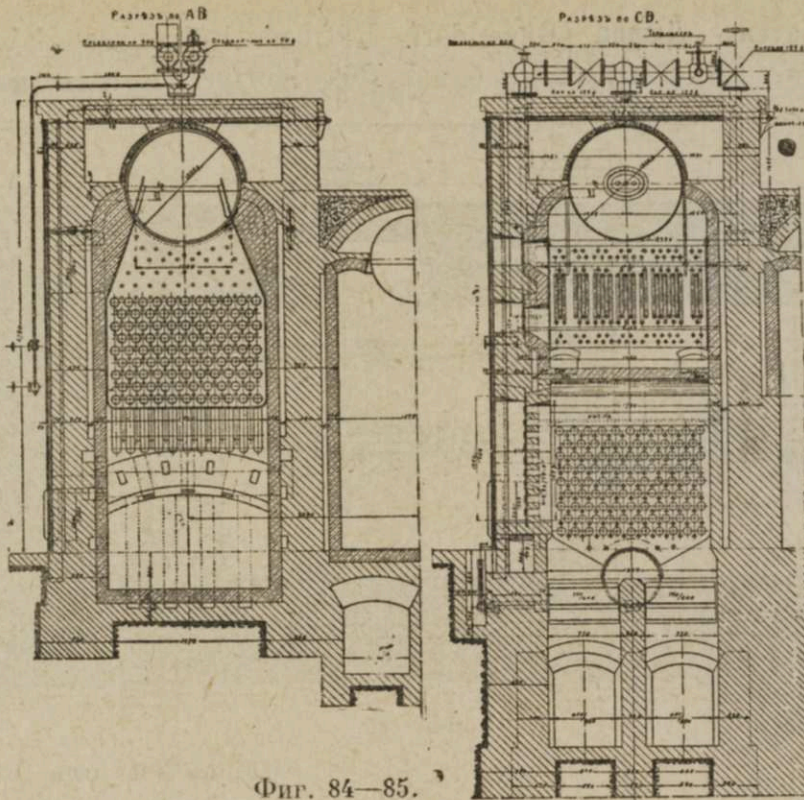
Устройство водяныхъ камеръ—передней и задней—ясно видно на фиг. 84—85. Такъ какъ верхній барабанъ и грязевикъ сообщаются съ камерами четырехъ-угольными окнами, имѣющими значительное протяженіе въ поперечномъ относительно этихъ цилиндрическихъ резервуаровъ направленіи, то для уменьшенія степени ослабленія этихъ послѣднихъ окна не дѣлаются сплошными, а разбиваются на два—на три окна, раздѣленныхъ промежутками нетронутой части листа.

Для очищенія вѣншей поверхности трубъ отъ осѣдающей на нихъ золы, негорѣвшихъ частицъ топлива и сажи имѣются въ боковой части обмуровки, противъ трубъ, узкія окна, закрываемыя дверцами и служащія для введенія черезъ нихъ наконечника гибкой трубки, по которой подводится паръ (лучше всего сухой или перегрѣтый) или сжатый воздухъ. Во избѣжаніи просачиванія черезъ окна въ дымоходы воздуха, необходимо заботиться, чтобы дверцы затворялись вполне плотно и чтобы кладка около нихъ была плотною.

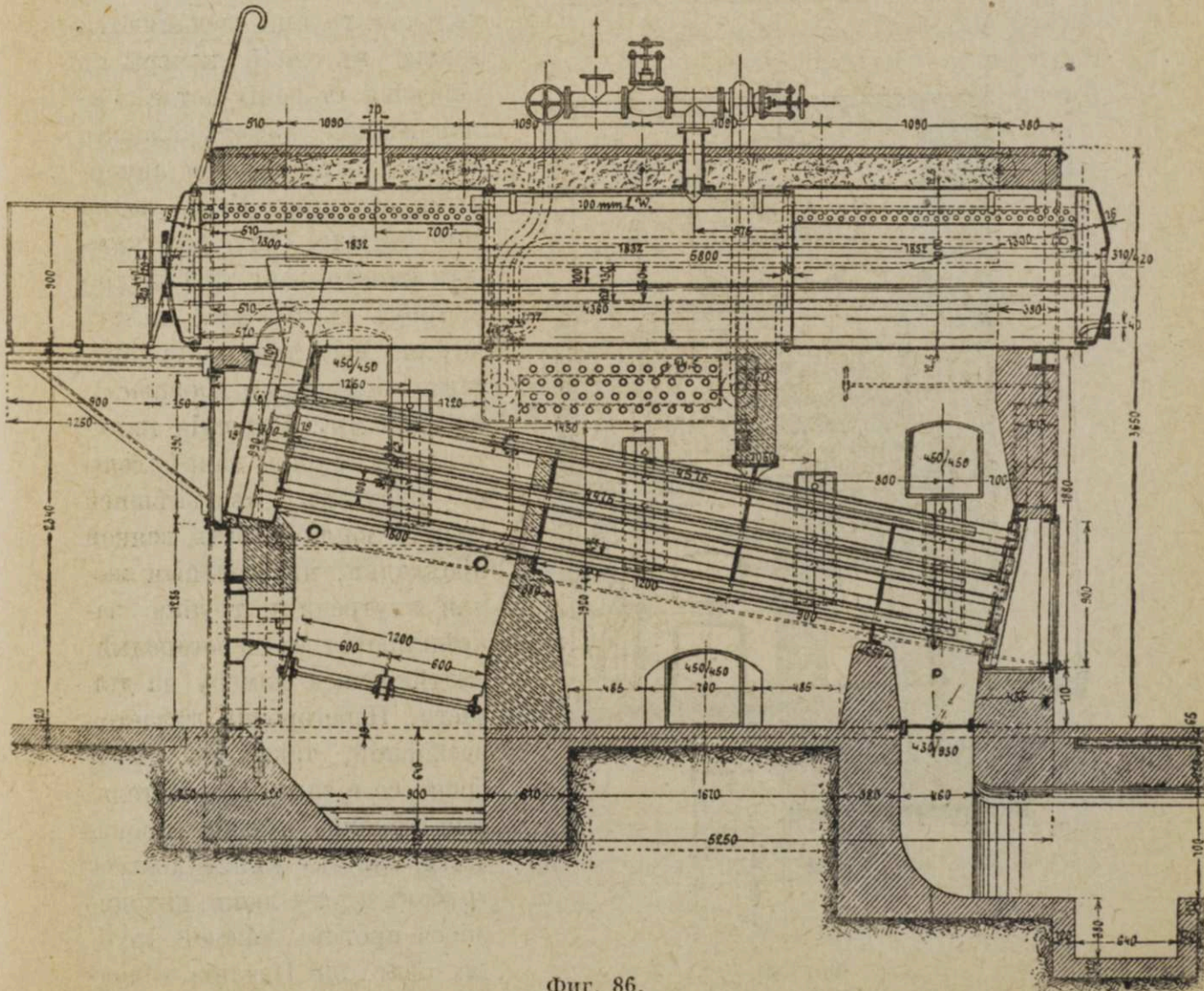
Данныя о размѣрахъ котла приведены въ таблицѣ 17.

Таблица 17 къ фиг. 82—85.

Поверхность на- грѣва кв. м.	Кипятильныя трубы.						Верхній барабанъ.		Грязе- викъ.		Диаметры циркуля- ционной трубы мм.	Размѣры кладки.			
	Общее число трубокъ.	Число горизонтальных рядовъ.	Число тру- бокъ въ горизонт. рядахъ.	Длина обо- грѣваемой части мм.	Внутренній и внѣшній диа- метр мм.	Диаметръ мм.	Длина мм.	Диаметръ мм.	Длина мм.	Ширина.		Длина мм.	Высота мм.		
										При одг. котлѣ мм.				При дв. котл. мм.	
81	46	7	7/6	5450	88,5/19	900	7200	600	1800	250	2350	4410	7210	4170	
91	52	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4300	
104	60	7	9/8	—	—	—	—	—	—	—	2830	5010	—	4170	
117	68	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4300	
126	74	7	11/10	—	—	1000	—	—	—	300	3130	5610	—	4270	
145	84	8	—	—	—	1100	—	—	—	—	—	—	—	4500	
152	88	7	13/12	—	—	—	—	700	—	—	3430	6200	—	4370	
171	100	8	—	—	—	1200	—	—	—	—	—	—	—	4600	
176	102	7	15/14	—	—	—	—	—	—	350	3730	6810	—	4470	
199	116	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4600	
198	115	7	17/16	—	—	—	—	—	—	—	4030	7410	—	4470	
225	132	8	—	—	—	1300	—	—	—	—	—	—	—	4700	
221	129	7	19/18	—	—	—	—	—	—	—	4330	8010	—	4570	
252	148	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4700	
232	136	7	20/19	—	—	—	—	—	—	—	4480	8310	—	4570	
266	156	8	—	—	—	1400	—	800	—	—	—	—	—	—	
245	143	7	21/20	—	—	1300	—	—	—	400	4630	8610	—	4070	
280	164	8	—	—	—	1400	—	—	—	—	—	—	—	4800	
268	157	7	23/22	—	—	—	—	—	—	—	4930	9210	—	4630	
306	180	8	—	—	—	1600	—	—	—	—	—	—	—	5000	

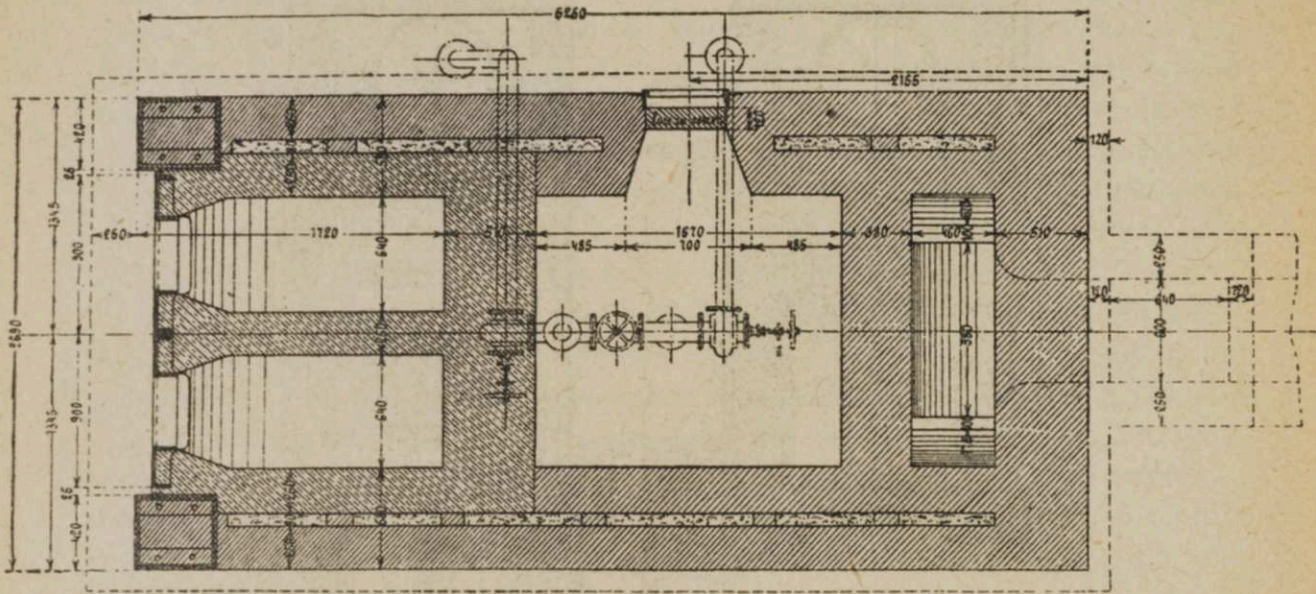


Фиг. 84—85.

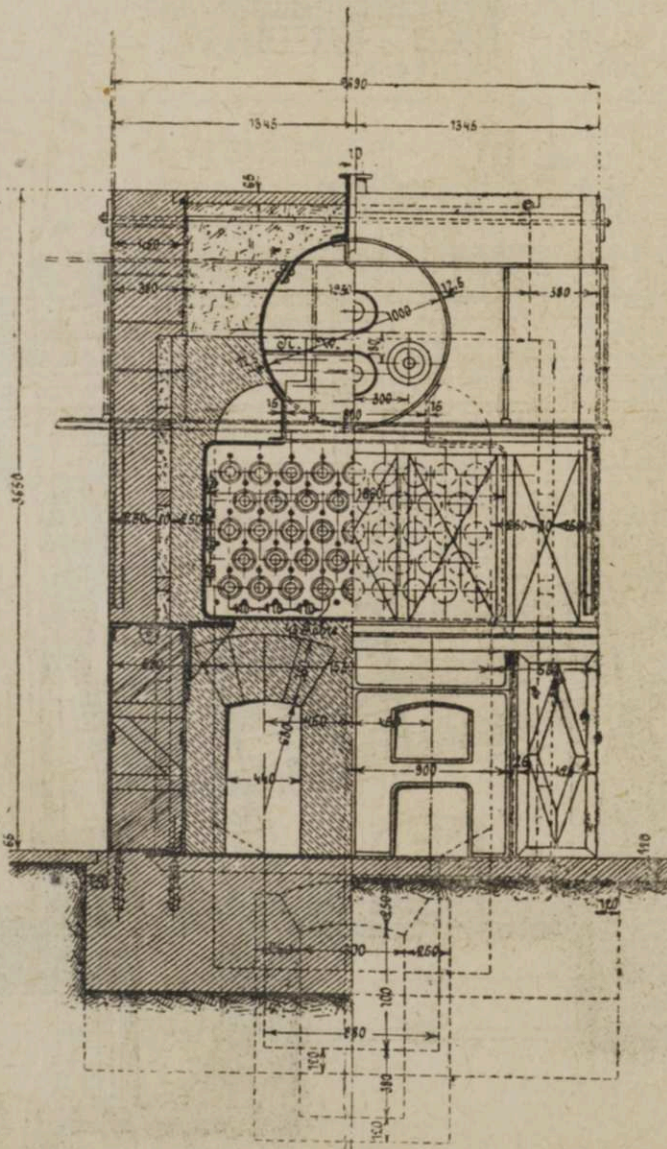


Фиг. 86.

52. Котель Дюрра (Düsseldorfer-Rättinger Röhrenkesselfabrik, (бывш. Dürr & Co, въ Rättingen'ѣ, близъ Düsseldorf,а). Котель (фиг. 86—89)



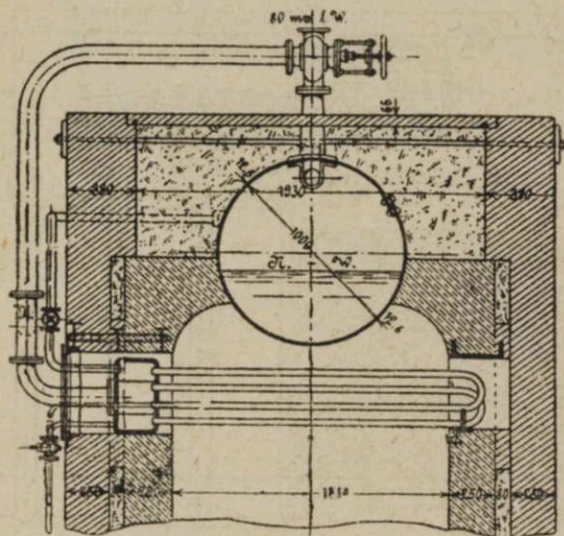
Фиг. 87.



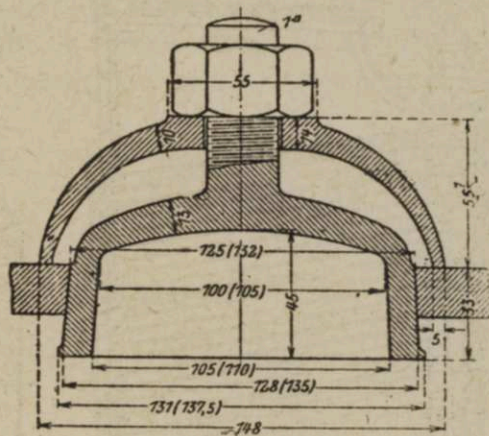
Фиг. 88.

отличается от описанных выше тѣмъ, что его кипя- тильныя трубы соединяются только въ одной камерѣ съ передней стороны котла. Са- мая камера имѣетъ плоскія стѣнки, скрѣпленныя анкер- ными болтами. Какъ видно изъ чертежа (фиг. 86), каж- дая кипяtilьная трубка (діа- метромъ въ 108 мм.) имѣетъ внутри еще другую трубку, такъ называемую *питатель- ную* (52 мм). Внѣшнія кипя- тильныя трубы закрѣплены на конусахъ въ внѣшней стѣнкѣ камеры безъ всякой прокладки, питательныя же, или внутреннія трубы за- крѣпляются въ перегородкѣ, раздѣляющей камеру на двѣ части. Перегородка дѣлается разборной, такъ что, разо- бравъ ее и вынувъ питатель- ныя трубы, можно произ- вести очистку кипяtilьныхъ трубокъ черезъ люки, находя- щіеся противъ каждой труб- ки. (фиг. 90) Питание холод-

ной водой происходит въ верхній барабанъ; прежде чѣмъ попасть въ кипятельныя трубки, вода въ барабанѣ нагревается и выдѣляетъ изъ раствора нѣкоторыя соли, которыя и осѣдаютъ здѣсь, не засоряя собой трубокъ.

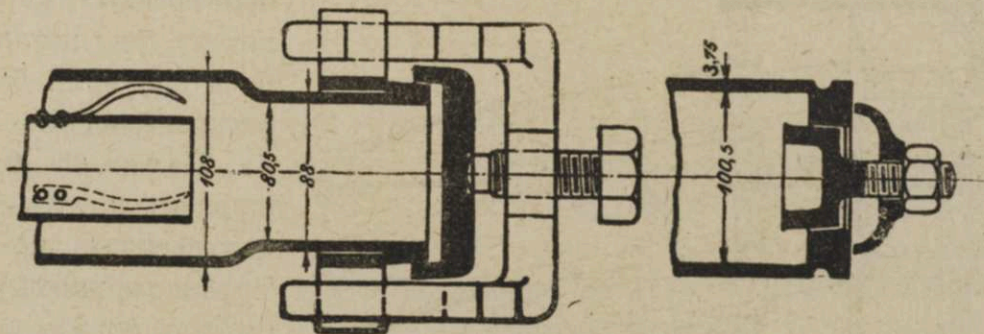


Фиг. 89.



Фиг. 90.

Подобная конструкція была придана котлу въ томъ предположеніи, что образованіе пара происходитъ въ кольцевомъ пространствѣ между кипятельными и питательными трубками, и паръ стремится подыматься на поверхность по внутренней половинѣ камеры, въ это время въ другой половинѣ камеры вода движется внизъ и по питательнымъ трубкамъ подводится къ кипятельнымъ. При движеніи пара къ поверхности, онъ увлекаетъ съ собой воду, но, двигаясь по барабану къ паровому вентилю, большая часть увлеченной воды успѣваетъ осѣсть и снова вступаетъ въ кипятельныя трубки для парообразованія.

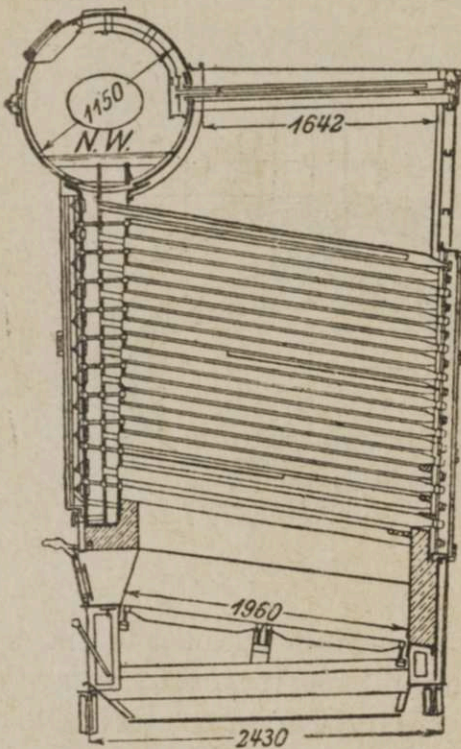


Фиг. 91—92.

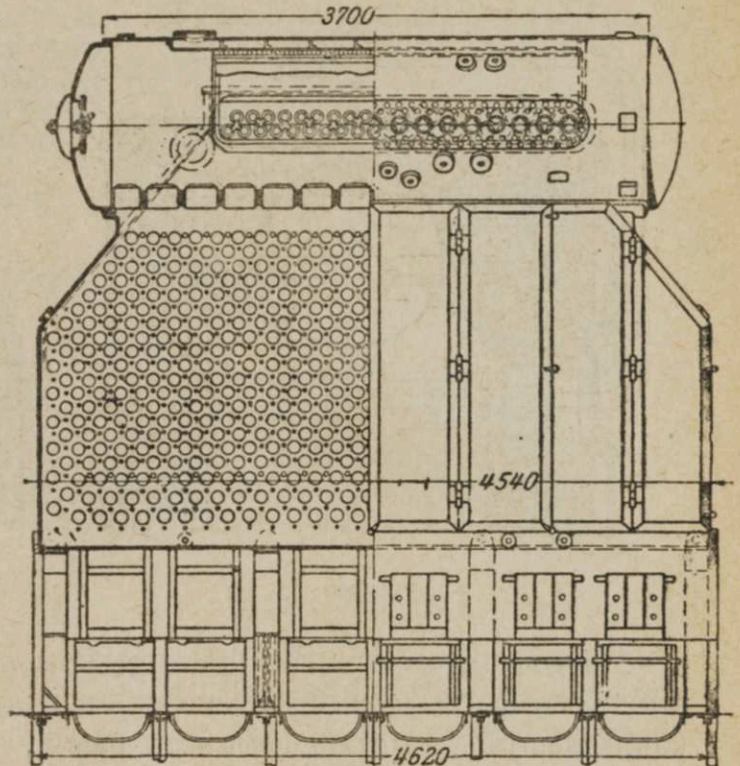
На самомъ дѣлѣ явленіе происходитъ иначе, какъ это и будетъ показано дальше.

Кипятельныя трубки съ свободнаго конца закрываются коническими пробками (фиг. 112 в.). Последнія предпочитаются фирмой въ томъ случаѣ, когда вода даетъ мало осадковъ, при водѣ же, богатой известью или иломъ, примѣняются внѣшнія крышки (фиг. 91—92).

Удобство котла Дюрра и ему подобных въ томъ, что ихъ можно при растопкѣ сильно форсировать, не опасаясь разстроить плотности закрѣпленій трубокъ, такъ какъ послѣднія могутъ совершенно свободно



Фиг. 93.

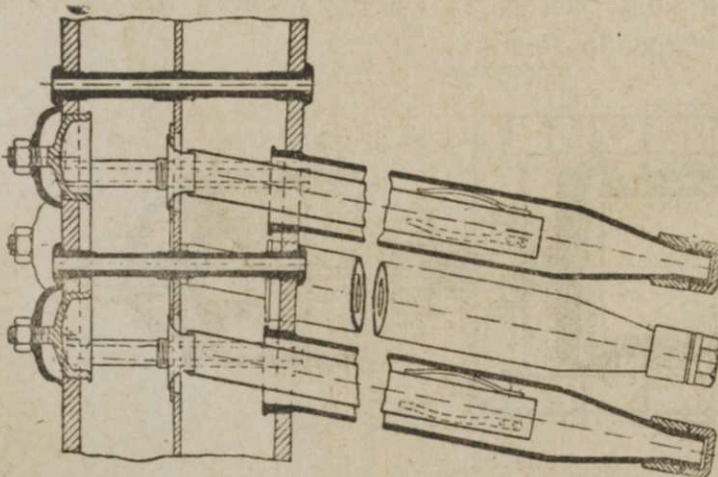


Фиг. 94.

расширяться. Вслѣдствіе этого такіе котлы въ случаѣ надобности можно растопить болѣе быстро, чѣмъ водотрубные котлы другихъ системъ.

Это свойство бываетъ очень цѣннымъ для котловъ военныхъ кораблей, почему тамъ котлы Дюрра и получили большое распространіе.

На фиг. 93—94 представленъ котель Дюрра для военного крейсера. Трубки верхнихъ рядовъ имѣютъ 83 мм. въ діаметрѣ при толщинѣ стѣнки въ 3 мм., трубки же двухъ нижнихъ наи-

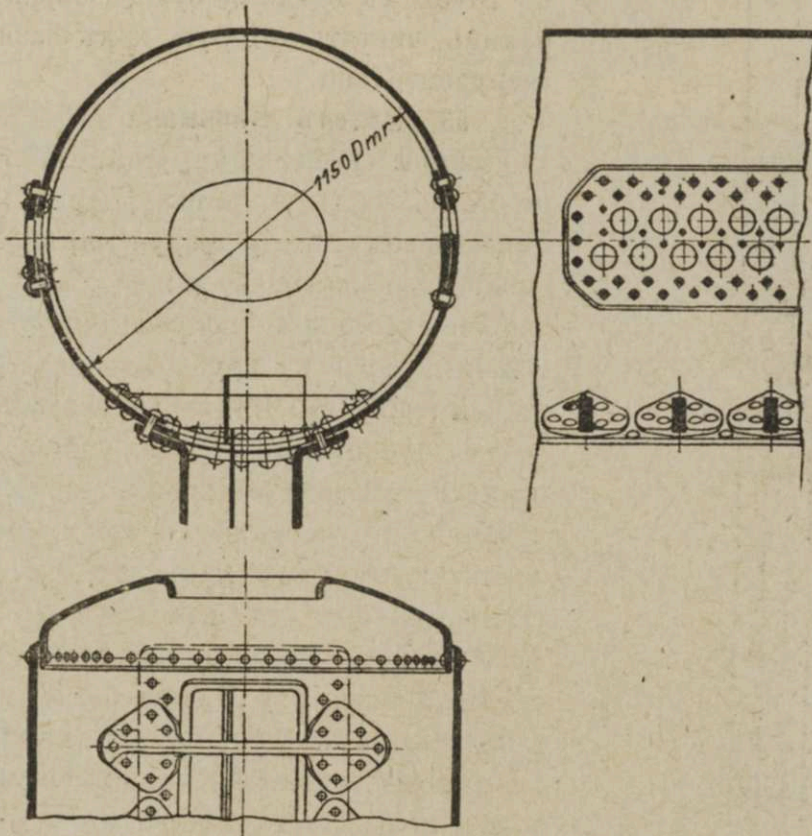


Фиг. 95.

болѣе близко къ огню расположенныхъ рядовъ имѣютъ болѣе болѣе діаметръ въ виду болѣе сильнаго испаренія въ нихъ. Связи, служащія для укрѣпленія стѣнокъ у водяныхъ камеръ, пустотѣлыя и расчеканены. Для возможности спустить воду изъ котла въ кратчайшее время примѣнявшіяся прежде на концахъ трубокъ внутреннія пробки замѣнены здѣсь

тайками изъ марганцовистой бронзы. Опорной поверхностью для этихъ гасекъ, обусловливающихъ герметичность закрытія, а также и для направленія трубокъ въ рѣшеткѣ, служатъ желѣзные кольца, навинченные на суженные концы трубокъ (фиг. 95).

Выполнявшееся въ прежнихъ конструкціяхъ просверливанія болтовъ, служившее для сдуванія сажи съ кипятильных трубокъ, здѣсь не примѣнено, благодаря чему уменьшился діаметръ этихъ болтовъ, а также разстояніе между трубками, что повлекло за собой нѣкоторую экономію въ вѣсѣ и пространствѣ. Внутреннее пространство котла очищается отъ



Фиг. 96.

сажи при помощи сильной тяги воздуха, появляющееся благодаря тому, что въ замкнутомъ котельномъ помѣщеніи при открытомъ регистрѣ производятъ вентиляторомъ давленіе въ 50 мм. водяного столба.

Клепка верхняго котла представлена на фиг. 96.

Перегрѣватель, который какъ по положенію своему въ послѣднемъ дымоходѣ, такъ и по относительно малой величинѣ своей поверхности нагрѣва, долженъ служить главнымъ образомъ какъ паросушитель и расположенъ перпендикулярно къ верхнему котлу, а притекающій къ нему паръ отводится изъ высшей точки верхняго барабана.

По сравненію съ другими, котель Дюрра представляетъ слѣдующія неудобства: при спускѣ воды и очисткѣ трубокъ весьма затруднительно снимать большое число колпачковъ и разбирать перегородку въ камерѣ. Колпачки, закрывающіе задніе концы трубокъ, дѣлаются внутренніе и вѣшніе, какъ показано на фиг. 91—92. Вѣшніе колпачки удобнѣе,

такъ какъ ихъ можно быстро снять для прочистки трубокъ или спуска воды; внутренніе же колпачки хотя и надежныѣ, но не удобны, такъ

какъ ихъ приходится вынимать черезъ передній конецъ трубъ, что сопряжено съ большими хлопотами. Энергичнаго парообразованія эти котлы дать не могутъ, такъ какъ выходъ пара до нѣкоторой степени затрудненъ встрѣчнымъ токомъ питательной воды; наконецъ при нѣкоторыхъ составахъ воды въ трубкахъ все-таки будетъ образовываться накипь, чистить которую, какъ сказано выше, затруднительно.

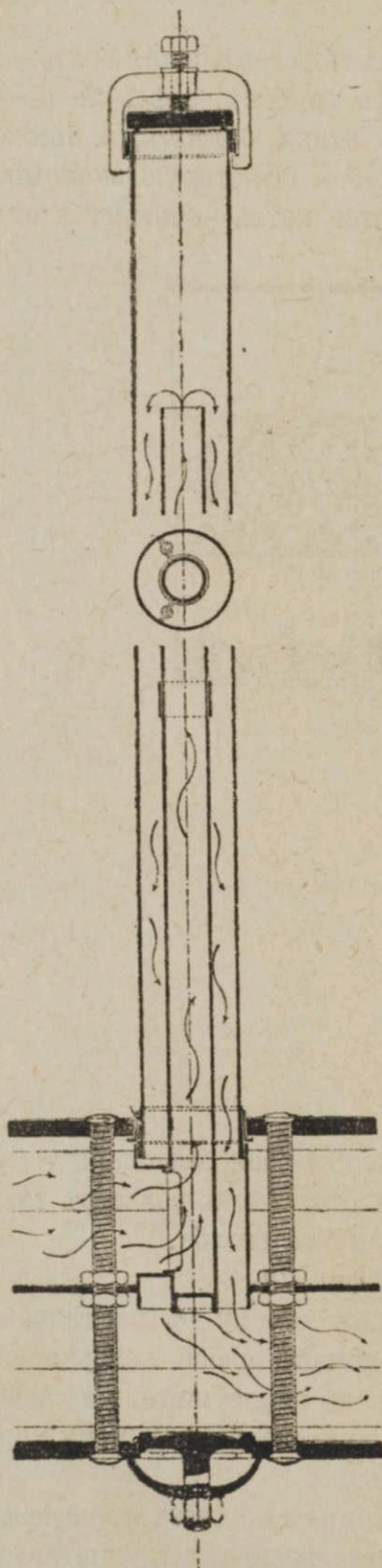
53. Котелъ Вильмана (E. Willmann, Dortmund) своей конструкціи почти ничѣмъ не отличается отъ котла Дюрра. Вся разница въ томъ, что у Дюрра паръ подымается около задней стѣнки камеры, а у Вильмана наоборотъ, паръ подымается у передней стѣнки, а вода къ трубкамъ подходит около задней (фиг. 97). Вильманъ считаетъ это наиболѣе правильнымъ, такъ какъ наиболѣе горячая стѣнка омывается водой и охлаждается; по соображенію это является несущественнымъ, такъ какъ и у котла Дюрра стѣнка камеры отъ перегрѣва не страдаетъ. Что же касается до циркуляціи, то направленіе движенія у Дюрра болѣе правильно, такъ какъ поднимающійся паръ соприкасается съ горячей стѣнкой, а двигающаяся внизъ вода—съ болѣе холодной.

Почти такую же конструкцію, какъ и котлы Дюрра, имѣютъ котлы **Никлосса** (Niclausse, Paris), очень распространенные во французскомъ флотѣ. Главное отличіе ихъ состоитъ въ томъ, что вмѣсто передней общей камеры, у Никлосса трубки закрѣпляются въ отдѣльныя вертикальныя камеры, при чемъ каждая камера объединяетъ два ряда кипяtilныхъ трубокъ. Котелъ Никлосса долженъ быть отнесенъ, какъ описанный ниже котелъ Бабкока и Вилькокса, къ группѣ котловъ секціональныхъ.

Такой же конструкціи являются котлы **Адамсона** (Adamson, Vickers Maxim, Sheffield)

и котлы **Жуайя** (Joya, Grenoble).

Описаніе еще нѣкоторыхъ другихъ разновидностей горизонтальныхъ

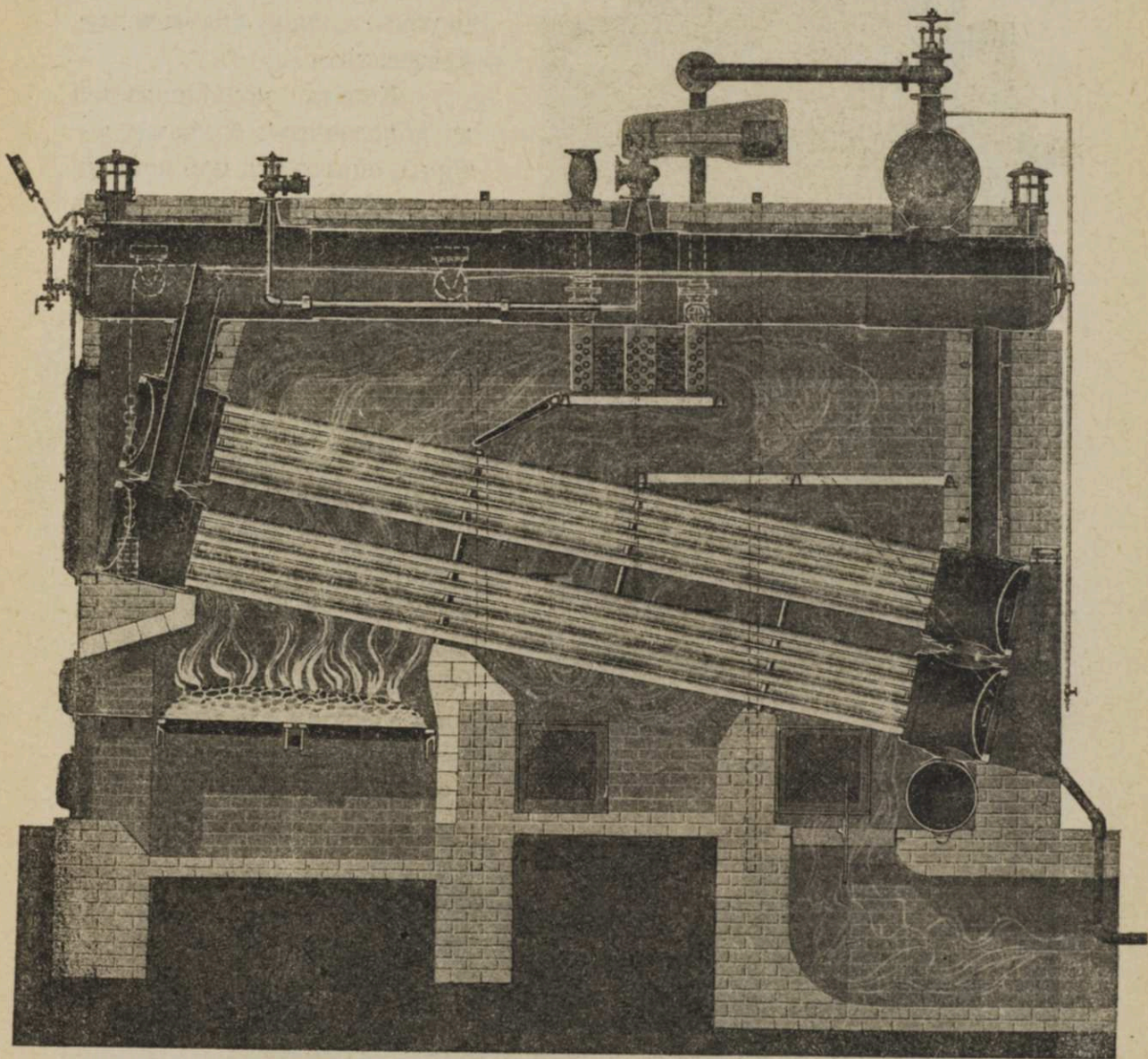


Фиг. 97.

водотрубныхъ котловъ приведено въ главѣ о перегрѣвателяхъ, совмѣстно съ описаніемъ системъ перегрѣвателей.

54. Котель Шухова. У насъ въ Россіи большое распространеніе получилъ котель системы инженера В. Г. Шухова (фиг. 98—100), исполняемый заводомъ А. В. Бари въ Москвѣ.

Кипятильныя трубки собраны въ пучки, по 19 или 28 трубокъ, и каждый пучокъ на переднемъ и заднемъ концѣ снабженъ камерой, имѣющей



Фиг. 98.

форму короткаго цилиндра. Такіе элементы располагаются по высотѣ котла въ количествѣ не болѣе двухъ, а по ширинѣ его, въ зависимости отъ величины поверхности нагрѣва,—въ количествѣ одного, двухъ, трехъ и четырехъ.

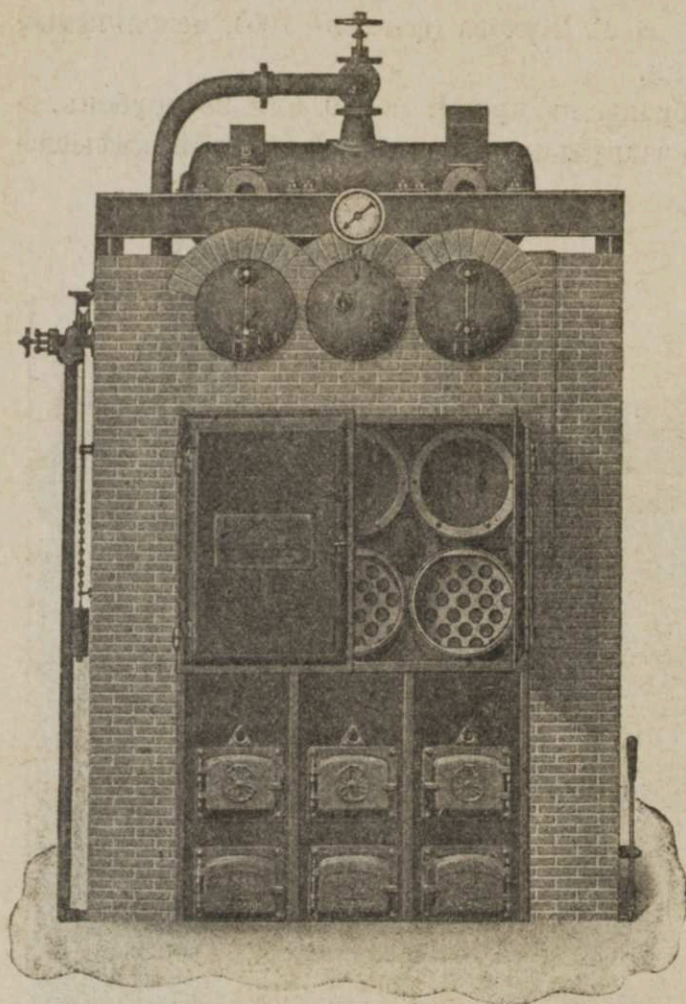
Камеры верхняго и нижняго пучка соединяются между собою штампованными фланцами помощью болтовъ, при чемъ послѣдніе находятся въ водяномъ пространствѣ и не подвергаются дѣйствію огня. Такого же типа соединеніе примѣняется иногда и для прикрѣпленія передней камеры верх-

ного пучка къ верхнему барабану. Но чаще передняя камера такъ же, какъ и задняя, соединяется съ верхнимъ барабаномъ помощью подтрубковъ.

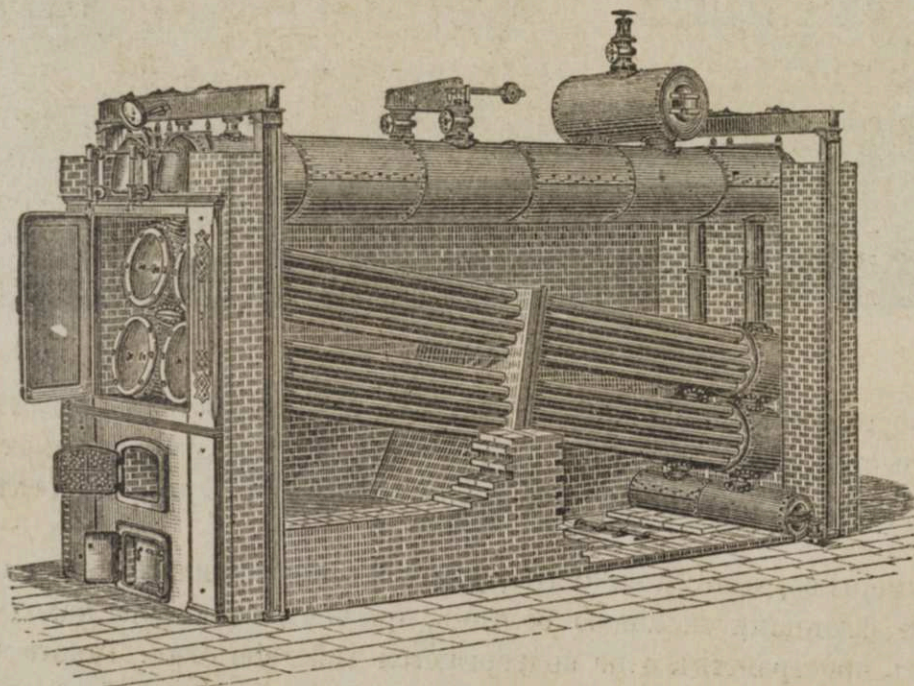
Если рядомъ ставится нѣсколько горизонтальныхъ барабановъ (2 или 3), то наверху они соединяются общимъ поперечнымъ сухопарникомъ, а внизу поперечнымъ грязевикомъ.

Котель подвѣшивается къ поперечнымъ балкамъ, которыя опираются при помощи чугунныхъ соединительныхъ башмаковъ на вертикальныя дивтавровыя колонны; эти колонны служатъ вмѣстѣ съ тѣмъ и укрѣпленіемъ кладки. При такомъ способѣ подвѣса котель при нагрѣваніи можетъ свободно расширяться, не вызывая внутреннихъ напряженій.

Достоинство котла:— отсутствіе плоскихъ стѣнокъ большого размѣра, встречающихся въ другихъ «горизонтальныхъ» водотрубныхъ котлахъ и уменьшающихъ



Фиг. 99.

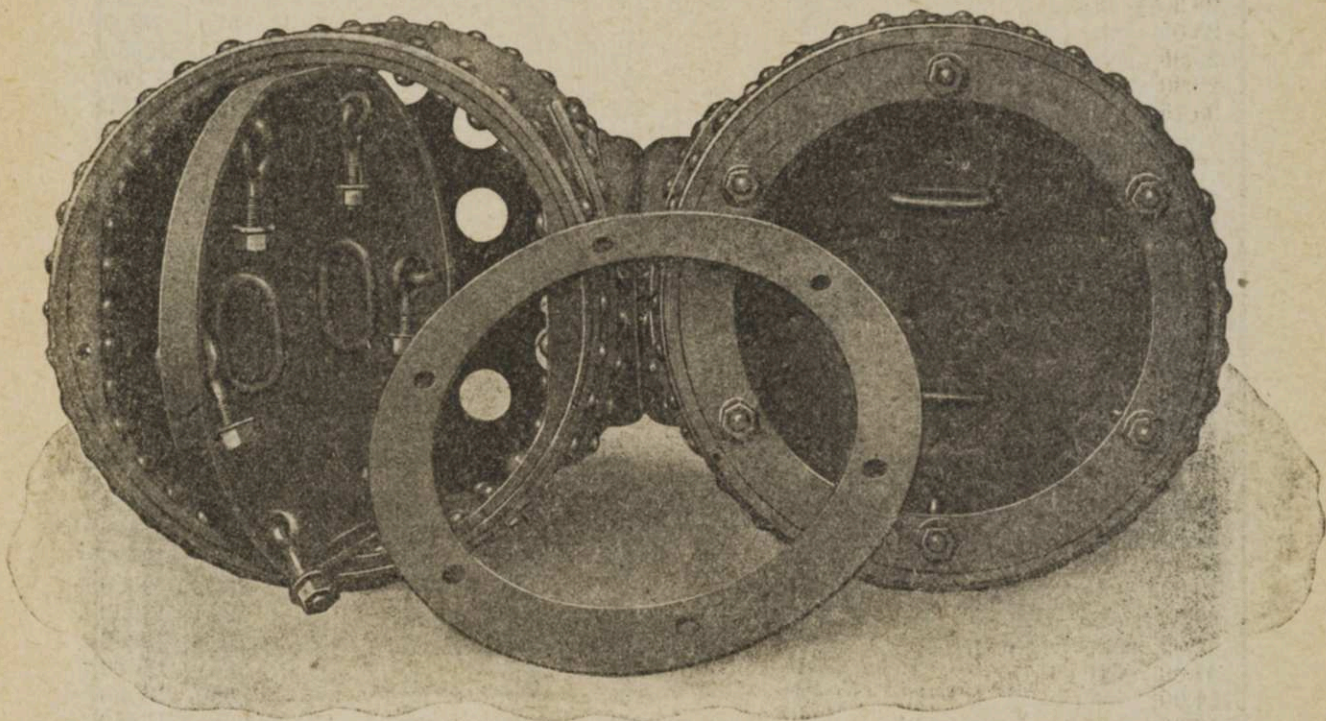


Фиг. 100.

безопасность работы котла. Открытіемъ одного люка получается доступъ сразу къ 19 или, смотря по типу, къ 28 трубкамъ, что вноситъ значительное облегченіе при чисткѣ котла, такъ какъ не приходится имѣть дѣла съ большимъ числомъ малыхъ люковъ; благодаря этому же оказывается возможнымъ безъ особыхъ неудобствъ поставить трубы меньшаго діаметра, которыя способствуютъ лучшей циркуляціи.

Фиг. 101 даетъ ясное представленіе объ устройствѣ люковъ, замыкающихъ камеры и о способѣ ихъ установки и закрѣпленія.

Для своихъ котловъ нормально заводъ Бари употребляетъ трубы діаметромъ въ 75 мм. (3'), но во многихъ случаяхъ заводомъ Бари установлены котлы съ діам. трубъ 2'', при чемъ число ихъ въ каждомъ пучкѣ равно 37.



Фиг. 101.

При нормальной работѣ съ одного квадратнаго метра пов. нагрѣва можно снимать, смотря по топливу, степени разрѣженія и условіямъ эксплуатаціи отъ 14 до 35 килогр. пара въ часъ.

Котель Шухова за послѣдніе годы претерпѣлъ рядъ измѣненій. Для улучшенія циркуляціи передняя камера нижняго пучка соединена трубой непосредственно съ верхнимъ барабаномъ (фиг. 98), такъ что потоки верхняго и нижняго пучковъ по пути не смѣшиваются и не мѣшаютъ другъ другу. Заводъ А. В. Бари строитъ котлы Шухова еще въ нѣсколько усложненной конструкціи. Именно, въ задней половинѣ съ верхними барабанами соединяются не верхнія камеры, а нижнія, для чего непосредственно подъ верхними барабанами располагается одинъ поперечный барабанъ, соединенный съ ними при помощи падтрубковъ. Отъ этого поперечнаго барабана идутъ внизъ по обѣимъ сторонамъ камеръ двѣ трубы, соединяющіяся тоже съ поперечнымъ барабаномъ-грязевикомъ,—а этотъ послѣдній уже соединяется съ камерами нижнихъ пучковъ. Эта конструкція

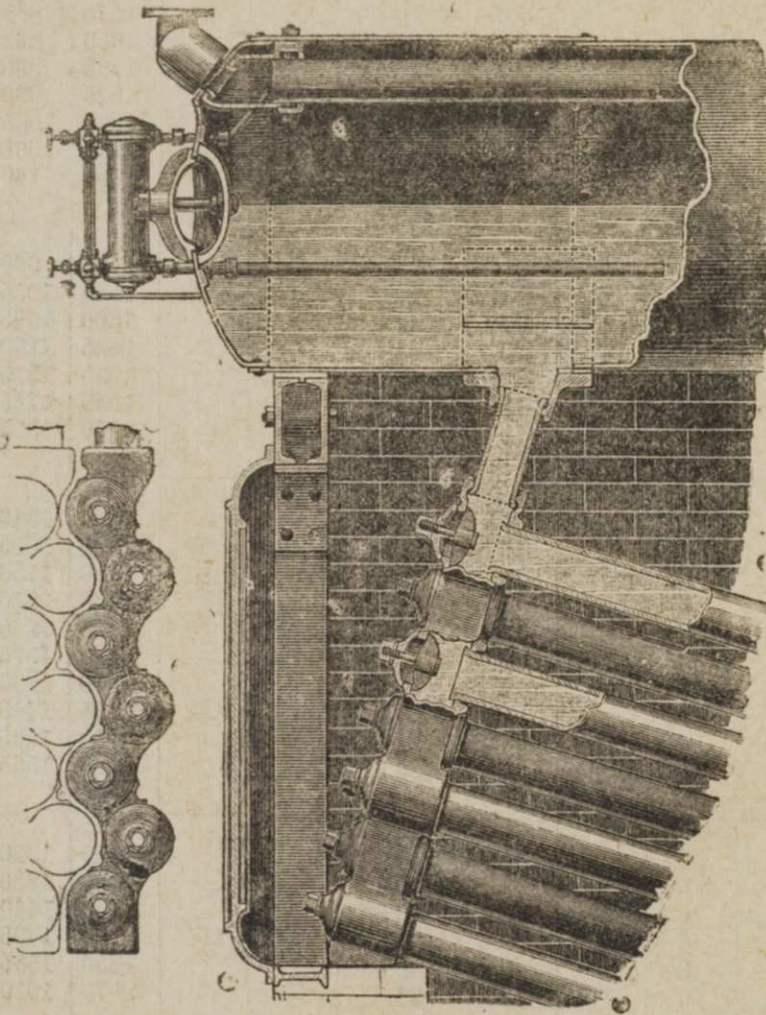
Таблица 18 къ фиг. 98—100.

По- верхн. нагр.	Б а р а б а н ы.			Б а т а р е и.			Мѣсто, заним. котломъ			Число кирп.	
Метры.	Число.	Діаметръ.	Длина.	Число ба- тарей.	Въ каждой батареѣ.	Длина тру- бокъ.	Длина.	Ширина.	Высота, включая сухопар.	Огнеупор- ныхъ.	Красныхъ.
16.70	1	25 1/2 дюйма.	14'	1	3 дюйма.	10'	15'	6 футовъ 6 дюймовъ.	12 футовъ 6 дюймовъ.	1100	8050
18.55	1		15'	1		11'	16'			1175	8350
19.95	1		16'	1		12'	17'			1275	8650
21.80	1		17'	1		13'	18'			1350	8925
23.20	1		18'	1		14'	19'			1425	9200
25.05	1		19'	1		15'	20'			1525	9900
26.95	1		20'	1		16'	21'			1600	10350
28.30	1		21'	1		17'	22'			1675	10950
30.15	1		22'	1		18'	23'			1750	11400
30.65	1		15'	2		10'	15'6"	6 футовъ 6 дюймовъ.	15 футовъ 2 дюйма.	1425	9900
33.45	1		16'	2		11'	16'6"			1525	10350
46.60	1		17'	2		12'	17'6"			1600	10950
29.95	1		18'	2		13'	18'6"			1675	11500
42.70	1		19'	2		14'	19'6"			1775	12100
46.00	1		20'	2		15'	20'6"			1850	12650
48.75	1		21'	2		16'	21'6"			2050	13250
52.00	1		22'	2		17'	22'6"			2125	13800
55.25	1		23'	2		18'	23'6"			2200	14440
61.30	2		15'	4		10'	15'6"	8 футовъ 10 дюймовъ.	15 футовъ 2 дюйма.	1875	10950
67.35	2		16'	4		11'	16'6"			1950	11500
63.40	2		17'	4		12'	17'6"			2050	12100
79.90	2		18'	4		13'	18'6"			2125	12650
85.90	2		19'	4		14'	19'6"			2200	13250
91.95	2		20'	4		15'	20'6"			2300	13800
97.00	2		21'	4		16'	21'6"			2375	14400
104.00	2		22'	4		17'	22'6"			2450	14950
110.55	2		23'	4		18'	23'6"			2525	15550
119.85	3		18'	6	19 трубъ діаметромъ 3 дюйма.	13'	18'6"	11 фут. 2 дюйма.	15 фут. 2 дюйма.	2400	13200
128.55	3		19'	6		14'	19'6"			2526	13800
137.92	3		20'	6		15'	20'6"			2650	14400
147.25	3		21'	6		16'	21'6"			2750	14950
156.05	3		22'	6		17'	22'6"			2850	15550
165.35	3		23'	6		18'	23'6"			2975	16100
171.85	4		19'	8		14'	19'6"	13 фут. 6 д.	15 фут. 2 д.	2850	14350
183.95	4		20'	8		15'	20'6"			3000	15000
196.00	4		21'	8		16'	21'6"			3150	15650
208.55	4		22'	8		17'	22'6"			3300	16300
220.60	4		23'	8		18'	23'6"			3450	16950
229.90	5		20'	10		15'	20'6"	15 фут. 10 д.	15 фут. 12 д.	3350	15600
245.25	5		21'	10		16'	21'6"			3700	16300
260.55	5		22'	10		17'	22'6"			4050	17000
275.90	5		23'	10		19'	23'6"			4400	17700

По- верхн. нагр.	Б а р а б а н ы.			Б а т а р е н.			Мѣсто, заним. кирп. кладк. котловъ.			Число кирпичей.	
Метры.	Число.	Діаметръ.	Длина.	Число батареи.	Въ каждой батареѣ.	Д л и н а трубъ.	Длина.	Ширина.	Высота.	Огнеупорн.	Красныхъ.
20.90	1	в ѣ.	13'	1	з д ю и м а.	9'	13'8"	6 футовъ 6 дюймовъ.	12 ф у т о в ѣ.	1025	7700
23.20	1		14'	1		10'	14'8"			1100	8050
26.50	1		15'	1		11'	15'8"			1175	8350
27.85	1		16'	1		12'	16'8"			1275	8650
30.20	1		17'	1		13'	17'8"			1350	8935
32.50	1		18'	1		14'	18'8"			1435	9200
44.75	1		19'	4		15'	19'8"			1525	9900
37.15	1		20'	1		16'	20'8"			1650	10350
39.45	1		21'	1		17'	21'8"			1275	10950
41.80	1		22'	1		18'	22'8"			1750	11400
43.20	1		15'	2		10'	15'6"	1425	9900		
47.35	1		16'	2		11'	16'6"	1525	10350		
52.00	1		17'	2		12'	17'6"	1600	10950		
56.20	1		17'	2		13'	18'6"	1625	11500		
60.35	1		19'	2		14'	19'6"	1725	12100		
65.00	1		20'	2		15'	20'6"	1850	11650		
69.20	1	21'	2	16'	21'6"	2050	13250				
78.00	2	д ю и м о в ѣ.	14'	4	з д ю и м а.	9'	14'6"	8 фут. 10 дюймовъ.	15 фут. 9 дюймовъ.	1800	10400
86.40	2		15'	4		10'	15'6"			1875	10950
94.75	2		16'	4		11'	16'6"			1950	11500
104.00	2		18'	4		12'	17'6"			2050	12100
112.49	2		18'	4		13'	18'6"			2125	12650
120.75	2		19'	4		14'	19'6"			2200	13250
130.05	2		20'	4		15'	20'6"			2300	13800
138.40	2		21'	4		16'	21'6"			2375	14400
147.25	2		22'	4		17'	22'6"			2450	14950
156.00	2		23'	4		18'	23'6"			2520	15550
179.05	3		18'	6		13'	18'6"	2400	13200		
192.05	3		19'	6		14'	19'6"	2525	13800		
195.05	3		20'	6		15'	20'6"	2650	14400		
208.05	3		21'	6		16'	21'6"	2750	14950		
221.10	3		22'	6		17'	22'6"	1850	15550		
234.10	3		23'	6		18'	23'6"	2975	16100		
242.45	4	19'	8	14'	19'6"	2850	14350				
260.10	4	20'	8	15'	20'6"	3000	15000				
277.30	4	21'	8	16'	21'6"	3150	15650				
294.50	4	22'	8	17'	22'6"	3300	16300				
312.10	4	23'	8	18'	32'6"	3450	16950				
326.15	5	20'	10	15'	20'6"	3350	15600				
346.50	5	21'	10	16'	21'6"	3700	16300				
367.35	5	22'	10	17'	22'6"	4050	17000				
390.20	5	22'	10	18'	23'6"	4400	17700				

имѣетъ въ виду осаждать часть выдѣлившихся изъ раствора солей и механическую примѣсь въ грязевикѣ съ тѣмъ, чтобы ослабить образованіе накипи въ трубкахъ. Кромѣ того, при такой конструкціи надо ожидать, что скорость теченія воды будетъ нѣсколько больше въ нижнихъ рядахъ трубокъ, подвергающихся въ области топки большому нагрѣванію. Установленные такой конструкціи котлы, хотя и даютъ лучшіе результаты, но сравнительно большая стоимость препятствуетъ ихъ распространенію.

Въ настоящее время, отвѣчая запросамъ техники, заводомъ выработаны еще новые варианты котла системы Шухова.



Фиг. 102.

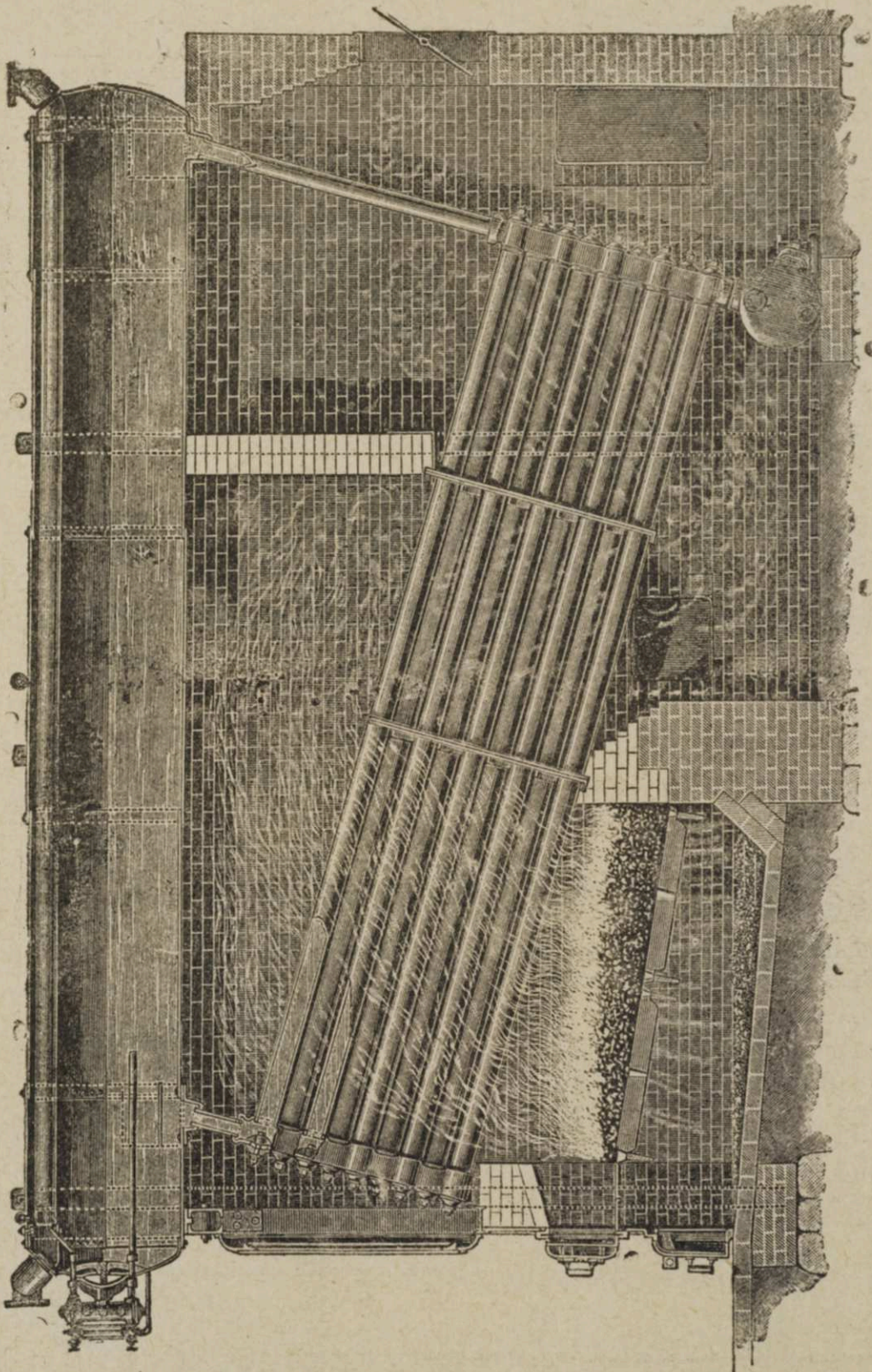
Такъ, для случаевъ, гдѣ необходимо считаться съ колебаніями въ расходѣ пара, емкость котла увеличена. Вмѣсто двухъ верхнихъ барабановъ малаго діаметра (650 мм.) въ двубатарейномъ котлѣ ставится одинъ—большого діаметра (около 1360 мм.).

Затѣмъ, желая сдѣлать котель способнымъ на большую форсировку, заводъ разработалъ вариантъ съ большимъ противъ обычнаго ($\frac{1}{5}$ или около 11°) уклономъ трубокъ. Послѣдній взятъ равнымъ $\frac{1}{2}$ или приблизительно 26° . При этомъ отдѣльные для каждой батареи верхніе барабаны замѣнены однимъ общимъ поперечнымъ.

Въ этомъ вариантѣ увеличена средняя высота топочной камеры, что отвѣчаетъ требованію давать свободу развитія пламени. Увеличенный уклонъ трубокъ способствуетъ болѣе быстрому освобожденію образовавшагося пара.

Въ заключеніе описанія котла Шухова остается упомянуть, что при пучкахъ изъ 28 трубокъ послѣднія располагаются не въ вершинахъ равносторонняго треугольника, какъ это дѣлается при 19 трубкахъ, а въ вершинахъ равнобедреннаго треугольника съ угломъ при основаніи 51° . Въ

этомъ случаѣ разстояніе между стѣнками трубокъ вдоль основанія треугольника оказывается вдвое больше, нежели вдоль его боковыхъ сторонъ, При такомъ расположеніи трубокъ уголъ обхвата поверхности трубки



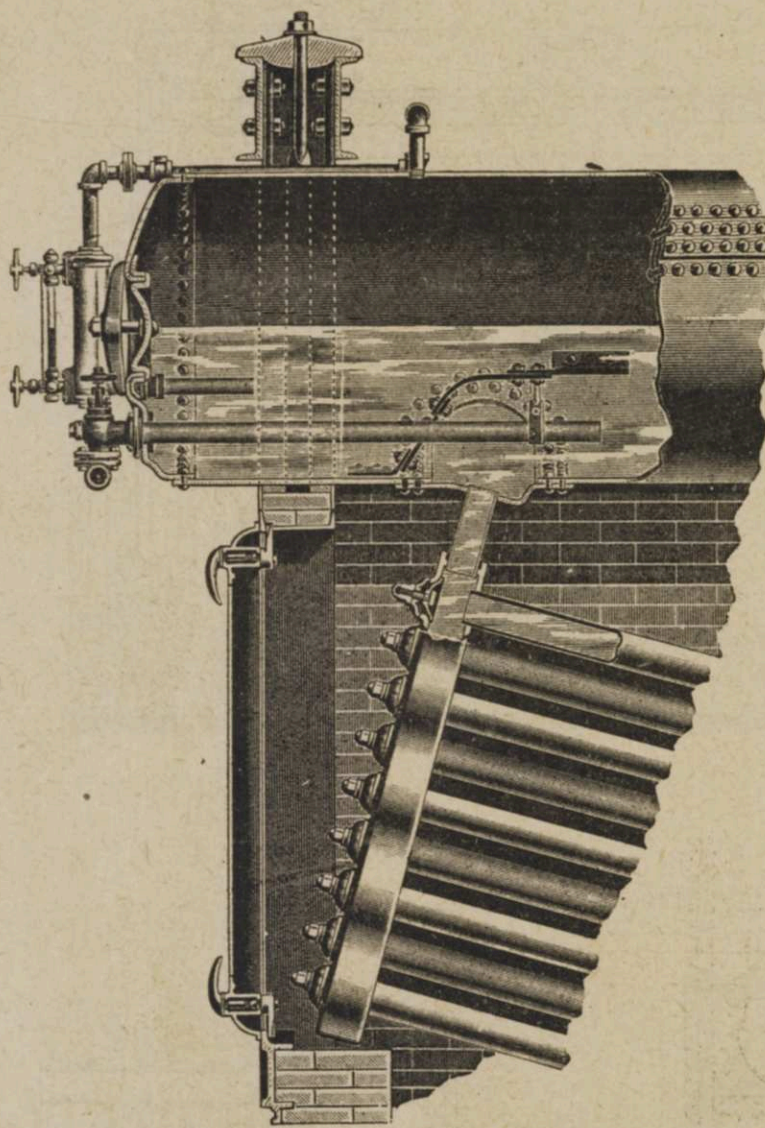
Фиг. 103.

потоками газовъ увеличился и уменьшилось мертвое пространство, гдѣ обычно отлагается зола и въ тоже время проходъ для газовъ не претерпѣваетъ никакого суженія.

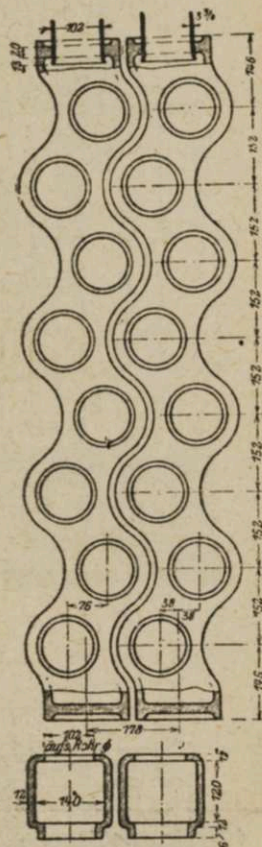
Таблица 10, къ фиг. 108. Набождѣ употребительные размеры котловъ завода К^о Бабокъ и Вилькоксъ.

Нор-малъ. Истар. вѣ. тась №	Р А З М Ъ Р Ы.			Цилиндровъ.	Приблизит. вѣсъ въ пудахъ.	Занимаемое мѣсто съ кирпич-ною кладкою.			Потребное число кирпичей.	Предохранительные клапаны.	Паров. кла-панъ.	Площ. котло-никовъ. рѣшет.	Поверх-ность на-грѣва.		
	Въ шир. шт.	Въ выш. шт.	Длина фут.			Длина.	Ширина.	Вышина.							
1	3	4	6	1	24	10' 3"	4'	5" × 8' 10 ³ / ₄ "	2,200	800	1 двойной.	2"	21 ¹ / ₂ "	0,48	11,07
2	3	4	8	1	24	12' 4"	4'	5" × 8' 10 ³ / ₄ "	2,700	900	»	2"	21 ¹ / ₂ "	0,58	11,15
3	3	5	8	1	24	12' 4"	4'	5" × 9' 4 ³ / ₄ "	2,800	1,000	»	2"	21 ¹ / ₂ "	0,68	16,83
4	3	5	10	1	24	14' 5"	4'	5" × 9' 4 ³ / ₄ "	3,200	1,200	»	2"	21 ¹ / ₂ "	0,77	20,37
5	4	5	10	1	30	14' 8"	5'	0" × 9' 11 ¹ / ₂ "	3,400	1,200	»	2"	3"	0,99	27,25
6	4	5	12	1	30	16' 7"	5'	0" × 9' 11 ¹ / ₂ "	3,800	1,500	»	2"	3"	0,99	31,90
7	4	6	12	1	30	17' 2"	5'	8" × 11' 5 ¹ / ₂ "	6,000	1,800	»	2 ¹ / ₂ "	3"	1,11	37,29
8	4	6	14	1	30	19' 3"	5'	8" × 11' 5 ¹ / ₂ "	7,500	2,000	»	2 ¹ / ₂ "	3"	1,24	42,75
9	4	7	14	1	30	19' 3"	5'	8" × 11' 5 ¹ / ₂ "	8,700	2,000	»	2 ¹ / ₂ "	3"	1,24	49,92
10	4	8	14	1	30	19' 3"	5'	8" × 12' 11 ³ / ₄ "	9,000	2,000	»	2 ¹ / ₂ "	3 ¹ / ₂ "	1,24	55,15
11	5	8	14	1	36	19' 3"	6'	3" × 12' 11 ³ / ₄ "	9,200	2,000	»	3"	3 ¹ / ₂ "	1,52	68,36
12	5	8	16	1	36	21' 4"	6'	10" × 12' 6 ¹ / ₂ "	10,000	2,200	»	3"	4"	1,78	80,91
13	6	8	16	1	36	21' 4"	6'	10" × 13' 0 ¹ / ₂ "	11,000	2,200	»	3 ¹ / ₂ "	4"	1,78	91,44
14	6	9	16	1	36	21' 4"	6'	10" × 13' 6 ¹ / ₂ "	11,000	2,400	»	3 ¹ / ₂ "	4"	2,14	102,11
15	6	9	18	1	36	23' 7"	7'	5" × 13' 7 ¹ / ₂ "	12,600	2,500	»	4"	5"	2,14	113,27
16	7	9	18	1	36	23' 7"	7'	5" × 14' 1 ¹ / ₂ "	12,600	2,500	»	4"	5"	2,46	117,76
17	7	9	18	1	36	23' 7"	7'	5" × 14' 1 ¹ / ₂ "	13,000	2,500	»	4"	5"	2,46	131,22
18	7	9	18	1	42	23' 7"	7'	5" × 14' 7 ¹ / ₂ "	13,000	2,600	»	4"	5"	2,46	132,62
19	8	9	18	1	42	23' 7"	8'	0" × 14' 8 ³ / ₄ "	13,000	2,600	»	4"	6"	2,79	150,58
20	8	10	18	1	42	23' 7"	8'	0" × 15' 6 ¹ / ₂ "	13,200	2,800	двойной.	4"	6"	3,40	161,91
20 1/2	8	10	18	1	42	23' 7"	8'	0" × 15' 2 ³ / ₄ "	13,000	2,700	двойной.	4 ¹ / ₂ "	6"	3,11	169,91
21	9	9	18	1	48	23' 7"	8'	7" × 15' 3"	13,000	3,000	»	4 ¹ / ₂ "	6"	3,40	182,84
22	9	9	16	1	48	23' 7"	8'	7" × 15' 9"	13,200	3,000	двойной.	4 ¹ / ₂ "	6"	3,62	186,72
22 1/2	9	10	18	1	48	23' 7"	8'	7" × 16' 0 ¹ / ₂ "	13,500	3,000	двойной.	4 ¹ / ₂ "	6"	4,09	204,32
23	12	8	16	2	36	21' 4"	10'	4" × 16' 6 ¹ / ₂ "	13,500	3,200	двойной.	4"	7"	4,09	226,64
24	12	8	18	2	36	23' 7"	10'	4" × 16' 7 ³ / ₄ "	14,000	3,300	двойной.	4"	7"	4,74	235,38
25	12	8	18	2	36	23' 7"	10'	4" × 17' 1 ³ / ₄ "	14,000	3,300	»	4"	7"	4,74	250,00
26	12	9	18	2	36	23' 7"	11'	6" × 16' 7 ³ / ₄ "	14,000	3,300	»	4"	7"	4,74	265,54
27	14	9	18	2	42	23' 7"	11'	6" × 17' 1 ³ / ₄ "	15,000	3,600	»	4"	7"	4,74	292,00
28	14	10	18	2	42	23' 7"	11'	6" × 17' 7 ³ / ₄ "	16,000	4,000	»	4 ¹ / ₂ "	7"	5,39	301,00
29	16	9	18	2	42	23' 7"	12'	8" × 17' 7 ³ / ₄ "	16,000	4,000	»	4 ¹ / ₂ "	7"	5,39	333,00
30	16	10	18	2	42	23' 7"	12'	8" × 17' 7 ³ / ₄ "	16,500	4,000	»	4 ¹ / ₂ "	7"	7,06	340,00
31	18	9	18	2	48	23' 7"	13'	10" × 17' 7 ³ / ₄ "	17,000	4,500	»	4 ¹ / ₂ "	7"	7,06	374,00
32	18	10	18	2	48	23' 7"	13'	10" × 18' 1 ³ / ₄ "	17,000	4,500	»	4 ¹ / ₂ "	7"	7,06	444,00
33	18	12	18	2	48	23' 7"	13'	10" × 19' 7 ³ / ₄ "	17,000	4,500	»	5"	7"	7,06	515,00
34	18	14	18	2	48	23' 7"	13'	10" × 20'	17,000	4,500	»	5"	7"	7,06	515,00

Кипятильныя трубы котла разбиты въ вертикальномъ направленіи на группы, имѣющія свои независимыя камеры. Каждая группа объединяетъ въ одно цѣлое лишь одинъ вертикальный рядъ, при чемъ камеры, приспособляясь, къ зигзагообразному расположенію трубокъ въ рядѣ, имѣютъ



Фиг. 108.



Фиг. 107.

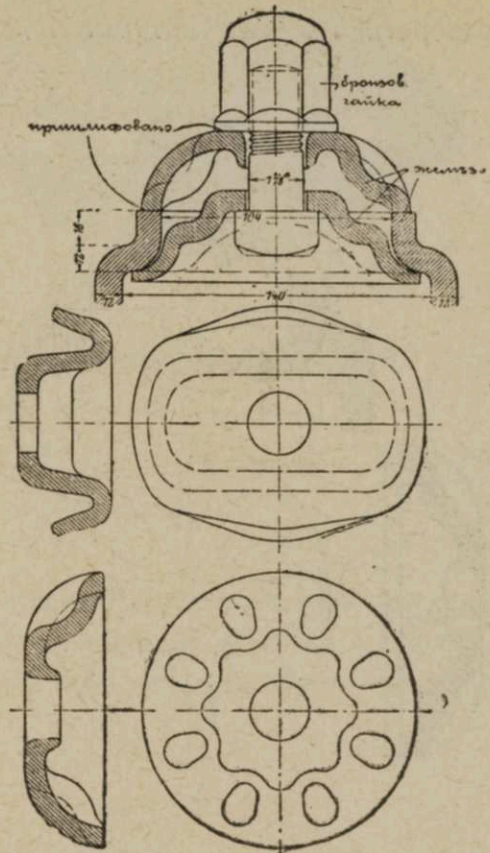
пзвилистую форму (фиг. 107). При такомъ устройствѣ камеръ является возможнымъ сохранить для трубокъ зигзагообразное расположеніе, наиболѣе благоприятное для воспріятія теплоты и путемъ соприкосновенія, и путемъ лучеиспусканія какъ со стороны колосниковой рѣшетки, такъ и со стороны кладки и перегородокъ.

Камеры раньше изготовлялись из чугуна, теперь же изготовляются из сварочного и литого железа, из мягкой стали путем штампования и сварки, или, наконец, из стали—путем литья.

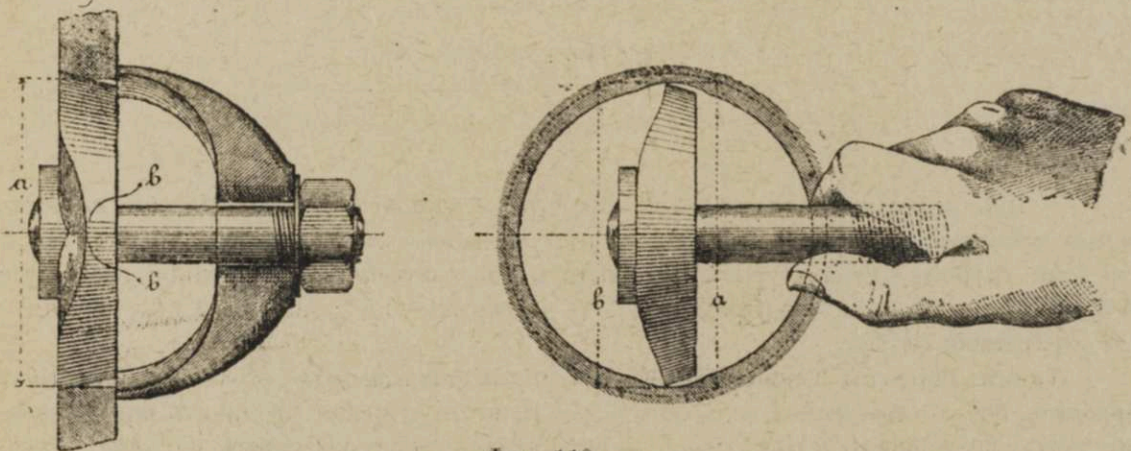
Для заводскихъ котловъ употребляются трубы въ 4", для пароход-
ныхъ 2" и 3".

Трубки въ камерахъ закрѣпляются *только раскаткой* ¹⁾. Противъ каждой трубки въ камерѣ имѣется небольшой люкъ, закрывающійся крышкой, притягиваемой болтомъ (фиг. 109). Полное уплотненіе достигается обработкой поверхностей и смазываніемъ ихъ слегка суримомъ, *безъ всякой прокладки* ²⁾.

Каждая группа трубокъ (секція) соединяется съ верхнимъ барабаномъ при помощи короткой трубки, съ передняго конца, и длинной — съ задняго конца. Соединительныя трубки раскатываются съ одной стороны въ отверстіи, сдѣланномъ въ верхней части камеры, а съ другой — въ особомъ при-даткѣ, (фиг. 112) т. н. карманѣ, верхняго барабана. Точно также соединяется съ камерами грязевикъ, расположенный внизу, сзади котла. Въ боковыхъ стѣнахъ кладки оставляются продолговатыя въ вертикальномъ направленіи



Фиг. 109.



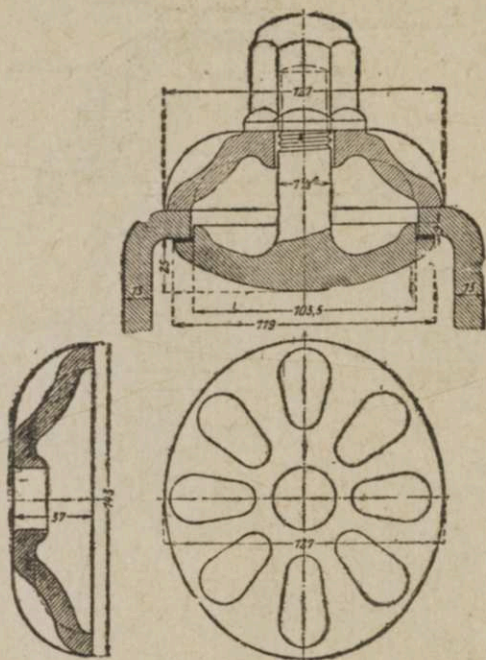
Фиг. 110.

¹⁾ Нѣкоторыми закрѣпленіе трубъ только одной раскаткой признается недостаточной. Такъ напр., Гартфордское Общество по надзору за паровыми котлами требуетъ, чтобы при большихъ давленіяхъ трубы выступали изъ мѣсть закрѣпленія на 6 мм.—10 м. и выступающій конецъ былъ расширенъ въ видѣ конуса на 3 мм. больше, чѣмъ діаметръ самой трубы. (Locomotive, May—1902).

²⁾ Нѣкоторые заводы (Симонисъ и Ланцъ) для закрыванія люковъ употребляютъ коническія крышки, представленныя на фиг. 110. Какъ видно, крышка срезана съ двухъ сторонъ, и на краяхъ люка имѣются тоже вырѣзы, черезъ которые крышка можетъ пройти, затѣмъ ее поворачиваютъ около оси на 90 гр. и вставляютъ въ конусъ.

На фиг. 111 изображены люки овальной формы, примѣняемые иногда въ котлахъ Бабкока и Вилькокса. Способъ вставленія крышки понятенъ изъ самой конструкции ея. Болтъ въ этомъ случаѣ, какъ и въ большинствѣ другихъ конструкций, оказывается разгруженнымъ.

отверстия, через которые можно производить очистку трубок от сажи, направляя на них струю пара. Трубки поставлены наклонно (уклонъ $\frac{1}{4}$) для того, чтобы образующійся въ нихъ паръ двигался легче къ переднему концу и затѣмъ къ выходу въ барабанъ.



Фиг. 111.

Ставить болѣе 9 трубокъ въ вертикальномъ направленіи не слѣдуетъ; увеличивать же размѣръ котла слѣдуетъ расположеніемъ большого числа трубъ въ горизонтальномъ направленіи. Такое размѣщеніе трубокъ имѣетъ себѣ полное оправданіе въ опытахъ произведенныхъ Уаттомъ ¹⁾.

На фиг. 113—115 представленъ котель Бабкокъ и Вилькокса для морскихъ пароходовъ ²⁾.

Въ заключеніи этого обзора «горизонтальныхъ» водотрубныхъ котловъ не будетъ лишнимъ привести практическую формулу для опредѣленія діаметра верхняго барабана (въ метрахъ):

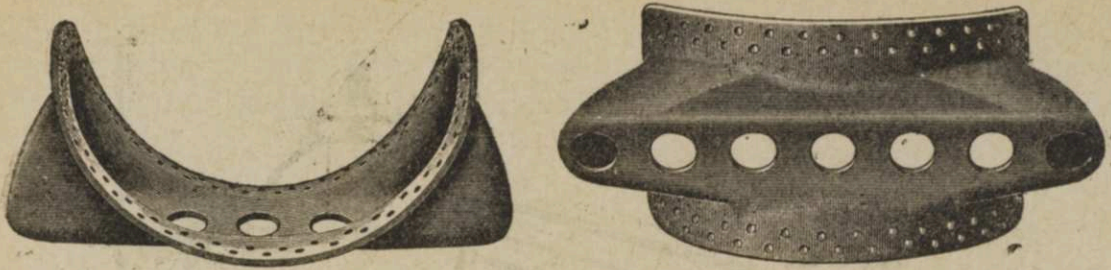
$$d = \sqrt{\frac{H}{A}} + 0,4 \text{ м.},$$

¹⁾ Изъ этихъ опытовъ оказывается, что испарительная способность трубокъ сильно измѣняется по мѣрѣ того, какъ ихъ положеніе удаляется отъ точки. Такъ, изъ семи трубокъ—первая, расположенная непосредственно надъ топкой, испарила 60 %, вторая надъ ней 24 %, третья—9,5 %, четвертая—3,5 %, пятая—1,5 %, шестая—1,0 % и седьмая—0,5 %.

Такимъ образомъ, парообразование происходитъ главнымъ образомъ въ нижнихъ трубкахъ, верхнія же почти не даютъ пара. И потому, желая увеличить парообразовательную способность котла, мы должны увеличивать поверхность нагрѣва, помѣщая больше трубокъ въ горизонтальномъ направленіи. Если же мы будемъ прибавлять трубки по направленію кверху, и соотвѣтственно съ увеличившеюся поверхностью котла, будемъ требовать отъ него больше пару, то придемъ къ плохимъ результатамъ, такъ какъ все излишнее количество пара будетъ опять, главнымъ образомъ, получаться въ нижнихъ трубкахъ и, слѣдовательно, онѣ окажутся переполненными паромъ, не будутъ въ состояніи отвести его прочь, вслѣдствіе чего скоро перегрѣются и перегорятъ.

Изъ тѣхъ же опытовъ Уатта оказалось, что чѣмъ больше діаметръ трубокъ, тѣмъ равномернѣе распределяется парообразование въ нихъ и, слѣдовательно, при той же общей поверхности нагрѣва можно выпарить большее количество пара, безъ вреда для нижняго ряда трубокъ. (Engineering, April, 1896, стр. 454).

²⁾ Въ отдѣлѣ пароперегрѣвателей помѣщенъ конструктивно болѣе полный чертежъ такого котла.

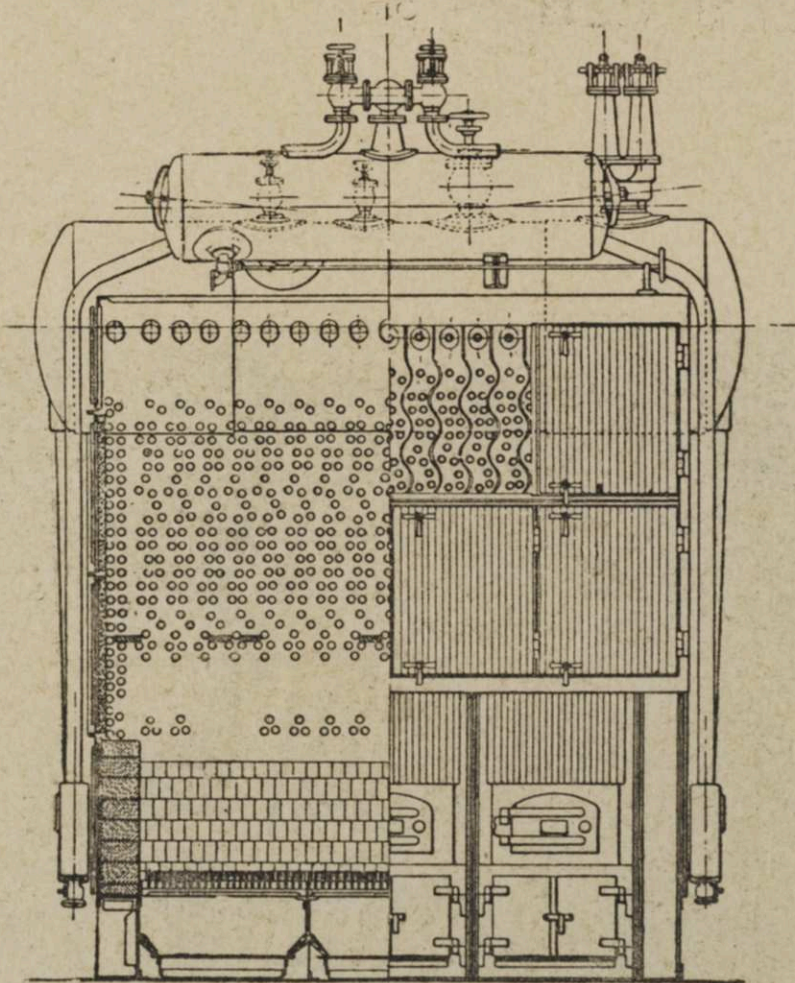


Фиг. 112.

гдѣ H есть поверхность котла въ кв. м., а для знаменателя A берутъ слѣдующія значенія:

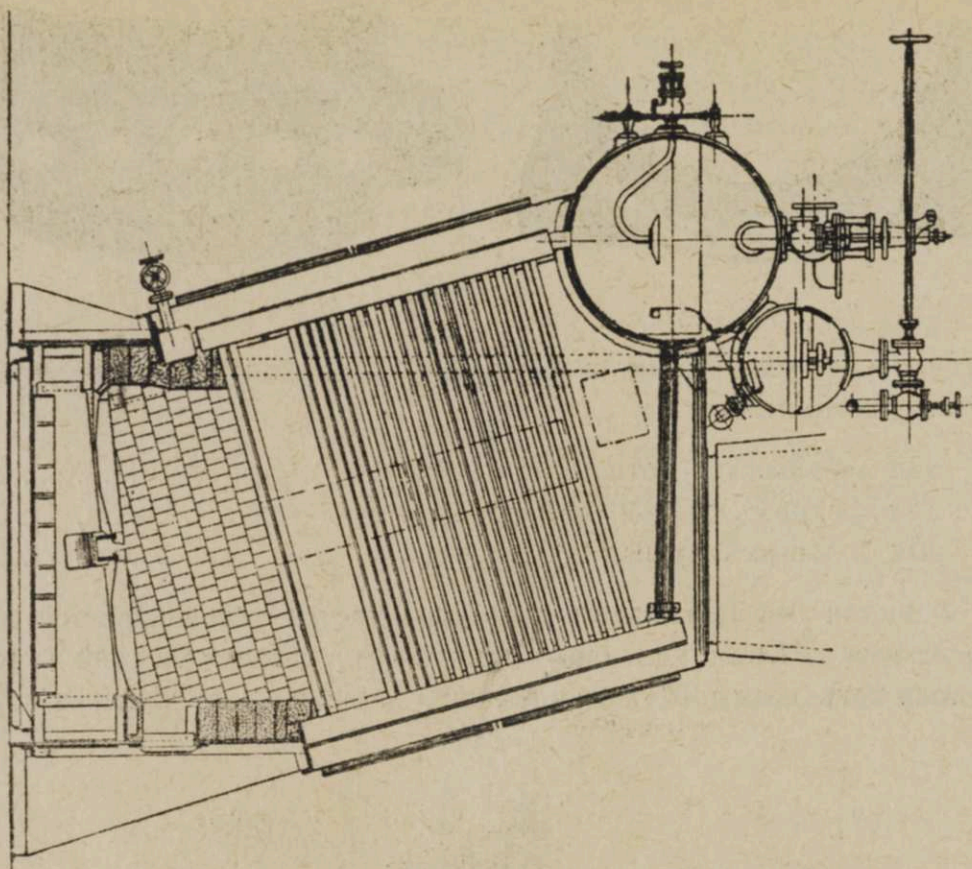
для небольшихъ котловъ (до 100 кв. м.).		$A=100$
для среднихъ (до 250 кв. м.).		$A=150$
для большихъ (свыше 250 кв. м.).		$A=200$

Формула эта примѣнима для большинства разновидностей котловъ этого класса. Рѣзкія отклоненія отъ чиселъ, даваемыхъ этой формулой, представляютъ котлы Шухова обычнаго варианта, гдѣ діаметръ дѣлается

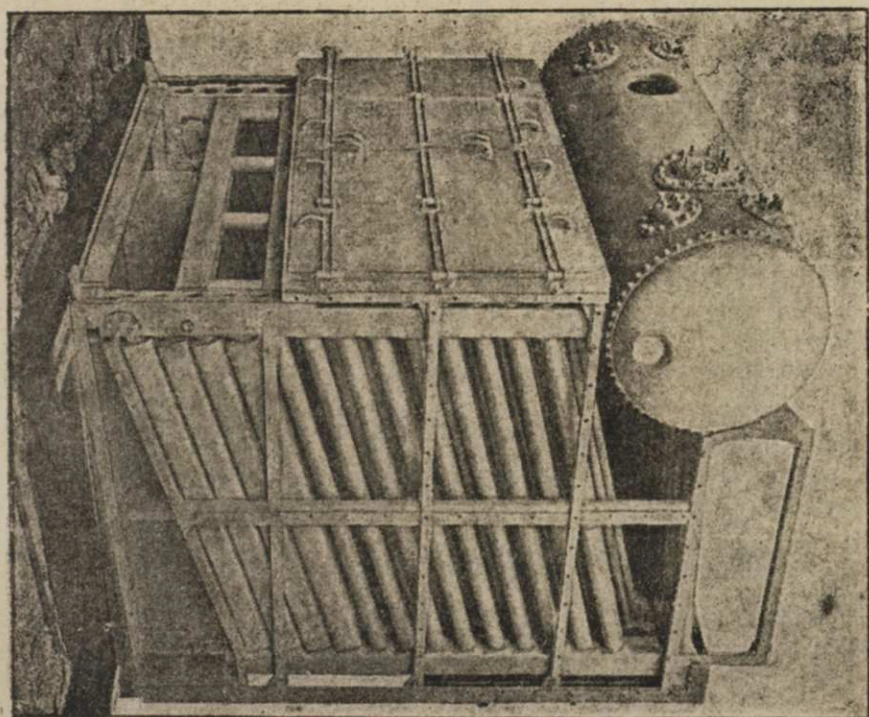


Фиг. 113.

Фиг. 114.



Фиг. 115.



равнымъ 650 мм. и котла Бобкока и Вилькокса, гдѣ есть основанія брать діаметръ барабана по возможности малымъ чтобы избѣжать большихъ размѣровъ для кармана, представляющаго относительно слабую часть котла.

Таблица 21, къ фиг. 104—106.

Поверхность нагрѣва. кв. м.	Водяныя трубы. Уклонъ 15°.				Верхній барабанъ.			Размѣры кладки.		
	Число горизонт. рядовъ.	Число трубокъ въ гориз. ряду.	Длина тру- бокъ. мм.	Внутрен- ній и внѣшній діаметры трубокъ. мм.	Число бара- бановъ.	Діаметръ. мм.	Длина. мм.	Длина. мм.	Высота. мм.	Ширина. мм.
25	5	4	3048	94,5/102	1	762	4285	4120	1574	2900
50	7	4	4267	"	1	"	5735	5790	"	3500
75	7	6	4880	"	1	915	6470	6400	2190	4180
100	9	6	"	"	1	"	"	"	"	4485
150	9	8	5486	"	1	1065	7100	7010	2546	4635
200	9	12	4880	"	2	915	6470	6400	3258	4485
250	9	14	5486	"	2	1065	7100	7010	3614	4635
300	9	16	"	"	2	"	"	"	3970	"
350	10	18	"	"	2	1220	"	"	4326	4945
400	10	20	"	"	2	1372	"	"	4682	5140
450	11	20	"	"	2	"	"	"	"	5290
500	12	22	"	"	3	1220	"	"	5038	5250

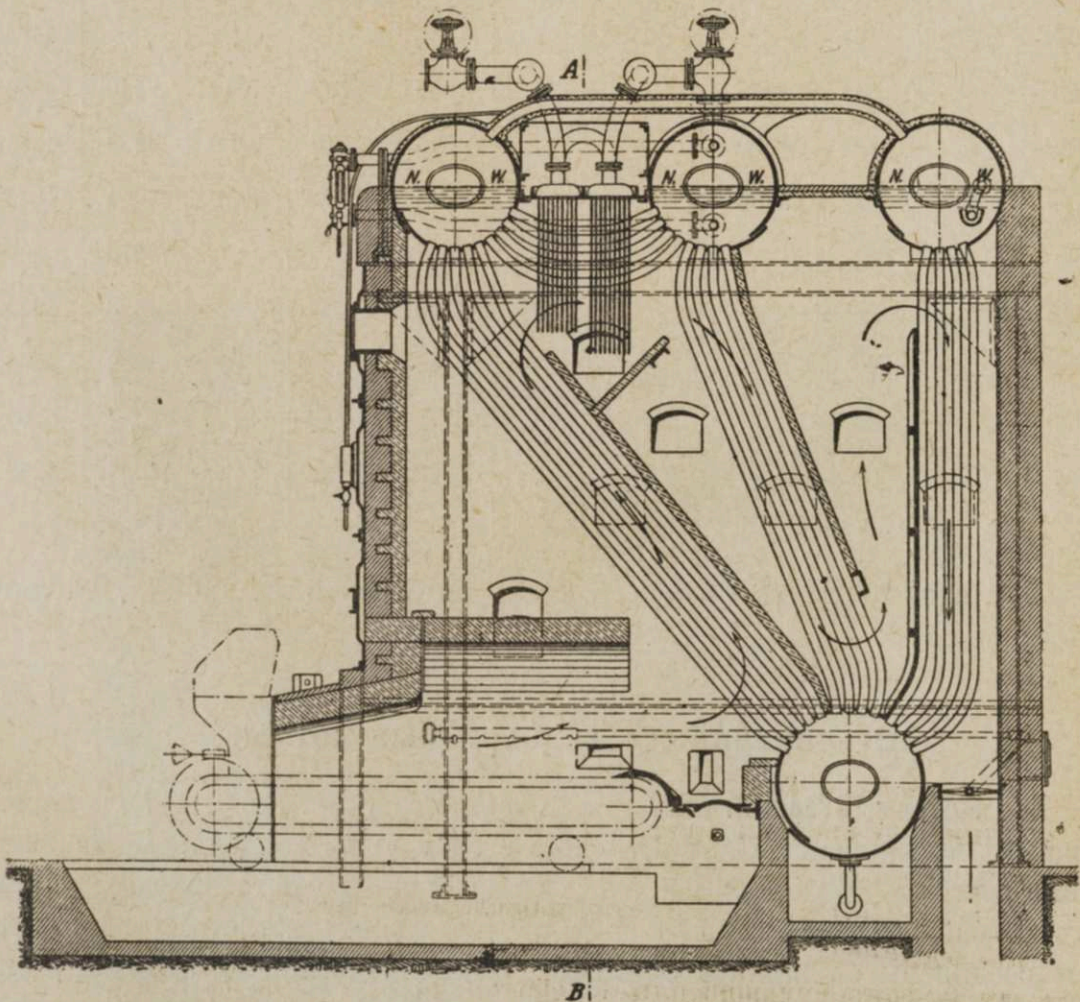
Таблица 20 даетъ размѣры котла англійской постройки, таблица 21—германской.

«Вертикальные» водотрубные котлы.

56. Котель Стэрлинга. Котель Стэрлинга (фиг. 116 и 117) является старшимъ по времени представителемъ этой группы котловъ. Чаше всего котель состоитъ изъ трехъ верхнихъ барабановъ и одного или двухъ нижнихъ. Барабаны располагаются параллельно фронту котла. Верхніе барабаны соединены съ нижнимъ (или съ двумя нижними) пучками трубокъ изогнутыхъ въ большей или меньшей степени у мѣстъ закрѣпленія въ стѣнкахъ барабановъ согласно требованіямъ, имѣющимъ въ виду надежность

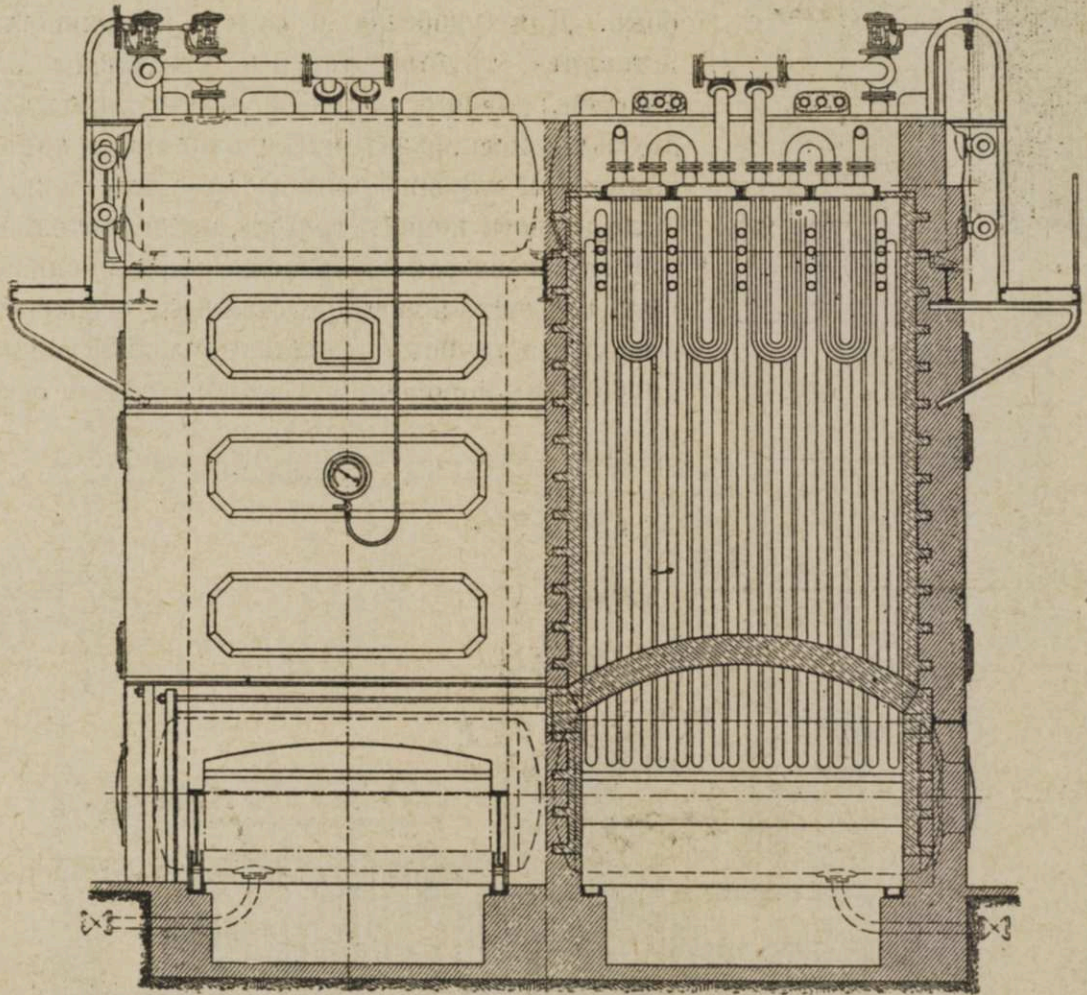
Таблица 22 къ фиг. 115 и 116.

Поверхность нагрѣва. Кв.мм.	Кипятильныя трубки.				Верхн. бараб.			Нижн. барабанъ.			Наруж.разм.кладки.		
	Число.		Длина. Мм.	Диаметръ. Мм.	Число.	Диаметръ. Мм.	Длина. Мм.	Число.	Диаметръ. Мм.	Длина. Мм.	Вдоль фронта котла. Мм.	Перпендикул. нѣ фроноу котла. Мм.	Высота. Мм.
	Вдоль фронта котла.	Перпендикул. къ фроноу котла.											
150	9	13	4000/5000	76/83	3	1100	2400	1	1250	2000	6009	2390	6500
200	12	"	"	"	3	"	2900	1	"	2500	"	2910	"
250	15	"	"	"	3	"	3300	1	"	2900	"	3370	"
300	18	"	"	"	3	"	3800	1	"	3400	"	3820	"
350	21	"	"	"	3	"	4300	1	"	3900	"	4350	"
400	24	"	"	"	3	"	4700	1	"	4300	"	4740	"
500	30	"	"	"	3	"	5500	1	"	5000	"	5600	"



Фиг. 116.

развальцовки. Задній пучокъ трубокъ, который оmyвается относительно холодными газами, является собственно подогревателемъ воды. Въ этотъ пучекъ поступаетъ изъ задняго верхняго барабана питательная вода. Паровыя пространства всѣхъ трехъ барабановъ соединяются трубками, иногда—такъ, какъ указано на фиг. 115, а иногда—такъ, что первый барабанъ соединяется со вторымъ, а второй съ третьимъ. Водяныя пространства вверху соединяются только у перваго и втораго барабановъ. Нижній барабанъ, естественно, играетъ роль грязевика. Расположеніе перегородо-

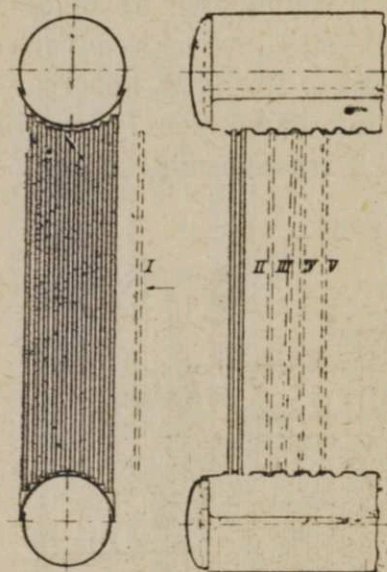


Фиг. 117.

докъ и направленіе газовъ ясно видно изъ чертежа (фиг. 115). Характерные размѣры нѣкоторыхъ частей даны въ таблицѣ 22. Нормально съ одного кв. м. снимается до 25 кг. пару, а при максимальной форсировкѣ — до 35 кг. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія котловъ Стэрлинга—70—75%.

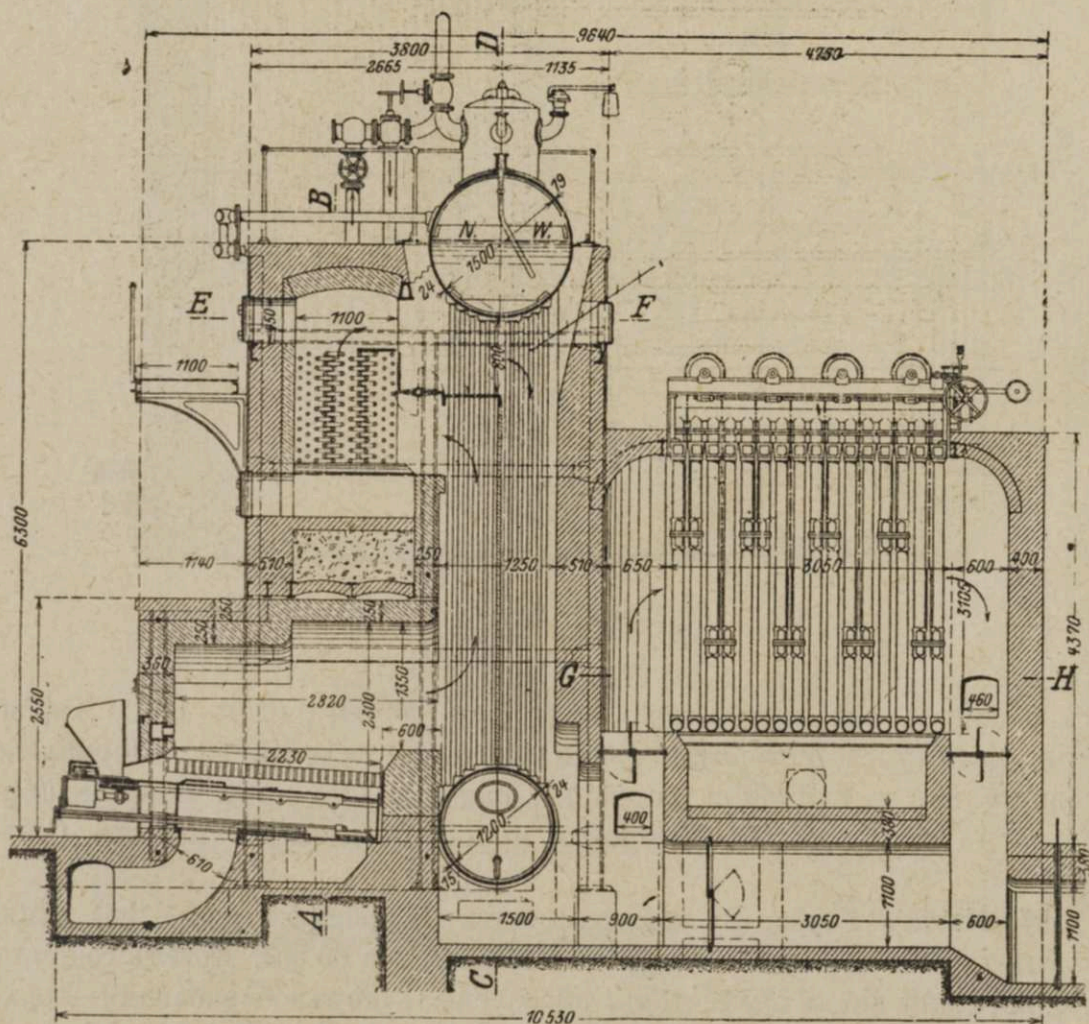
57. Котель Гарбе. Въ котлахъ системы Гарбе (фиг. 118—126) кипятивныя трубки прямыя, діаметромъ обыкновенно 60 мм. Котель состоитъ изъ одного или двухъ элементовъ, образуемыхъ двумя барабанами—верх-

нимъ и нижнимъ, соединенныхъ кипятельными трубками. Барабаны располагаются чаще всего вдоль фронта котла, а при двухъ элементахъ—исключительно такимъ образомъ.

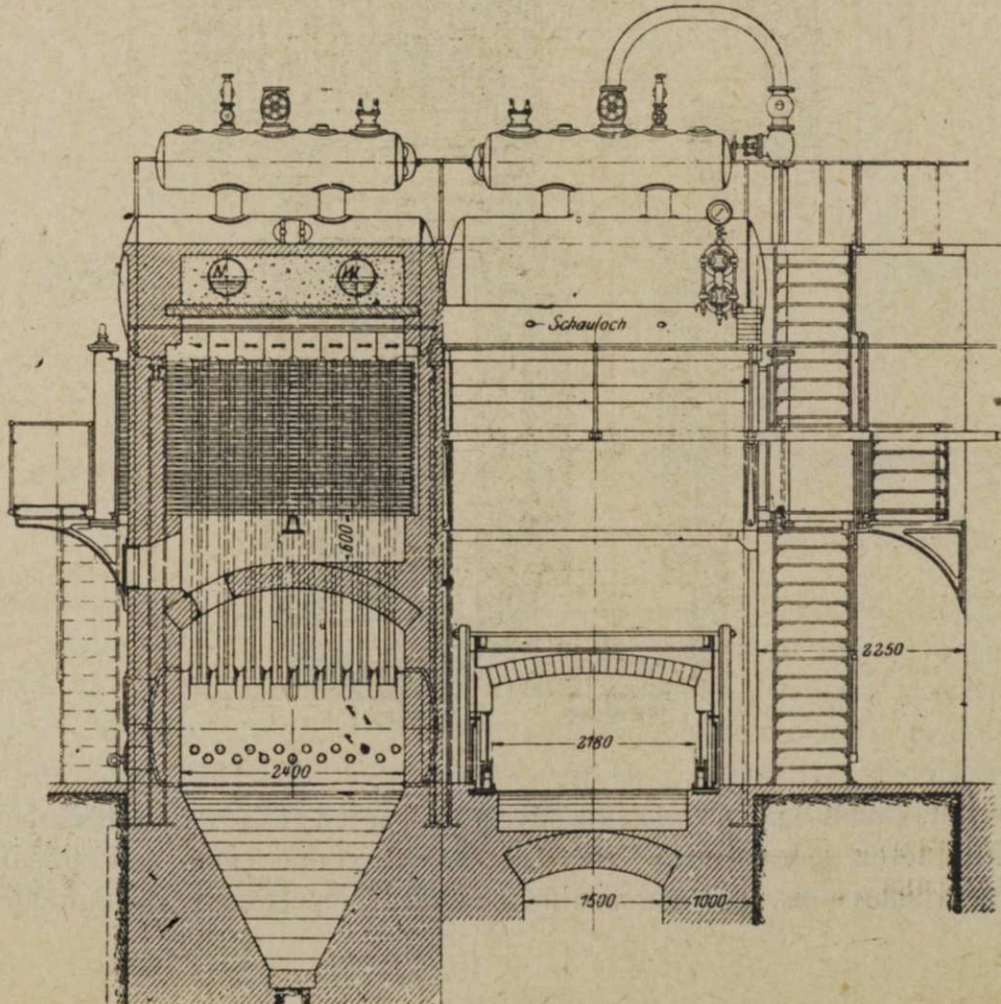
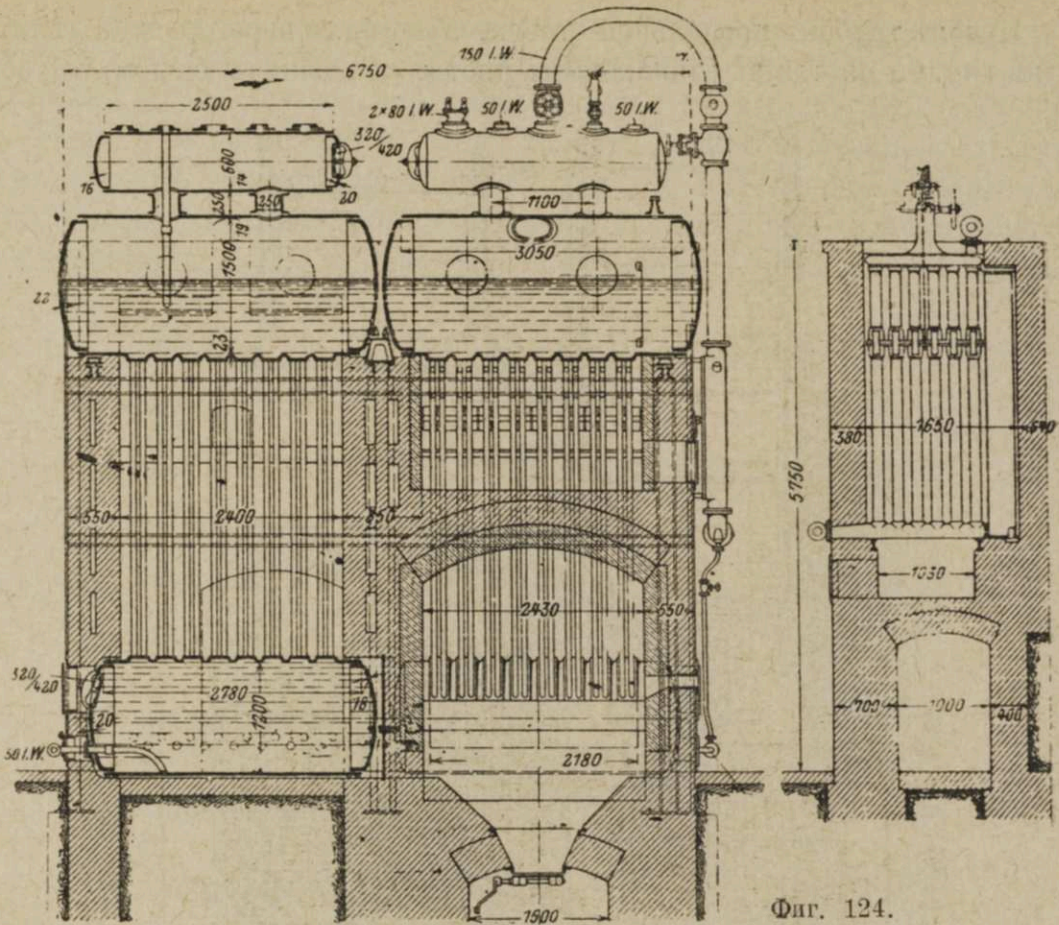


Фиг. 118.

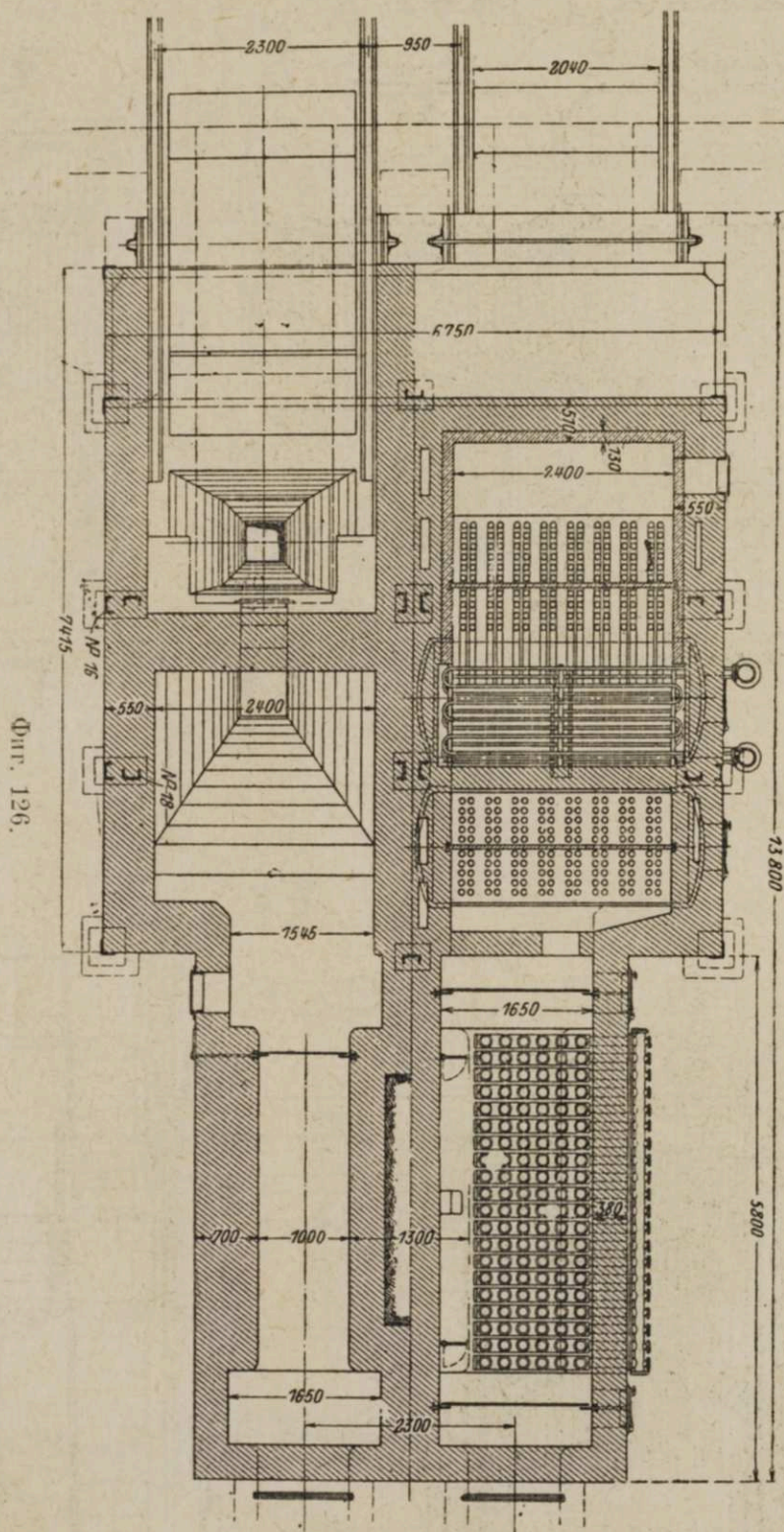
Чтобы при прямыхъ трубкахъ оказалось возможнымъ съ достаточной надежностью ихъ завальцевать, не прибѣгая къ чрезмѣрному утолщенію стѣнки барабана, эта послѣдняя отштамповывается уступами и каждый уступъ, предназначенъ лишь для одного ряда трубокъ. Для удобства и самой возможности вставлять трубки уступы раздѣлены на участки, дающіе, каждый, мѣсто лишь для двухъ трубокъ, раздѣленные впадинами такой ширины и глубины, чтобы въ нихъ можно было завести конецъ трубки, предварительно соответственнымъ образомъ наклоненной. Фиг. 118 даетъ ясное представленіе о способѣ вставленія трубокъ. Разстояніе между осями трубокъ въ поперечномъ, относительно осей



Фиг. 119.

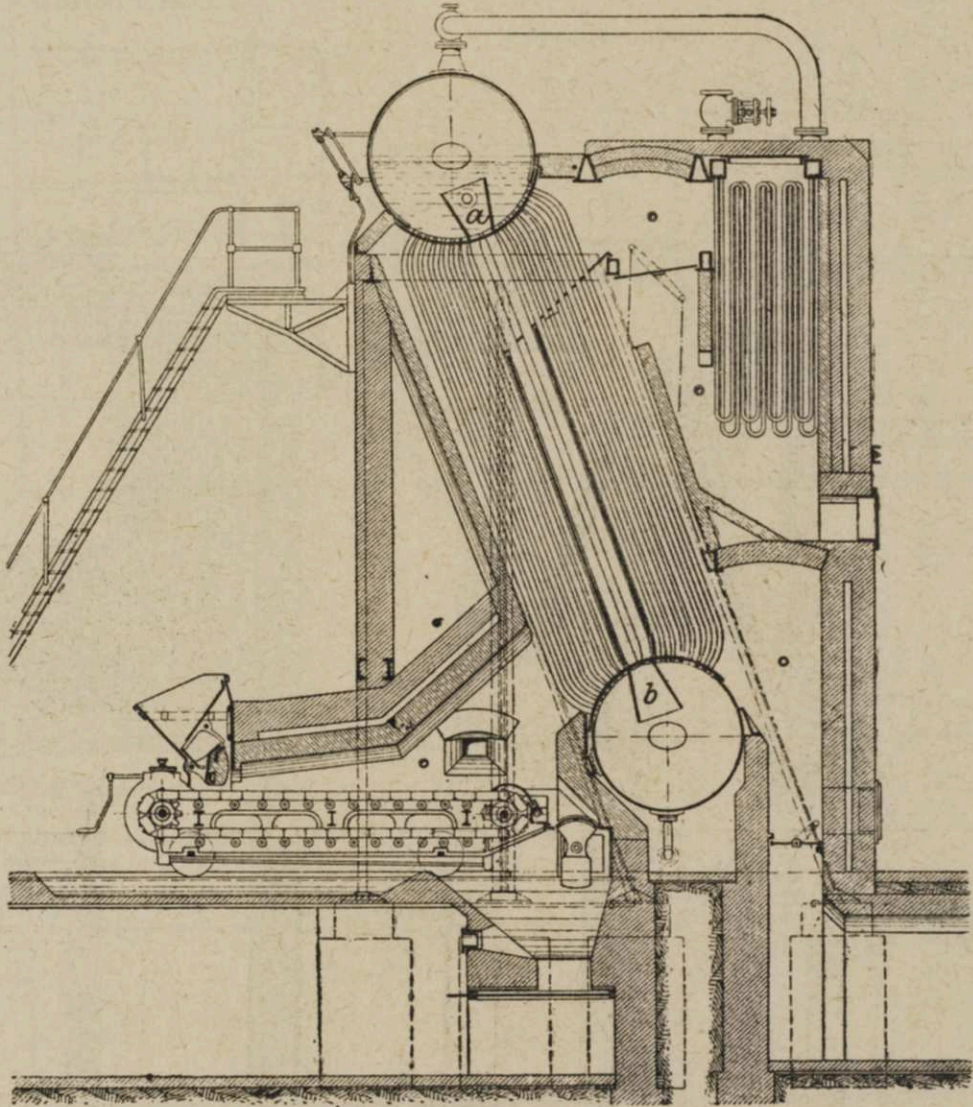


Пучокъ трубокъ продольной относительно нихъ перегородкой дѣлится на двѣ группы иногда съ одинаковымъ иногда съ разнымъ числомъ трубокъ



въ каждой. Такое подраздѣленіе обусловливается тѣмъ, какая температура предполагается достаточною для области, гдѣ установленъ перегрѣватель. При вертикальномъ расположеніи элемента перегрѣватель помѣщается

передъ пучкомъ трубокъ, при наклонномъ—позади него, сейчасъ же у конца перваго дымохода (тамъ же, гдѣ онъ находится въ котлѣ изъ двухъ элементовъ, фиг. 123). Питательная вода подается въ верхній барабанъ ближе къ мѣсту, гдѣ расположены устья трубокъ задней половины пучка, чтобы тѣмъ создать условія, благопріятствующія естественному направленію циркуляціи воды. Такъ какъ въ задней половинѣ пучка трубокъ возможно, при соответственныхъ условіяхъ, парообразование, достаточно интенсивное,

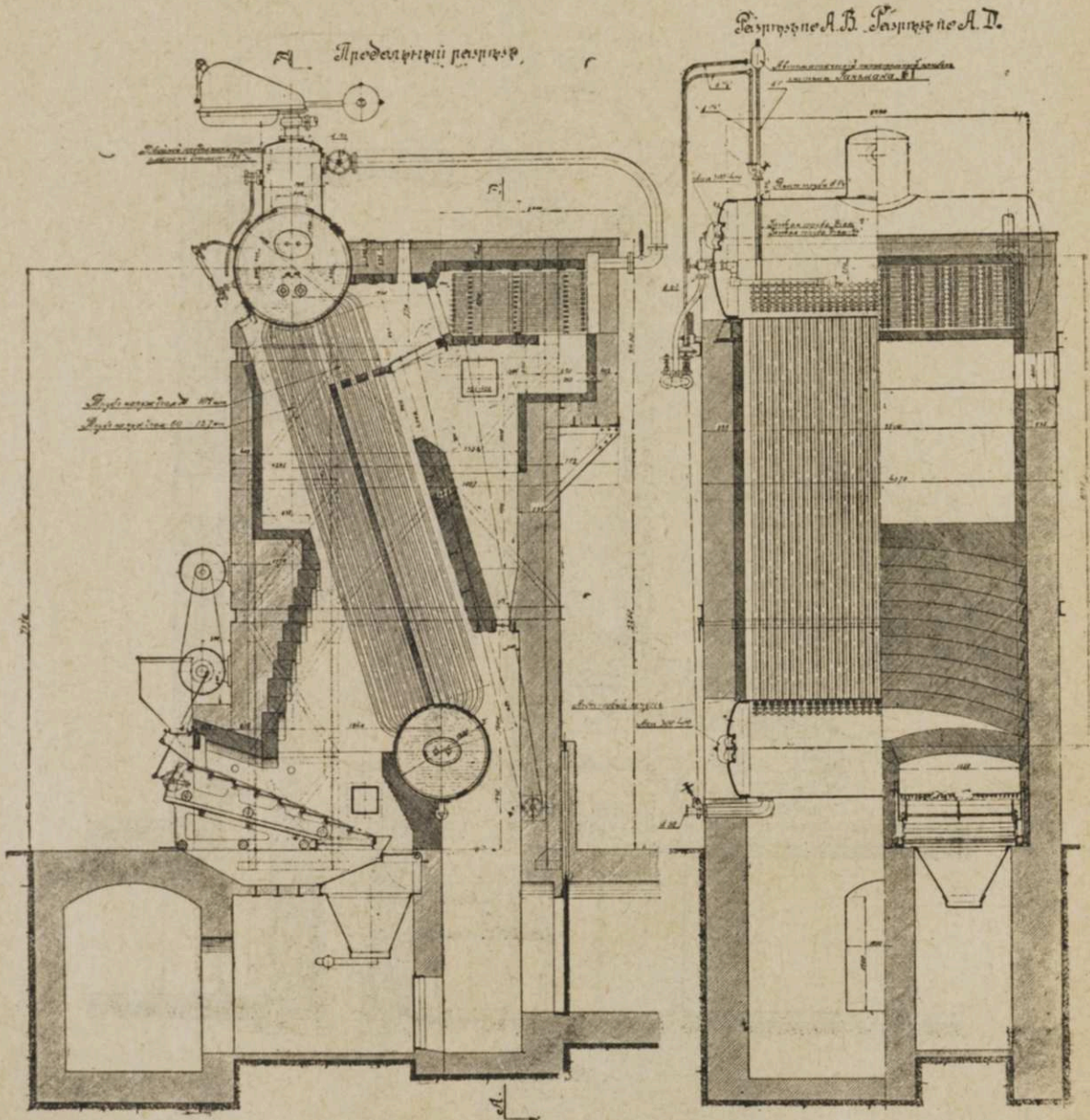


Фиг. 127.

чтобы стать фактомъ, неблагопріятнымъ для естественной циркуляціи, то для потока воды, направляющагося изъ верхняго въ нижній барабанъ, по срединѣ пучка иногда завальцовываютъ трубы бѣльшаго діаметра (до 120 мм.). Эти послѣднія на значительной части своей длины защищаются съ передней и задней стороны перегородками, служащими одновременно и для обычнаго направленія газовъ. Иногда въ эти спускныя трубы вода вливается при посредствѣ входящихъ въ нихъ трубокъ обычнаго діаметра, которыя своими концами задѣланы въ дно желоба, куда подается пита-

тельная вода. Въ таблицѣ 23 приведены данныя о размѣрахъ одиночнаго котла Гарбе.

При двухъ элементахъ (фиг. 123—125), первый, ближайшій къ топкѣ, ставится наклонно, второй—вертикально. Верхніе барабаны соединяются трубами, обнимающими своими устьями и паровое и водяное пространство. Нижніе барабаны тоже соединяются трубами.



Фиг. 128.

Фиг. 129.

Расположеніе перегородокъ, дѣлящихъ пучокъ трубокъ на равныя или неравныя части ясно видно изъ чертежа. Задній, вертикальный элементъ омывается достаточно охлажденными газами, чтобы утратить значеніе испарителя, а стать только подогревателемъ. Поэтому устройство какихъ-либо приспособленій, имѣющихъ въ виду устранить препятствія для правильного хода естественной циркуляціи, становится здѣсь излишнимъ.

Т а б л и ц а 23 к ъ ф и г. 119—122.

Котлы Гарте одиночные, съ поперечными барабанами, Эльзасского Машиностроительнаго Общества въ Мюльгаузенѣ.

Поверхность нагрева.	Кипятильная трубка.		Верхний барабанъ.	Нижний барабанъ.		Колосниковая решетка.		Объемъ.		Площадь водяного пространства.	Наружные размеры кладки безъ экономайзера.					
	Число.	Длина.		Диаметръ.	Длина.	Диаметръ.	Площадь.	Ширина.	Водяного пространства.		Парового пространства.	Перпендикулярно фронту.	Параллельно фронту.		Высота.	
													При котлѣ.	При двухъ котлахъ.		
кв. м.	мм.	мм.	мм.	мм.	мм.	кв. м.	мм.	куб. м.	куб. м.	кв. м.	мм.	мм.	мм.	мм.	мм.	
100	124	4500	53,5/60	1500	2860	1200	2560	2,70	2 × 900	7,12	3,10	4,59	4000	3300	6300	5800
150	160	5000	"	"	3360	"	3160	3,96	2 × 1200	8,83	3,76	5,34	4150	3900	7500	6300
200	200	5500	"	"	4050	"	3760	7,2	2 × 1500	10,84	4,37	6,37	4300	4500	8700	6800
260	240	6000	"	"	4640	"	4360	8,19	2 × 1800	12,82	5,03	7,26	4450	5100	9900	7300
310	280	6000	"	"	5240	"	4960	10,80	2 × 2400	14,63	5,56	8,16	4450	5700	11100	7900
390	480	4500	"	"	8620	"	8340	13,37	3 × 2700	22,60	8,69	13,23	4450	9100	17900	5800
510	540	5000	"	"	9510	"	9240	15,80	3 × 2700	25,63	9,47	14,57	4150	10000	19700	6300
600	540	6000	"	"	9510	"	9240	26,89	3 × 2700	26,89	9,47	14,57	4450	10000	19700	7300

Т а б л и ц а 24 к ъ ф и г. 123—126.

Котлы Гарбе двойные эльзасского машиностроительного общества въ Мюльгаузенѣ.

Поверхность нагрева.	Кипятильная трубка.		Диаметръ.	Верхніе бара- баны.		Нижніе бара- баны.		Колосниковая рѣ- шетка.		Объемъ.		Площадь водяного зер- кала.	Наружные размеры кладки (безъ экономайзера).				
	Число.	Длина.		Диаметръ.	Длина.	Диаметръ.	Длина.	Диаметръ.	Пло- щадь.	Ширина.	Водяного простран- ства.		Парового простран- ства.	Перпендикулярно фронту.	Параллельно фронту.		Высота.
															мм.	мм.	
кв. м.	мм.	мм.	мм.	мм.	мм.	мм.	мм.	к. ем.	мм.	куб. м.	куб. м.	кв. м.	мм.	мм.	мм.	мм.	
180	53,5/60	3000	320	1500	3360	1200	3160	4,68	2 × 1200	17,15	6,68	12,68	6100	3900	7500	5300	
210	"	3500	320	"	3360	"	3160	5,25	2 × 1200	17,51	6,68	12,68	6300	3900	7500	5750	
240	"	4000	320	"	3360	"	3160	6,00	2 × 1200	17,89	6,68	12,68	6800	3900	7500	6200	
300	"	4000	400	"	4050	"	3760	7,50	2 × 1500	21,36	7,96	15,74	6600	4500	8700	6200	
360	"	4000	480	"	4640	"	4360	9,00	2 × 1800	24,60	9,04	16,52	6600	5100	9900	6200	
420	"	4000	560	"	5240	"	4960	10,50	2 × 2100	27,88	10,00	19,32	6600	5700	11100	6200	
480	"	4000	640	"	5840	"	5560	12,00	2 × 2400	31,17	10,98	21,12	6600	6300	12300	6200	
540	"	4500	640	"	5840	"	5560	13,44	2 × 2400	31,17	10,98	20,12	6900	6300	12300	6650	
610	"	4500	720	"	6430	"	6160	15,12	2 × 2700	36,10	11,96	21,90	6900	6900	13500	6650	

Т а б л и ц а 25 к ъ ф и г. 128—129.

Поверхность нагрева. кв. м.	Кипятильные трубки.				Верхний барабанъ.			Нижний барабанъ.			Приблизит. вѣсъ котла.		Мѣсто занимаемое кот- ломъ со вмяткой, но безъ арматуры и гарнитуры.			Количество кир- пича для вмятки.		Площадь колосн. рѣшетки.		Перегрѣватель для перегрѣва до 350°Ц.	
	Нар. діам. = 60 мм.	Средняя длина.	Количество.	Нар. діам. = 70 мм.	Средняя длина.	Количество.	Діаметръ.	Длина.	Количество.	Діаметръ.	При нагр. пара 12 атм.	При нагр. пара 15 атм.	Длина.	Ширина.	Высота.	Обыкновеннаго.	Отъепорнаго.	кв. м.	кв. м.	кв. м.	кв. м.
80	81	2750	57	2750	2750	1	1300	3200	1	1200	2600	930	3480	3500	5970	11500	4900	2,1	20	120	
100	81	3500	57	3500	3500	1	1300	3200	1	1200	2600	980	3680	3500	6700	12400	5500	2,63	25	150	
150	99	4250	70	4250	4250	1	1300	3750	1	1200	3200	1160	3900	4020	7350	15750	7700	3,95	38	230	
200	116	4850	84	4850	4850	1	1500	3750	1	1200	3200	1380	4160	4020	8230	18100	9700	5,26	50	300	
250	137	5050	102	5050	5050	1	1500	4000	1	1200	3750	1740	4230	4570	8375	20600	11600	6,58	63	380	
300	157	5650	102	5650	5650	1	1500	4000	1	1200	3750	1820	4600	4570	8920	21800	12200	7,9	75	450	
400	215	5400	187	4150	4150	2	1500	4000	1	1800	3900	2835	6600	4570	7830	21900	13450	10,52	100	600	
500	234	6450	187	4970	4970	2	1500	4000	1	1800	3900	3210	7350	4570	8650	26600	16600	13,16	125	750	
600	320	5650	252	4365	4365	2	1500	6800	1	1800	6600	4145	6800	7320	8100	30800	28300	15,8	150	900	
700	352	6000	280	4650	4650	2	1500	6800	1	1800	6600	4450	7200	7320	8350	33000	31000	18,4	175	1050	

На приведенныхъ чертежахъ экономайзеръ установленъ тотчасъ же позади котла. При недостаткѣ мѣста и высокой стоимости площади пола экономайзеръ устанавливается и надъ котлами.

На таблицѣ 24 приведены данныя о размѣрахъ котла изъ двухъ элементовъ.

58. Котель Борзига. Котель Борзига (фиг. 127) отличается отъ котла Гарбе лишь конструктивными деталями. Въ немъ не стѣнки барабановъ, а трубки подчинены требованію, обеспечивающему надежность закрѣпленія ихъ въ отверстіяхъ путемъ развальцовки: трубки у мѣста входа въ стѣнки барабановъ получаютъ требуемый изгибъ. Для обезпеченія правильной циркуляціи средній рядъ трубокъ пучка, который дѣлаютъ большаго діаметра, ограждается съ передней и задней стороны огнеупорными перегородками, и надъ устьями трубокъ въ верхнемъ барабанѣ устраивается желобъ, куда поступаетъ питательная вода.

59. Котель Петроградскаго Металлическаго завода. Въ нѣкоторыхъ своихъ вариантахъ этотъ котель (фиг. 128 и 129) имѣетъ большое сходство съ котломъ Борзига. Къ отличительнымъ конструктивнымъ особенностямъ котла относится форма загиба трубокъ. Прямолинейный участокъ у всѣхъ трубокъ дѣлается одинаковой длины; равнымъ образомъ, загибъ трубокъ дѣлается такимъ, что каждая трубка оказывается годной для установки въ любомъ мѣстѣ пучка — стоитъ только ее по мѣркѣ обрѣзать.

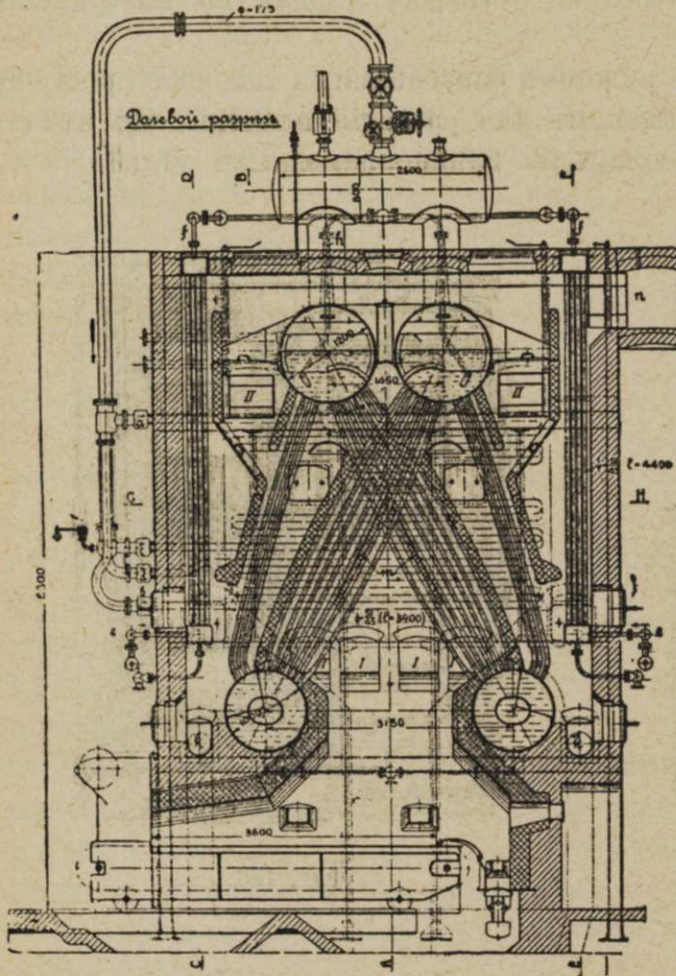
Таблица 25 даетъ цифры характеризующія размѣры котла при различныхъ величинахъ поверхности нагрѣва.

60. Котель Буркардта. Котель (фиг. 130—133) состоитъ изъ четырехъ барабановъ—двухъ верхнихъ и двухъ нижнихъ,—расположенныхъ своими осями параллельно фронту котла и соединенныхъ пучками кипяtilьныхъ трубокъ частью крестъ-на-крестъ, частью прямо. Перекрестно расположенныя трубки предназначаются для восходящихъ потоковъ воды и по числу своему преобладаютъ, составляя 70% трубчатой поверхности нагрѣва котла. Послѣднее обстоятельство обусловливаетъ относительно малую скорость движенія воды въ восходящихъ потокахъ, а слѣдовательно и болѣе спокойное выдѣленіе пара, что необходимо для полученія его болѣе сухимъ. Боковые, соединяющіе барабаны, пучки трубокъ предназначены, въ силу условій ихъ обогрѣва, для нисходящихъ потоковъ воды, и питательная вода, направляемая въ верхніе барабаны, подводится близко къ устьямъ этихъ трубокъ.

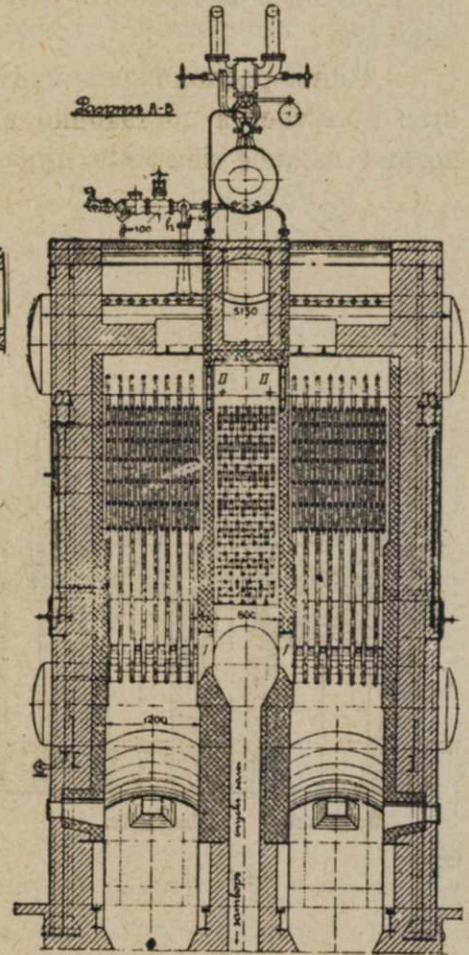
Вставленіе и выемка трубокъ, а также ихъ чистка, производятся черезъ особые люки, устроенные въ стѣнкахъ верхнихъ барабановъ по типу люковъ водяныхъ камеръ. Каждый такой люкъ обслуживаетъ всѣ трубки крестъ-на-крестъ расположенныя, лежащія въ одномъ и томъ же ряду, перпендикулярномъ фронту котла.

Перегрѣватель помѣщается въ особой узкой камерѣ, расположенной въ средней части котла и занимающей по высотѣ пространство между верхними и нижними барабанами. Такимъ образомъ камера перегрѣвателя

раздѣляетъ трубки котла на правую и лѣвую группы, имѣющія, каждая, свое топочное устройство. Обогрѣвается перегрѣватель газами, отвѣтвляющимися непосредственно изъ топокъ и направляющихся въ камеру перегрѣвателя справа и слѣва черезъ окна I. Въ нижнихъ рядахъ трубокъ перегрѣвателя паръ движется параллельно теченія газовъ, что сдѣлано изъ опасенія перегрѣва трубокъ, а въ верхнихъ рядахъ—навстрѣчу.



Фиг. 130.



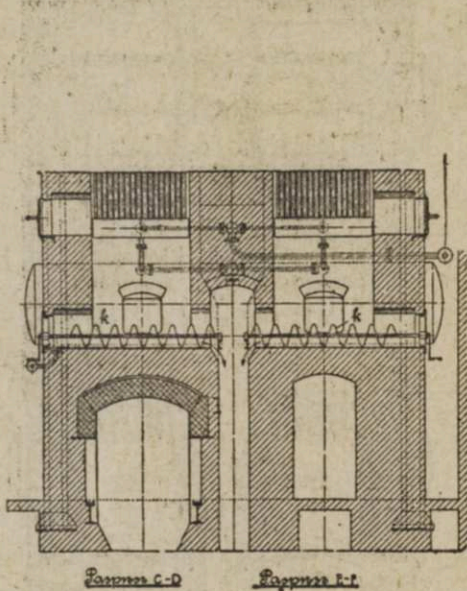
Фиг. 131.

Изъ камеры перегрѣвателя газы выходятъ въ верхней ея части, черезъ окна II, присоединяясь снова къ главнымъ потокамъ газовъ при входѣ ихъ въ дымоходы, гдѣ помѣщаются пучки трубокъ, несущихъ воду изъ верхнихъ барабановъ въ нижніе. По выходѣ изъ этихъ дымоходовъ газы поднимаются вверхъ, омывая трубки экономайзеровъ, послѣ чего уходятъ въ боровъ.

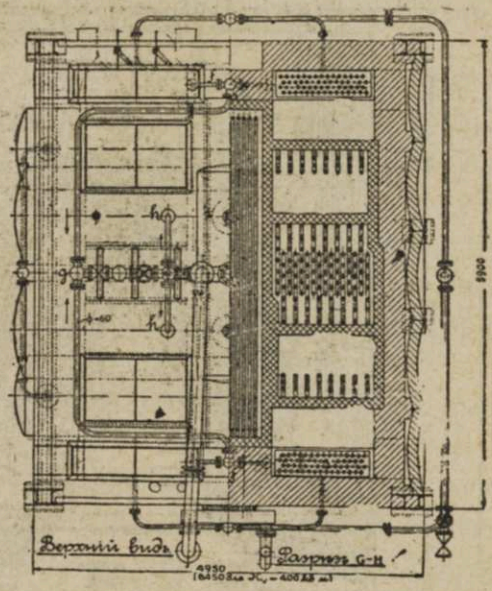
Экономайзеръ состоитъ изъ четырехъ батарей желѣзныхъ трубокъ, завальцованныхъ въ стѣнки камеръ прямоугольнаго сѣченія. Двѣ батареи расположены со стороны фронта котла и двѣ—у задней стѣны его кладки.

Вода въ трубках экономайзера течетъ параллельно движенію газовъ. Это сдѣлано ради того, чтобы охлажденные уже газы не соприкасались съ болѣе холодными стѣнками трубокъ и не произошло бы на поверхности этихъ послѣднихъ конденсаціи. Такая мѣра предосторожности, даже при введеніи въ экономайзеръ предварительно подогрѣтой воды, вполне уместна при желѣзныхъ экономайзерахъ, такъ какъ желѣзо легче подвергается ржавленію, нежели чугунъ, и, слѣдовательно нужно предупредить всякую случайную возможность конденсаціи водяныхъ паровъ на поверхности трубокъ.

Топки расположены подъ нижними барабанами, и топочное пространство получается достаточно высокимъ для развитія пламени, что имѣетъ весьма важное значеніе при сжиганіи длиннопламенныхъ углей.



Фиг. 132.



Фиг. 133.

Передача теплоты лучеиспусканіемъ въ предѣлахъ перваго дымохода обезпечена, въ особенности при длиннопламенныхъ угляхъ, въ достаточной степени.

Присутствіе же перегородокъ, расположенныхъ вдоль трубокъ, обезпечиваетъ высокій коэффициентъ теплопередачи и въ остальныхъ дымоходахъ.

Потеря теплоты въ окружающую среду незначительна (около 4%) благодаря тому, что передняя и задняя стѣны кладки соприкасаются съ холодными дымоходами экономайзеровъ.

Котель, представленный на фиг. 130—133, построенъ для давленія въ 16 атм. при температурѣ перегрѣва въ 350°С.; поверхность нагрѣва его составляетъ 200 кв. м., а пов. нагрѣва перегрѣвателя и экономайзера — соотвѣтственно 94 и 155 кв. м. Площадь колосниковой рѣшетки имѣетъ 8,2 кв. м.

Нормально котель можетъ давать въ 1 часъ 40—50 кгр. пару съ 1 кв. м. поверхности нагрѣва.

Котель Буркардта по своему типу пригоденъ для полученія большихъ поверхностей нагрѣва—не менѣе 200 кв. м.

Судовые водотрубные котлы.

61. Котель Торникрофта (фиг. 134). Весьма интереснымъ по оригинальности своей конструкціи является котель Торникрофта, построенный специально для пароходовъ.

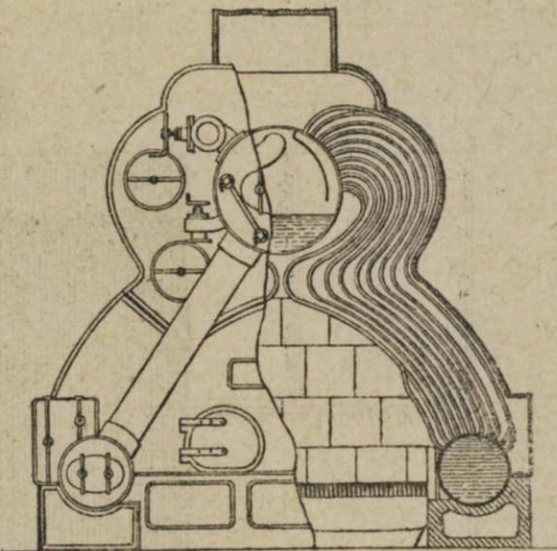
Для быстроходныхъ судовъ представляется вопросомъ первостепенной важности имѣть котель, который, при небольшомъ сравнительно вѣсѣ и размѣрахъ, проявлялъ бы громадную парообразовательную способность.

Торникрофтъ въ своемъ котлѣ выводитъ кипяtilьныя трубы прямо въ верхній барабанъ, слѣдовательно, движеніе пара ничѣмъ не затруднено. Кромѣ того, Торникрофтъ выводитъ трубки поверхъ уровня воды, благодаря чему движеніе воды въ нихъ происходитъ чрезвычайно энергично.

По наблюденіямъ Торникрофта ¹⁾ надъ котломъ, въ стѣнку котораго было вставлено стекло, оказывается, что при такомъ расположеніи трубокъ циркуляція происходитъ въ два раза сильнѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда трубки выведены подъ воду. Произведя измѣреніе при помощи водослива, Торникрофтъ нашелъ, что, при работѣ его котла, черезъ трубки проходитъ въ 105 разъ больше воды сравнительно съ тѣмъ количествомъ, которое подается въ котель.

Эти цифры приведены здѣсь для того, чтобъ пояснить, почему Торникрофтъ остановился на подобной конструкціи; на самомъ же дѣлѣ измѣреніе циркулирующей воды, производившееся внутри парового котла, едва ли могло быть сдѣлано съ надлежащей степенью точности, и потому эти цифры особаго довѣрія не заслуживаютъ. Это подтверждается еще тѣмъ обстоятельствомъ, что котель Ярроу, который построенъ съ трубками, входящими подъ воду, работаетъ не хуже котла Торникрофта.

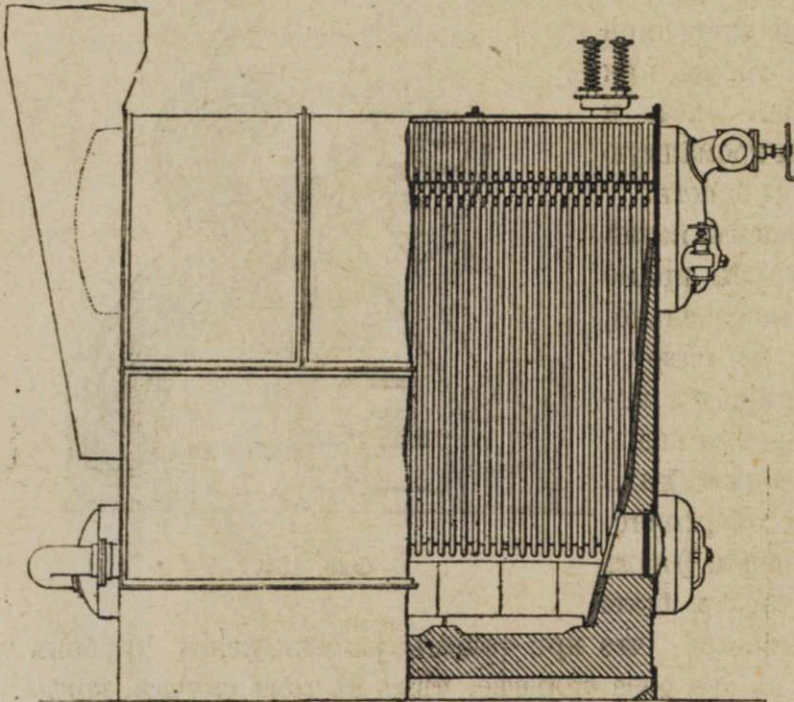
Какъ видно изъ чертежа, котель Торникрофта состоитъ изъ трехъ горизонтальныхъ цилиндровъ, соединенныхъ между собою кипяtilьными трубками. Верхній барабанъ заполненъ водою и паромъ. Для подведенія циркулирующей воды въ нижніе барабаны, имѣются двѣ трубы большого діаметра,



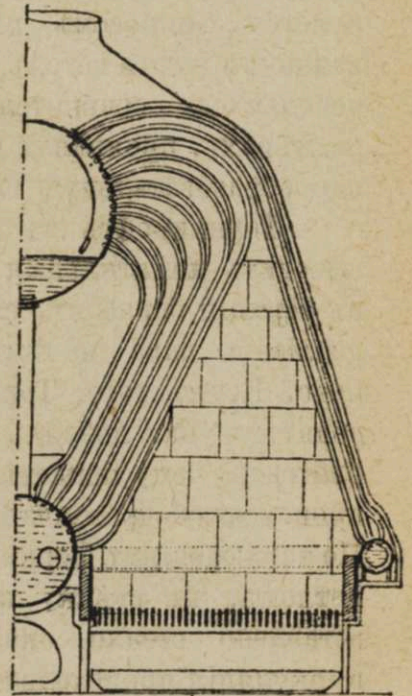
Фиг. 134.

¹⁾ Engineering, March—1894, стр. 399.

расположенныя позади котла. Топка помѣщается между нижними барабанами; продукты горѣнія проходятъ между кипяtilьными трубками, обогревая верхнюю часть барабана, подсушивая паръ, и выходятъ въ трубу. Внѣшнія трубки поставлены плотно другъ къ другу, образуя сплошную стѣнку, уменьшающую потерю тепла черезъ лучеиспусканіе. Весь котель, кромѣ того, закрытъ съ внѣшней стороны кожухомъ. Для того, чтобы производить лучшее отдѣленіе пара отъ воды въ верхнемъ барабанѣ, передъ трубками, поставленъ полуцилиндръ, на который и выливается изъ трубокъ смѣсь пара и воды; вода стекаетъ внизъ, паръ же собирается особой трубой, расположенной вдоль барабана и соединенной съ паровымъ вентилемъ.



Фиг. 135.



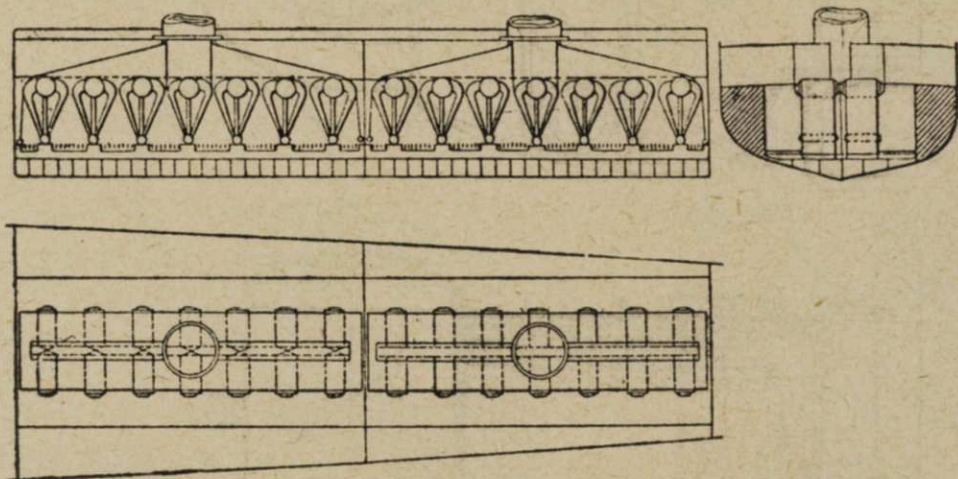
Фиг. 136.

Весьма интересны наблюденія, которыя произвелъ Торникрофтъ со своимъ экспериментальнымъ котломъ надъ явленіемъ, сопровождающимъ парообразованіе. Если вода грязная, то, пропуская черезъ себя паръ, она образуетъ пузыри (подобіе мыльныхъ), которые заполняютъ собою все паровое пространство. При этомъ, конечно, въ паровую трубу вмѣстѣ съ паромъ увлекается масса пѣны, состоящей изъ этихъ пузырей. При быстромъ движеніи по трубѣ пузыри лопаются и загрязняютъ какъ трубу, такъ и тотъ аппаратъ, который питается паромъ. При чистой водѣ такого образованія пузырей не замѣтно, и паръ отдѣляется отъ воды совершенно свободно, незагрязненнымъ.

Если трубки выведены надъ уровнемъ воды, то при чистой водѣ изъ трубокъ все время равномерно выбрасывается поочередно паръ и вода; при грязной же водѣ все время выбрасывается смѣсь пара и воды въ видѣ пѣны.

Если трубки выведены под воду, то выбрасывание воды изъ трубокъ въ обоихъ случаяхъ происходитъ очень неравномѣрно: при чистой водѣ паръ и вода выбрасываются вмѣстѣ, затѣмъ наступаетъ пауза, во время которой вода устремляется обратно въ трубу. То же происходитъ и при грязной водѣ, но только въ болѣе рѣзкой формѣ: смѣсь пара и воды выбрасывается съ большой силой, иногда на высоту всего парового пространства. Поэтому-то, по мнѣнію Торникрофта, трубки, выведенныя подъ воду, должны давать болѣе сырой паръ и легче разогрѣваться при форсированной работѣ, чѣмъ трубки, выведенныя поверхъ уровня воды.

Чтобы получить котель, по возможности, легкій, желательно уменьшать діаметръ всѣхъ его составныхъ частей, и тѣмъ уменьшить толщину ихъ стѣнокъ, а слѣдовательно и вѣсъ. Размѣры горизонтальныхъ цилиндровъ опредѣляются возможностью производить въ нихъ раскатку трубокъ. Торникрофтъ дѣлаетъ нижніе цилиндры 10 дюйм. и производить въ нихъ



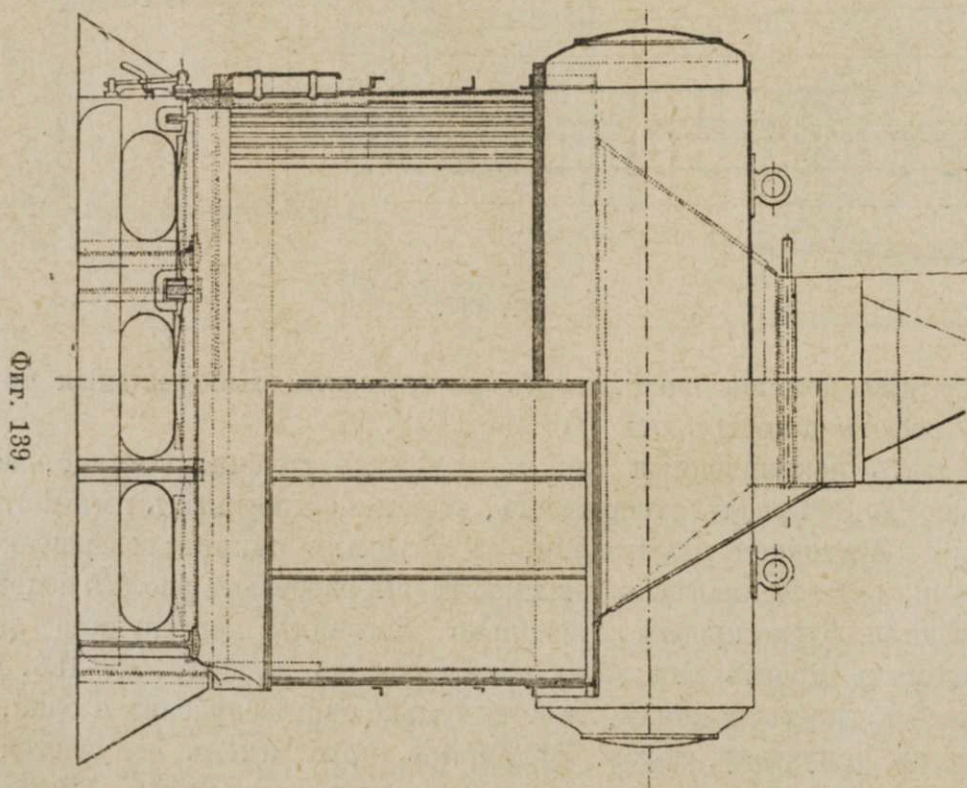
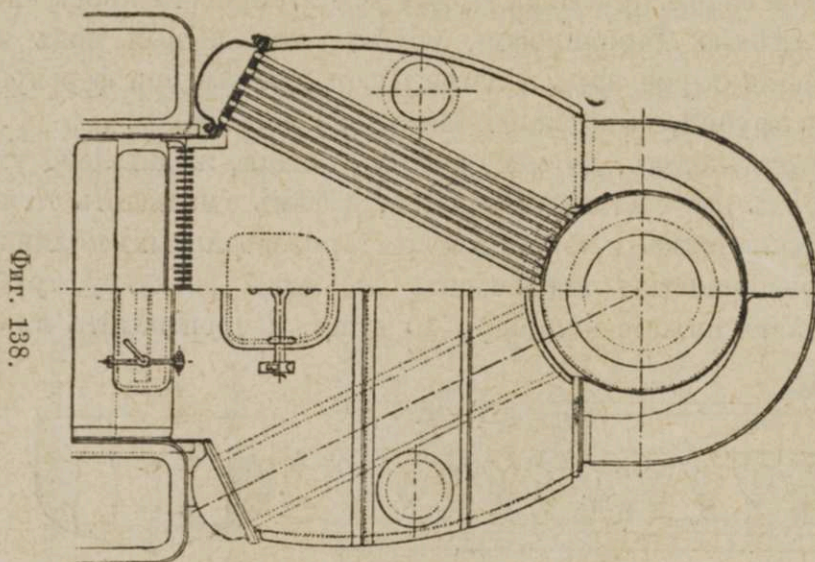
Фиг. 137.

раскатку при помощи специального инструмента. Кипятильныя трубки у него имѣютъ діаметръ отъ $\frac{3}{4}$ " до $1\frac{1}{4}$ ".

Чистить искривленныя такимъ образомъ трубки, конечно, невозможно, но Торникрофтъ утверждаетъ, что въ построенныхъ имъ котлахъ, благодаря энергичной циркуляціи, въ трубкахъ накипи совершенно не образуется, и въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ онѣ работаютъ вполне исправно.

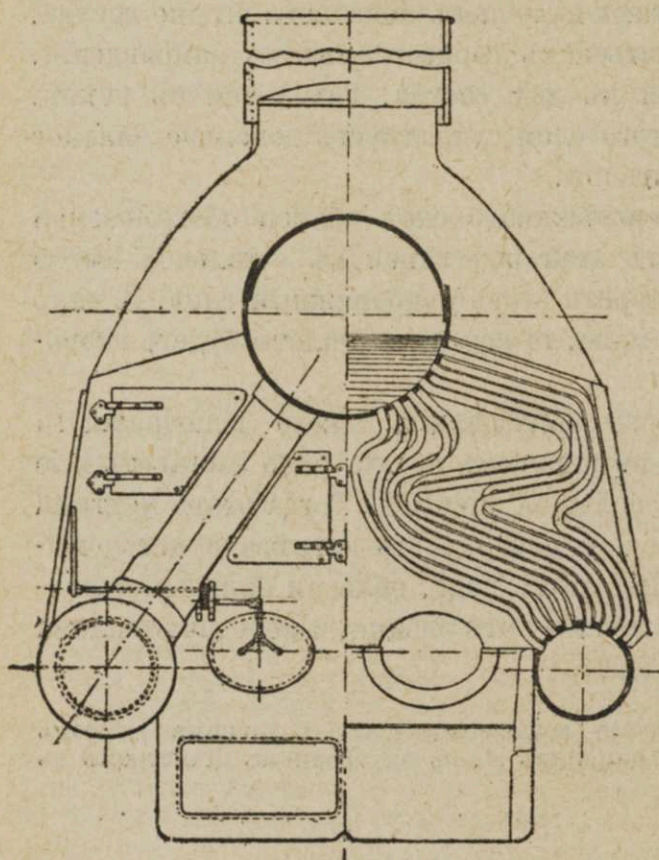
Позднѣе Торникрофтъ нѣсколько измѣнилъ конструкцію своего котла и сталъ строить ихъ такъ, какъ показано на фиг. 135—136. Какъ видно, вмѣсто двухъ нижнихъ, имѣется только одинъ барабанъ и одна, подводящая къ нему воду, труба. Вслѣдствіе этого котель получается нѣсколько легче и вся конструкція его гораздо компактнѣе. Мѣсто для рѣшетки, на которой производится сжиганіе топлива, гораздо больше, слѣдовательно, топка можетъ вестись болѣе форсированно. Кромѣ того, если ставится нѣсколько котловъ вмѣстѣ, то ихъ очень удобно примыкать другъ къ другу и образовывать какъ бы одинъ непрерывный котель съ общей топкой (фиг. 137).

62. Котель Ярроу (Yarrow). На фиг. 138—139 представлен котель Ярроу, вскорѣ появившійся за котломъ Торникрофта и поставленный на самыхъ быстроходныхъ судахъ, принадлежащихъ англійскому и русскому флоту. Какъ видно изъ чертежа, онъ напоминаетъ котель Торникрофта. Отличается отъ него тѣмъ, что имѣетъ прямыя трубки, выведенныя подъ

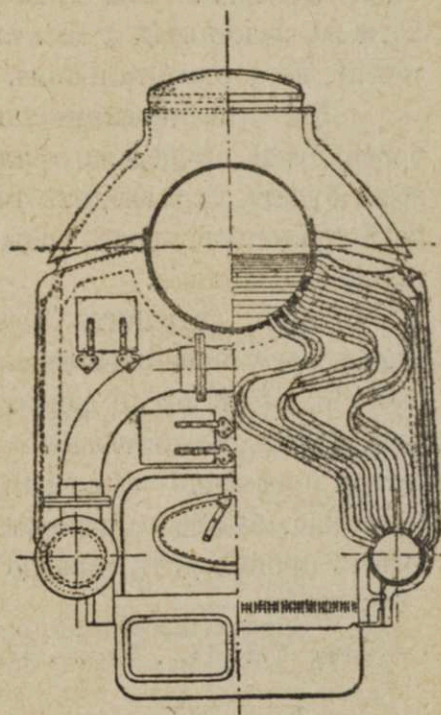


воду, и, кромѣ того, нижніе барабаны составлены изъ двухъ частей, свинченыхъ на флянцахъ, что значительно облегчаетъ очистку котловъ и закрѣпленіе трубокъ. Но вѣсь котловъ выходитъ при этомъ нѣсколько больше. Котлы Торникрофта и Ярроу отличаются, главнымъ образомъ, по формѣ кипяtilныхъ трубокъ. Какой изъ этихъ двухъ типовъ даетъ

наилучшіе результаты въ смыслѣ циркуляціи, остается до сихъ поръ спорнымъ вопросомъ, но, независимо отъ этого, та и другая конструкція имѣетъ свои преимущества и свои недостатки. Прямые трубы считаются болѣе удобными въ томъ отношеніи, что ихъ можно осмотрѣть насквозь и болѣе легко прочистить; съ другой стороны, кривые трубы болѣе упруги и потому, при неравномѣрномъ нагрѣвѣ, не разстраиваютъ плотнаго соединенія трубы съ котломъ. Кривые трубы въ котлѣ Торникрофта являются различныхъ размѣровъ и различной формы, что значительно затрудняетъ замѣну одной трубы другою въ случаѣ ремонта; но зато кривые трубы даютъ большую поверхность нагрѣва при томъ же вѣсѣ и объемѣ котловъ.



Фиг. 140. Дю Тампиль Норманъ.



Фиг. 141. Дю Тампиль новой конструкціи.

Въ настоящее время появилось много различныхъ типовъ котловъ, какъ пароходныхъ такъ и заводскихъ, у которыхъ примѣнены прямые или искривленные трубы малаго діаметра, отъ 18 до 30 мм. Всѣмъ такимъ котламъ присвоено названіе «котловъ экспрессовъ». На фиг. 140—141 приведены нѣкоторые типы такихъ котловъ.

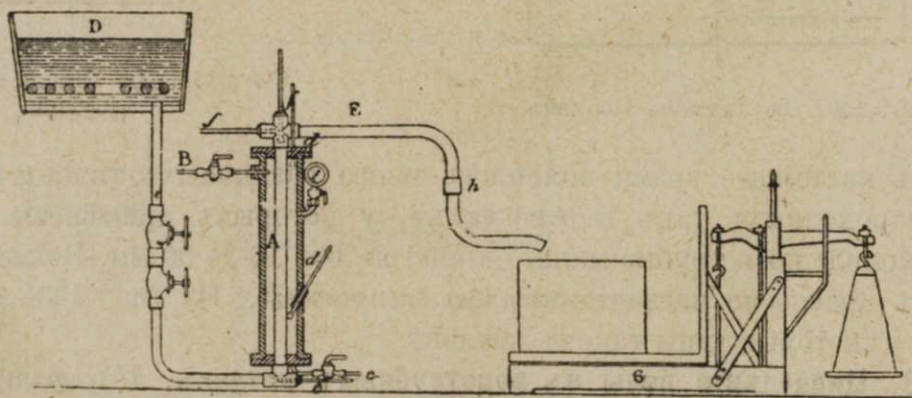
63. Циркуляція воды въ водотрубныхъ котлахъ. Циркуляція воды, т.-е. постоянное подведеніе свѣжей воды къ поверхности нагрѣва, необходима въ каждомъ котлѣ для того, чтобъ заставить стѣнку котла передавать болѣе энергично теплоту и чтобы получить болѣе равномерное распределеніе температуры въ котлѣ, а въ водотрубныхъ котлахъ циркуляція необходима также и для отвода пара изъ трубокъ.

Если мы будемъ нагревать воду въ стеклянномъ сосудѣ, то замѣтимъ слѣдующее явленіе. Въ сосудѣ устанавливается токъ, направленіе котораго всегда одно и то же для каждаго опыта, а именно, жидкость подымается отъ дна около одной изъ стѣнокъ сосуда, проходитъ въ горизонтальномъ направленіи около поверхности и затѣмъ опускается около противоположной стѣнки. Этотъ токъ въ своемъ движеніи увлекаетъ всѣ пузырьки пара, большинство которыхъ прорывается на поверхность, но нѣкоторые пузырьки увлекаются токомъ и при нисходящемъ движеніи. Тонкій слой воды, прилегающій непосредственно къ дну сосуда, которое въ данномъ случаѣ служитъ поверхностью нагрева, остается въ покоѣ, въ чемъ можно легко убѣдиться, если бросить въ сосудъ какіе-нибудь легкіе предметы, напримѣръ—кусочки бумаги. Если какой-нибудь изъ этихъ кусочковъ попадаетъ на дно сосуда, то онъ почти не будетъ передвигаться въ горизонтальномъ направленіи. Слѣдовательно, слой прилегающій къ дну сосуда, находится въ покоѣ, хотя на разстояніи 1 мм. выше этого слоя существуетъ довольно сильное теченіе въ горизонтальномъ направленіи.

При существованіи такого неподвижнаго слоя вблизи обогреваемой поверхности, передача теплоты отъ этой послѣдней къ остальной массѣ воды будетъ происходить только черезъ этотъ неподвижный слой. А такъ какъ теплопроводность воды очень мала, то передача теплоты будетъ значительно ослаблена.

Чтобы устранить возможность образованія такого неподвижнаго слоя воды у поверхности нагрева въ паровомъ котлѣ, надо заставить всю массу воды въ котлѣ двигаться съ большой энергіей. Тогда этотъ мертвый слой будетъ механически смываться, и поверхность нагрева будетъ омываться постоянно свѣжей водой. При этомъ вода, обладая большой теплоемкостью, будетъ быстро отнимать теплоту отъ стѣнки, и передача теплоты будетъ происходить гораздо энергичнѣе ¹⁾.

¹⁾ Справедливость этого заключенія подтверждается слѣдующимъ опытомъ Гегемана (фиг. 142). Черезъ чугунный цилиндръ А, съ внутреннимъ діаметромъ въ



Фиг. 142.

152 мм., проходитъ трубка изъ латуни, діаметромъ въ 49 мм. и толщиной стѣнокъ въ 2 мм. Длина трубки 941 мм. Внутри нея вставлена другая трубка, діаметромъ въ 38,5 мм., такъ что между двумя трубками образуется узкое кольцевое пространство.

Независимо отъ этого, — для правильной работы водотрубнаго котла необходимо, чтобъ образующійся въ трубкахъ паръ сейчасъ же отводился прочь. — Если такое движеніе для пара затруднено, то послѣдній, оставаясь въ циркуляціонныхъ трубкахъ, значительно ухудшаетъ работу водотрубнаго котла. Трубки, заполненные паромъ, сильно перегрѣваются, даютъ большой прогибъ и скоро перегораютъ.

Водотрубный котель находился бы въ особенно благоприятныхъ условіяхъ работы въ томъ случаѣ, если бъ по его трубкамъ все время циркулировала вода въ большомъ количествѣ, которая уводила бы паръ изъ трубокъ и, омывая поверхность нагрѣва постоянно струей свѣжей воды, вызывала бы энергичное охлажденіе трубокъ и совершенную передачу теплоты. Слѣдовательно, энергичная циркуляція воды въ водотрубномъ котлѣ является однимъ изъ первыхъ условій его правильной работы. Посмотримъ же, насколько это требованіе выполняется въ водотрубныхъ котлахъ.

До сравнительно недавняго времени, относительно того, что происходитъ въ водотрубныхъ котлахъ, дѣлались только болѣе или менѣе вѣроятныя предположенія и, на основаніи этихъ предположеній, котлу давали ту или другую конструкцію.

Эта трубка соединяется съ резервуаромъ *D*, наполненнымъ водой, которая можетъ подогреваться до желаемой температуры при помощи пара, проходящаго черезъ змѣевикъ. Къ другому концу кольцевой трубки прикрѣплена трубка *E*, конецъ которой выходитъ въ сосудъ, поставленный на вѣсы. Въ верхнюю часть латунной трубки вставлены термометры *ff*. На нижнемъ концѣ термометръ—*e*. Точно также, вставлены два термометра *d* въ цилиндръ *A*. Во внутрь цилиндра *A* вводится паръ, который въ немъ конденсируется и отводится прочь черезъ кранъ *C*.

Если по латунной трубкѣ пропускать воду изъ сосуда *D*, а въ цилиндръ *A* впускать паръ, замѣчая при этомъ разность въ показаніяхъ термометровъ *f* и *e*, и взвѣшивая воду на вѣсахъ, то по этимъ даннымъ легко вычислить количество теплоты, которое будетъ передано отъ пара циркулирующей по трубкамъ водѣ.

Гагеманъ заставлялъ воду циркулировать съ различною скоростью и замѣчалъ разность температуры пара и выходящей изъ трубки воды, количество теплоты, поглощенное водой, и затѣмъ вычислялъ то количество теплоты, которое передавалось водѣ 1 кв. метромъ поверхности нагрѣва въ единицу времени при разности температуры въ 1° Ц. Изъ опытовъ оказалось, что:

При скорости воды въ метр.	1 кв. метр. поверх. нагрѣва передавалъ калорій:
0,092	14,85
0,140	16,05
0,272	21,50
0,792	42,75
1,238	48,80
1,703	53,40
1,726	54,90
1,808	56,40

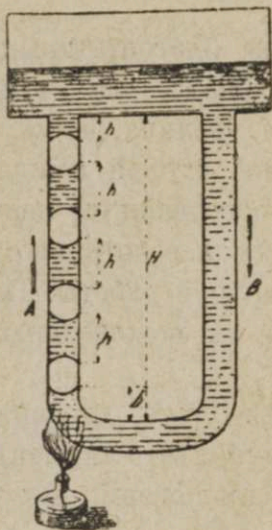
Изъ этого ясно видно, что чѣмъ энергичнѣе циркуляція, тѣмъ болѣе передается стѣнкой теплоты (Приблизительно пропорціонально $\sqrt[3]{}$ изъ скорости воды. См. Б. П. О. 300—03), слѣдовательно, тѣмъ болѣе можно снять пара съ единицы поверхности нагрѣва, не производя при этомъ перегрѣва стѣнки котла, потому что, чѣмъ энергичнѣе отдаетъ стѣнка поглощенную ею теплоту, тѣмъ менѣе она сама нагрѣвается.

Аналогичные опыты были произведены Голлидеемъ.

Аппаратъ, съ которымъ экспериментировалъ Голлидей, состоялъ изъ вертикальной стеклянной трубки, внутри которой помѣщалась спиральная трубка меньшаго діаметра. Вода изъ бака входила въ спиральную трубку снизу и выходила въ верхней

Къ большому выясненію этого вопроса послужили многочисленные, специально произведенные различными лицами опыты, между прочимъ очень интересные опыты Белана (Bellens. Traité des Chaudières à vapeur ¹⁾).

Беланъ говоритъ, что если мы будемъ нагревать воду въ сосудѣ, представленномъ на фиг. 143, то при медленномъ нагреваніи въ немъ проявится и медленная циркуляція. Если нагреваніе усилить, то пузырьки пара увеличатся въ объемѣ, будутъ заполнять всю трубку, какъ показано на фиг. 143 и такимъ образомъ уменьшать вѣсь восходящаго столба въ трубкѣ А, вслѣдствіе чего циркуляція будетъ происходить энергично по направленію стрѣлокъ. Но подобное состояніе удержать при опытѣ очень трудно если интенсивность нагреванія будетъ увеличена, то паръ уже заполнитъ сплошь всю трубку. Если при этомъ въ мѣстѣ соединенія трубки съ сосудомъ мы произведемъ суженіе прохода, чтобъ уменьшить отношеніе поверхности нагрева къ площади проходного сѣченія для пара, то въ результатѣ у насъ получится подъ этимъ суженіемъ новый уровень воды. Циркуляція будетъ ограничена



Фиг. 143.

самой трубкой, поверхность испаренія будетъ крайне ограничена и

части, при чемъ она проходила около двухъ термометровъ, поставленныхъ по конца, спиральной трубки. Пространство, окружающее спираль, было заполнено паромъ, который перегрѣвался, проходя черезъ мѣдную трубку, нагреваемую Бунзенской горѣлкой.

При первыхъ испытаніяхъ выяснилось, что въ то время, какъ источникъ тепла поддерживался постояннымъ, и разность входящей въ спираль и выходящей изъ нея воды была около 150° Фар., количество теплоты, поглощенное водой въ единицу времени возрастало съ возрастаніемъ скорости движенія воды. Этотъ эффектъ мало измѣнялся при повышеніи температуры воды до точки кипѣнія, но степень поглощенія теплоты была меньше при кипѣніи, чѣмъ при температурѣ на 10° ниже точки кипѣнія.

Повидимому, существовала критическая скорость, перейдя которую поглощающая способность падала, иногда довольно быстро. Но это скорѣе слѣдовало приписать ограниченной способности прибора доставлять теплоту.

При слѣдующихъ опытахъ вода, предварительно нагретая въ бакѣ до точки кипѣнія, пропусклась черезъ мѣдную вертикальную трубку снизу вверхъ, при чемъ трубка по всей длинѣ нагревалась горѣлками Флетчера. Выходящая изъ этой трубки смѣсь пара и воды вводилась въ сепараторъ, откуда отдѣленная вода отводилась въ мѣрительный бакъ, а паръ отводился въ конденсаторъ и количество конденсировавшейся воды тоже измѣрялось. Эти опыты имѣли цѣлью выяснить поглощательную способность воды, выдѣляющей паръ и двигающейся съ различными скоростями; присутствіе пара въ первыхъ опытахъ не имѣло мѣста.

Голлидей утверждаетъ, что существуетъ скорость движенія воды, при которой замѣчается максимальное выдѣленіе пара. При чемъ наилучшіе результаты получаются при той скорости, при которой испаряется половина проходящей въ извѣстное время черезъ трубку воды. Этотъ результатъ не зависѣлъ отъ температуръ, которыя имѣли мѣсто внутри аппарата; кривыя опыта при болѣе высокихъ температурахъ имѣли ту же форму какъ и при болѣе низкихъ, но только располагались болѣе высоко на діаграммѣ. Опыты эти, хотя и очень интересные, не могутъ имѣть рѣшающаго значенія, вслѣдствіе недостаточной полноты (Eng. 12 may и 29 dec.—1899). Перечень другихъ опытовъ см. статью Мольте Z. d. V. b. l. 157—1897.

¹⁾ Описаніе различныхъ опытовъ, касающихся до циркуляціи воды въ водотрубныхъ котлахъ, помѣщено въ Бюллетеняхъ Политехническаго Общества, №№ 1, 2. 1899 года.

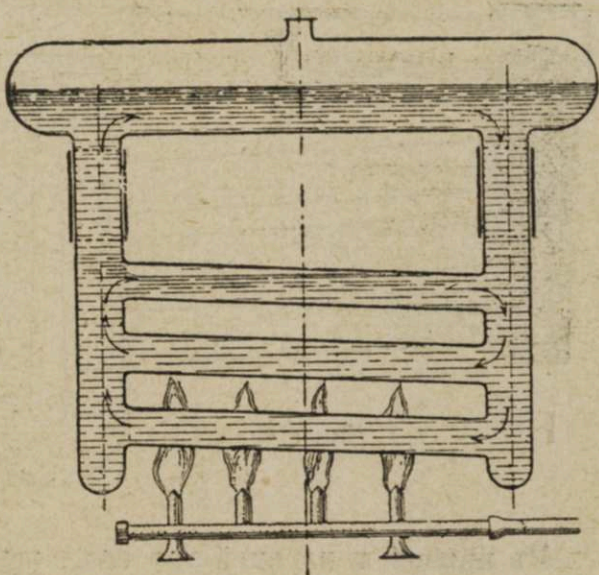
парообразование будет идти очень медленно. Если мы будем при этом повышать интенсивность нагрева, то вся трубка заполнится паром и последний перейдет даже в правое колено В, назначенное для привода воды. Время от времени пар будет выбрасывать всю воду из трубки, после чего трубка снова заполняется водой и парообразование на некоторое время прекращается.

Белань произвел целый ряд наблюдений над действием подобных сосудов, изменяя диаметр вертикальных трубок от 10 до 30 мм. Трубки эти сужения никакого не имели и интенсивность горения велась таким образом, чтобы с единицы поверхности нагрева снималось пара значительно меньше, чем это делается при работе настоящих водотрубных котлов.

Вот каковы результаты его наблюдений:

При слабом нагреве циркуляция тем больше, чем меньше диаметр трубок. Если сечение трубки слишком велико по сравнению с поверхностью нагрева, то в трубке устанавливаются восходящий и нисходящий токи, и пар выделяется из трубки большими пузырями, диаметром во всю трубку, порывисто. Нисходящий поток исчезает, если увеличивать поверхность нагрева или интенсивность горения. Если сечение трубки слишком мало, то трубка заполняется вся паром, который затем через некоторые промежутки вырывается из трубки, выталкивая находящуюся перед ним воду с большой силой, после чего вся трубка снова заполняется водой и на некоторое время парообразование прекращается, потом снова происходит извержение пара и воды и т. д. Это периодическое извержение пара и воды можно всегда получить, независимо от размера трубки и величины поверхности нагрева, изменяя высоту уровня воды над трубкой. Если высота уровня над концом трубки невелика по сравнению с длиной самой трубки, это явление всегда имеет место. Это есть случай водотрубных котлов с трубами небольшого диаметра, выходящими под воду (Ярроу). Такого действие вертикальных труб, — в горизонтальных или наклонных трубах явление происходит несколько иначе.

Для опытов с горизонтальными трубками Белань построил из стекла сосуд (фиг. 144), представляющий из себя котель Бабкока. Трубки имели диаметр 25 мм. При наблюдении над циркуляцией оказалось, что она происходит совсем не так, как предполагал Бабкок. Вода цирку-

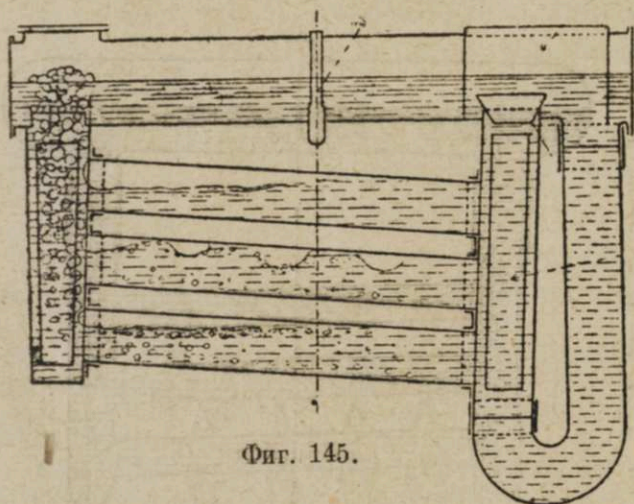


Фиг. 144.

лируетъ, какъ показано стрѣлками, при чемъ верхняя трубка оказывается отчасти заполненной паромъ. Иногда этого пара собирается такъ много, что онъ выходитъ въ правую вертикальную трубку, назначенную для нисходящаго тока, и по ней подымается вверхъ.

Затѣмъ былъ построенъ аппаратъ съ трубками большого діаметра (діаметръ 60 мм. и длина 400 мм., фиг. 145). Діаметръ вертикальных трубокъ былъ тоже 60 мм. Возвратныхъ трубокъ было сдѣлано двѣ, которыя по очереди закупоривались пробкой и позволяли наблюдать дѣйствіе котла въ томъ случаѣ, когда обратный токъ приводится сверху и снизу. Дѣйствіе этого аппарата оказалось слѣдующее.

Опытъ показалъ, что въ верхней наклонной трубкѣ вода движется въ обратномъ направленіи противъ того, какое нужно было ожидать.



Фиг. 145.

Выдѣленіе пара изъ передней вертикальной трубки происходитъ порывами, большими пузырями, вслѣдъ затѣмъ трубка захлебывается водой.

Движеніе жидкости вдоль нижней трубки замѣчается крайне слабое: видно, какъ пузырьки пара поднимаются почти вертикально и собираются около верхней части трубки.

Въ нижней и верхней трубкахъ устанавливаются свободныя поверхности воды; собравшійся надъ ними паръ не выходитъ изъ концовъ трубки до тѣхъ поръ, пока стрѣлка свободной поверхности не достигнетъ величины $\frac{1}{3}$ діаметра трубки. Паръ изъ нижней трубки отчасти попадаетъ въ верхнюю трубку, которая заполняется паромъ тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе идетъ парообразованіе въ нижней трубкѣ. Что касается до средней трубки, то по ней проходятъ все время очень крупныя пузыри пара. Если закупорить обѣ обратныя трубки, то этимъ самымъ вызывается очень сильное круговое движеніе воды отъ нижней трубки къ верхней и обратно, причемъ верхняя трубка почти наполовину заполняется паромъ.

На основаніи этого, легко можно представить себѣ, что происходитъ въ дѣйствительномъ водотрубномъ котлѣ, гдѣ 8, 9, а иногда и 12 трубъ, діаметромъ отъ 100 до 125 мм. и длиной до 6 метр., соединены по концамъ двумя камерами, причемъ нижнія трубы, находящіяся непосредственно надъ источникомъ теплоты, испаряютъ минимумъ 150 кг. съ кв. метр. поверхности нагрѣва. Въ такомъ котлѣ всѣ вышеприведенныя явленія будутъ происходить въ еще болѣе рѣзкой формѣ, и трубы, подверженныя

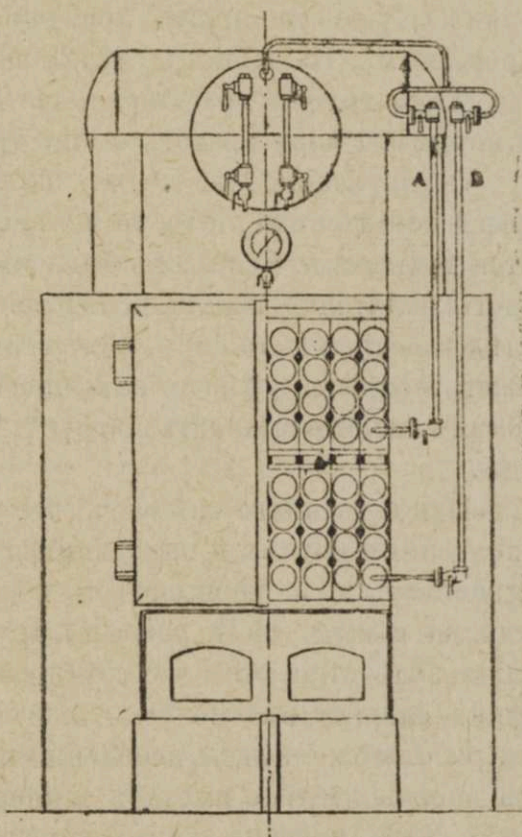
наиболѣе сильному нагрѣву, будутъ почти исключительно заполнены паромъ и сильно перегрѣваться.

Тотъ же самый аппаратъ позволилъ наблюдать еще слѣдующее явленіе, а именно: всѣ твердыя примѣси, находящіяся въ водѣ, осѣдали въ нижней части передняго коллектора, поэтому казалось бы, *грязевикъ слѣдовало бы ставить, именно въ этомъ мѣстѣ*, а не сзади, какъ это обыкновенно дѣлается.

Такимъ образомъ, изъ этихъ опытовъ оказывается, что циркуляція въ водотрубныхъ котлахъ происходитъ очень незначительная.

Этимъ объясняется, почему иногда водотрубные котлы продолжаютъ работать, повидимому, исправно, несмотря на то, что трубы, по которымъ должна притекать циркулирующая вода, почти совершенно затягиваются грязью. Этимъ же объясняется и тотъ фактъ, что котлы Бельвиля работаютъ не хуже другихъ водотрубныхъ котловъ, несмотря на то, что въ нихъ циркуляція завѣдомо отсутствуетъ.

Беланъ приводитъ свои опыты надъ водотрубнымъ котломъ, въ которомъ были поставлены водомѣрные стекла: два на верхнемъ барабанѣ какъ обыкновенно, и два соединенныя съ верхнимъ барабаномъ и затѣмъ съ трубкой, расположенной въ серединѣ высоты, и съ самой нижней трубкой (фиг. 146). Какъ только котель начиналъ давать сильное испареніе, уровень воды въ водомѣрныхъ стеклахъ, поставленныхъ на верхнемъ цилиндрѣ, подымался, а въ другихъ водомѣрныхъ стеклахъ А и В понижался. Разность въ показаніи уровней была тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе шло испареніе. Это вполне ясно под-



Фиг. 146.

тверждало, что трубы были заполнены паромъ, который, вытѣсняя изъ трубокъ воду въ передній конецъ верхняго барабана, повышалъ уровень въ верхнихъ водомѣрныхъ стеклахъ. Въ нижнихъ же водомѣрныхъ стеклахъ уровень долженъ былъ понижаться вслѣдствіе того, что верхъ и низъ этихъ стеколъ оказывались соединенными, оба, съ паровыми пространствами, и часть воды изъ трубокъ выливалась въ котель, пока, при известной высотѣ столба воды, на высотѣ его основанія не устанавливалось равновѣсіе между давленіемъ сверху и снизу. Нужно при этомъ замѣтить, что трубка, соединяющаяся съ водомѣрнымъ стекломъ, заходила во внутрь кипятильной трубки, слѣдовательно, еслибъ въ трубкахъ цир-

кулировала вода, то, вслѣдствіе ударнаго дѣйствія потока воды, уровень въ водомѣрномъ стеклѣ долженъ бы былъ повышаться, и если онъ, напротивъ, понижался, то это ясно указывало, что въ трубкѣ былъ паръ.

Такимъ образомъ, пока парообразование въ водотрубныхъ котлахъ идетъ умѣренно, циркуляція воды въ нихъ происходитъ, хотя и слабая, но довольно правильная. При болѣе сильномъ парообразованіи паръ уже не успѣваетъ уходить изъ трубокъ, и вся передняя часть котла заполняется паромъ; нисходящее движеніе воды по трубамъ, предназначеннымъ для этой цѣли, можетъ прекратиться, и даже можетъ получиться обратный токъ. Съ этого момента начинается опасное состояніе котла: при усиливающемся парообразованіи трубки переполняются паромъ и перегрѣваются.

Здѣсь мы опять встрѣчаемся съ тѣмъ же явленіемъ, о которомъ приходилось уже упоминать при описаніи котловъ съ кипяtilьниками и паровозныхъ. Въ данномъ случаѣ выходъ для пара еще болѣе затрудненъ, такъ какъ трубки представляютъ длинные, мало наклоненные каналы, по которымъ пару двигаться еще труднѣе, чѣмъ въ тѣхъ котлахъ.

Образующійся въ трубкѣ паръ стремится вытолкнуть воду, находящуюся передъ нимъ, и въ то же время онъ давитъ на воду, которая находится подъ нимъ. Если сопротивленіе движенію верхней массы воды и пара будетъ достаточно велико, вслѣдствіе ли сузившагося прохода или, вообще, вслѣдствіе тренія, то паръ, при увеличивающемся отъ нагрѣванія давленіи, можетъ понизить уровень находящейся подъ нимъ воды до такой степени, что самъ начнетъ выходить по трубѣ, назначенной для нисходящаго движенія воды.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что трубки водотрубныхъ котловъ, вообще заполненные паромъ и находящіеся непосредственно надъ топкой, должны раскаливаться и разрываться подъ дѣйствіемъ внутренняго давленія. Если на самомъ дѣлѣ разрывы трубокъ замѣчаются довольно рѣдко, то только вслѣдствіе того, что трубки водотрубныхъ котловъ имѣютъ толщину стѣнки слишкомъ большую для ихъ діаметра и давленія, вслѣдствіе чего онѣ работаютъ съ очень небольшимъ напряженіемъ, и потому, даже нагрѣтыя до сравнительно высокой температуры, сохраняютъ достаточную прочность. Хотя, конечно, при увеличеніи интенсивности работы, въ водотрубномъ котлѣ всегда наступитъ предѣлъ, при которомъ трубки нагрѣваются столь сильно, что потеряютъ свою прочность и разорвутся.

Все сказанное о циркуляціи справедливо по отношенію всѣхъ «горизонтальныхъ» водотрубныхъ котловъ. Трубы, выводящія смѣсь пара и воды на поверхность уровня воды (Штейнмюллеръ), мало помогаютъ дѣлу. Наименѣе удовлетворительно, въ смыслѣ циркуляціи, будутъ работать котлы съ внутренними циркуляціонными трубками, какъ на примѣръ котель Дюрэ и ему подобные.

Что касается «вертикальныхъ» водотрубныхъ котловъ, то въ котлѣ Стэрлинга и въ котлѣ типа Гарбе, если послѣдній состоитъ изъ двухъ элементовъ, и вода подается въ верхній барабанъ задняго элемента, циркуляція должна происходить правильно, такъ какъ нельзя ожидать, чтобы въ труб-

кахъ задняго элемента, обогрѣваемыхъ уже значительно охлажденными газами, имѣло мѣсто интенсивное парообразование, мѣшающее движенію потока воды изъ верхняго барабана въ нижній.

То же самое можно сказать относительно котловъ типа Гарбе одиночныхъ (изъ одного элемента), если имѣется средній рядъ циркуляціонныхъ трубокъ, или внѣшняя циркуляціонная труба.

Въ котлахъ же Гарбе одиночныхъ, если въ нихъ не предусмотрено той или иной специальной циркуляціонной системы, а рассчитывается на то, что въ задней половинѣ пучка трубокъ, обогрѣваемыхъ болѣе холодными газами, вода будетъ двигаться сверху внизъ, возможно нарушеніе нормальной циркуляціи вслѣдствіе интенсивнаго парообразованія и въ задней половинѣ пучка трубокъ при повышенномъ режимѣ котла.

Котлы «Экспрессы» типа Торникрофта, Ярроу и др. поставлены въ условія, болѣе благопріятныя относительно циркуляціи, но и въ этомъ случаѣ, какъ показали опыты Белана, циркуляціи въ полномъ смыслѣ этого слова тоже не происходитъ.

Беланъ устроилъ опытный котелъ Торникрофта, состоящій изъ одной кипятильной трубки. Если послѣ того, какъ въ котлѣ вода нагрѣется до 100° Ц., начать интенсивно нагрѣвать трубку, то замѣчается, что въ трубкѣ образуется большое количество пара, который заполняетъ ее всю и черезъ нѣкоторое время выбрасываетъ вверхъ воду, находящуюся поверхъ его, и оттѣсняетъ внизъ воду, лежащую подъ нимъ. Какъ только вода достигнетъ до выводнаго отверстія изъ трубки, часть ея перельется; сейчасъ же, вслѣдствіе уменьшившагося давленія, нижніе слои воды превращаются въ паръ, и вся масса воды, находящаяся поверхъ пара, выбрасывается вонъ изъ трубы съ большой силой (происходитъ въ маломъ размѣрѣ явленіе гейзера). Послѣ этого трубка снова заполняется водой, уровень ея приходитъ въ равновѣсіе съ уровнемъ воды въ котлѣ и остается въ этомъ положеніи до тѣхъ поръ, пока образовавшійся новый пузырь пара не произведетъ того же явленія. Такимъ образомъ трубка дѣйствуетъ съ перерывами, выбрасывая воду, за ней сейчасъ же паръ, а затѣмъ оставаясь на нѣкоторое время въ покоѣ. Слѣдовательно, непрерывной циркуляціи въ котлѣ Торникрофта не происходитъ и трубки попеременно оказываются заполненными то водой, то паромъ, при чемъ, во время интенсивной работы котла, трубки настолько сильно нагрѣваются, что вода почти моментально, какъ только попадаетъ въ нихъ, испаряется; но образующійся паръ не въ состояніи сейчасъ же выбросить воду находящуюся поверхъ него, поэтому, вообще періодъ, во время котораго паръ заполняетъ трубки, болѣе продолжительный, чѣмъ періодъ, во время котораго трубки заполнены водой, и въ результатѣ трубки должны быть значительно перегрѣты.

Въ котлѣ Ярроу паръ тоже выдѣляется изъ трубокъ съ перерывами, но заполненіе трубокъ происходитъ какъ съ верхняго, такъ и съ нижняго конца. Если обратной трубы въ котлѣ не будетъ, то заполненіе трубокъ водой будетъ производиться только съ верхняго конца. Этимъ объясняется—почему при опытахъ Ярроу, несмотря на уничтоженіе обратной циркуля-

ціонной трубы ¹⁾, котель продолжалъ работать безъ замѣтныхъ перемѣнъ.

64. Преимущества и недостатки водотрубныхъ котловъ по сравненію съ котлами другихъ системъ. Преимущества водотрубныхъ котловъ передъ другими заключается въ томъ, что: 1)—они могутъ быть безопасно применены къ полученію пара съ гораздо большимъ давленіемъ; 2)—удобнѣе для ухода; 3)—менѣе подвержены серьезнымъ поврежденіямъ, и если такое поврежденіе случится, то оно не влечетъ за собою особенно ужасныхъ послѣдствій, какъ въ случаѣ взрыва обыкновенныхъ котловъ; 4)—болѣе легки; 5) быстро растапливаются; 6) вслѣдствіе малаго объема воды, происходитъ сравнительно малая потеря теплоты при частыхъ остановкахъ.

Водотрубные котлы удобны еще тѣмъ, что ихъ можно приготовить состоящими изъ очень небольшихъ частей, которыя легко перевозить или просто переносить на рукахъ въ самыя неприступныя мѣста. Существуютъ, напримѣръ, котлы, отдѣльныя части которыхъ вѣсятъ не болѣе 5 пуд.

Что касается до перваго изъ указанныхъ преимуществъ, то оно остается справедливымъ для всѣхъ системъ водотрубныхъ котловъ, и въ этомъ отношеніи предѣлъ повышенія давленія пара ставится скорѣе паровой машиной, чѣмъ котломъ. Но здѣсь нужно замѣтить, что стремленіе повысить давленіе пара преслѣдуетъ двѣ цѣли: 1) получить болѣе легкую паровую машину и 2) достичь большей экономіи въ горючемъ матеріалѣ. Для достиженія послѣдней цѣли необходимо, чтобъ котель, доставляющій паръ подъ большимъ давленіемъ, былъ бы въ то же время, по крайней мѣрѣ, также экономиченъ, какъ и другіе хорошіе котлы, иначе, то, что мы выиграемъ въ машинѣ, будетъ потеряно въ котлѣ. Кромѣ того, котель долженъ давать сухой паръ. Въ этомъ отношеніи, различныя конструкціи водотрубныхъ котловъ оказываются неодинаковыми. Многіе изъ этихъ котловъ даютъ очень сырой паръ, такъ что необходимо прибѣгать къ искусственнымъ мѣрамъ для отдѣленія воды отъ пара. Вообще въ водотрубныхъ котлахъ паръ получается болѣе сырой, чѣмъ въ котлахъ другихъ системъ, и потому *совмѣстно съ такими котлами нужно устанавливать перегрѣватели пара*, а если этого почему-либо нельзя сдѣлать, то во всякомъ случаѣ необходимо ставить сепараторы для отдѣленія воды.

Для экономичнаго парообразованія необходимо, чтобъ въ топкѣ происходило полное сгораніе и чтобы имѣла мѣсто надлежащая циркуляція продуктовъ горѣнія между поверхностями нагрѣва, соприкасаясь съ которыми, газы могли бы отдать имъ свою всю теплоту и выходили бы въ боровъ при надлежащей температурѣ. Для полного сгоранія, при топкѣ углемъ, необходимъ извѣстный избытокъ воздуха и, кромѣ того, необходимъ извѣстный объемъ топки, для того, чтобы газы имѣли достаточно времени и мѣста перемѣшаться и соединиться съ кислородомъ воздуха, прежде чѣмъ они соприкоснутся со сравнительно холодными стѣнками трубокъ, и температура газовъ понизится до того, что они не будутъ уже въ состояніи

¹⁾ См. опыты Ярроу. Бюллетени Политехнич. О-ва №№ 1 и 2—1899 г.

вступать въ химическое соединеніе. Во многихъ котлахъ, съ большими топочными камерами, это условіе хорошо выполнено, въ тѣхъ же случаяхъ, гдѣ газы до полного ихъ сгоранія прямо попадаютъ въ пространство между трубокъ, они тухнуть, и въ такихъ случаяхъ всегда замѣчается неполное сгораніе и большое присутствіе дыма. На это обстоятельство было обращено особое вниманіе инженеромъ Д'Але (D'Allet), и во французскомъ флотѣ были произведены спеціальныя испытанія надъ котлами, совершенно одинаковой конструкціи: въ одномъ случаѣ газы, не перемѣшиваясь, прямо поднимались между трубками—въ результатѣ получилось неполное сгораніе, уголь далъ испареніе при 100°Ц. только 7,25; въ другомъ случаѣ газы вводились сначала въ особо устроенную камеру для смѣшенія и затѣмъ уже направлялись тѣмъ же путемъ между трубокъ—испареніе получилось 10,76, т.-е. почти на 50% больше.

Такимъ образомъ, экономичное парообразованіе и полное сгораніе топлива въ большой мѣрѣ зависитъ отъ величины толки и размѣра самага парового котла и до нѣкоторой степени находится въ противорѣчій съ малымъ вѣсомъ и малыми размѣрами котла, поэтому въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ приходится выбирать золотую середину въ зависимости отъ того, какое изъ этихъ условій является наиболѣе важнымъ.

Потери теплоты черезъ кладку въ водотрубныхъ котлахъ нѣсколько больше, чѣмъ въ котлахъ съ жаровыми трубами. Что касается до потерь съ отходящими газами, то онѣ въ водотрубныхъ котлахъ могутъ быть меньше, чѣмъ въ котлахъ съ жаровыми трубами. Послѣдніе элементы поверхности нагрѣва водотрубныхъ котловъ болѣе энергично дѣйствуютъ, чѣмъ въ котлахъ съ жар. труб. Это объясняется, вѣроятно, лучшей циркуляціей воды въ этихъ котлахъ.

Въ водотрубныхъ котлахъ очень трудно предупредить *просачиваніе воздуха черезъ кладку*, которая имѣетъ здѣсь очень большую поверхность, и въ особенности черезъ люки для чистки трубокъ отъ сажи. Такое просачиваніе можетъ очень сильно понизить тепловой эффектъ толки, и потому на него слѣдуетъ обращать особое вниманіе.

Не малое вліяніе на экономичность эксплуатаціи оказываетъ *прочность котла и удобство ухода за нимъ*. Въ этомъ отношеніи различныя конструкціи водотрубныхъ котловъ являются далеко не одинаково благоприятными. Долговѣчность службы котла зависитъ отъ многихъ причинъ: отъ общей конструкціи котла, отъ матеріала, отъ конструкціи и выполненія деталей. Въ водотрубныхъ котлахъ наиболѣе важнымъ въ этомъ отношеніи является матеріаль трубокъ, такъ какъ онѣ легче всего подвергаются порчѣ. *Наиболѣе прочными нужно признать трубки безъ швовъ, тянутыя изъ мягкаго литого желѣза и еще лучше изъ желѣза съ примѣсью никеля*¹⁾.

¹⁾ На собраніи англійскихъ морскихъ инженеровъ 1899 г. (Naval Architect) Ярроу сдѣлалъ докладъ о результатахъ произведенныхъ имъ опытовъ, съ цѣлью выяснитъ сравнительную пригодность для водотрубныхъ котловъ трубъ изъ мягкой стали и стали съ примѣсью никеля отъ 20% до 25%. Трубы при этомъ подвергались дѣйствию кислотъ и окислительному дѣйствию горячихъ газовъ. Изъ опытовъ оказалось, что трубы изъ стали съ примѣсью никеля несравненно лучше сопротивляются разруши-

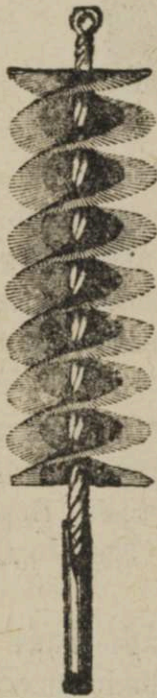
Трубки со сварными швами нежелательны не въ смыслѣ ихъ меньшей крѣпости, такъ какъ прочность этихъ трубокъ все-таки превосходитъ во много разъ напряженіе, вызываемое въ матеріалѣ давленіемъ пара, но въ сваренныхъ швахъ обыкновенно гораздо скорѣе проявляется разъѣдающее дѣйствіе воды, а образовавшееся даже небольшое отверстіе въ трубѣ дѣлаетъ ее, конечно, непригодной для дальнѣйшаго употребленія. Употребленіе гальванизированныхъ трубокъ мало помогаетъ дѣлу, такъ какъ достаточно, чтобъ тонкій слой цинка сошелъ въ какомъ-нибудь мѣстѣ, какъ разъѣдающее дѣйствіе воды быстро распространится по всей трубкѣ. Кромѣ того, присутствіе цинка на трубкахъ, какъ замѣтилъ Торникрофтъ, производитъ внутри котла образованіе взрывчатыхъ газовъ, могущихъ воспламениться при осмотрѣ его. Котлы съ латунными трубками не могутъ употребляться для форсированной работы, въ особенности въ тѣхъ случаяхъ, когда въ питательной водѣ находится жиръ. Торникрофтъ нарочно бралъ образцы жира, отложившагося на стѣнкахъ котла, клалъ его на латунную пластинку и подвергалъ нагреванію. Жиръ сталъ испаряться при температурѣ пластинки, при которой уже сильно нарушалась крѣпость латуни. Изъ этого опыта вполне понятно вредное дѣйствіе жира. Не проводя теплоты, слой жира позволяетъ стѣнкамъ трубокъ нагреваться до температуры его испаренія, и это нагреваніе усиливается еще тѣмъ, что образующіеся пары жира устанавливаютъ дурно проводящій теплоту слой, не допускающій прикосновенія воды съ поверхностью трубки. Поэтому въ котлахъ, работающих форсированно, латунныя трубы не годятся. Мѣдныя трубы, пожалуй, еще можно допустить, такъ какъ температура, при которой нарушается ее крѣпость, значительно выше.

Что касается до конструкціи котла, то для дешеваго содержанія весьма важно, чтобъ каждую испорченную трубку можно было перемѣнить отдѣльно, во многихъ же котлахъ для выемки одной трубки необходимо удалить еще нѣсколько другихъ, что, конечно, значительно удорожаетъ ремонтъ. Такое же вліяніе оказываетъ конструкція котла на удобство осмотра и очистки трубокъ. Въ этомъ отношеніи прямыя трубы имѣютъ всегда большое преимущество передъ искривленными. Многіе строители утверждаютъ, что въ ихъ котлахъ образованія накипи въ трубкахъ происходить не можетъ, вслѣдствіе энергичной циркуляціи. Утвержденіе это *несправедливо*, и если дѣйствительно въ нѣкоторыхъ случаяхъ накипи въ трубкахъ не осаждаются, то это обстоятельство нужно приписать прямо свойствамъ воды, а не энергичной циркуляціи.

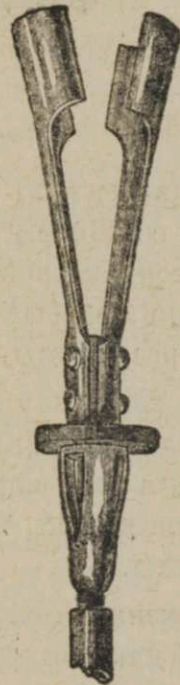
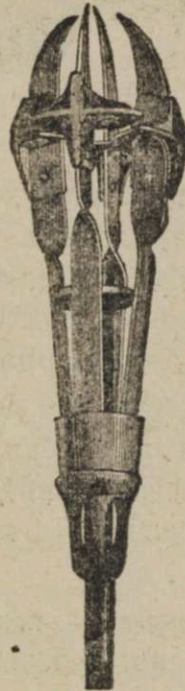
Дѣло въ томъ, что въ водѣ содержатся обыкновенно въ растворѣ углекислыя и сѣрнокислыя соли извести магнезій. Углекислыя соли хорошо растворимы въ водѣ только въ присутствіи углекислоты, и потому, какъ только такая вода попадаетъ въ котель, углекислота изъ нея выдѣляется

тельному дѣйствію горячихъ газовъ, чѣмъ трубы, приготовленныя изъ мягкой стали.
См. также Corrosion of Boiler Tubes. (Mach. 596—7—04).
Докладъ Albert Ladd'a Coldy. Soc. of nav. Arch. and Marin Engs.—04. abstract.
Iron and Steel. Magazine June—04.—656.
I. A. 26 Novemb.—03. Стр. 10.

подъ вліяніемъ высокой температуры, а вмѣстѣ съ тѣмъ выдѣляются изъ раствора углекислыя соли. Если питаніе производится въ верхній барабанъ, то здѣсь выдѣлившіяся соли и осаждаются, но часть ихъ уносится и въ трубки. Выдѣлившіяся такимъ образомъ соли представляютъ изъ себя обыкновенно рыхлую массу, которая дѣйствительно можетъ быть циркуляціей воды промыта изъ трубокъ, хотя во время остановокъ работы котла эта грязь можетъ осѣсть въ трубкахъ и образовать довольно плотную массу, которая не будетъ смыта и циркуляціей, поэтому въ трубкахъ, по крайней мѣрѣ у котловъ, которые періодически останавливаются, всегда замѣчается налетъ въ трубкахъ. Этотъ налетъ не представляетъ большихъ затрудненій при чисткѣ, такъ какъ легко очищается металлической щеткой (фиг. 147), тѣмъ не менѣе присутствіе его вредно для прочности и экономичной



Фиг. 147.



Фиг. 148.

работы котла, и потому допускать большихъ накопленій этого налета не слѣдуетъ.

Совсѣмъ другое происходитъ въ томъ случаѣ, когда вода содержитъ сѣрнокислыя соли. Растворимость ихъ уменьшается только при очень высокой температурѣ воды, и поэтому, вообще, выдѣленія сѣрнокислыхъ солей въ видѣ осадка въ котлѣ не происходитъ. Выдѣляются же сѣрнокислыя соли въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ, вслѣдствіе сильнаго парообразования, происходитъ концентрація раствора, а это какъ разъ имѣетъ мѣсто въ кипяtilныхъ трубкахъ. Здѣсь соприкасающійся съ горячей поверхностью трубки слой воды при испареніи выдѣляетъ растворенныя въ немъ соли, которыя сейчасъ же и прикипаютъ къ стѣнкамъ трубки, образуя очень твердую накипь. Эта накипь никакой циркуляціей воды удалена быть не

можетъ и удаляется съ большимъ трудомъ при помощи специально назначенныхъ для этой цѣли скребковъ (фиг. 148) ¹⁾.

Въ котлахъ, работающих при очень высокомъ давленіи, а слѣдовательно и при высокой температурѣ, часть сѣрноокислыхъ солей выдѣляется въ видѣ осадка, и потому твердой накипи получается меньше.

Большое вліяніе на долговѣчность трубокъ оказываетъ возможность производить очистку сажи и мелкой золы съ внѣшней поверхности, такъ какъ присутствіе золы совмѣстно съ сыростью способствуетъ быстрому разрушенію трубокъ. Въ этомъ отношеніи существуетъ большое различіе между различными системами водотрубныхъ котловъ.



Фиг. 149.

Наконецъ, въ отношеніи удобства ухода также важную роль играетъ способъ соединенія отдѣльныхъ частей. Соединенія эти производятся или просто соприкосновеніемъ металлическихъ частей, или употребляя мягкія прокладки; первыя хотя и болѣе трудныя для исполненія, даютъ всегда лучшіе результаты, чѣмъ вторыя.

То же нужно сказать и о соединеніи трубокъ съ камерами и между собой: одни закрѣпляютъ трубки раскаткой, другіе примѣняютъ винтовые соединенія или, наконецъ, закрѣпляютъ просто на конусахъ. Первое изъ этихъ соединеній, исполненное надлежащимъ образомъ, даетъ наилучшіе результаты.

Ремонтъ водотрубныхъ котловъ болѣе простъ, такъ какъ котель обыкновенно состоитъ изъ небольшихъ частей, легко замѣняющихся запасными частями, но порча такихъ частей происходитъ болѣе часто, чѣмъ порча котловъ другихъ системъ, и потому стоимость ремонта за извѣстный промежутокъ времени можетъ оказаться для водотрубнаго котла не меньше, а можетъ быть и больше, чѣмъ для котла другой системы.

Водотрубные котлы представляютъ громадную выгоду своей легкостью; это особенно важно для пароходовъ: въ то время, какъ обыкновенный цилиндрической котель на одну индикаторную силу, при давленіи въ 11 атм.,

¹⁾ Для очистки накипи существуетъ приборъ «Турбинія» (фиг. 149), который представляетъ изъ себя маленькую турбинку, приводимую въ движеніе водой, проходящей черезъ трубку, къ которой прикрѣпленъ приборъ. Къ турбинкѣ приделаны на шалнерахъ пальцы, оканчивающіеся рифлеными роликами. При вращеніи турбинки, пальцы центробѣжной силой прижимаются къ поверхности трубки и рифлеными роликами счищаютъ накипь. Вода можетъ приводиться отъ питательнаго насоса (подъ давленіемъ въ 6—7 атм.) и сообщая движеніе турбинкѣ, въ то же время смываетъ отдѣленную отъ трубки накипь.

Существуютъ также аппараты, дѣйствующие ударомъ; относительно нихъ нужно сказать то же, что приведено въ примѣчаніи на стр. 72.

вѣситъ 81 кгр., котель Бабкока, при давленіи въ 13 атм. вѣситъ 48 кгр., а котель Бельвиля, при давленіи 17 атм.—45 кгр.

При форсированномъ дутьѣ вѣсъ цилиндрическихъ котловъ около 42 кгр. на инд. силу, вѣсъ котловъ Яроу и Торникрофта около 8,4 кгр., перваго при давленіи въ 10, втораго при давленіи въ 14 атм. При болѣе легкихъ котлахъ пароходъ можетъ взять большее количество груза, или запастись на большее разстояніе дешевымъ углемъ, и, такимъ образомъ, получить значительныя выгоды. Водотрубные котлы могутъ быть легко исправлены на морѣ.

Быстрая растопка водотрубныхъ котловъ обусловливается не только малымъ объемомъ воды, по сравненію съ поверхностью нагрѣва, но и благоприятнымъ распредѣленіемъ температуръ внутри котла, такъ какъ во время растопки циркуляція въ водотрубныхъ котлахъ идетъ энергично. Трубчатые котлы съ внутренней топкой имѣютъ относительный объемъ воды не большій, чѣмъ водотрубные, тѣмъ не менѣе растопка ихъ и уравниеніе температуръ идетъ значительно медленнѣе вслѣдствіе недостаточной циркуляціи.

Что касается до послѣдняго, самаго главнаго преимущества водотрубныхъ котловъ — *ихъ сравнительной безопасности*, то таковая увеличивается по мѣрѣ того, какъ уменьшаются размѣры сосудовъ, содержащихъ воду. Поэтому водотрубные котлы съ большими барабанами представляютъ бо́льшую опасность, чѣмъ, напримѣръ котлы Бельвиля, въ которыхъ вода содержится только въ небольшомъ количествѣ въ трубкахъ малаго діаметра. Тѣмъ не менѣе, вообще водотрубные котлы представляются гораздо менѣе опасными, чѣмъ котлы всѣхъ другихъ системъ. До сихъ поръ неизвѣстно ни одного случая, чтобы водотрубный котель взорвало съ тѣми ужасными послѣдствіями, которыя сопровождаютъ обыкновенно взрывы котловъ другихъ системъ.

Но въ то же время нужно замѣтить, что *незначительныхъ несчастій съ водотрубными котлами случается гораздо больше*, чѣмъ съ котлами другихъ системъ. Въ громадномъ большинствѣ случаевъ эти несчастья заключаются въ томъ, что разрываются кипятильныя трубки или вырываются крышки, закрывающія люки къ этимъ трубкамъ, при этомъ вырывающейся струей пара и воды обвариваетъ стоящихъ поблизости людей. Такихъ случаевъ увѣчья, часто со смертельнымъ исходомъ, было очень много въ началѣ распространенія водотрубныхъ котловъ, но затѣмъ были выработаны мѣры, значительно сократившія число подобныхъ случайностей. Мѣры эти сводятся къ слѣдующему:

Не надо брать трубокъ діаметромъ больше 100 мм., такъ какъ до этого размѣра трубки разрушительныхъ взрывовъ не производятъ.

Вслѣдствіе небольшихъ размѣровъ трубокъ крѣпость ихъ настолько превосходитъ напряженіе, получающееся при работѣ, что случайный разрывъ какой-нибудь изъ трубъ не въ состояніи произвести разрушенія другихъ частей, и все дѣло ограничивается въ такихъ случаяхъ тѣмъ, что изъ разорванной трубы вырывается болѣе или менѣе сильная струя пара и воды, которая, смотря по величинѣ разрыва, можетъ или только дать

знать о томъ, что поврежденіе случилось, или, въ крайнемъ случаѣ, вырвется съ такой силой, что обожжетъ стоящихъ у котла лицъ.

Обсужденіе вопроса о рациональности примѣненія самозапирающихся дверецъ происходило на Висбаденскомъ Собраніи Интернаціональнаго Союза Обществъ по надзору за п. к. 9 сент. 1908. Ни къ какому опредѣленію результату не пришли. Z. D. V. G. 85—7—09.

Для огражденія прислуживающихъ необходимо топочныя дверцы устраивать такимъ образомъ, чтобы онѣ плотно закрывались и не могли сами открываться, въ случаѣ повышенія давленія внутри топки; крышки у люковъ передъ трубами также слѣдуетъ дѣлать вставляющимися изнутри, такъ чтобы онѣ прижимались давленіемъ пара; если крышки поставлены снаружи, то ни въ какомъ случаѣ нельзя допускать подтягиванія болтовъ во время работы котла, такъ какъ отъ этой неосторожности произошло наибольшее число несчастныхъ случаевъ. Дверцы, открывающія доступъ къ люкамъ, нужно дѣлать плотно запирающимися и во время работы котла держать ихъ на запоръ. Всѣ эти предосторожности должны быть сдѣланы съ тою цѣлью, чтобы въ случаѣ разрыва трубки или отрыва крышки люка паръ не могъ быть выброшенъ изъ топки и не могъ обварить стоящаго около котла рабочаго. Для того же, чтобы вырвавшійся изъ котла паръ могъ найти свободный выходъ, въ кладкѣ котла должны быть устроены особые предохранительныя люки, автоматически легко открывающіеся и выпускающіе паръ наружу.

(Болѣе подробно о безопасности водотрубныхъ котловъ см. статью инж. Конпера въ Б. П. О. 405—01).

На основаніи вышесказаннаго нужно признать, что водотрубные котлы являются единственно надежными парообразователями для тѣхъ мѣстъ, по соседству съ которыми бываетъ постоянно большое скопленіе людей, такъ, напр., пароходы, театры и т. д., гдѣ взрывъ обыкновеннаго котла можетъ причинить страшныя несчастія.

Безопасность водотрубныхъ котловъ увеличивается еще тѣмъ обстоятельствомъ, что они, вслѣдствіе особенности своей конструкции, вполне доступны для внутренняго и внѣшняго осмотра и чистки, а потому при внимательномъ уходѣ всякая опасность можетъ быть заранѣе предупреждена. Правда, внутренность трубокъ не можетъ быть вполне хорошо осматриваема, и потому даже при внимательномъ уходѣ случается, что какая-нибудь трубка проржавѣетъ и потечетъ, но такое обстоятельство рѣшительно никакихъ серьезныхъ послѣдствій имѣть не можетъ; сплошь и рядомъ трубки, въ которыхъ показалась течь, работаютъ еще сутки, а то и болѣе, пока явится возможность остановить котель.

Къ недостаткамъ водотрубныхъ котловъ относятъ:

Малое содержаніе воды, вслѣдствіе чего при неравномѣрномъ расходѣ пара трудно удержать постояннымъ давленіе въ котлѣ. Обстоятельство это не особенно важно: въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ дѣйствительно замѣчается большая неравномѣрность въ расходѣ пара, какъ, напр., въ красильныхъ и сахарныхъ заводахъ и т. п.,—тамъ обыкновенно не особенно важно, насколько

равномѣрнымъ сохраняется давленіе въ котлѣ; въ тѣхъ же случаяхъ, гдѣ равномѣрное давленіе желательно, какъ, напр., при работѣ паровыхъ машинъ, тамъ обыкновенно неравномѣрность расхода не проявляется въ столь рѣзкихъ формахъ, и, благодаря чувствительности водотрубныхъ котловъ къ интенсивности, съ которой ведется топка, всегда можно поддерживать давленіе пара въ надлежащихъ предѣлахъ.

Недостатки водотрубныхъ котловъ въ смыслѣ большой влажности даваемого ими пара могутъ быть вполне устранены, примѣненіемъ въ самомъ котлѣ сепаратора и пароперегрѣвателя, что въ настоящее время почти всегда и дѣлается въ тѣхъ случаяхъ, когда паръ расходуется въ паровыхъ двигателяхъ.

Такимъ образомъ *водотрубные котлы при удовлетвореніи приведенныхъ выше требованій, обусловливающихъ ихъ правильную работу, оказываются наиболее совершенными парообразователями и въ громадномъ большинствѣ случаевъ могутъ быть смѣло рекомендованы.*

Съ этимъ, повидимому, согласна и современная практика, по крайней мѣрѣ водотрубные котлы съ каждымъ годомъ находятъ себѣ все большее и большее распространеніе въ разныхъ отрасляхъ техники.

Обыкновенные вертикальные котлы.

65. Обыкновенные вертикальные котлы примѣняются въ тѣхъ случаяхъ, когда не требуется большой паропроизводительности.

Они удобны тѣмъ, что занимаютъ мало мѣста въ горизонтальной плоскости, и потому во многихъ случаяхъ могутъ оказаться очень удобными, если котель не требуется большихъ размѣровъ, въ противномъ случаѣ вертикальные котлы выходятъ слишкомъ высокими и неудобными для ухода.

Котлы эти легко могутъ переноситься съ мѣста на мѣсто; ихъ первоначальная стоимость не велика и къ тому же они не требуютъ кирпичной обмуровки.

Вертикальные котлы въ большинствѣ случаевъ употребляются при небольшихъ двигателяхъ, и здѣсь кетати можно замѣтить, что, несмотря на большое развитіе въ наше время газовыхъ и керосиновыхъ двигателей, спросъ на вертикальные котлы продолжаетъ расти.

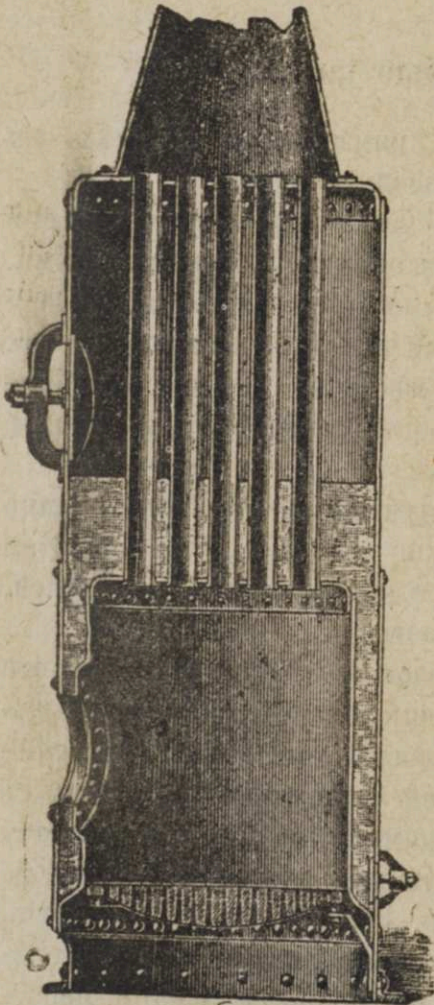
Главные недостатки *вертикальныхъ котловъ* состоятъ въ томъ, что въ нихъ пару приходится проходить черезъ очень толстый слой воды и отдѣляться на сравнительно небольшой поверхности, при этомъ паръ пробивается черезъ поверхность воды съ большой скоростью, увлекаетъ съ собой много воды въ видѣ механической примѣси, и паръ получается очень влажный. Кромѣ того, въ горизонтальныхъ котлахъ, вслѣдствіе кривизны ихъ нагревательныхъ поверхностей, образовавшіеся пузырьки пара сейчасъ же, отдѣляются отъ стѣнокъ котла и поднимаются на поверхность; въ вертикальныхъ же котлахъ этого не происходитъ, а паръ, наоборотъ, прилипаетъ къ стѣнамъ и, поднимаясь кверху, движется все время вдоль нихъ, поэтому между стѣнками котла и водой всегда находится тонкій

слой пара, затрудняющій передачу теплоты. Наконецъ, въ вертикальныхъ котлахъ не такъ удобно устраивать топку, какъ въ горизонтальныхъ, и потому вертикальные котлы работаютъ всегда менѣе экономично, чѣмъ горизонтальные.

Общій недостатокъ большихъ вертикальныхъ котловъ заключается еще въ томъ, что заклепочный шовъ, окружающій устье топки, то подвергается сильному жару, то охлаждается потокомъ воздуха при забрасываніи топлива. Такое попеременное нагреваніе и охлажденіе весьма вредно отзывается на прочности заклепочнаго шва, вслѣдствіе чего вертикальные котлы въ этомъ мѣстѣ очень часто даютъ течь. Поэтому при конструированіи указаннаго соединенія нужно особенно заботиться о его прочности ¹⁾.

Изъ существующихъ вертикальныхъ котловъ укажемъ на слѣдующіе наиболѣе распространенные типы.

66. Трубчатый вертикальный котель съ внутренней топкой (фиг. 150). Въ такихъ котлахъ въ промежуткѣ между внѣшней оболочкой котла и внутреннимъ цилиндромъ собирается всегда много грязи, и для того, чтобы она не особенно пригорала, колосниковую рѣшетку ста-



Фиг. 150.

Табл. 26 къ фиг. 150.

Трубчатые вертикальные котлы, исполняемые заводомъ Julius Söding und Heyde in Hörde (Westfalen).

Котель.		Топка.		Дымогарная трубки.		Поверхность нагрева. кв. метры.
Діам. метры.	Выс. метры.	Діам. метры.	Выс. метры.	Діам. метры.	Число.	
0,500	1,828	0,40	0,5	0,042	14	2,1
0,565	2,110	0,43	0,5	0,042	16	2,8
0,615	2,280	0,46	0,5	0,045	17	3,6
0,665	2,280	0,53	0,57	0,045	21	4,3
0,715	2,280	0,56	0,60	0,051	22	5,0
0,765	2,392	0,61	0,65	0,051	24	5,9
0,820	2,575	0,64	0,68	0,051	25	6,7
0,870	2,585	0,71	0,75	0,051	31	8,0
0,960	2,865	0,81	0,85	0,057	38	9,9
0,960	2,965	0,81	0,85	0,057	32	11,5
1,020	3,050	0,86	0,865	0,057	33	13,1
1,120	3,078	0,96	1,000	0,057	41	15,0
1,170	3,440	0,98	1,050	0,057	45	18,9
1,200	3,880	1,00	1,100	0,070	40	22,5

¹⁾ То же замѣчаніе относится и къ паровознымъ котламъ.

вать нѣсколько выше мѣста соединенія внѣшняго и внутренняго цилиндровъ, гдѣ именно и осѣдаетъ грязь. *Внутренний цилиндръ долженъ проходить ниже внѣшняго* для того, чтобы онъ опирался на кладку и защищалъ нижній заклепочный шовъ отъ дѣйствія сырости, которая развивается въ золѣ. Иногда удлиняется внѣшняя оболочка, какъ показано на чертежѣ, но это неправильно, такъ какъ при этомъ во время ремонта очень трудно вытащить внутреннюю часть, и приходится расклепывать весь котель, что очень нежелательно. Если обѣ части—внѣшняя и внутренняя—оканчиваются на одномъ уровнѣ, то ихъ не слѣдуетъ ставить прямо на кирпичную кладку, а слѣдуетъ ставить на фундаментное чугунное кольцо для предохраненія нижняго шва отъ разбѣданія. Котлы эти быстро образуютъ паръ, но неудобны для очистки. При переменномъ нагреваніи и охлажденіи трубокъ, отъ нихъ отваливается накипь, которая въ большемъ количествѣ остается на рѣшеткѣ, вслѣдствіе чего послѣдняя сильно нагревается и даетъ трещины въ заклепочныхъ швахъ. При чистой водѣ котлы дѣйствуютъ лучше.

Въ описанномъ трубчатомъ котлѣ верхняя часть трубокъ проходитъ черезъ паровое пространство. Хотя подобное положеніе трубокъ является выгоднымъ въ томъ отношеніи, что производить сушку пара, но, съ другой стороны, оно неудобно потому, что трубки обыкновенно скоро ржавѣютъ на высотѣ уровня воды ¹⁾, да, кромѣ того, по существующимъ законамъ обогрѣваніе парового пространства въ нѣкоторыхъ случаяхъ не можетъ быть допущено (см. стр. 2, примѣчаніе 1-е).

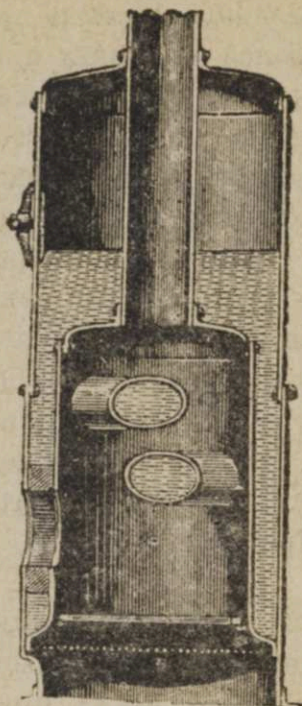
Обыкновенно высота вертикальныхъ трубчатыхъ котловъ дѣлается равной 2 или 2,5 діаметра. Высота внутренней топки берется 1,3 внутренняго діаметра.

Внутреннюю топку лучше дѣлать коническую, при этомъ легче происходитъ отдѣленіе пузырьковъ пара отъ стѣнокъ топки, а для того, чтобы удобно было производить очистку, разстояніе между внѣшнимъ и внутреннимъ цилиндромъ снизу должно быть не менѣе 75 мм., а въ верхней части—не менѣе 150 мм.

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ котла должны быть сдѣланы люки, хотя не большого размѣра, чтобы, просунувъ въ нихъ руку, можно было произвести очистку внутренности котла отъ грязи.

67. Вертикальный котель Лешапеля съ внутренней жаровой трубой (фиг. 151). Для увеличенія поверхности нагрева въ топкѣ сдѣланы поперечныя трубки (родъ Галловеевскихъ); трубки эти обыкновенно дѣлаются съ заварными швами и къ котлу или приклепываются, или тоже привариваются. Противъ каждой трубки на внѣшней оболочкѣ котла помѣщается

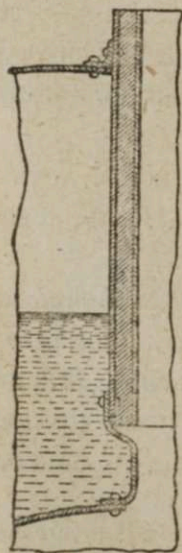
¹⁾ Разбѣданіе трубъ идетъ очень быстро около уровня воды. Вслѣдствіе колебанія уровня, труба періодически то оmyвается паромъ, и при этомъ нагревается болѣе сильно, то оmyвается водой, снова охлаждаясь; вслѣдствіе переменъ температуры происходитъ деформация матеріала, отчего образовавшаяся на трубѣ окалина отваливается и окислительному дѣйствию воды все время подвергается свѣжая поверхность желѣза, которая и разбѣдается быстро; въ другихъ же мѣстахъ находящаяся на поверхности окалина служитъ какъ бы предохранительнымъ средствомъ отъ дальнѣйшаго разбѣданія.



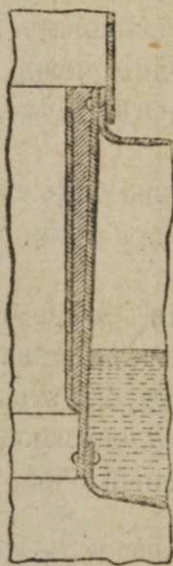
Фиг. 151.

люкъ для прочистки внутренности какъ трубки, такъ и вообще всего котла. Въ этомъ котлѣ труба проходитъ черезъ паровое пространство, и потому можетъ легко подвергаться ржавчинѣ на уровнѣ воды и представлять нѣкоторую опасность отъ накаливанія. Для предупрежденія этихъ неудобствъ трубу въ нѣкоторыхъ случаяхъ ограждаютъ, помѣщая внутри ея другую желѣзную трубу и заполняя пространство между ними огнеупорной глиной, какъ показано на фиг. 152, 153 или помѣщая чугунную трубу (фиг. 154) ¹⁾. Дымовая труба служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ и скрѣпленіемъ верхняго днища съ топкой; но если она не защищена, то можетъ накалиться столь сильно что потеряетъ свою прочность и разорвется. Трубу лучше дѣлать конической, чтобы ее легче было вынимать при ремонтѣ.

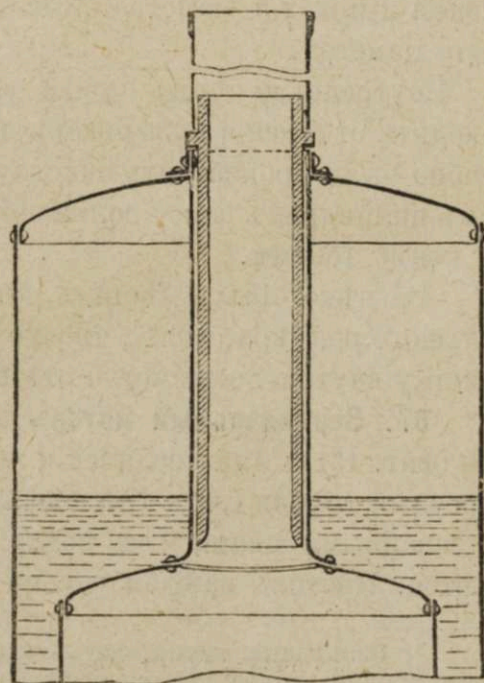
Высота этихъ котловъ, какъ и трубчатыхъ, дѣлается обыкновенно равной 2—2,5 діаметра. Высота жаровой трубы дѣлается 1,6 внутренняго діаметра. Поперечныхъ трубокъ ставятъ отъ 2 до 5, въ большинствѣ 3; діаметръ ихъ въ большихъ котлахъ берется— $\frac{1}{6}$ діаметра жаровой трубы, въ малыхъ— $\frac{1}{4}$ діаметра жаровой трубы.



Фиг. 152.



Фиг. 153.



Фиг. 154.

¹⁾ Присутствіе такихъ предохранительныхъ средствъ необходимо въ вертикальныхъ котлахъ и въ тѣхъ случаяхъ, когда газы подходятъ къ паровому пространству,

Трубы лучше ставить слегка наклонно, чтобъ облегчить выходъ изъ нихъ пара. Иногда ихъ дѣлаютъ коническими. Разстояніе между внѣшнимъ и внутреннимъ цилиндромъ внизу минимумъ 75 мм., а вверху 150 мм.

Бріанъ Донкинъ приводитъ результаты опытовъ съ трубчатыми вертикальными котлами. Для малыхъ котловъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія получился очень малъ: 44%, но для нѣкоторыхъ котловъ онъ достигалъ 76%. Съ квадр. метра поверхн. нагрѣва этихъ котловъ снималось отъ 3,5 до 15 кгр. пару въ часъ.

68. Котель Шухова. Шуховъ въ своихъ котлахъ, исполняемыхъ на заводѣ Бари, поперечныя трубы большаго діаметра замѣнилъ серіей мелкихъ трубокъ. Каждая серія состоитъ изъ семи трубокъ 2" въ діаметрѣ, расположенныхъ какъ показано на фиг. 155—158. Трубки закрѣпляются раскаткой въ плоскихъ стѣнкахъ, которыя получаютъ штамповкой внутренней цилиндрической части котла. Рядомъ помѣщаются два пучка и противъ каждаго изъ нихъ находится люкъ, черезъ который производится раскатка трубокъ, а также ихъ очистка и осмотръ. Положеніе трубокъ слегка наклонное.

Табл. 27 къ фиг. 155—158.

Поверхн. нагрѣва.		Высота котла.	Полная высота котла, включая чужун. переходъ къ діам. трубѣ.	Наружный діаметръ котла.	Количество пучк., состоящ. каждый изъ 7 трубокъ 2".	1 двойной предохранител. клапанъ.	1 паровой вентиль.
кв. фут.	кв. метр.						
60	5,57	5'9"	7'6 $\frac{1}{2}$ "	3'4 $\frac{1}{2}$ "	2	1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$
80	7,43	6'9"	8'6 $\frac{1}{2}$ "	»	4	1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$
110	10,22	7'9"	9'6 $\frac{1}{2}$ "	5 $\frac{1}{4}$ " дюйма. 3 фут.	6	1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{2}$
135	12,50	8'9"	10'6 $\frac{1}{2}$ "		8	1 $\frac{3}{4}$ "	2"
160	14,85	9'9"	11'6 $\frac{1}{2}$ "		10	1 $\frac{3}{4}$ "	2"
180	16,70	10'9"	12'6 $\frac{1}{2}$ "		12	1 $\frac{3}{4}$ "	2"

Рабочее давленіе до 10 атмосферъ (150 фунтовъ).

не омывъ предварительно поверхность нагрѣва въ 20 разъ большую по сравненію съ поверхностью рѣшетки, какъ это требуется закономъ. Нужно имѣть въ виду, что въ вертикальныхъ котлахъ, вслѣдствіе особой конструкции рѣшетки, поверхность раскаленнаго топлива обыкновенно значительно больше, чѣмъ поверхность самой рѣшетки (говоря о площади, занятой отверстиями для притока воздуха), и потому, при пользованіи вышеупомянутымъ правиломъ, нужно брать именно площадь раскаленнаго топлива. Если же требованіе закона не удовлетворяется, то нужно или уменьшать поверхность раскаленнаго топлива, выкладывая внутри котла кирпичное кольцо, или же прибѣгать къ вышеупомянутому огражденію парового пространства. Съ такимъ мнѣніемъ согласно большинство нѣмецкихъ О-въ по надзору за паровыми котлами. См. Z. B. R. V.—63—№ 7—06.

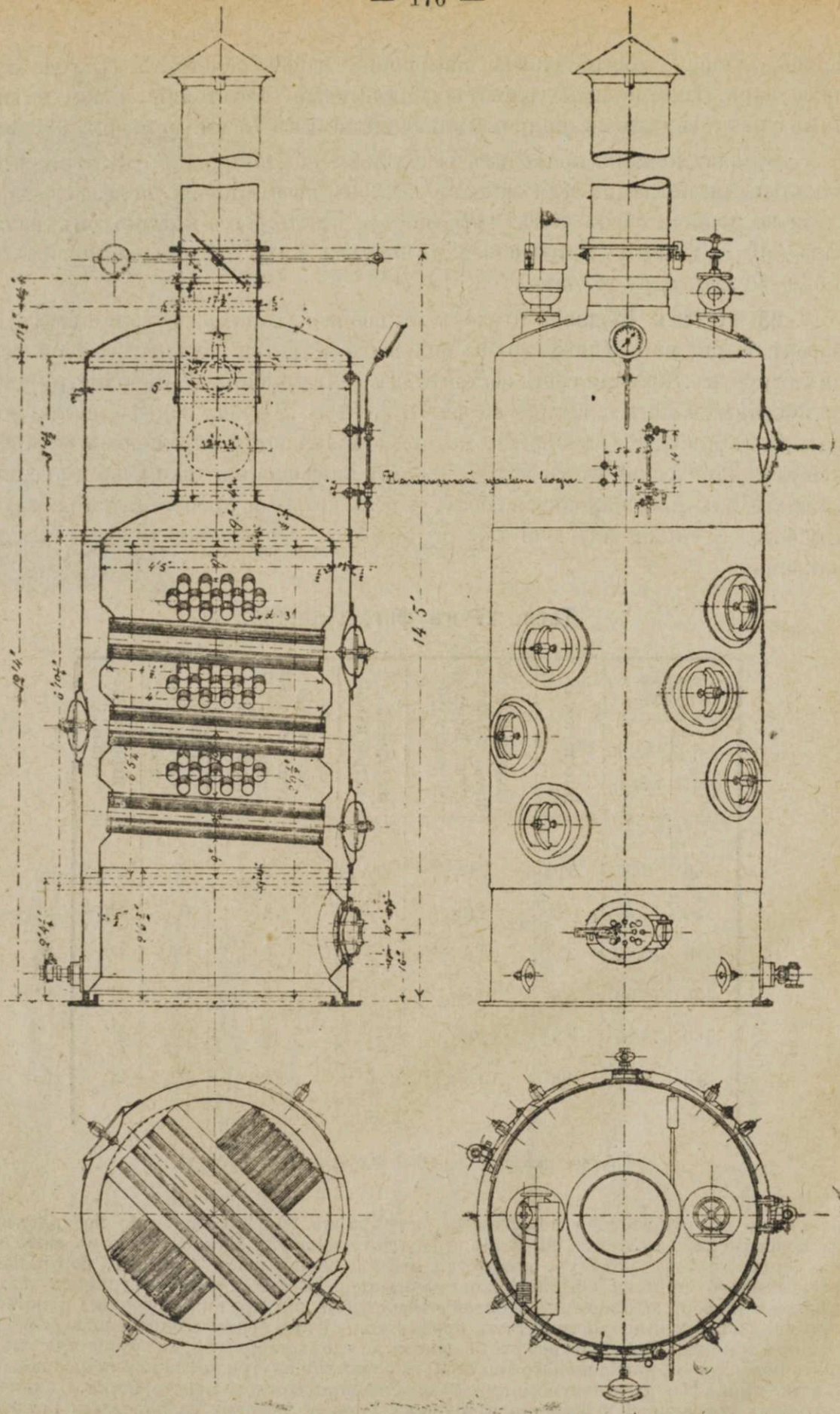


Fig. 155—158.

Таблица 27 (продолжение).

Поверхн. нагрѣва.		Высота котла.	Полная высота котла, включая чугун. переходъ къ дым. трубѣ.	Наружный диа- метр котла.	Количество пучк., состоящ. каждый изъ 13 трубокъ 3".	1 двойной предохран. тел. клапанъ.	1 паровой вен- тель.	
кв. фут.	кв. метр.							
210	19,50	11'00"	12'9 $\frac{1}{2}$ "	3'10 $\frac{1}{4}$ "	Пучки по 7 труб. d=2 $\frac{1}{2}$ ".	2"	2 $\frac{1}{2}$ "	
235	21,80	11'9"	13'6 $\frac{1}{2}$ "	»		2"	2 $\frac{1}{2}$ "	
280	26,00	10'8"	12'9"	5 фут. 2 дюйма.		4	2"	2 $\frac{1}{2}$ "
330	30,65	11'6"	13'7"			5.	2 $\frac{1}{2}$ "	3"
380	35,20	12'6"	14'7"			6	2 $\frac{1}{2}$ "	3"
430	40,00	13'4"	15'5"			7	2 $\frac{1}{2}$ "	3"

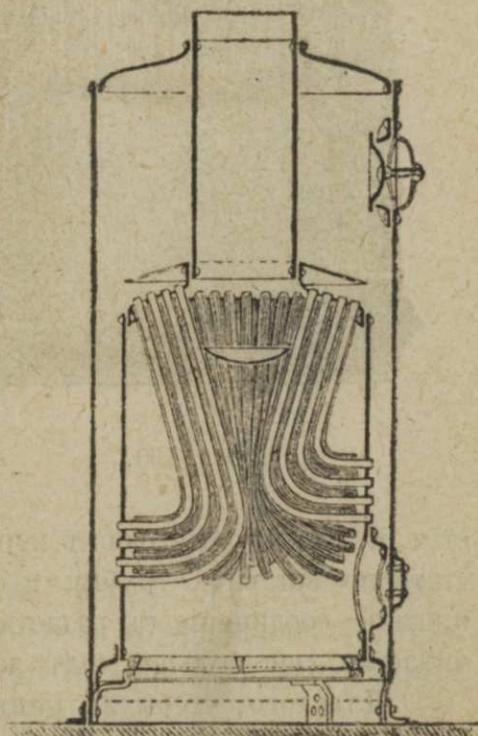
Рабочее давленіе до 8 атмосферъ (120 фунтовъ).

69. Котель Паксмана. Американская фирма Давей, Паксманъ и К^о кипячительнымъ трубкамъ придаетъ форму, показанную на фиг. 159. Такія трубки очень хороши въ отношеніи парообразованія, а также, вслѣдствіе искривленной формы, легко пружинять и не разстраиваютъ прочности со-

Табл. 28 къ фиг. 151.

Котлы Лешапеля, исполняемые заводомъ Н. Paucksch, Landsberg a/Wathe.

Котель.		Топка.		Поперечныя трубы.		Поверхность нагрѣва кв. метры.
Діам., метры.	Выс., метры.	Діам., метры.	Выс., метры.	Діамет., метры.	Число.	
0,650	1,80	0,50	1,20	0,14/0,28	1	2
0,785	2,50	0,60	1,75	0,14/0,28	2	4
0,950	2,80	0,75	2,00	0,14/0,28	3	6
1,000	3,15	0,80	2,35	0,14/0,28	4	8
1,200	3,40	1,00	2,35	0,14/0,28	4	10
1,250	3,40	1,05	2,35	0,20/0,34	4	12
1,300	3,70	1,10	2,65	0,20/0,34	5	14
1,400	3,70	1,20	2,65	0,23/0,37	5	16
1,500	3,70	1,30	2,65	0,23/0,37	5	18
1,570	4,00	1,40	2,95	0,25/0,40	5	20

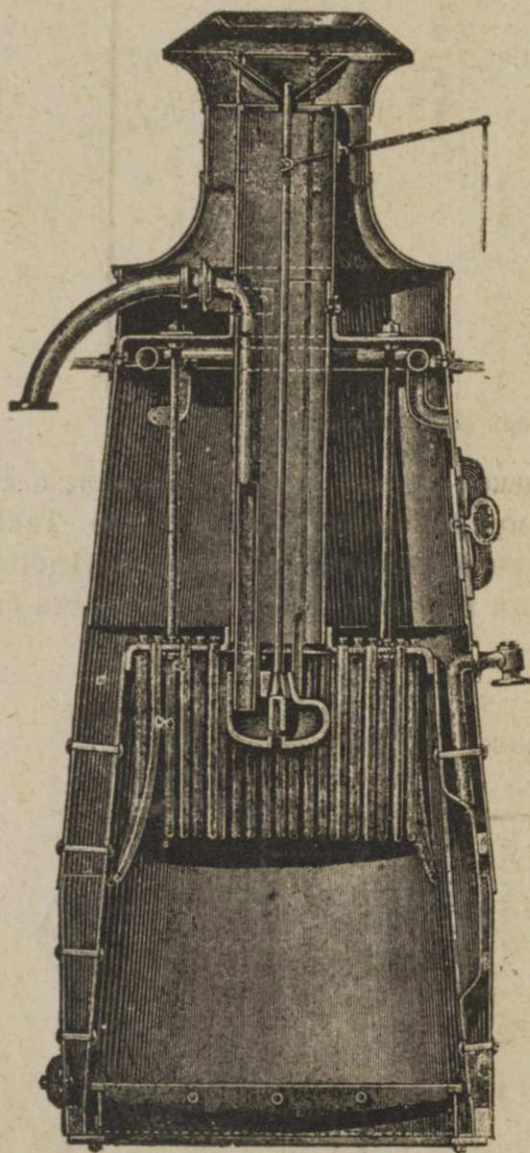


Фиг. 159.

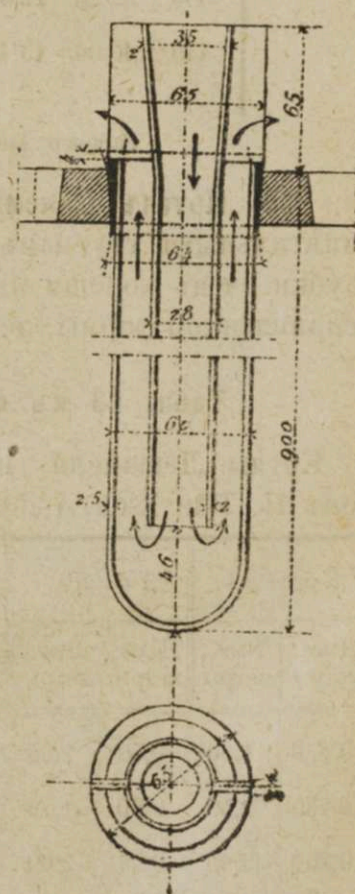
единения, но неудобны тѣмъ, что недоступны для чистки и, если засорятся накипью или перегорятъ, то для замѣны ихъ новыми приходится расклепывать весь котель, такъ какъ иначе трубокъ вставить нельзя.

70. Котель Фильда, бывшій нѣкогда въ большомъ употребленіи. Его особенность въ оригинальной конструкціи кипятильных трубокъ (фиг. 160—163), несправедливо называемыхъ Фильдовскими трубками,

такъ какъ онѣ были изобрѣтены *Перкинсомъ* въ 1831 г. Съ нижняго конца трубки вполне закрыты, съ верхняго—онѣ имѣютъ коническое расширение. Соответственно этому расширенію въ толстомъ днищѣ внутренней трубы котла просверлены коническія отвер-



Фиг. 160.

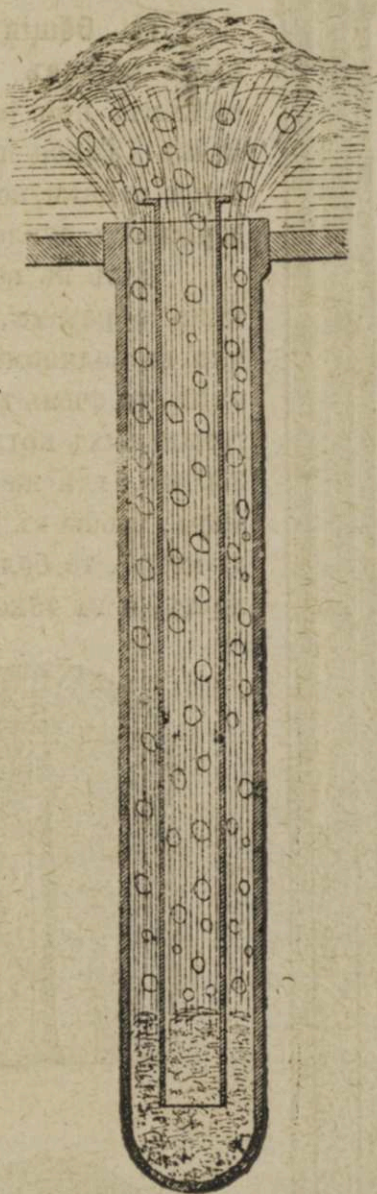


Фиг. 161.

стія. Если конусы трубокъ хорошо пригнаны къ этимъ отверстіямъ, то достаточно вставить трубку и слегка прижать, чтобы получить вполне плотное соединеніе съ рѣшеткой, при чемъ плотность соединенія увеличивается еще больше подъ давленіемъ пара.

Для того, чтобы въ кипятильных трубкахъ происходила циркуляція, внутри ихъ вставляютъ питательныя трубочки, конструкція которыхъ ясна изъ чертежа (фиг. 161).

Фильда рассчитывалъ, что вслѣдствіе быстрого движенія воды, внутри трубокъ не будетъ образовываться накипь; на самомъ дѣлѣ ожиданія Фильда не оправдались. Изъ того, что было ужъ сказано о циркуляціи воды въ водотрубныхъ котлахъ, понятно, что въ трубкахъ Фильда никакой циркуляціи происходить не можетъ. Трубки Фильда дѣйствуютъ совершенно такъ же, какъ маленькіе гейзеры. Паръ, образовавшійся въ нижней части трубочки, заполняетъ какъ внѣшнюю, такъ и внутреннюю часть трубки (фиг. 162); когда давленіе пара достигнетъ достаточной величины, онъ приподнимаетъ находящійся надъ нимъ столбикъ воды, при чемъ, вслѣдствіе уменьшенія высоты давящаго столба, давленіе на нижніе слои воды уменьшается; вся масса воды обращается въ паръ, который и выбрасываетъ съ большою силою все содержимое трубки въ котелъ, послѣ чего трубочка снова заполняется водой. Вслѣдствіе такого дѣйствія трубокъ, нижній конецъ ихъ сильно перегрѣвается и скоро прогораетъ. Кромѣ того, нижній конецъ заполняется накипью, что еще болѣе ускоряетъ перегораніе трубки. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ трубки оказываются совершенно затянутыми твердой накипью (на фиг. 163 представлена трубка Фильда, затянутая накипью; рисунокъ снятъ съ натуры, часть трубки представлена въ натуральную величину). Хотя перемѣнить прогорѣвшую трубку очень легко, но все-таки это сопряжено съ остановкой котла, а такъ какъ трубки прогораютъ довольно часто, то, слѣдовательно, и съ чувствительными расходами; поэтому теперь котлы Фильда выходятъ изъ употребленія. Котлы эти отличаются тѣмъ, что могутъ быть очень быстро растоплены, и обладая малымъ вѣсомъ и объемомъ, даютъ въ то же время сравнительно большое количество пара, почему они почти исключительно нашли примѣненіе для перевозныхъ паровыхъ, пожарныхъ насосовъ.



Фиг. 162.

Здѣсь кстати можно замѣтить, что трубки Фильда ставятся и въ другихъ котлахъ; такъ, напр., ихъ ставятъ въ жаровыя трубы корнвалійскихъ котловъ, но вслѣдствіе упомянутыхъ выше неудобствъ, едва ли могутъ считаться полезнымъ добавленіемъ для такихъ котловъ.

Обыкновенно думаютъ, что трубки Фильда сильно увеличиваютъ парообразовательную способность котла; но это несправедливо. Та часть поверх-

ности нагрѣва, которая лежитъ непосредственно надъ топкой, подвержена, главнымъ образомъ, дѣйствию лучистой теплоты.

Трубки же Фильда, помѣщенные надъ колосниковой рѣшеткой почти не увеличиваютъ поверхности нагрѣва, подверженной дѣйствию лучистой теплоты, почему онѣ и не могутъ оказать незначительнаго увеличенія парообразованія котла.

71. Общія замѣчанія относительно устройства вертикальныхъ котловъ. Верхнее днище обыкновенно дѣлаютъ сферическимъ, при радиусѣ сферы, равномъ диаметру внѣшней оболочки. Такое днище, если оно имѣетъ толщину, равную толщинѣ стѣнки котла, считается достаточно прочнымъ, чтобъ выдерживать давленіе безъ всякихъ скрѣпленій.

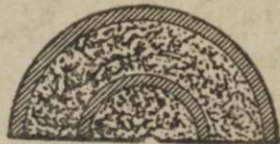
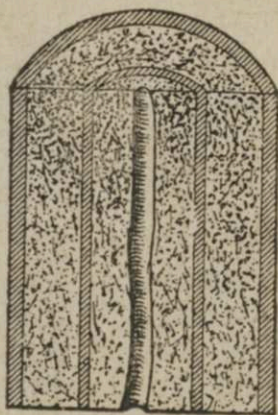
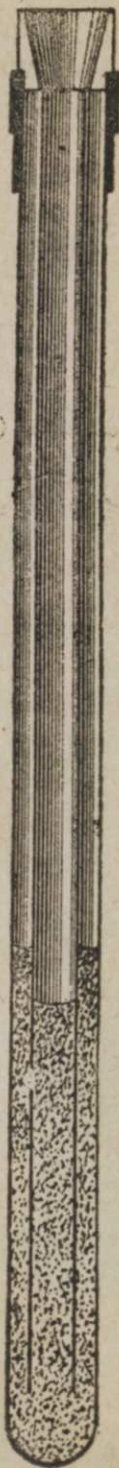
Лазъ въ вертикальныхъ котлахъ слѣдуетъ располагать такимъ образомъ, чтобъ онъ весь находился или въ паровомъ или въ водяномъ пространствѣ; если же онъ находится на границѣ, то очень трудно поддерживать плотность затвора. Въ вертикальныхъ котлахъ лазы не должны быть меньше какъ 280 на 350 мм., гдѣ же можно, тамъ нужно помѣщать лазъ такого размѣра, чтобы въ него можно было пролѣзть. Если котелъ малаго диаметра, то большой лазъ можетъ слишкомъ сильно ослабить листъ, и въ такомъ случаѣ будетъ благоразумнѣе не дѣлать совсѣмъ лаза, а ограничиться только небольшими ручными люками.

Ручныя отверстія тоже должны быть укрѣплены кольцами, такъ какъ иначе въ нихъ легко появляется течь, и раздѣляются опорныя поверхности; если можно, то въ этихъ мѣстахъ слѣдуетъ приклепывать укрѣпляющіе штуцера съ обработанными поверхностями,

Иногда въ вертикальныхъ котлахъ, вмѣсто того, чтобы дѣлать люки, закрывающіеся крышками, просверливаютъ большія отверстія, нарѣзаютъ въ нихъ винтовую нарѣзку и заворачиваютъ пробки; такое устройство ни въ какомъ случаѣ не можетъ быть рекомендовано, такъ какъ нарѣзка ржавѣетъ, приходится ее возобновлять и отверстіе увеличивается въ размѣрѣ; кромѣ того, на-

рѣзка можетъ портиться также при чисткѣ отверстія, а вслѣдствіе раздѣданія нарѣзки и положеніе самой пробки не будетъ надежно.

Топочная дверца ни въ какомъ случаѣ не должна располагаться ниже, чѣмъ на 250 мм. надъ колосниковой рѣшеткой, а если можно, то гораздо



Фиг. 163.

выше, иначе раскаленный слой топлива подходить близко къ шву топочнаго отверстія и сильно его разстраиваетъ. Если размѣры зольниковаго отверстія настолько велики, что черезъ него можно влѣзть во внутрь топочнаго пространства, то топочному отверстию можно придавать небольшіе размѣры—250 на 225 мм., въ противномъ же случаѣ, топочная дверца должна имѣть размѣры лаза, чтобъ въ нее можно было пролѣзть.

Топочная камера вертикальныхъ котловъ должна быть возможно правильной формы, поэтому ее дѣлаютъ или со сварными швами или со швами въ стыкъ. Присутствіе шва въ топкѣ крайне нежелательно, и потому, если только есть достаточно искусный рабочій, которому можно довѣрить сварку, нужно предпочесть сварной шовъ.

Котлы, построенные на особыхъ принципахъ сжиганія и использования топлива.

1. Котлы съ беспламеннымъ сжиганіемъ топлива.

72. Принципъ беспламеннаго сжиганія топлива былъ установленъ независимо другъ отъ друга англійскимъ профессоромъ Бономъ (Bone) въ Лидсѣ и германскимъ инженеромъ Шнабелемъ (Schnabel).

Новый принципъ по существу своему съ наибольшимъ удобствомъ примѣнимъ для сжиганія газообразнаго топлива, но сдѣланы попытки примѣнить его къ сжиганію и жидкаго топлива.

Принципъ беспламеннаго сжиганія заключается въ томъ, что процессъ сгорания протекаетъ въ нѣдрахъ огнеупорной пористой массы. Смѣсь газа и потребнаго количества воздуха поступаетъ въ поры огнеупорной массы подъ тѣмъ давленіемъ, какое необходимо, чтобы скорость газа, а слѣдовательно и расходъ его, были требуемой величины. Въ зависимости отъ количества газа и давленія, подъ которымъ онъ подается, устанавливается въ нѣдрахъ пористой массы зона горѣнія большей или меньшей величины. Масса нагревается постепенно до бѣлаго каленія и въ порахъ ея процессъ горѣнія смѣси протекаетъ безъ образованія пламени, завершаясь чрезвычайно быстро, что обусловливается распредѣленіемъ частицъ смѣси по огромному количеству мельчайшихъ камеръ сжиганія, каковыми являются поры огнеупорной массы, отсутствіемъ какихъ-либо причинъ, могущихъ вызывать охлажденіе, и каталитическимъ дѣйствіемъ самой огнеупорной массы.

Процессъ беспламеннаго горѣнія можно осуществить пропуская смѣсь газа и воздуха или черезъ діафрагму изъ пористаго матеріала, или черезъ той или иной формы каналъ, заполненный кусками огнеупорнаго вещества. Въ первомъ случаѣ, въ виду большого сопротивленія, какое представляетъ діафрагма потоку смѣси, приходится прибѣгать къ нагнетанію ея; во второмъ же возможно пользоваться и отсасываніемъ.

Процессъ горѣнія безъ образованія пламени доступенъ наблюденію съ большей наглядностью, во всѣхъ стадіяхъ своего развитія, если пользо-

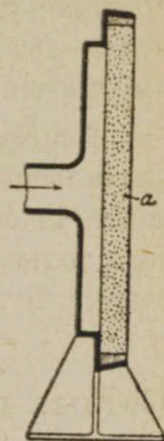
ваться для его осуществленія діафрагмою (фиг. 164). Въ этомъ случаѣ пропускаютъ черезъ діафрагму сначала только одинъ газъ и его зажигаютъ. Газъ горитъ желтымъ пламенемъ. Затѣмъ постепенно прибавляютъ воздуха. Пламя становится голубымъ и скоро превращается въ легкую вуаль, сквозь которую видны отдѣльные раскаленные пятна діафрагмы. Черезъ нѣсколько секундъ пламя совсѣмъ исчезаетъ, а раскаленные пятна сливаются въ одну поверхность, свѣтящуюся краснымъ свѣтомъ. Бѣлое же каленіе наступаетъ затѣмъ постепенно.

Для отопленія паровыхъ котловъ, естественно, легче осуществить принципъ беспламеннаго сжиганія, примѣняя другой способъ,—сжигая смѣсь въ дымогарныхъ трубкахъ, наполненныхъ кусками огнеупорной массы.

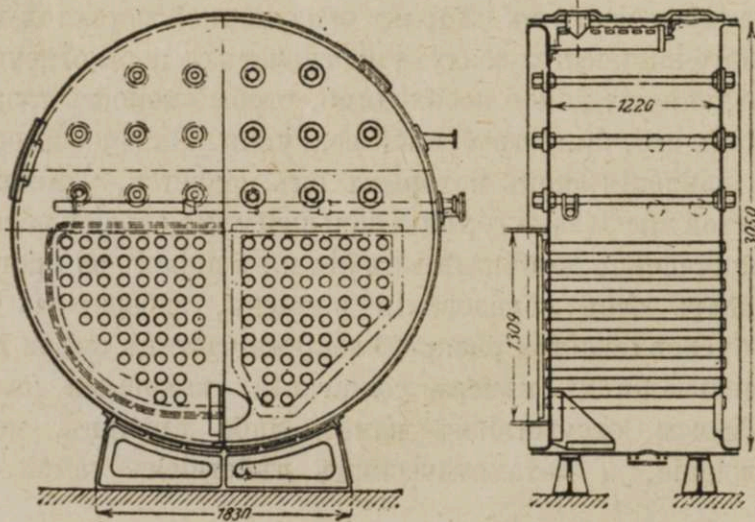
На фиг. 165—166 представленъ одинъ изъ вариантовъ трубчатыхъ котловъ съ беспламеннымъ горѣніемъ. Топливомъ служить въ данномъ случаѣ газъ изъ коксовальныхъ печей.

Поверхность нагрѣва котла составляетъ приблизительно 30 кв. м. при діаметрѣ въ 3 метра и длинѣ трубокъ 1220 мм. Трубокъ, внутренній діаметръ коихъ равенъ 75 мм.,—110 штукъ, при чемъ нѣкоторыя изъ нихъ играютъ роль только анкерныхъ связей.

Охлажденіе газовъ при ихъ движеніи вдоль трубокъ идетъ столь быстро, что нѣтъ смысла дѣлать трубки болѣе длинными. Опыты показали что на протяженіи первой трети длины трубокъ указаннаго размѣра обра-



Фиг. 164.



Фиг. 165—166.

зуется 70%, всего количества пара, на протяженіи второй—22%, наконецъ—последняя треть даетъ лишь 8%.

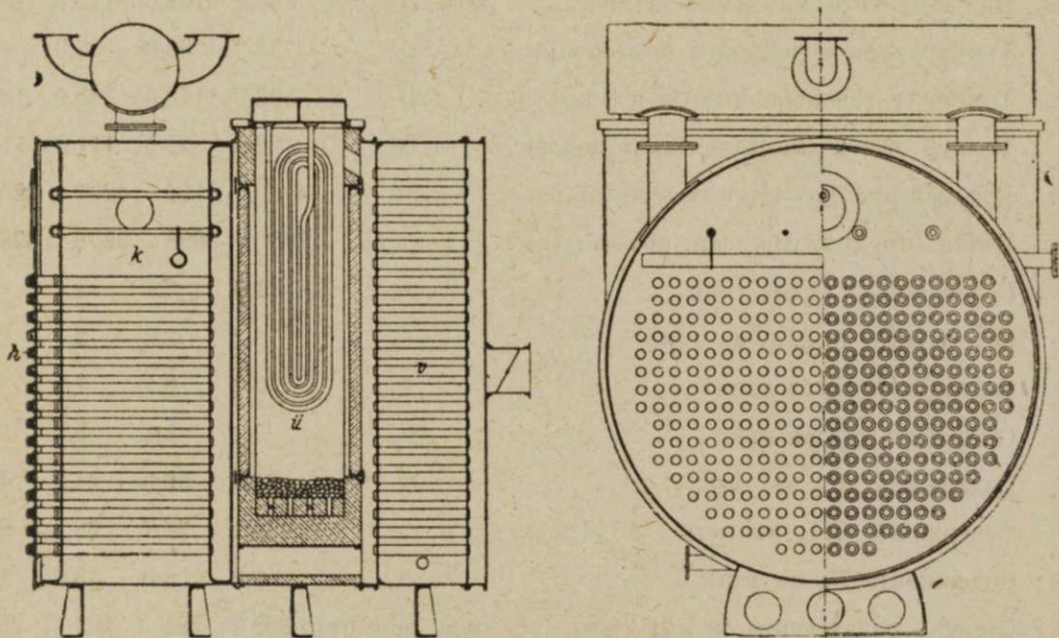
На фиг. 167—168 изображенъ другой вариантъ котла съ перегрѣвателемъ (ü) и подогревателемъ (v). Перегрѣватель помѣщается въ особой камерѣ, имѣющей огнеупорныя стѣнки и отдѣльный очагъ въ нижней своей части. Очагъ состоитъ изъ нѣсколькихъ каналовъ, подводящихъ газъ.

Поверхъ выходныхъ отверстій этихъ каналовъ свободно насыпано нѣкоторое количество огнеупорнаго матеріала въ кускахъ. Тяга создается вентиляторомъ, расположеннымъ за экономайзеромъ.

Какъ видно на фиг. 167 подогреватель по своему устройству вполне подобенъ самому котлу. Трубки его тоже заполнены огнеупорнымъ матеріаломъ.

Трубки котла снабжены на концахъ пробками изъ огнеупорнаго матеріала, имѣющими по своей оси отверстіе діаметромъ около $\frac{1}{2}$ ''.

Наблюденія показали, что при указанномъ діаметрѣ входного отверстія поясъ ярко бѣлаго каленія не простирается далѣе 100 мм. вдоль оси трубки и ограничивается діаметромъ 20—25 мм. Температура его доходитъ до 1600° и болѣе, тогда какъ у стѣнокъ трубки огнеупорная масса находится въ состояніи лишь краснаго каленія.



Фиг. 167—168.

Этимъ должно объяснить тотъ фактъ, что, несмотря на чрезвычайно большую напряженность поверхности нагрѣва, не наблюдалось перегрѣва трубокъ.

Температура газовъ при выходѣ изъ котла при такой незначительной длинѣ трубокъ оказывается упавшей до 200° и ниже, а за подогревателемъ она доходитъ до $90—100^{\circ}$.

Такая хорошая теплоотдача, обязана, очевидно, тому обстоятельству, что здѣсь чрезвычайно развита лучеиспускающая поверхность, и теплота газовъ идетъ почти исключительно на созданіе такой лучеиспускающей поверхности. Передача же теплоты непосредственнымъ соприкосновеніемъ играетъ здѣсь относительно второстепенную роль.

Въ таблицѣ ¹⁾ 29 приведены данныя четырехъ испытаній одного изъ котловъ разсматриваемаго типа съ поверхностью нагрѣва 32,7 кв. м.

¹⁾ См. Stahl u. Eisen, № 14, 1915.

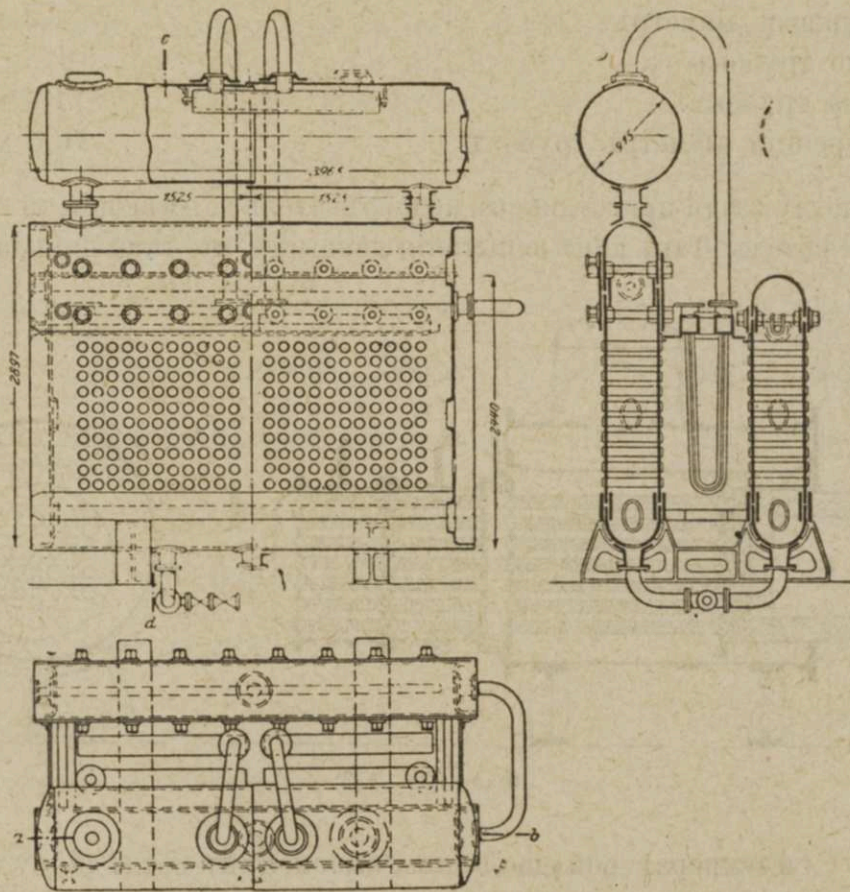
Т а б л и ц а 29.

		1	2	3	4
1	Продолжительность испытанія час.	6	8	8	8
2	Рабочее давленіе кг./см. ²	8,1	8,0	7,4	7,2
3	Влажность пара %	2,5	2,75	2,5	2,5
4	Температура воды до подогревателя . . . °Ц.	41	39	38	41
5	Температура воды послѣ подогрева . . . %	69	65	64	63
6	Барометрическое давленіе дня м.м. рт. ст.	752,0	748,0	750,8	748,8
7	Температура газа въ газопроводѣ . . . °Ц.	22,0	21,0	16,5	16,6
8	Давленіе газа въ газопроводѣ м.м. вод. ст.	109,0	108,0	112,0	121,0
9	Температура котельнаго помещенія . . . °Ц.	26,0	23,0	20,0	18,0
10	Температ. газовъ по выходѣ изъ котла . . °Ц.	172,0	178,0	185,0	187,0
11	Темпер. газовъ по выходѣ изъ подогр. . . °Ц.	92,0	92,0	111,0	112,0
12	Верхній предѣлъ теплотв. способ. газа . калор.	4170	4154	4231	4268
13	Нижн. предѣлъ теплотв. способ. газа . калор.	3620	3698	3678	3707
16	Содержаніе CO ₂ въ газѣ %	1,9	2,1	2,4	2,7
17	Содержаніе C _m H _n въ газѣ %	2,2	2,5	2,4	2,2
18	Содержаніе O ₂ въ газѣ %	0,8	0,7	1,2	0,9
19	Содержаніе CO въ газѣ %	5,1	5,1	5,2	5,3
20	Содержаніе H ₂ въ газѣ %	61,0	52,9	44,8	46,4
21	Содержаніе CH ₄ въ газѣ %	26,1	28,7	28,4	28,0
22	Содержаніе N ₂ въ газѣ %	2,9	8,0	15,6	14,5
23	Степень разрѣженія за котломъ м.м. вод. ст.	308	291	271	282
24	Степень разрѣженія передъ вентилят. м.м. вод. ст.	—	346	424	453
25	Содержаніе CO ₂ въ продукт. гор. %	8,2	7,1	7,5	7,4
26	Содержаніе O ₂ въ продукт. гор. %	6,0	4,9	5,8	4,6
27	Содержаніе CO въ продукт. гор. %	0,2	0,0	0,0	0,3
28	Коэффициентъ избытка возд. 21 : [21—79 (0 : N)] . .	1,33	1,27	1,34	1,25
29	Часов. паропроизв., отнесенн. къ норм. пару . кг.	1710,0	1677,5	1981,2	2098,5
30	Часовой расходъ газа куб. м.	329,6	333,7	366,3	386,4
31	Парообразоват. способн. 1 куб. м. газа . кг.	5,19	5,03	5,49	5,43
32	Парообраз. способн. 1 кв. м. пов. нагр. . кг.	53,8	55,3	61,7	66,0
33	Расходъ энергіи на вентиляторъ . . . л. с.	12,3	12,2	15,3	16,1
34	Коэф. полезн. дѣйств. одного котла . . %	91,3	86,6	93,7	93,3
35	Коэф. полезн. дѣйств. котла съ подогр. . %	95,8	90,8	97,9	97,2
36	Потери теплоты въ общей суммѣ . . . %	4,2	9,2	2,1	2,8

Наивысшая парообразовательная способность одного кв. м. поверхности нагрева—66 кг.—далеко не достигала въ этихъ опытахъ тѣхъ цифръ, какія были получены съ подобными котлами въ др гихъ опытахъ (100—150 кг.).

Повышеніе парообразовательной способности одного кв. м. въ опытахъ 3 и 4 по сравненію съ 1 и 2 произошло по той причинѣ, что мелкіе куски огнеупорнаго матеріала были замѣнены болѣе крупными, размѣрами до 35—45 мм. При мелкихъ кускахъ скорѣе и въ большей степени трубы закупоривались.

Это закупореніе трубокъ обусловливалось отчасти разрушеніемъ кусковъ вслѣдствіе недостаточной ихъ огнестойкости, а отчасти тѣмъ обстоя-



Фиг. 169—171.

тельствомъ, что содержавшіеся въ продуктахъ горѣнія сѣрнистыя соединенія, въ присутствіи водяныхъ паровъ дѣлали огнеупорный матеріалъ склоннымъ склеиваться и образовывать плотную массу, затрудняющую проходъ газовъ и даже дѣлающую проходъ ихъ мѣстами совершенно невозможнымъ.

Наконецъ, повышеніе парообразовательной способности одного кв. м. въ 4 опытѣ по сравненію съ 3-мъ объясняется тѣмъ, что газу расходовалось въ 4-мъ опытѣ больше.

Фиг. 169—171 представляетъ ¹⁾ котель, который сконструированъ болѣе компактно и приспособленъ для установки на пароходѣ.

¹⁾ См. Z. d. V. d. I., № 8, 1913.

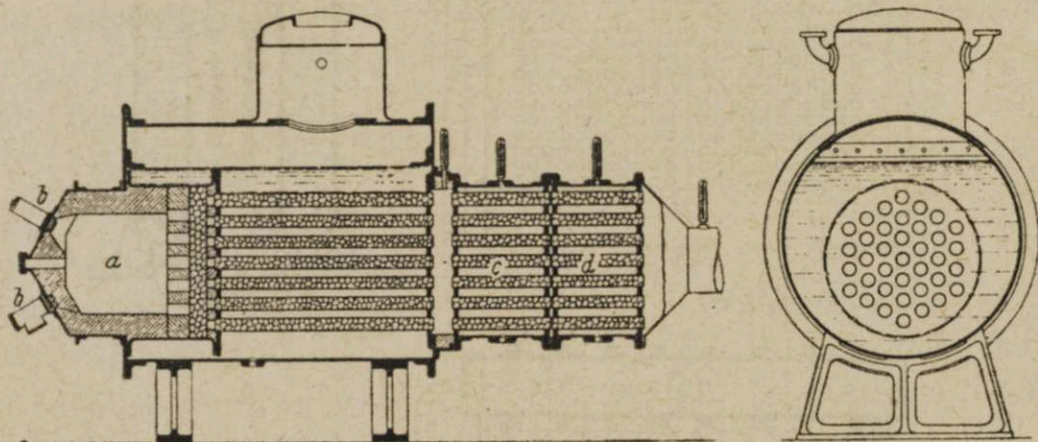
Для отопляванія котловъ Шнабель-Бона сперва примѣняли только разнаго рода газъ: доменныхъ, коксовальныхъ печей и генераторный. Но затѣмъ стали дѣлать попытки примѣнить и жидкое топливо. Въ Англіи въ качествѣ такового использовали деготь (Teegöl), при чемъ примѣнительно къ новому способу сжиганія былъ построенъ даже паровозъ.

На фиг. 172—173 изображенъ котель Шнабель-Бона для отопляванія дегтемъ, построенный для экспериментальныхъ цѣлей.

Котель построенъ для рабочаго давленія 12 атм. и имѣетъ слѣдующіе размѣры:

поверхность нагрѣва.	12 кв. м.
наружный діаметръ.	1,3 м.
число трубокъ.	37
длина трубокъ.	1,7 м.
внутренній діаметръ трубокъ.	76,5 мм.

Къ котлу сзади присоединенъ подогреватель с, имѣющій то же устройство, что и котель. Такъ какъ испытанія показали, что газы покидаютъ подо-



Фиг. 172—173.

грѣватель с съ температурой еще весьма высокой, къ послѣднему былъ присоединенъ еще такой же подогреватель d.

Питательная вода изъ резервуара, расположеннаго на нѣкоторой высотѣ, поступаетъ сперва въ подогреватель d самотекомъ; отсюда она забирается насосомъ и нагнетается въ подогреватель с и затѣмъ далѣе—въ котель.

Деготь прогрѣвается отработавшимъ паромъ до 90° С. и поступаетъ въ три форсунки b, распыляющія его сжатымъ воздухомъ. Послѣдній подается вентиляторомъ, который обладаетъ достаточной мощностью, чтобы прогнать продукты горѣнія черезъ трубки котла и подогревателей.

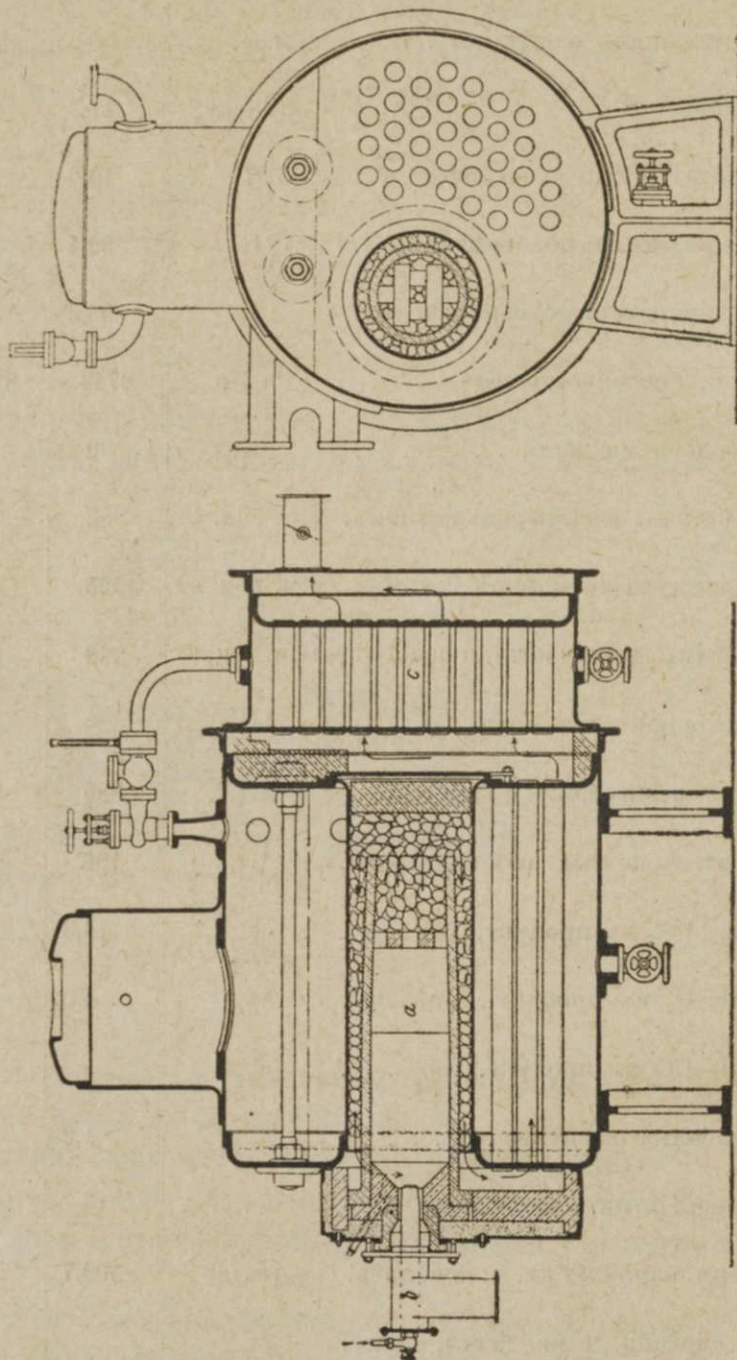
Входъ въ трубки котла огражденъ со стороны камеры сжиганія a слоемъ изъ кусковъ огнеупорнаго матеріала и огнеупорной стѣнкой, въ которой оставлены окна для прохода газовъ.

Въ таблицѣ 30 приведены результаты трехъ испытаній котла.

Т а б л и ц а 30. Къ фиг. 172—173.

		1	2	3
1	Продолжительность испытанія час.	8	7	8
2	Рабочее давленіе кг./см. ²	11,3	11,3	11,3
3	Темпер. питат. воды до подогрев. . . °Ц.	10,0	9,6	9,4
4	Темпер. подогрева въ подогревателѣ <i>d</i> . . °Ц.	39,4	38,4	37,1
5	Темпер. подогрева въ подогревателѣ <i>c</i> . . °Ц.	93,3	94,3	82,6
6	Теплотворн. способность дегтя калор.	8742	8775	8866
7	Темпер. подогрева дегтя °Ц.	80	88	90
8	Давл. нагнетаем. возд. передъ котломъ. м.м. вод. ст.	882	794	768
9	Давленіе воздуха въ камерѣ сжиган. м.м. вод. ст.	525	427	419
10	Давлен. воздуха между котл. и подогрев. м.м. вод. ст.	248	153	123
11	Темпер. котельн. помѣщенія °Ц.	24	25	26
12	Темпер. газ. между котл. и подогре. . . °Ц.	380	375	371
13	Темпер. газовъ по вых. изъ подогрев. . °Ц.	196	145	175
14	Содержаніе CO ₂ въ продукт. гор. %	14,3	15,3	16,0
15	Содержаніе O ₂ въ продукт. гор. %	4,0	2,7	1,8
16	Содержаніе CO въ продукт. гор. %	—	0,9	0,7
17	Коефф. избытка воздуха	1,23	1,15	1,09
18	Расходъ энергіи на вентиляторъ л. с.	13	11,4	10,5
19	Колич. норм. пара съ 1 кв. м. пов. нагр. . кг./ч.	109,7	120,0	121,8
20	Испарит. способн. 1 кг. дегтя, отнес. къ норм. пару кг.	12,45	12,28	12,5
21	Коефф. полезн. дѣйств. котла. %	90,6	89,2	90,5
22	Потеря теплоты въ общей суммѣ %	9,4	10,8	9,5

Послѣ перваго испытанія изъ трубокъ подогревателя d были удалены наполнявшіе ихъ куски и замѣнены вставками изъ огнеупорнаго матеріала особой формы, заставлявшими потокъ газовъ двигаться по трубкѣ зигзагообразно. Послѣ этого расходъ энергіи на вентиляторъ понизился на 12%, а паропроизводительность съ 1 кв. м. повысилась со 109,7 до 120 кг. Коэф-



Фиг. 174—175.

фициентъ полезнаго дѣйствія котла нѣсколько уменьшился, что произошло не вслѣдствіе пониженія коэффициента теплопередачи, а по причинѣ нѣкоторой неполноты горѣнія, обусловленной повышеніемъ форсировки.

Послѣ втораго опыта безформенные куски огнеупорнаго матеріала, были удалены не только изъ трубокъ подогревателя c, но и изъ трубокъ котла на большей части ихъ длины, за исключеніемъ начальныхъ участковъ

длиной въ 200 мм., гдѣ еще завершался процессъ горѣнія. Вынутый матеріалъ былъ замѣненъ тоже вставками особой формы изъ огнеупорнаго матеріала. Послѣ этого паропроизводительность 1 кв. м. повысилась съ 120 до 121,8; повысился также и коэффициентъ полезнаго дѣйствія съ 89,2 до 90,5% расходъ же энергіи на вентиляторъ понизился съ 11,4 до 10,5 л. с. т.-е. на 7,6%.

Эти опыты съ достаточной ясностью показали: 1) что заполненіе безформенными кусками огнеупорнаго матеріала всей длины трубокъ котла и трубокъ подогревателя влечетъ за собой лишь пониженіе паропроизводительности одного кв. метра и уменьшеніе коэффициента полезнаго дѣйствія котла, при большей затратѣ энергіи на вентиляторъ; 2) что присутствіе безформенныхъ кусковъ является болѣе вреднымъ тамъ, гдѣ температура газовъ ниже; 3) что достаточно заполнять безформенными кусками огнеупорнаго матеріала только ту область, гдѣ происходитъ процессъ горѣнія.

Присутствіе огнеупорнаго матеріала въ относительно мелкихъ кускахъ необходимо для осуществленія процесса беспламеннаго горѣнія лишь тамъ, гдѣ этотъ процессъ происходитъ. Въ остальныхъ частяхъ, для повышенія коэффициента теплопередачи, необходимо лишь создать въ трубкахъ интенсивную отдачу теплоты путемъ лучеиспусканія, для чего достаточно ввести въ трубки вставки изъ огнеупорнаго матеріала, дающія большую лучеиспускающую поверхность, и не оказывающія въ то же время столь большого сопротивленія движенію газовъ, какъ безформенные куски. Кромѣ того вставки той или иной формы могутъ быть изготовлены болѣе плотными, нежели куски, полученные путемъ дробленія огнеупорнаго матеріала, а поэтому и способными долѣе служить, не разрушаясь.

На фиг. 174—175 представленъ небольшой опытный котель, работающій тоже на жидкомъ топливѣ.

2. Котлы газопаровые.

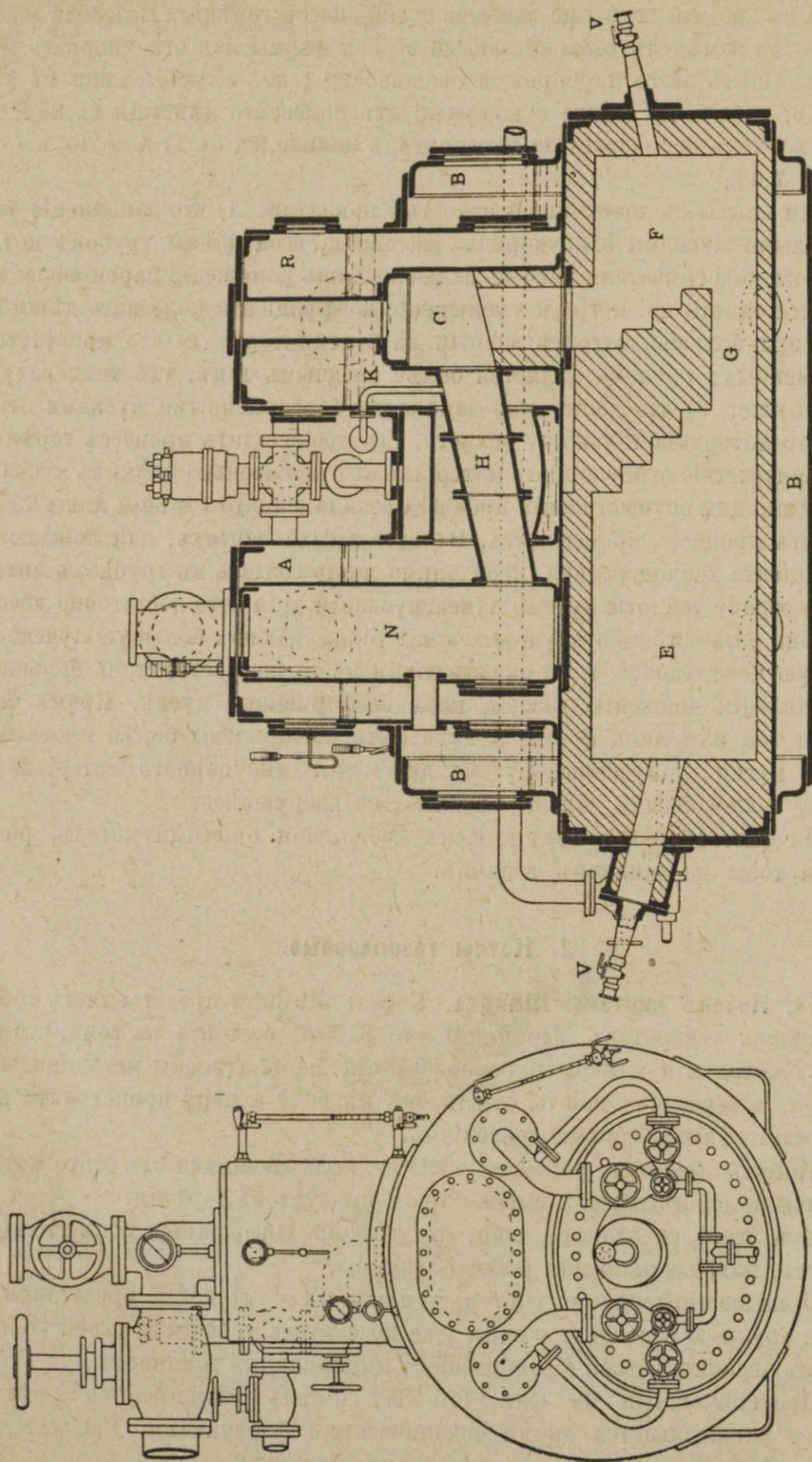
73. Котель системы Шмидта. Котель Шмидта представляетъ собою газопаровой генераторъ. Принципъ его работы состоитъ въ томъ, что камера сжиганія и камера парообразованія не раздѣлены металлической стѣнкой, и передача теплоты отъ газовъ къ водѣ и пару происходитъ ихъ непосредственнымъ соприкосновеніемъ.

Такимъ образомъ, рабочимъ тѣломъ, получающимся отъ этого котла, является не одинъ паръ, а смѣсь пара и продуктовъ горѣнія.

Изъ всего сказаннаго ясно, что горѣніе совершается подъ тѣмъ давленіемъ, какое нужно для работы машины.

Примѣненіе твердыхъ сортовъ топлива въ этомъ котлѣ представляетъ крайне трудную задачу, и котель уже по самымъ условіямъ своей работы долженъ ограничиваться газообразнымъ или жидкимъ топливомъ.

Представленный на фиг. 176—177 котель отапливается нефтью, которая распыливается двумя механическими форсунками. Воздухъ, необходимый для сжиганія, подается компрессоромъ.



Фиг. 176—177.

Котель состоитъ изъ наружнаго цилиндра В, снабженнаго двумя колпаками А и R, и расположенной внутри него камеры сжиганія EF. Последняя выложена внутри огнеупорнымъ кирпичемъ, а наружныя стѣнки ея омываются водой, которая ихъ охлаждаетъ и предохраняетъ отъ перегрѣва.

Обращеннымъ порогомъ камера сжиганія раздѣляется на двѣ части Е и F. Топливо и воздухъ подаются въ отдѣленіе Е и затѣмъ образующіеся продукты горѣнія черезъ каналъ G поступаютъ въ часть F, откуда направляются черезъ внутренній колпакъ С въ трубу Н. При входѣ въ последнюю, въ потокъ газовъ вбрызгивается питательная вода, подводимая трубкой К. Изъ трубы Н смѣсь пара и газовъ переходитъ въ коллекторъ N, а отсюда въ паровую машину, пройдя предварительно черезъ особый фильтръ для улавливанія твердыхъ частицъ.

Стѣнки колпака С трубы Н и коллектора N, подобно стѣнамъ камеры сжиганія, охлаждаются водой, заполняющей до нѣкоторой высоты колпаки А и R.

Трубки vv, снабженные толстыми стеклами, служатъ глазками для наблюденія надъ процессомъ горѣнія.

Принципіально говоря, къ преимуществамъ котла нужно отнести въ первую очередь то, что машинѣ онъ подастъ все количество тепловой энергіи, развившейся въ немъ, за вычетомъ лишь потерь путемъ лучеиспусканія и путемъ соприкосновенія, а также небольшихъ потерь вслѣдствіе неполноты горѣнія. Потеря теплоты уносимой въ обыкновенныхъ котлахъ въ дымовую трубу, въ немъ не имѣетъ мѣста.

Затѣмъ, отсутствіе стѣнокъ, образующихъ поверхность нагрѣва обусловливаетъ собою нѣкоторое уменьшеніе вѣса котла. Кромѣ того, въ котлѣ нѣтъ мѣста образованію накипи, и слѣдовательно качество питательной воды для него не имѣетъ значенія.

Но съ другой стороны, то обстоятельство, что процессъ горѣнія долженъ протекать подъ полнымъ котельнымъ давленіемъ, дѣлаетъ крайне затруднительнымъ, если не совершенно невозможнымъ, примѣненіе твердыхъ сортовъ топлива. Введеніе такого топлива въ топочную камеру, очистка колосниковой рѣшетки отъ золы и шлаковъ и вообще контроль надъ топкой представляютъ для конструктора въ высокой степени трудныя задачи.

Подача въ топку воздуха подъ давленіемъ дѣлаетъ необходимымъ примѣненіе компрессора, стоящаго дорого и поглощающаго большое количество энергіи (до 50%).

Кромѣ Шмидта, не мало изобрѣтателей работало надъ той же задачей, но пришли къ результатамъ менѣе удовлетворительнымъ, нежели Шмидтъ. Да и котлы Шмидта не завоевали себѣ сколько-нибудь значительной области примѣненія.

Относительная величина водяного и парового пространствъ въ котлахъ различныхъ системъ.

Въ заключеніе описанія различныхъ типовъ паровыхъ котловъ нужно указать на то, что многими всѣ эти типы подраздѣляются на двѣ группы: на котлы съ большимъ содержаніемъ воды и на котлы съ малымъ содержаніемъ воды. Подобное подраздѣленіе является довольно неопредѣленнымъ, такъ трудно провести рѣзкую границу, отдѣляющую одну группу отъ другой. Можно вообще сказать, что чѣмъ меньше діаметръ отдѣльныхъ составныхъ частей котла, содержащихъ воду, тѣмъ меньше будетъ и общее содержаніе воды по отношенію къ 1 кв. м. поверхности нагрѣва. Ниже приведена таблица, дающая приближенно для различныхъ типовъ котловъ количество воды въ килограммахъ, отнесенное къ 1 кв. м. поверхности нагрѣва. Другая таблица даетъ объемъ водяного пространства въ литрахъ, приходящійся тоже на 1 кв. м. поверхности нагрѣва.

Въ каждомъ котлѣ желательно, по возможности, поддерживать давленіе постояннымъ. Для паровыхъ двигателей такое условіе является весьма важнымъ. Между тѣмъ, давленіе пара будетъ поддерживаться на постоянной высотѣ въ томъ только случаѣ, если количество притекающей къ котлу теплоты будетъ соотвѣтствовать количеству отводимого изъ котла пара.

Если при постоянномъ количествѣ притекающей теплоты пара будетъ расходоваться мало, то давленіе пара будетъ повышаться и наоборотъ. При очень сильныхъ колебаніяхъ въ расходѣ пара кочегару крайне трудно поддерживать постоянное давленіе болѣе или менѣе интенсивнымъ веденіемъ топки, и въ этомъ случаѣ ему значительную услугу можетъ оказать большой объемъ воды, заключающейся въ котлѣ. Вода въ большомъ количествѣ дѣйствуетъ совершенно такъ же, какъ маховое колесо паровой машины, накопляя теплоту въ то время, когда притокъ тепла превышаетъ расходъ пара, и отдавая ее при большомъ расходѣ пара.

Считается, что давленіе въ котлѣ трудно поддерживать постояннымъ въ томъ случаѣ, когда на куб. метръ воды, содержащейся въ котлѣ, помпается болѣе 150 кг. пара въ часъ.

Слѣдовательно, можно дать вообще такое правило, что въ тѣхъ случаяхъ, когда ожидаются большія колебанія въ расходѣ пара, желательно имѣть котелъ съ возможно большимъ содержаніемъ воды.

При этомъ нужно замѣтить, что главнымъ регуляторомъ давленія въ котлѣ является вода, и большое содержаніе воды въ котлѣ въ этомъ отношеніи несравненно важнее, чѣмъ большой объемъ парового пространства. Въ этомъ можно убѣдиться путемъ элементарнаго подсчета.

На неравномѣрность давленія въ котлѣ оказываетъ также вліяніе и способъ питанія. При неравномѣрномъ питаніи котла происходитъ попеременно то сильное охлажденіе котла, то подогреваніе, при этомъ замѣчается также и колебаніе давленія. Для предупрежденія этого котелъ слѣдуетъ питать равномерно.

При выборѣ объема котла нужно также принимать въ соображеніе то .

что всякая остановка работы котла вредно отзывается на экономіи топлива; *чѣмъ меньше объемъ воды и чѣмъ меньше массивна кладка, тѣмъ меньшее вліяніе оказываютъ остановки.*

Многими считается необходимымъ устраивать на котлахъ такъ называемые сухопарники, т.-е. резервуары довольно большого размѣра, помѣщающіеся въ высшей точкѣ парового котла. Такіе сухопарники устраиваются съ двоякою цѣлью: во-первыхъ, чтобы увеличить паровое пространство и тѣмъ уменьшить возможные колебанія въ давленіи пара; во-вторыхъ, чтобы удалить мѣсто взятія пара изъ котла отъ волнующейся и бурлящей поверхности воды и получать болѣе сухой паръ; отсюда и самое названіе— «сухопарникъ». Изъ сказаннаго выше видно, что увеличеніе парового пространства не имѣетъ никакого практическаго значенія, такъ какъ для того, чтобы быть сколько-нибудь полезнымъ въ смыслѣ регулятора, оно должно быть громадныхъ, совершенно неосуществимыхъ на практикѣ, размѣровъ. Поэтому, *съ цѣлью увеличивать паровое пространство устраивать сухопарники не имѣетъ никакого смысла.*

Что касается сушки пара, то считаютъ, что, проходя черезъ сухопарникъ, паръ замедляетъ скорость, при чемъ изъ него успѣетъ осѣсть увлеченная имъ въ видѣ механической примѣси вода. На самомъ дѣлѣ этого произойти не можетъ: примѣшанную къ пару воду отдѣлить очень трудно, и для этой цѣли должны быть поставлены особые аппараты, такъ называемые *сепараторы*.

Паръ будетъ получаться тѣмъ суше, чѣмъ больше будетъ поверхность, съ которой выдѣляется паръ, по сравненію съ поверхностью нагрѣва, и чѣмъ менѣе интенсивно работаетъ котель, такъ какъ въ обоихъ случаяхъ пузырьки, пара будутъ съ меньшей силой прорываться черезъ поверхность воды, и потому будутъ менѣе увлекать съ собой воду.

Согласно Вейнлигу, *съ одного кв. метра свободной поверхности воды нельзя снимать болѣе 160 кгр. пара въ часъ, иначе паръ будетъ получаться сырой.*

Большая влажность пара можетъ получаться также въ томъ случаѣ, когда паровое пространство слишкомъ мало, тогда замѣчаемыя всегда на поверхности кипящей жидкости брызги, а также и сама жидкость можетъ засасываться въ паровую трубу.

Если вода загрязнена или содержитъ въ большомъ количествѣ растворенныя соли, то она способна вспѣниваться, при чемъ эта пѣна заполняетъ все паровое пространство и увлекается паромъ въ трубопроводы и въ паровые цилиндры, причиняя много непріятностей.

При очень интенсивномъ парообразованіи случается, что вода увлекается въ большомъ количествѣ въ трубопроводъ и, попадая въ цилиндръ, можетъ разрушить его.

Всѣ эти явленія замѣчаются тѣмъ слабѣе, чѣмъ менѣе интенсивно работаетъ котель, и чѣмъ больше поверхность, съ которой выдѣляется паръ, по сравненію съ поверхностью нагрѣва.

На увеличеніе влажности пара вліяетъ также до нѣкоторой степени то обстоятельство, что въ мѣстѣ, гдѣ находится пароотводная труба, при движеніи пара давленіе понижается, отчего въ этомъ мѣстѣ происходитъ особенно сильное парообразование, поверхность бурлитъ и даетъ влажный паръ. При помощи сухопарника думаютъ уменьшить это бурленіе воды, но это также несправедливо, такъ какъ паръ движется подѣ сухопарникомъ съ весьма большой скоростью, а потому и здѣсь имѣетъ мѣсто паденіе давленія. Если желаютъ уничтожить бурленіе воды подѣ пароотводной трубой и заставить паръ отдѣляться болѣе спокойно, то для этого самое лучшее внутри парового пространства помѣстить сборную трубу вдоль всего котла, продыравленную въ верхней половинѣ, и съ ней соединить пароотводную трубу (фиг. 103). Паръ будетъ собираться этой продыравленной трубой равномерно по всей поверхности воды и не будетъ получаться сильно кипящихъ отдѣльныхъ мѣстъ. Кромѣ того, такая труба дѣйствуетъ какъ сепараторъ.

Такимъ образомъ нужно признать, что *сухопарникъ вообще является бесполезнымъ придаткомъ на котлы и даже, пожалуй, вреднымъ, такъ какъ онъ сильно ослабляетъ котелъ.* На нѣкоторыхъ котлахъ, обмурованныхъ кругомъ кирпичной кладкой, присутствіе сухопаровъ можетъ быть оправдано тѣмъ, что они значительно облегчаютъ установку арматуры на котлѣ.

Таб. 31. Содержаніе воды въ котлѣ въ килограммахъ на одинъ кв. метръ поверхности нагрѣва.

Простые цилиндрическіе котлы	395
Корнавалійскіе »	150
Ланкаширскіе »	142
Галловеевскіе »	124
Морскіе (Шотландскіе) »	116
Котлы Гарбе одиночные	65
Вертикальные котлы съ поперечными трубами	63
Цилиндрическіе трубчатые котлы	52
Котлы Гарбе двойные	51
Котлы вертикальные	42
Водотрубные котлы типа Шухова и Бабкока	39
Паровозные котлы	31
Заводскіе котлы паровознаго типа	26
Котлы паровыхъ пожарныхъ насосовъ	16

Табл. 32. Объемъ парового пространства въ литрахъ на одинъ кв. метръ поверхности нагрѣва.

Котлы ланкаширскіе съ давленіемъ менѣе 8 атм.	79,0
Котлы Корнаваліе » » » »	68,4
Котлы цилиндрическіе съ дымогарн. трубками	66,0

Котлы Корнвалійскіе съ давлєніємъ выше 8 атм.	63,1
Котлы ланкаширскіе » » » »	55,3
Водотрубы котлы Шухова и Бабкока	24,0
Котлы Гарбе двойные	23
Заводскіе котлы паровознаго типа	22
Котлы Гарбе одиночные	19
Котлы паровозные	14



ОГЛАВЛЕНІЕ.

	Стр.		Стр.
Введеніе	1	Котель Бернингауза	88
Общія свѣдѣнія о парообразованіи.		Котель Пьебѣфа	88
Испареніе	5	Сравнительныя достоинства и недо- статки съ выѣшней и внутренней топкой	92
Кипѣніе	6	Циркуляціонная помпа Дюбіо	94
Температура кипѣнія воды	6	Водотрубные котлы	96
Скрытая теплота испаренія	7	Первый водотрубный котель Вильяма Баклея	97
Влажный и сухой паръ	9	I. Котлы безъ циркуляціи воды.	
Перегрѣтый паръ	9	А) Водотрубные котлы, въ которыхъ во- да находится исключительно въ ки- пятильных трубахъ.	
Образованіе пузырьковъ пара	11	Котель Бельвиля	97
Теорія кипѣнія, особые виды выпа- риванія	11	В) Котлы безъ содержанія воды	103
Форма и путь пузырьковъ пара	12	Котель Серполе	103
Вліяніе размѣра свободной поверх- ности	13	II. Водотрубные котлы съ циркуляціей воды	106
Сфероидальное состояніе	13	Горизонтальные водотрубные котлы.	
Передача теплоты черезъ котельную стѣнку.		Котель Штейнмюллера	108
Поглощеніе тепла поверхностью стѣн- ки	15	Котель Бютнера	110
Полный коэффициентъ теплопередачи чистой стѣнки	16	Котель Фицнера и Гампера	112
Общій коэффициентъ теплопередачи котельной стѣнки К	17	Котель Дюрра	116
Температура котельной стѣнки	20	Котель Вильмана	120
Передача тепла черезъ стѣнку, омы- ваемою жидкостями съ перемеѣн- ной температурой	26	Котель Шухова	122
I.		Котель Бабкока и Вилькокса	129
Историческое развитіе паровыхъ кот- ловъ	28	Вертикальные водотрубные котлы	135
Типы котловъ.		Котель Стэрлинга	135
Цилиндрическій котель	30	Котель Гарбе	137
Котлы съ подогревателями	32	Котель Борзига	148
Котлы съ кипятильниками	35	Котель Петроградскаго Металличе- скаго завода	148
Котлы съ жаровыми трубами.		Котель Буркардта	148
Корнвалійскій котель	41	Судовые водотрубные котлы.	
Ланкаширскіе котлы	48	Котель Торникрофта	151
Котлы съ тремя жаровыми трубами	52	Котель Ярроу	154
Котлы Галлоуэя	55	Циркуляція воды въ водотрубныхъ котлахъ	155
Котлы Паукша	56	Преимущества и недостатки водотруб- ныхъ котловъ по сравненію съ котлами другихъ системъ	164
Сравнительныя достоинства и недо- статки котловъ съ жаровыми тру- бами	58	Обыкновенные вертикальные котлы	171
Трубчатые котлы	61	Трубчатый вертикальный котель съ внутренней топкой	172
Котель Паукша	63	Вертикальный котель Лешапеля	173
Трубчатый котель съ внутренней топ- кой	65	Котель Шухова	175
Локомобильный котель	65	Котель Паксмана	177
Паровозный котель	66	Котель Фильда	178
Главные недостатки трубчатыхъ кот- ловъ	71	Общія замѣчанія относительно устрой- ства вертикальныхъ котловъ	180
Котель Ферберна	75	Котлы, построенные на особыхъ принци- пахъ сжиганія и использованія то- плива.	
Котель съ обратными дымогарными трубами	76	1. Котлы съ беспламеннымъ сжига- ніемъ топлива	181
Котлы для морскихъ пароходовъ (Шот- ландскіе)	76	Котлы системы Бона-Шнабеля	181
Комбинированные котлы.		2. Котлы газопаровые.	
Комбинаціонный котель Тишбейна	81	Котель системы Шмидта	189
Комбинаціонный котель Вейнлига	83	Относительная величина водяного и парового пространствъ въ котлахъ различныхъ системъ	192