

P135752

. П. Гавриленко.

ПРОФЕССОР МОСКОВСКОГО ВЫШЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО УЧИЛИЩА.

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ.

Выпуск I-й.

Типы Котлов.

ПОСМЕРТНОЕ ИЗДАНИЕ
ПОД РЕДАКЦИЕЙ ПРОФЕССОРА ЛЕНИНГРАДСК. ПОЛИТЕХНИЧ. ИНСТИТУТА

А. С. Ломшакова

И ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ТОГО ЖЕ ИНСТИТУТА

М. А. Торубаева.

ИЗДАНИЕ 4-е, исправленное и переработанное согласно новейшим
научным данным.



Московское Академическое Издательство
„МАКИЗ“.

Москва. 1924 г. Ленинград.

вс 76
А. П. Гавриленко.

ПРОФЕССОР МОСКОВСКОГО ВЫСШЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО УЧИЛИЩА.

ПАРОВЫЕ == == КОТЛЫ.

Выпуск I-й.

== Типы Котлов. ==

ПОСМЕРТНОЕ ИЗДАНИЕ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ ПРОФЕССОРА ЛЕНИНГРАДСК. ПОЛИТЕХНИЧ. ИНСТИТУТА

А. С. Ломшакова

И ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ТОГО ЖЕ ИНСТИТУТА

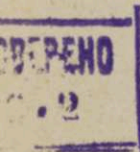
М. А. Торубаева.

ИЗДАНИЕ 4-е, исправленное и переработанное согласно новейшим научным данным.



Московское Академическое Издательство
„МАКИЗ“.

Москва. 1924 г. Ленинград.



6-я типо-литография

„ТРАНСПЕЧАТИ“ НКПС.

Б. Переяславская, 46.

Главлит № 21,912.

Тираж 5.000 экз.

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА.

Классический труд проф. А. П. Гавриленко „Паровые Котлы“ в своем 2-м издании 1907 г. состоял из XI глав, а именно: глава I — Типы котлов, глава II — Теория парового котла, глава III — Топки паровых котлов, глава IV* — Приборы для производства тяги, глава V — Построение паровых котлов, глава IV* — Вмазка паровых котлов, глава VII — Арматура, глава VIII — Различные вспомогательные устройства, глава IX — Приборы для перегрева пара, глава X — Общее устройство котельных и глава XI — Уход за котлами.

Московское Академическое Издательство „Макиз“, приступив с согласия семьи Александра Павловича к переизданию „Паровых Котлов“, решило издать их в нескольких выпусках, переработанных соответственно последним достижениям в области паровых котлов.

Выпуск I-й „Типы Котлов“ переиздается без изменений с 3-го издания 1919 года под ред. проф. А. С. Ломшакова и М. А. Торубаева.

Редактирование последующих выпусков, по просьбе Издательства „Макиз“, принял на себя Теплотехнический Институт имени проф. В. И. Гриневецкого и проф. К. В. Кирша, каковому Издательством переданы находившиеся в его распоряжении рукописи и примечания покойных проф. А. П. Гавриленко и М. А. Торубаева.

Выпуск в свет последующих частей Издательство подготовляет к осени текущего года.

Москва, 7 апреля 1924 г.

Предисловие к третьему изданию.

Курс Паровых котлов покойного профессора А. П. Гавриленко в обоих предыдущих изданиях пользовался заслуженным успехом и большим распространением как среди инженеров, техников, так и среди студентов высших технических школ. Причину этого успеха, по нашему мнению, должно видеть в том, что, помимо достаточного для своего времени материала и достаточной его новизны, автор давал в своем курсе много жизненно-ценного, почерпнутого из своего большого технического опыта и широкой литературной осведомленности в области излагаемого предмета. Всюду чувствуется, что у автора есть свой личный взгляд и своя личная оценка. Все это, в связи с живостью и ясностью изложения, дало книге физиономию, привлекательную для широкого круга читателей.

Редактирование третьего издания первоначально взял на себя, по предложению семьи покойного Александра Павловича, проф. Ленинградск. Полит. Инст. А. С. Ломшаков, привлéкши к сотрудничеству и пишущего эти строки.

Однако, вскоре, интенсивная работа, вызванная техническими нуждами тяжелого военного времени, побудила А. С. Ломшакова сложить с себя обязанности редактора и передать, с согласия семьи А. П., дальнейшее редактирование своему сотруднику, не отказывая в то же время в общем руководстве своими указаниями и советами. При ближайшем руководстве проф. А. С. Ломшакова настоящее издание было проредактировано до отдела водотрубных котлов.

Согласившись на предложение издателей взять на себя ответственный труд дальнейшего редактирования, я имел для себя опорой сознание нужды русского читателя-техника в руководстве по паровым котлам, которое бы шло навстречу современным требованиям, и желание заплатить дань своего глубокого уважения к покойному Александру Павловичу, как к профессору, техническому деятелю и человеку.

В первом своем выпуске настоящее издание, по сравнению с предыдущим, в области материала как конструктивного, так и цифрового, содержит местами значительные изменения и дополнения, сопровождаемые соответственными изменениями и дополнениями, и в тексте.

Поступивший в распоряжение редактора материал в виде полного комплекта листов предыдущего издания снабжен многочисленными изменениями и дополнениями, сделанными самим Александром Павловичем, подготовлявшим материал к настоящему изданию. Все вставки и изменения, принадлежащие автору, вошли в первый выпуск книги и войдут в последующие. Эти изменения и дополнения показывают, насколько близко Александр Павлович стоял к новейшим течениям в области котлов и котельных установок.

Из крупных изменений, сделанных самим Александром Павловичем, укажем на вставку параграфов 1—16 (Общие сведения о парообразовании и передаче тепла).

Отдел исторический сокращен редактором. Главы, содержащие описание котлов цилиндрических, с жаровыми трубами, с дымогарными трубками, котлов комбинированных, паровозных, пароходных, дополнены редактором новыми клише. При этом многое из того, что было в предыдущем издании и отсутствует в настоящем, было предназначено к удалению самим автором.

В отделе „горизонтальных“ водотрубных котлов многое дополнено и написано заново редактором. Заново же написаны им отделы: „Вертикальные водотрубные котлы“, „Котлы с беспламенным сжиганием топлива“ и „Котлы газопаровые“.

Во всем остальном изменения и дополнения автора тесно сплетаются с изменениями и дополнениями редактора, и последний затруднился бы в сносках и примечаниях дать читателю соответствующие указания. Читатель, знакомый с языком и стилем Александра Павловича, мы полагаем, сам в состоянии дать себе отчет в этом отношении.

М. Торубаев

Ленинград, 28/15 марта 1918 г.

Паровым котлом называется аппарат, служащий для получения водяных паров, с давлением более атмосферного, употребляющихся во многих случаях техники: для питания паровых машин, нагревания запарных кубов, отопления зданий и т. п.

Всякий паровой котел состоит из следующих составных частей: 1) *топки*, в которой производится сжигание топлива и получается необходимая для парообразования теплота; 2) *резервуара или собственно котла*, в котором находится смесь воды и образующегося из нея пара; 3) *аппарата, производящего тягу воздуха и газов*, необходимую для энергичного сгорания топлива; 4) *кирпичной кладки, или обмазки (обмуровки)*, образующей вокруг котла каналы, по которым движутся горячие газы, обогревающие котел, (в некоторых случаях кирпичная обмуровка может отсутствовать и каналы образуются внутри самого котла); 5) *арматуры, или приборов*, которые должны иметься при котле, чтоб его можно было удобно пускать в работу, поддерживать его исправное состояние во время работы и, в случае надобности, приостановить работу. Вся арматура, сообразно своему назначению, может быть разделена на приборы: а) для приведения в котел воды и отведения из котла пара и грязной воды; б) для указания надлежащего положения уровня воды в котле и г) для указания надлежащего давления пара в котле. Затем, при котле должны находиться всегда различные придаточные части, обуславливающие более удобную постановку котла, регулирование топки и тяги (*подставки, дверцы, заслонки и т. п.*).

Кроме этого, с котлом всегда устанавливается прибор для накачивания [питания] в котел воды (*насос или инжектор*).

В современных установках почти всегда при котле находятся аппараты для перегрева пара—*перегреватели*, приборы для подогревания питательной воды и для возможно большого охлаждения отходящих из котла газов (*подогреватель, экономайзер и др.*), приборы для очищения питательной воды.

Все перечисленные выше предметы составляют, так-называемую, *котельную установку*.

Часть котла, заполненная водой, называется *водяным пространством*; часть, заполненная паром—*паровым пространством*.

Та часть котла и других аппаратов, которая, с одной стороны омывается горячими газами, а с другой, смачивается водой, называется *поверхностью нагрева*.

Металлические стенки резервуара, обладая большой теплопроводностью, по мере того как получают теплоту от горячих газов, сейчас же передают ее воде, омывающей стенки с другой стороны. Вследствие этого, температура чистой стенки не может достигнуть опасной для прочности металла величины и обыкновенно немного разнится от температуры воды. В тех же случаях, когда стенки котла будут загрязнены со стороны воды или будут соприкасаться только с горячими газами, не омываясь с другой стороны водой, металл может раскалиться, и, потеряв свою крепость, разрушиться. Поэтому при устройстве парового котла необходимо заботиться о том, чтобы стенки были чисты и чтобы уровень воды лежал, по крайней мере, на 100 мм. выше поверхности, омываемой горячими газами.

Делать отступления от этого правила нужно чрезвычайно осторожно и в том только случае, если известно, что температура газов настолько низка, что не может оказаться опасной для прочности стенок.

Русский закон о паровых котлах гласит следующее ¹⁾.

Уровень воды в постоянных и подвижных паровых котлах, употребляемых на суше, должен быть, по крайней мере, на четыре дюйма выше наивысшей черты соприкасающихся с продуктами горения стенок котла, если только эти стенки подвергаются опасности быть раскаленными. То же правило применяется к речным пароходным котлам, наибольший горизонтальный размер которых, по ширине судна, не превосходит четырех футов; в котлах же горизонтальных, размер которых, по ширине судна, заключается между четырьмя и восемью футами, превышения уровня воды над подверженными опасности накаливанию стенками должно быть не менее шести дюймов, а при размере более восьми футов (как, например, в котлах мореходных судов) не менее семи дюймов; на катерах же может быть и в три дюйма.

Примечание 1. Стенкою котла, неподверженною опасности накаливания, признается та, до соприкосновения с которою продукты горения должны пройти по поверхности нагрева, превосходящей площадь решетки (на которой горит топливо) в 40 раз, если естественная тяга, производимая дымовой трубой, усиливается посредством впускаемой в трубу струи пара, и в 20 раз, если такого усиления естественной тяги не имеется.

Примечание 2. Изложенные в сем параграфе правила не относятся к котлам, составленным из труб, в которых циркулирует вода, если внутренний диаметр этих труб не более четырех дюймов, и к вертикальным трубчатым котлам, поверхность которых не превосходит ста квадратных футов.

Наивысший предел, где кончается соприкосновение горячих газов с котлом, называется *огневой линией*.

Назначение котельной установки заключается: в выделении тепла, находящегося в скрытом состоянии в топливе, в поглощении этого тепла поверхностями нагрева, в передаче тепла воде и в превращении последней в пар требуемого качества.

Из всего тепла Q , которое вносится с топливом в топку, только часть

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

Q_2 — уносится в трубу с отходящими продуктами горения.

Q_3 — теряется в топке от химич. неполноты горения.

¹⁾ Подробное изложение правил и законов, касающихся установки котлов, можно найти в книге К. И. Борзенко, „Законы и правила о паровых котлах“.

Q_4 — теряется в топке от механ. неполноты горения (провал).

Q_5 — отдается в окружающую среду внешними поверхностями.

Ясно, что

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

Коэффициент полезного действия котла будет

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

и будет тем больше, чем меньше потери тепла Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 .

При устройстве котельной установки нужно стремиться к возможно большому коэффициенту полезного действия, при возможно малых затратах на всю установку и при полной безопасности устройства.

Сообразно с этим, при устройстве котельной установки, необходимо заботиться:

1) чтобы в топке происходило возможно полное выделение тепла (полное горение) при возможно малом избытке воздуха;

2) чтобы все горячие поверхности были хорошо изолированы и потери тепла в пространство были сведены до возможного минимума;

3) чтобы поверхности нагрева имели такую конструкцию, при которой теплота, выделяющаяся из топлива, поглощалась ими наиболее энергично и отходящие газы охлаждались до возможно низкой температуры (чтобы Q_2 — было возможно мало);

4) чтобы исполнение котла и других составных частей котельной установки не представляло больших затруднений;

5) чтобы отдельные части котла имели такую форму, при которой они наименее подвергались бы разрушительному действию горячих газов, воды и воздуха, и могли бы свободно расширяться при нагревании, не вызывая вредных внутренних напряжений;

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

7) чтобы все части котла были, по возможности, одинаково прочны и изнашивались равномерно, так что котел не мог бы оказаться через некоторое время негодным вследствие порчи одной из его частей;

8) чтобы котел был снабжен всеми необходимыми аппаратами, гарантирующими его безопасное действие;

9) чтобы все составные части установки были в соответствии между собой и с условиями работы.

Нужно сознаться, что до последнего времени котлам уделяли слишком мало внимания. Тогда как над усовершенствованием паровых машин работали лучшие силы техники, паровой котел, несмотря на его большое распространение по сравнению с паровой машиной, оставался на втором плане; а между тем он представляет обширную и благодарную почву для усовершенствований.

Стоимость топлива, расходуемого в котлах, по скромной оценке должна составить годовую сумму не меньше 10.000.000.000 руб. Следовательно, всякий процент, который технике удастся сберечь при пользовании паровыми котлами, принесет человечеству громадную экономию, по крайней, мере 10.000.000 руб. в год.

Уже из этих цифрах видно, какую важную роль паровой котел играет в технике. Но, являясь могучим подспорьем для современной промышленности, паровой котел может оказаться в то же время крайне опасным аппаратом, если при выборе его конструкции, исполнении и содержании не будут приложены полное знание и внимание. Ни одно из технических приспособлений не вознаграждает так щедро, как котел, за надлежащее к нему внимание и вместе с тем ничто, подобно котлу, не наказывает так ужасно за небрежное к нему отношение.

Ежегодно на скорбные страницы истории заносится целый ряд человеческих жизней и громадных материальных убытков, ставших жертвами невежественного обращения с паровыми котлами. Вследствие этого для инженера вопрос о паровых котлах является одним из наиболее интересных и важных. Здесь всякое усовершенствование экономической стороны не заставит ждать щедрого вознаграждения; всякое же усовершенствование, ведущее к большей безопасности пользования паровыми котлами, может смело рассчитывать на высокую признательность всего общества.

Вопрос о паровых котлах может представляться в очень разнообразных формах. Данным в задаче о паровых котлах всегда является количество пара, которое необходимо получить для удовлетворения известной потребности, и инженеру предоставляется, сообразно с данными условиями, решить эту задачу так, чтобы, при *наименьших затратах, достичь наилучших результатов.*

В отдельных случаях ему придется решать, сколько котлов наиболее выгодно поставить и как разделить между ними производство пара? Какой системы котлы окажутся наиболее практичными при данных условиях, чтобы обеспечить постоянное снабжение паром в необходимом количестве при полной безопасности, или, вернее, при благоразумном минимальном риске?

При исполнении паровых котлов на долю инженера выпадает обязанность решать вопросы о наиболее рациональной конструкции, о наилучшем способе соединения отдельных частей, о выборе соответствующих материалов. Им же должно быть указано, каким образом все эти детали должны быть исполнены в мастерских, так как от способа исполнения зависит очень многое.

Не менее важные вопросы приходится решать и при надзоре за находящимся уже в действии котлом: что нужно сделать, чтобы получить нужное количество пара при наименьшей затрате топлива? как продлить срок службы котла? и т. п., имея всегда при этом в виду наибольшую экономию всего устройства.

Обыкновенный путь для решения подобных вопросов, это — основательное знакомство с данными, выработанными теорией и предшествовавшей практикой, а затем применение этих данных, сообразуясь с наличными условиями.

Систематическое изложение научных и практических данных, с целью выяснить современное положение вопроса об экономичном и безопасном пользовании паровыми котлами, и будет составлять задачу настоящего курса.

Общие сведения о парообразовании и передаче тепла.

1. Испарение. Испарением называется свободное превращение жидкости в пар, при чем пар образуется исключительно на поверхности жидкости.

Непосредственные наблюдения показывают, что в безвоздушном пространстве испарение происходит сейчас же, как только жидкость будет туда поставлена, независимо от температуры жидкости, и останавливается только тогда, когда объем образовавшегося пара достаточен, чтобы производить на стенке сосуда известное давление, всегда одно и то же для данной температуры, и называемое наибольшею степенью упругости пара. Следовательно, для каждой данной температуры существует предел количества пара, способного образоваться в данном пространстве. При достижении такого предела говорят, что пространство *насыщено* парами, а пар находится в *насыщенном состоянии*.

В газообразной атмосфере, ограниченного объема, явление испарения происходит гораздо медленнее и останавливается тогда, когда давление пара достигает своего максимума, соответствующего данной температуре. В данном случае, как и в случае пустоты, пространство будет *насыщено* парами.

В газообразной атмосфере, неограниченного объема, явление испарения становится непрерывным. Дальтон исследовал скорость испарения при таком условии и нашел, что скорость зависит:

- 1) от упругости паров, равномерно распределенных в атмосфере;
- 2) от упругости самой атмосферы;
- 3) от температуры жидкости и атмосферы;
- 4) от размера испаряющей поверхности жидкости;
- 5) от скорости возобновления насыщенных парами слоев атмосферы, находящихся непосредственно над жидкостью.

Испарение сопровождается поглощением тепла. Количество теплоты, потребное для испарения, называется *скрытой теплотой испарения*.

Конденсацией паров называется переход их обратно в капельно-жидкое состояние. Конденсация может произойти от трех причин: понижения температуры, расширения и химического сродства. В первых двух случаях необходимо, чтобы пары находились в состоянии насыщения; в последнем случае конденсация может произойти и тогда

когда пары разрежены; например, многие соли поглощают пары из атмосферы и сгущают их, в какой бы пропорции пары в атмосфере ни находились. При конденсации пары выделяют то же количество тепла, которое было поглощено ими при испарении.

2. Кипение. Испарение жидкостей в открытых сосудах значительно усиливается при повышении их температуры; в то же время увеличивается упругость паров, выделяемых поверхностью; это происходит до некоторого предела, после которого начинается образование пузырьков пара внутри жидкости и всплывание их на поверхность; в этот момент упругость пара равняется упругости атмосферы. Такое видимое образование пара в самой массе жидкости и называется *кипением*.

После того, как кипение началось, продолжается также и испарение с поверхности; при чем общее количество образующегося пара равно сумме пара, выделяющегося с поверхности, и пара, выделяющегося внутри жидкости. Такое совместное испарение с кипением называют *выпариванием*.

Для того, чтобы началось кипение, необходимо, чтобы температура той молекулы жидкости, которая переходит в газообразное состояние, соответствовала бы давлению пара, равному:

1) давлению атмосферы, увеличенному на давление столба жидкости, находящегося над молекулой;

2) капиллярному давлению и сцеплению, оказываемому материалом сосуда, так как пузырьки пара всегда образуются в непосредственном соседстве с твердым телом.

3. Температура кипения воды. Температура кипения воды при одном и том же давлении, изменяется в зависимости от материала сосуда, в котором она заключена, и от растворенных в ней тел. При давлении в 760 мм. ртутного столба, в медном сосуде, дистиллированная вода кипит при температуре, которая принята за 100° для шкалы Цельсия. Это — так-называемая *нормальная температура кипения*.

Растворы солей несколько повышают точку кипения, так, напр., насыщенные растворы кипят:

Сернокислого натрия при	101°
Уксуснокислого свинца	102°
Морская вода	104°
Углекислого натрия	105°
Хлористого натрия	108°

В стеклянном сосуде вода кипит при 102° ; если сосуд предварительно сполоснуть серной кислотой, то точка кипения повышается до 105° и даже до 106° . Однако, небольшого кусочка металла, положенного на дно сосуда, достаточно, чтобы точка кипения снова стала нормальной, т.-е. в 100° . Таким же образом можно уничтожить разбрызгивание жидкости, которое обыкновенно сопровождает кипение соляных растворов или подкисленных жидкостей в стеклянных сосудах.

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

Следовательно в открытом сосуде, где вода находится под давлением одной атмосферы, ее нельзя нагреть значительно выше 100° Ц.

Если же сосуд закрыть, то выделяющиеся пары повышают внутреннее давление, а вместе с тем повышается и точка кипения; поэтому в закрытом сосуде, если только позволяет прочность его стенок, воду можно нагреть до произвольно высокой температуры в пределе до начала диссоциации.

Обратно, при понижении давления температура кипения воды должна понижаться, и потому часть воды будет обращаться в пар за счет содержащейся в воде избыточной теплоты, которая окажется при понижении давления. Следовательно, кипение и получение пара может происходить при постоянном или увеличивающемся давлении, вследствие приведения к воде теплоты, или же при понижающемся давлении без приведения теплоты, только за счет оказавшегося избытка теплоты внутри самой жидкости ¹⁾.

4. Скрытая теплота испарения. Реньо на основании многочисленных опытов дал эмпирическую формулу, выражающую все количество теплоты, которое должно быть поглощено водой для испарения при данной температуре.

Полная теплота испарения 1 кгр. пара

$$\lambda = 606,5 + 0,305 t \text{ калорий.}$$

При нормальной температуре кипения в свободной атмосфере формула дает скрытую теплоту, потребную для превращения в пар одного кгр. воды.

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

Предыдущая формула предполагает, что *теплоемкость воды*, постоянная для различных температур, на самом же деле, согласно Реньо, теплоемкость изменяется в зависимости от температуры по закону, выраженному следующей формулой:

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

Ниже приведена таблица 1 насыщенных паров по Молюе. В технике обыкновенно принимают за атмосферное давление одного килограмма на кв. сант. Это соответствует давлению ртутного столба высотой в 735,5 мм., или водяного высотой в 10 метров. Такая величина атмосферы принята и при составлении нижеприведенной таблицы. Здесь первый столбец дает величину давления в атмосферах, или в кгр. на кв. сант. В виду того, что принятая здесь величина атмосферы несколько отличается от нормальной (760 мм.), температура кипения при одной атмосфере в таблице дана $99,1^{\circ}$ Ц., а не 100° .

¹⁾ На этом основано устройство котлов, работающих без топки.

ТАБЛИЦА 1.

Насыщенный водяной пар от 0,02 до 20 kg/qcm abs. Табл. 1.

Давление at abs. (kg/qcm)	Темпе- ратура ° C	Теплота жидкости Cal/kg	Теплота испарения	Полная теплота $q+r=$	Внутренняя теплота испарения	Удельный объем cbm/kg	Удельный вес kg/cbm
p	t	q	r	z	q	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

В приведенной таблице даны *абсолютные* давления пара. Приборы же, указывающие давление на котлах, или манометры, дают обыкновенно избыточное давление пара над атмосферным, поэтому для пользования таблицею к давлению, показываемому манометром всегда нужно прибавлять одну атмосферу и тогда мы получим абсолютное давление пара в котле.

5. Влажный и сухой пар. Приведенная выше связь между температурой и давлением остается справедливой до тех пор, пока пар находится в соприкосновении с водой. В этом случае отделяющиеся с поверхности пузырьки пара увлекают с собою механически мельчайшие капельки воды, которые распределяются по всей массе пара. Пар в таком состоянии называется *сырым* или *влажным*. Степень влажности характеризуется количеством примешанной к пару воды, выраженным в процентах. В практике пар считается достаточно сухим, если количество примешанной к нему воды не превышает 1%.₀.

6. Перегретый пар. Когда вода в сосуде будет испарена, тогда при дальнейшем приведении теплоты будут испаряться капли воды, примешанные к пару. В тот момент, когда вся примешанная к пару вода превратится в пар, он сделается *сухим*, но будет еще *насыщенным*. Это есть предельное состояние, при котором пар подчиняется законам, выраженным формулой Реньо и приведенной выше таблицей. При дальнейшем нагревании пар становится *перегретым* и соотношение между давлением и температурой подчиняется совершенно иным законам.

Для определения теплоты λ' , содержащейся в перегретом паре, с достаточной точностью можно пользоваться формулой:

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

где $\lambda = +q + r + A_{\text{пр}}$ — полное количество теплоты, заключенной в насыщенном паре,

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

t' — температура перегретого пара, в °Ц.

t — температура насыщенного пара, того же давления, в °Ц.

Для насыщенного пара связь между давлением и объемом выражается, согласно Молье, следующим равенством

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

p — давление (кгр. на кв. сант.), v — удельный объем (объем 1 кгр.).

Давление, объем и температура перегретого пара связываются следующей эмпирической формулой, предложенной Цейнером:

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

ТАБЛИЦА 2.

Средняя теплоемкость перегретого пара для интервала между температурой насыщенного пара и температурой перегретого.

p = t =	1 at 99,1 ⁰	2 at 119,6 ⁰	4 at 142,9 ⁰	6 at 158,1 ⁰	8 at 169,6 ⁰	10 at 179,1 ⁰	12 at 187,1 ⁰	14 at 194,2 ⁰	16 at 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			
Хольборн и Хеннинг.		Кноблаух, Якоб и Г. Моллье.				Получено путем экстраполяции.			

где: p —давление перегрет. пара в кгр. на кв. сант., t —температура перегретого пара в град. Цельсия и v —удельный объем (объем 1 кгр.) перегрет. пара в куб. метрах.

При помощи этой формулы может быть вычислен удельный объем перегретого пара для данного давления и температуре перегрева.

Тумлирцем предложена ¹⁾ более простая формула, составленная на основании опытов Бателли.

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

Обе формулы дают близко подходящие друг к другу результаты.

Теплопроводность перегретого пара очень мала. Это следует из того, что в одном и том же сосуде может находиться как перегретый пар, так и насыщенный; в длинных трубопроводах, проводящих перегретый пар, всегда присутствует конденсационная вода; если перегретый пар в сосуде не двигается, то температура в одном месте сосуда может очень сильно отличаться от температуры пара в другом месте; струя воды, введенная в перегретый пар, очень медленно и незначительно понижает его температуру.

¹⁾ Р. Линде несколько изменил численные значения коэффициентов в уравнении 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 пузырьков пара. При нагревании воды в сосуде замечается, что пузырьки пара образуются только в известных местах, всегда одних и тех же, и последовательно отделяются, если условия нагревания остаются одни и те же.

До тех пор, пока вся масса жидкости не нагреется до температуры кипения, пузырьки пара, образовавшиеся в нижних слоях, уменьшаются, по мере того, как они поднимаются на поверхность, так как, проходя через слои, менее нагретые, они отдают им свою скрытую теплоту и, конденсируясь, уменьшаются в объеме. Напротив, когда вся жидкость примет температуру кипения, пузырьки пара, поднимаясь вверх, увеличиваются в объеме.

Это увеличение объема зависит от двух причин: 1) от уменьшения давления в верхних слоях и 2) от испарения, которое продолжается на всей поверхности пузырька.

8. Теория кипения, особые виды выпаривания. Для того, чтобы кипение началось при нормальной температуре, необходимо, чтобы в массе жидкости заключался какой-нибудь газ.

135752
Что кипение есть особый род испарения, впервые высказал Ляком и впоследствии подтвердил Жерве, который произвел следующие опыты. В стеклянный сосуд, наполовину наполненный водой, вводится стеклянная трубочка с колоколом на конце, содержащим небольшой пузырек воздуха. При нагревании замечается, что воздушный пузырек начинает увеличиваться в объеме и из-под колокола начинают последовательно выходить пузырьки пара, при чем в остальных частях сосуда кипения не замечается.

В сосуд, содержащий кипящую воду, вводят маленькую стеклянную чашечку, которая предварительно была хорошо вымыта в алкоголе, чтобы уничтожить на стекле присутствие воздуха. Чашечкой накрывают один из пузырьков кипящей жидкости; этот пузырек располагается в верхней части чашечки и сейчас же становится центром очень энергичного парообразования. Из-под чашечки начинает выделяться множество пузырьков, следующих один за другим. Если через несколько времени прекратить нагревание жидкости, то кипение остановится, пар, содержащийся в чашечке, конденсируется и в верхней ее части станет заметно присутствие маленького воздушного пузырька.

Чтобы в массе жидкости могло начаться образование пузырьков не достаточно, чтобы в этой жидкости находился газ в растворенном виде, необходимо, чтобы газ присутствовал в свободном состоянии. При нагревании воды до 60° — 70° Ц. начинается выделение воздуха, и предполагают, что при этой температуре весь растворенный воздух уже выделен. На самом деле это не так: некоторая часть воздуха еще удержана водой, так как он оказывается в конденсированных парах. Этот остаточный воздух, повидимому, выделяется только при температуре кипения, вследствие сродства к стенкам сосуда. По крайней мере, это следует из одного опыта Жерве, который показывает, что

можно воду, содержащую в растворенном виде воздух, нагревать до температуры высшей, чем точка кипения, без того, чтобы кипение началось. Кипение начинается только после того, как температура повысится на столько, что содержащиеся в жидкости газы начнут выделяться в свободном состоянии, или же это выделение газа будет произведено каким-либо другим способом, независимо от повышения температуры. Для подтверждения этого Жерве вводил в сосуд, содержащий воду, нагретую до температуры выше 100° Ц., стеклянную чашечку и палочку. Сосуд, чашечка и палочка были старательно обмыты, чтобы вместе с ними не мог попасть в жидкость воздух. Если палочкой тереть о чашечку, то, вследствие этого, оставшийся в растворе воздух выделяется и кипение сейчас же начинается.

Из сказанного следует, что если сама жидкость в сосуде, в котором она заключена, не содержит совершенно свободных газов, то кипение не может начаться при нормальной температуре.

Пузырьки пара образуются всегда около стенок нагреваемого сосуда и никогда не могут образоваться внутри самой жидкости. Но если в середину сосуда ввести какое-нибудь твердое тело, то на всей его поверхности начнется образование пузырьков пара, т.-е. оно действует как поверхность нагрева, хотя на самом деле и не находится в соприкосновении с источником тепла. Следовательно, для того, чтобы внутри жидкости началось образование пузырьков пара, необходимо одновременно присутствие молекулы твердого тела и молекулы газообразного тела.

9. Форма и путь пузырьков пара. Первоначальная форма пузырька пара, находящегося в соприкосновении со стенкой сосуда, есть полусфера, опирающаяся на стенку большим кругом. Увеличиваясь в объеме, пузырек принимает форму груши, и так как жидкость около нагреваемой стенки находится в довольно сильном движении, то пузырек постепенно удлиняется, пока он не будет совершенно оторван и увлечен потоком жидкости.

Если жидкость двигается горизонтально над нагреваемой стенкой, то пузырек принимает форму эллипсоида, при восходящем же движении струи пузырек имеет форму приплюснутой сферы.

Но как только пузырек выйдет из струй жидкости, которые всегда движутся над нагреваемой поверхностью, его скорость и направление движения изменяются в зависимости от того, подымается ли пузырек внутри массы жидкости или по стенке сосуда. Двигающийся таким образом пузырек представляется в виде тем более приплюснутой сферы, чем больше объем пузырька. Если пузырек подымается около стенки, то он движется наклонно, если же он подымается внутри жидкости, то он движется по винтовой линии, шаг и диаметр которой тем больше, чем больше объем пузырька. Скорость же восхождения, измеряемая по вертикальному направлению, уменьшается с возрастанием объема пузырька.

Вместе с потоком движутся и пузырьки пара, большинство пузырьков прорывается на поверхность жидкости, но некоторые из них увлекаются потоком при нисходящем движении, пузырьки сопротивляются этому движению, некоторое время они остаются почти без всякого движения, пока не примут форму, позволяющую им подниматься вверх против течения. Такое движение жидкости легко наблюдать, производя кипение воды в стеклянном цилиндрическом сосуде, и для большей ясности явления в воду нужно бросить какие-нибудь легкие тела, бумажки и т. п.

Скорость движения потока при кипении тем сильнее, чем сильнее кипение; но при этом, как бы сильно кипение ни было, отдельные пузырьки пара, образующиеся на стенке сосуда, никогда не сливаются вместе, а все время остаются раздельными друг от друга.

Если какая-нибудь из брошенных в жидкость бумажек попадает случайно на поверхность нагрева, то она почти не движется по ней в горизонтальном направлении, что указывает на то, что на поверхности нагрева жидкость находится в покое, хотя в то же время на расстоянии 1 мм. над поверхностью нагрева существует очень сильный поток в горизонтальном направлении.

Это явление может быть объяснено силой сцепления, которую оказывают на жидкость стенки сосуда.

10. Влияние размера свободной поверхности. Если свободная поверхность испарения меньше, чем обогреваемая поверхность, то движение жидкости внутри сосуда замечается в менее сильной степени. Отдельные пузырьки, прежде чем выйти на поверхность, соединяются по нескольку вместе, и количество пара, выделяемое поверхностью, оказывается значительно меньше.

Если сосуд между поверхностью нагрева и свободной поверхностью имеет сжатие, то вся часть жидкости, лежащая поверх этого сжатия, не участвует в движении и пар выделяется на поверхность в значительно меньшей степени; пузырьки, дойдя до сужения, сливаются друг с другом, и это сливание отдельных пузырьков происходит тем сильнее, чем больше сужение.

В этом случае испарение происходит только около обогреваемой стенки и около всплывающих пузырьков, свободная же поверхность в испарении совершенно не участвует. Нагретые молекулы, не прикасаясь с ней, не отдают ей своей теплоты, таким образом уменьшают передачу теплоты к свободной поверхности, которая остается почти бездеятельной в смысле испарения.

11. Сфероидальное состояние. Если брызнуть каплю воды на металлическую поверхность, нагретую до красного каления, то будет замечаться явление, которое, повидимому, находится в противоречии с законами парообразования и кипения. Действительно, вода, попавшая на раскаленную поверхность, разбивается на мелкие капли, сфероидальные формы, которые приходят в быстрое вращательное движение. Внутри этих капель не происходит кипения, но они по-

немногу испаряются, так как, постепенно уменьшаясь в объеме, они совершенно исчезают.

При введении воды на раскаленную поверхность осторожно, при помощи трубочки, можно заставить слиться несколько маленьких капель в одну большую, которая при этом принимает форму сфероида, тем более приплюснутого, чем больше его объем.

Если металлическая поверхность с находящимся на ней сфероидом жидкости будет охлаждаться, то при некоторой температуре сфероидальное состояние прекратится, вода смочит металлическую поверхность, сразу наступит бурное кипение и быстрое превращение жидкости в пар.

Бутиньи занимался специально изучением сфероидального состояния: он погружал маленький термометр во внутрь сфероида и, не смотря на то, что показания термометра увеличивались вследствие влияния лучистой теплоты, термометр никогда не показывал температуры, соответствующей нормальной температуре испарения, его показания были около 95° Ц.

Потом М. Берже проверял эти измерения. Ему удалось получить сфероид очень большой величины, до 500 куб. сант.; он нашел, что температура высших слоев такого сфероида колеблется около 90° Ц., а температура нижних слоев—около 97° Ц., вероятно потому, что в нижних слоях больше сказывается влияние лучистой теплоты металлической поверхности.

Но если температура внутри сфероида всегда ниже, чем нормальная температура испарения, то температура паров, отделяемых сфероидом, всегда равна температуре раскаленной металлической стенки.

При сфероидальном состоянии между жидкостью и нагретым телом не существует соприкосновения. Для подтверждения этого Пагендорф произвел следующий опыт: к нагретой металлической чашке прикреплялся один проводник гальванической батареи, другой конец соединялся с каплей жидкости, находящейся в сфероидальном состоянии. До тех пор, пока сфероидальное состояние имело место, гальванометр не указывал в цепи присутствия тока, но как только температура чашки понижалась настолько, что сфероидальное состояние уничтожалось, цепь замыкалась, что и служило указанием того, что жидкость смочила и соприкоснулась с металлической поверхностью.

Чтобы сфероидальное состояние имело место, нет необходимости, чтобы металл был нагрет до красного каления, нужно только, чтобы его температура превосходила 170° Ц.

Сфероидальное состояние объясняется тем, что между жидкостью и горячей стенкой образуется слой паров, которые, приобретая от нагревания большую упругость, не позволяют жидкости соприкасаться со стенкой и в то же время, являясь дурным проводником теплоты, допускают лишь незначительное испарение жидкости.

Передача тепла через котельную стенку.

12. Поглощение тепла поверхностью стенки. Поверхность котельной стенки поглощает теплоту двумя способами:

- 1) Непосредственным соприкосновением с горячими газами.
- 2) Обменом лучистой теплотой с раскаленными телами, находящимися по соседству со стенкой.

Обозначая чрез:

$Q_{\text{сопр.}}$ — (калор.) количество тепла, поглощаемое стенкой в час при непосредственном соприкосновении с газами,

$t_{\text{газ}}$ — (град. Ц.) температуру газов,

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

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

α_1' — коэффициент теплопередачи для поверхности соприкосновения, согласно закону Ньютона, будем иметь:

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

Количество тепла, передающееся лучеиспусканием, согласно закону Стефана-Больцмана, будет:

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

здесь:

$H_{\text{луч.}}$ — поверхность лучеиспускающего тела (кв. метры),

$t_{\text{луч.}}$ — температура лучеиспускающего тела (в котлах зависит от температуры газов и приблизительно равна ей),

φ — относительное количество тепловых лучей, падающих на котельную стенку,

c — коэффициент лучеиспускания.

Общее количество тепла, поглощаемое 1 кв. метром котельной стенки в единицу времени будет:

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

Мы видим, что количество тепла, поглощенного 1 кв. м., в один час будет зависеть:

1) от коэффициента теплопередачи поверхности соприкосновения α_1' ,

2) от $\frac{H_{\text{луч.}}}{H_k}$, т.-е. от отношения лучеиспускающей и поглощающей поверхности,

3) от φ — т.-е., от относительного количества падающих лучей, что зависит от относительного расположения поверхностей, обменива-

ющихся лучистой теплотой: наиболее выгодным будет тот случай, когда эти поверхности расположены параллельно между собой.

4) От коэффициента лучеиспускания ϵ ; стенка, покрытая сажей, будет поглощать тепло лучше, чем полированная поверхность. Поэтому небольшой налет сажи полезен, пока он не сильно понижает дальнейшую теплопроводность стенки.

5) От разности температур $(t_{\text{газ}} - \vartheta_1)$, и $(t_{\text{луч.}} - \vartheta_1)$, при чем поглощение возрастает не прямо пропорционально этой разности, а более быстро, так как во втором члене температуры входят в четвертых степенях. Чем выше температура лучеиспускающего тела, тем сильнее будет влияние второго члена.

Обыкновенно совместное действие передачи тепла непосредственным соприкосновением и лучеиспусканием выражают более простой зависимостью

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

но при этом необходимо помнить, что в такой простой формуле коэффициент внешней теплопередачи α_1 является величиной переменной, зависящей не только от состояния поверхности нагрева, но также и от ϵ , φ , отношения $H_{\text{луч.}}$: H_k и от температуры газов, так что в различных местах котла он будет различен, в зависимости от того, какое участие в этом месте принимает лучеиспускание.

13. Полный коэффициент теплопередачи чистой стенки. Поглощенное поверхностью стенки тепло от газов, передается другой ее поверхностью воде или пару. Рассмотрим случай чистой стенки, при чем размеры поверхностей, омываемых газами и водой, предположим неодинаковыми. Обозначим их $H_{\text{газ}}$ и $H_{\text{вода}}$, далее назовем через

ϑ_1, ϑ_6 — температуры газовой и водяной поверхности стенки,
 λ_2 — коэффициент внутренней теплопроводности стенки,
 α_1, α_4 — коэффициенты прохождения тепла через поверхности,
 δ_2 — толщину стенки
 $t_{\text{газ}}, t_{\text{вода}}$ — температуры газов и воды, омывающих стенку.

Тогда количество тепла (Q калор.), передающееся в 1 час через стенку будет:

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

откуда

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

Выделим внутри стенки бесконечно тонкий слой, отстоящий на расстоянии x от внутренней поверхности. Назовем поверхность этого слоя через H , температуру — ϑ , тогда при установившемся процессе должны иметь

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

Интегрируем это выражение в пределах от $x=0$ до $x=\delta_2$ получим

$$\vartheta_1 - \vartheta_6 = \frac{Q}{\lambda_2} \int_0^{\delta_2} \frac{dx}{H}$$

подставляя сюда полученные для ϑ_1 и ϑ_6 выражения (5) найдем

$$Q = \frac{t_{\text{газ}} - t_{\text{вода}}}{\frac{1}{H_{\text{газ}} \alpha_1} + \frac{1}{H_{\text{вода}} \alpha_4} + \frac{1}{\lambda_2} \int_0^{\delta_2} \frac{dx}{H}} \dots \dots \dots (6)$$

Сравнивая это выражение с выражением

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

получим выражение для полного коэффициента теплопередачи чистой стенки K'

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{H_{\text{газ}}}{H_{\text{вода}}} \cdot \frac{1}{\alpha_4} + \frac{H_{\text{газ}}}{\lambda_2} \int_0^{\delta_2} \frac{dx}{H}} \dots \dots \dots (7)$$

Если $H_{\text{газ}} = H_{\text{вода}} = H$, что с достаточной точностью можно принять для котельных стенок, то

$$K'_{\text{чист.}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_4} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} \dots \dots \dots (8)$$

14. Общий коэффициент теплопередачи котельной стенки K

На самом деле стенка чистой никогда вполне не бывает и представляется сложное тело, состоящее из нескольких слоев (металл, покрытый с одной стороны налетом сажи и золы, а с другой — накипью), а потому при дальнейшем прохождении поглащенной внешней поверхностью теплоты последней приходится преодолевать сопротивления при прохождении из одного слоя в другой и внутри всех этих слоев; вследствие этого общий коэффициент теплопередачи K складывается из коэффициентов теплопередачи отдельных слоев.

Обозначим через

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

$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$ — коэффициенты внутренней теплопроводности тех же слоев,

$\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4$ — коэффициенты прохождения тепла для соприкасающихся поверхностей.

$t_{\text{газ}} t_k$ — температуры (град. Ц.) газов и воды или пара в котле. Тогда, согласно законов передачи тепла, будем иметь:

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

откуда общий коэффициент теплопередачи

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

Величинами $\frac{1}{\alpha_2}$ и $\frac{1}{\alpha_3}$, как весьма малыми по сравнению с другими, можно пренебречь, тогда

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

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 $\lambda_3 = 2,00$;
- „ железа $\lambda_2 = 50,00$;
- „ меди $\lambda_2 = 320,00$.

Для чистой железной стенки, толщиной 20 м.м. ($\delta_1 = 0,02$ м.), $\delta_1 = 0$, $\delta_3 = 0$, $\alpha_1 = 20$, следовательно

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_4}} \approx 20 = \alpha_1, \dots \dots \dots (12)$$

при чем $\frac{1}{\alpha_4} = 1/5000 \dots \dots 1$

$\frac{\delta_2}{\lambda_2} = 0,02/50 \dots \dots 2$

$\frac{1}{\alpha_1} = 1/20 \dots \dots 250$

Из этого видно, что если сопротивление при переходе тепла от стенки к воде принять за 1, то сопротивление при проходе в самой стенке будет 2, а при переходе от газов к стенке будет 250. Следовательно величины $\frac{1}{\alpha_1}$ и $\frac{\delta_2}{\lambda_2}$ являются ничтожными по сравнению с величиной $\frac{1}{\alpha_4}$, и потому практически совершенно безразлично из чего сделана котельная стенка, из железа или из обладающей большей теплопроводностью меди.

В виду малых значений $\frac{\delta_2}{\lambda_2}$ и $\frac{1}{\alpha_4}$ по сравнению с $\frac{1}{\alpha_1}$ можно считать, что для чистой котельной стенки полный коэффициент теплопередачи K приблизительно равен α_1 коэффициенту прохождения теплоты через наружную поверхность стенки ¹⁾.

Итак, количество тепла, передающегося чрез котельную стенку воде или пару в единицу времени будет ²⁾:

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

Следовательно, для повышения теплопередачи, мы должны повысить K и увеличивать разность температур $(t_{\text{газ}} - t_k)$.

Из выражения (11) видно, что для увеличения K нужно уменьшать толщину налетов сажи и накипи (δ_1 и δ_3), при чем особенно вредным оказывается сажа, для которой $\lambda_1 = 0,20$. Для накипи $\lambda_3 = 2,00$, следовательно, сопротивление сажи для прохода тепла в 10 раз больше, чем сопротивление накипи. Налет масла еще вреднее—для него $\lambda_3 = 0,15$. Из этого ясно, что нужно стенку поддерживать в чистом состоянии. Затем нужно увеличивать коэффициент поглощения поверхности α_1 , а это, как мы видели, в сильной степени зависит от действия лучеиспускания, поэтому для увеличения теплопередачи чрез котельную стенку выгодно по соседству с ней помещать раскаленные тела (слой топлива, яркое пламя, кирпичную обмуровку и друг.) и, наоборот, не следует помещать более холодных тел, например, рядом с перегревателем пара котельную стенку, так как при этом более горячий перегреватель будет излучать на холодную стенку и его K получится меньше.

Наконец, нужно увеличить коэффициент теплопередачи α_4 , на который, как показывают опыты, оказывает влияние скорость движения воды, омывающей стенку. Чем сильнее циркуляция воды, тем более омывается стенка водой и менее паром, а вследствие этого повышается и α_4 .

Что касается до увеличения разности $(t_{\text{газ}} - t_k)$, то для этого нужно газ заставлять хорошо перемешиваться. Температура газов около поверхности стенки всегда ниже, чем в остальной массе, так как при соприкосновении с поверхностью газы охлаждаются. При энергичном перемешивании температура газов около стенки приближается к средней температуре остальной массы, вследствие чего и теплопередача увеличивается. Так как мы обыкновенно измеряем среднюю темпера-

¹⁾ Нужно заметить, что это будет практически справедливо в том случае, когда $H_{\text{газ}} = H_{\text{вода}}$, но если эти величины сильно отличаются (как, например, в ребристых нагревателях) тогда, как видно из форм. (7) множители $H_{\text{газ}}/H_{\text{вода}}$ могут дать величину K , сильно отличающуюся от α_1 .

²⁾ Заметим, что если $H_k = 1$ и $t_{\text{газ}} - t_{\text{вода}} = 1$, то $K = Q$, т.е. вообще коэффициент теплопередачи представляет собой количество тепла (калор.), передающееся через единицу поверхности стенки (1 кв. метр) при разности температур $\left(\begin{smallmatrix} t & - & t \\ \text{газ} & & \text{вода} \end{smallmatrix} \right)$ в 1 град Ц.

туру газов, а по соседству со стенкой измерить ее не можем, то при испытании в формулу (13) вставляется всегда несколько высшая температура ($t_{\text{газ}}$), чем та, под влиянием которой теплопередача происходит, а потому при получаемой из опыта величине Q наблюдаемый K получается уменьшенным. При хорошем перемешивании температура газов около стенки приближается к температуре ($t_{\text{газ}}$), вставляемой в формулу, и K как бы увеличивается.

Перемешивание газов достигается и повышением скорости их движения. При повышении скорости газов увеличивается трение их о стенки каналов, вследствие чего порождаются вихревые движения, которые и перемешивают газы.

Тех же результатов, в смысле повышения температуры прилегающих к поверхностям нагрева частиц газов, можно достичь искусственным перемешиванием газов, ставя в каналах перегородки и другие препятствия.

Точно так же для увеличения разности ($t_{\text{газ}} - t_k$) нужно заставлять воду, омывающую стенку, циркулировать и этим отводить от стенки нагретые частицы воды, заменяя их более холодными.

15. Температура котельной стенки. Температуру котельной стенки можно определить из равенства (9), считая, что $\frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{\alpha_3} = 0$.

$$\vartheta_3 = t_k + \frac{Q}{H_k} \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_1} \right) \dots \dots \dots (14).$$

Из этого видно, что температура котельной стенки будет тем выше, чем выше температура воды или пара, омывающих стенку, чем больше передается тепла $\left(\frac{Q}{H_k} \right)$ через единицу поверхности нагрева в час, чем толще стенка (δ_2), чем толще слой накипи (δ_3) и чем менее он теплопроводен (λ_3). Для железа $\lambda_2 = 50$, для накипи $\lambda_3 = 2$, для масла $\lambda_3 = 0,15$. Таким образом, особенно вредным является налет масла. Толстый налет сажи, который при всех прочих равных условиях понижает величину Q , будет уменьшать и температуру стенки.

Чтобы характеризовать, как различные факторы могут отзываться на величине K и на температуре стенки и показать, каких температур может достигать стенка в различных частях котла, приведена табл. 3, вычисленная проф. К. В. Киришем. При вычислении этой таблицы α_1 принималось несколько больше по сравнению с величиной K , обычно получаемой при испытании котлов, и затем K , приведенное в табл. II, снова пересчитывалось по формуле (12), чтобы показать при этом малую разницу между K и α_1 . Из этой таблицы видно, что при изменении скорости циркуляции в экономайзере (последние элементы поверхности нагрева котельной установки, служащие для подогрева питательной воды, поступающей в котел) коэффициент α_1 повышается

от 500 до 2000, но при этом K почти не изменяется (14,8 и 14,45), что указывает на то, что скорость циркуляции в экономайзерах значения не имеет ¹⁾).

Из таблицы видно, что накипь в экономайзере толщиной в 5 мм. понижает K на 3,8%, а слой сажи в 2 мм. понижает K на 13%. Отсюда следует, что накипь на стенках гладкотрубного экономайзера оказывает малое влияние, тогда как налет сажи очень вреден. Для поддержания хорошего K необходимо поверхность очищать от сажи.

Если железную трубку котла заменить медной, то, как видно из таблицы, K изменится всего на 0,3%.

Циркуляция воды, способная изменить α_1 от 1000 до 5000, изменяет при этом K всего 1,5%, т.-е. очень незначительно.

Накипь в задних частях поверхности нагрева мало изменяет K ; при толщине накипи в 5 мм. K уменьшается на 5%. Более сильно действует масло: налет в 1 мм. понижает K на 11,5%; также сильно понижает K налет сажи, при толщине в 2 мм. K уменьшается на 16,6%. При внутреннем загрязнении температура металлической стенки заметно повышается. Вообще при загрязнении накипью условия работы задних ходов изменяются не особенно резко. Более заметное влияние оказывают налеты сажи и золы, почему *поверхность нагрева нужно особенно старательно содержать в чистоте с внешней стороны.*

По мере того как возрастают температуры газов и соответственно увеличивается α_1 , влияние накипи на K сказывается сильнее. Но главным образом присутствие накипи вредно тем, что вызывает повышение температуры стенки. Совершенно чистая стенка даже при очень сильном

напряжении ($\frac{Q}{H_k} = 300.000$ калор., или 470 кгр. в час нормального

пара), подвергаясь непосредственному действию лучистой теплоты раскаленного слоя топлива, не нагревается выше 275° Ц. Но та же стенка, покрытая накипью в 2 мм. приобретает при этом напряжении температуру выше 500° Ц., т.-е. прочность железа при этом значительно уменьшается (см. причины, ослабляющие крепость железа).

Котельная стенка, омываемая газами при температуре 1000° Ц., но не подверженная прямому излучению топки, даже при сильном загрязнении накипью (10 мм.), нагревается лишь до 364° Ц., т.-е. до температуры, при которой прочность железа еще сохраняет нормальную величину.

¹⁾ Тут же можно отметить, что принцип встречного движения воды и газов в экономайзерах оказывает влияние на K в том смысле, что при встречном движении средняя разность температур газов и воды ($t_{\text{газ}} - t_{\text{вода}}$) получается большая, а потому и количество тепла передается через поверхность экономайзера больше, чем при параллельном движении. В приближенную же формулу входит одна и та же величина ($t_{\text{газ}} - t_{\text{вода}}$) как для встречного, так и для параллельного тока, а потому вычисленный для встречного тока K на основании испытания получается как бы более высокий. По указанной здесь причине экономайзер Грина и другие циркуляционные экономайзеры работают различно.

Т А Б Л И

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

	α_1	стенка		внешнее за- грязнение.		внутреннее за- грязнение.	
		δ_2^{mt}	λ_2	δ_1	λ_1	δ_3	λ_3
Экономейзер Грина.	15	0,01	50	0	0	0	0
	"	"	"	"	"	"	"
	"	"	"	"	"	0,005	2
	"	"	"	0,002	0,2	0	0
Вторые ходы водотрубных котлов ср. $t_{\text{газ}} \approx 400^\circ$.	20	0,003	50 жел.	0	0	0	0
	"	0,003	300 медь	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 водотрубных котлов	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 ряд тр., не получающий теплоты прямым излуче- нием топки.	50	0,003	50	0	0	0	0
	"	0,003	"	0	0	0,005	2,0
	"	"	"	0	0	0,010	2,0

Ц А 3.

Температура стенки со стороны газов $\vartheta_3 = t + \frac{Q}{H} \left(\frac{1}{\alpha_4} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)$

α_4	K	изменение K в % осн.	средняя разность $t_{\text{газ}} - t_{\text{вода}}$	Число калорий, проход. через 1 кв. м. в 1 ч. и число килогр. норм. пара с 1 кв. м. в 1 ч. (Q/H и D/H)	Превышение температуры стенки Δt над терм. воды t	ϑ_3
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	стенка		внешн. загряз.		внутр. загряз.	
		δ_2	λ_2	δ_1	λ_1	δ_3	λ_3
Топочное пространство.	(180)	0,003	50	0	0	0	0
Напряжение котла 25 кгр. пара на 1 кв. м. в час $D/H=25$ кгр.	"	"	"	0	0	0,002	2,0
	"	"	"	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 диам.=900 мм. Напряжение $\frac{B}{R}=200$ кгр. $\alpha=1,3$	(130)	0,012	50	0	0	0	0
	"	"	"	0	0	0,002	2,0
Перегреватель противоток (газ—перегр. пар).	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 газ—воздух.	15	0,01	50	0	0	0	0
	"	"	"	0,002	0,2	0	0
Паровой подогреватель. Насыщенный пар—конден- сирующийся. Хорошее уда- ление воздуха и отвод кон- денсата.	10000	0,002	50 желез.	0	0	0	0
	"	"	"	0	0	0	0
	"	0,0015	300 медь.	0	0	0	0
	"	0,002	50	0	0	0,002 накипь	2,0
	"	"	"	0,001	0,15 масло	0	0
Неконденсирующ. перегр. пар—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_4	K	изменение k в % осн.	средняя разность $t_{\text{газ}} - t_{\text{вода}}$	Q/H и D/H в 1 час.	$t + \Delta t$	ϑ_3
5000	(170) $\sigma=0,36$		$\approx 1200^\circ$	200000 315	197+52=	249
"	(147) $\sigma=0,26$	(-13,5%)		176000	197+222=	419
"	(121) $\sigma=0,21$	29%		145000	197+400=	597°
"	93	(-45%)		111600	197+587=	784°
"	75			90000	197+248=	445
5000	(250)	(-3,5%)	$\approx 1300^\circ$	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+60= противоток	410
100	28,0		"	9800	350+99=	449
"	26,0	-7,8%	"	9100	350+101=	451
"	33,2		900—350	17600	370+180=	550°
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 стенки, позволяя ей работать с значительным загрязнением накипью (5 мм.) в топочном пространстве, под действием лучистой теплоты топлива, не нагреваясь при этом выше 450°Ц. , что еще для железа допустимо.

Если вычистить такую стенку снаружи от сажи, а внутри оставить накипь, то стенка может перегреться, что и замечалось при работе водотрубных котлов, когда после обдувки золы и сажи трубки около топки перегорали.

У перегревателей, для которых α_1 изменяется от 100 до 200, K значительно отличается от α_1 . Температура стенок не превышает 450°Ц. , даже при температуре пара 350°Ц. и температуре газа 700°Ц. Когда температура газа поднимается до 900° , температура стенки достигает 550° , что уже будет вызывать слишком быстрый износ перегревателя.

Точно так же в воздушном подогревателе K значительно отличается от α_1 .

В паровом подогревателе K сильно отличается от α_1 и сильно зависит от скорости движения воды около поверхности, так как в зависимости от этой скорости λ_1 может изменяться от 500 до 2000. Влияние накипи и осадка масла сильно сказывается на K . Точно так же медная стенка дает более высокий K по сравнению с железом.

В общем, из рассмотрения таблицы можно видеть, что накипь сравнительно мало влияет на K , и потому мало изменяет коэффициент полезного действия котла, и в этом отношении присутствие накипи не так важно, но в то же время накипь может вызвать сильный перегрев стенки, и нельзя допускать отложения толстых слоев накипи в местах, где газы имеют температуру выше 800°Ц.

16. Передача тепла чрез стенку, омываемую жидкостями с переменной температурой.

Формула

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

дает нам количество тепла, передаваемое стенкой в том случае, когда разность $(t_{\text{газ}} - t_{\text{вода}})$ постоянная величина.

В паровых котлах газы, двигаясь около стенки и отдавая тепло, постепенно охлаждаются. Температура воды или пара, омывающих стенку с другой стороны, может оставаться постоянной (случай кипения воды в котле) или может изменяться (случай подогревателя воды или перегревателя пара). При этом количество тепла, переданное стенкой, будет представляться следующими формулами:

а) Температура $(t_{\text{вода}})$ воды постоянна. Выделим бесконечно малый элемент поверхности нагрева dH . Температуру газов, соприкасающихся с таким элементом, можно принять постоянно равной t , тогда количество тепла, передающееся через этот элемент в час времени, будет

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

В то же время соприкасающиеся со стенкой газы потеряют такое же количество тепла и их температура понизится на dt . Обозначая через B —(кгр). количество топлива, сожженного в час; V —объем газов (куб. метр.), получающихся при сжигании одного кгр. топлива и c —их теплоемкость, найдем

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

Сравнивая оба эти равенства, получим

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

откуда

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

При выводе этой формулы предполагалось, что K и c постоянны, на самом деле они переменны, и потому формула (15) может применяться к стенке лишь такого размера, в пределах которой величины c и K можно с достаточной точностью считать постоянными. При расчете котельных установок их поверхность разбивают на несколько участков, и для каждого такого участка намечают средние величины для K и c , после чего и применяют формулу (15); так, например, сделано при вычислении таблицы I.

Если известны B , c , V и K , то по форм. (15) можно определить величину поверхности нагрева (H_k), нужную для охлаждения газов от температуры $t_{1\text{газ}}$ до температуры $t_{2\text{газ}}$. Или, наоборот, имея величину H_k , можно определить насколько она охладит соприкасающиеся с ней газы. Наконец, по этой же формуле может быть при испытаниях определен K , если известны остальные входящие в формулу величины.

б. Температура воды или пара переменны. Точное рассмотрение этого случая приводит к слишком сложным формулам, неудобным для пользования. Но для встречного движения газов и жидкости можно получить более простую и вместе с тем достаточно точную формулу следующим рассуждением.

Если газы охлаждаются от $t_{1\text{газ}}$ до $t_{2\text{газ}}$, то отданное ими количество тепла будет

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

В тоже время, если вода подогревается от $t_{1\text{вода}}$ до $t_{2\text{вода}}$, при чем разности крайних температур сохраняют равенство $t_{1\text{газ}} - t_{2\text{вода}} = t_{2\text{газ}} - t_{1\text{вода}}$, то и во всех промежуточных стадиях разница между температурой газов и воды очень близко подходит к разности между

средними температурами охлаждающихся газов и нагревающейся жидкости, т.е. разность между температурами все время очень близка к

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

а потому количество тепла, переданное стенкой, очень близко будет подходить к величине

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

Сравнивая (16) и (17), получим

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

Эта формула даже в тех случаях, когда отношение

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

изменяется от $1/2$ до 2, дает ошибку не больше 4% и с удобством может быть приложена к расчету поверхностей нагрева экономайзеров (подогревателей) и перегревателей пара, в которых температура воды и пара является величиной переменной.

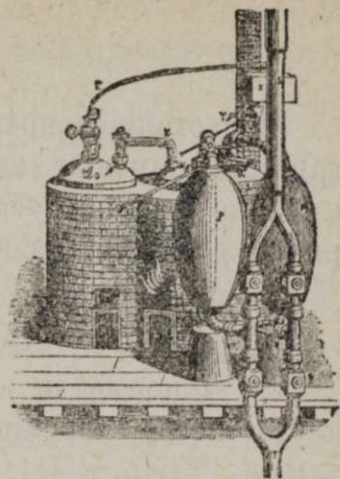
Историческое развитие паровых котлов.

17. В 1663 г. маркиз *Ворчестер* устроил аппарат для подъема воды, в котором сосуд, приготовляющий пар, был уже отделен от всасывающего прибора, и тем положил начало паровому котлу, как отдельному аппарату.

Современник маркиза *Ворчестера*, *Дениз Папин*, в 1690 г. приделал к своему котлу, для варки пищи, предохранительный клапан, который с тех пор стал необходимою принадлежностью всякого парового котла.

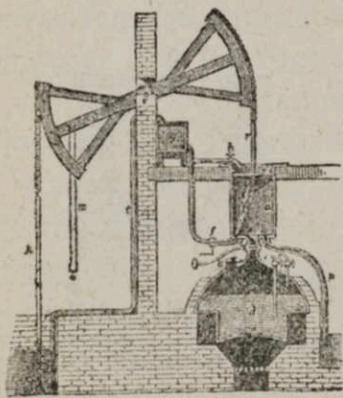
В 1699 г. в руках *Томаса Савери* паровой котел еще больше усовершенствовался. На фиг. 1 представлено устройство парового пожарного насоса *Савери*. Паровой котел состоял из двух эллипсоидальных чугунных сосудов. Пар приготовлялся собственно в большом сосуде, меньший же служил для питания водой. Вода в него поступала по трубке из верхнего сосуда, затем впускной кран запирался и вода в малом котле нагревалась; когда давление в нем

делалось больше, чем в большом котле, то открывали кран, и вода из малого котла перегонялась в большой. Самый насос состоял из двух сосудов *p*, соединенных трубкой с водопроводной трубой, на которой находились два клапана. Один из сосудов *p* наполнялся паром, после чего кран запирался. При охлаждении пара, в сосуде образовывалась пустота, и вода всасывалась через нижний клапан, затем при впуске пара вода вытеснялась вверх. В то же время в другом сосуде *p* пар конденсировался. В своем котле Савери впервые применил пробные краны для определения высоты уровня воды в котле.



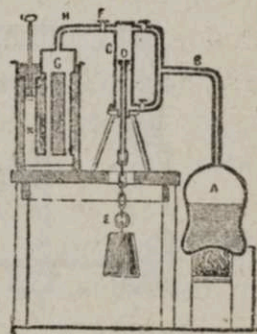
Фиг. 1.

Овальная форма котла давала слишком малую поверхность нагрева, и потому она вскоре была оставлена. В 1705 г. Ньюкомен построил котел, представленный на фиг. 2. Для большей прочности дно его было сделано в виде свода, выпуклостью внутрь. Котел омывался газами с боков и имел пробные краны и предохранительный клапан. Пар употреблялся для приведения в движение шахтного насоса при помощи цилиндра *a*, в котором пар конденсировался под влиянием струи воды, притекающей из сосуда *g*, после чего поршень вдавливался в цилиндр атмосферным давлением и поднимал штангу насоса.



Фиг. 2.

В 1789 г. Смитон поместил топку внутри котла Ньюкомена, и таким образом впервые устроил вертикальный котел с внутренней топкой.



Фиг. 3.

Желая еще больше увеличить поверхность

нагрева, Уатт вытянул котел в горизонтальном направлении, и впервые получил горизонтальный котел, который он назвал „вагоном“ (Waggon) (его поперечный разрез *A*, напоминающий употреблявшиеся в то время фургоны, представлен на фиг. 3). Им же впервые было применено для построения котлов железо. Эта форма котла, благодаря небольшому давлению (пол-атмосф.), была лет 60 тому назад в большом ходу, в особенности в Ланкашире. Но по мере возрастания давления пара, неправильно искривленная форма стенок оказалась недостаточно прочной, и в настоящее время котел Уатта совершенно оставлен.

Наиболее рациональной формой для котла, как в смысле легкости

исполнения, так и в смысле прочности, является цилиндр, почему теперь почти все паровые котлы и состояются преимущественно из отдельных цилиндров, прочно соединенных между собою.

Типы котлов.

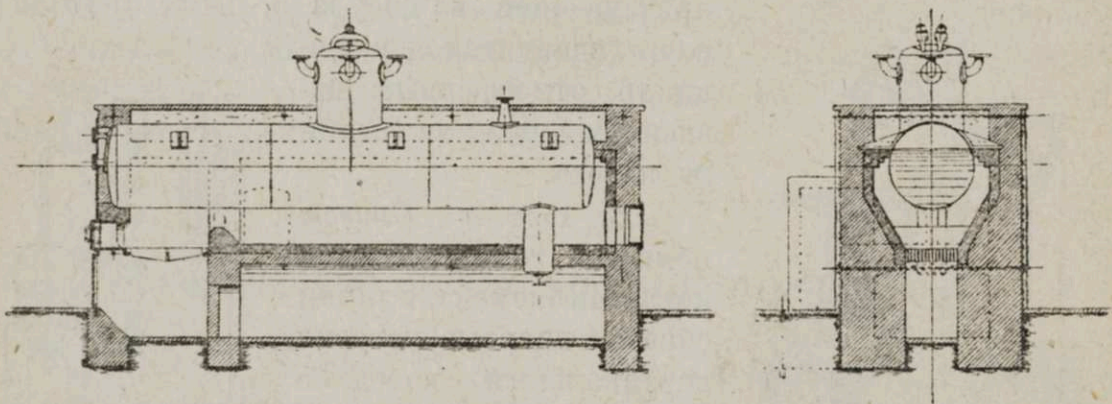
В настоящее время можно встретить множество различных конструкций паровых котлов, но причиной появления большинства из них было желание обойти патент ранее построенного котла. Здесь мы приведем только наиболее характерные типы.

Сообразно со своим назначением, котлы могут быть разделены на заводские (постоянные и переносные), паровозные и пароходные.

В зависимости от того, в каком направлении котлы имеют наибольшее измерение, они разделяются на горизонтальные и вертикальные.

Смотря по тому, как расположена топка, внутри ли сосуда с водою или вне его, котлы разделяют на котлы с внутренней и внешней топкой.

18. Цилиндрический котел. Самым простым по своей конструкции можно считать обыкновенный цилиндрический котел (фиг. 4). Он



Фиг. 4.

был введен в употребление англичанином Вульфом и появился, как необходимое видоизменение котла Уатта, вместе с повышением давления пара. Днища у таких котлов сначала делались полусферическими, но потом, для облегчения работы, их стали делать только слегка выпуклыми или совсем плоскими. Топка располагается под котлом, горячие газы омывают нижнюю половину котла, и затем выходят прямо в трубу.

Достоинство подобного котла в том, что он дешев, очень удобен для осмотра и очистки, легко поддается исправлению, позволяет устройство большой топки, в которой можно сжигать самое дешевое топливо; содержит большое количество воды по сравнению с поверхностью нагрева и имеет, по сравнению с поверхностью нагрева, боль-

шую свободную поверхность воды, от которой пузырьки пара отделяются спокойно, не увлекая с собой воды—пар получается сухой. Вследствие большого объема воды, давление пара поддерживается равномерным.

Невыгодные стороны котла — очень массивная, дорого стоящая кирпичная кладка, с большими поверхностями охлаждения и, вследствие этого, большая потеря теплоты. Та же массивная кладка и большой объем воды делают пригодными цилиндрические котлы только в тех случаях, где работа идет непрерывно, иначе при остановах теплота, накопленная в стенках будет пропадать бесполезно, на растопку же

Таблица 4, к фиг. 4.

Поверхность нагрева в кв. метрах.	Котел.		Кирпичная кладка.			Вес при 6 атм.
	Длина.	Диам.	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 „

потребуется слишком много времени, чтобы снова нагреть воду и кладку. Чтобы котел имел большую поверхность нагрева, его необходимо делать большой длины; действительно, в Англии такие котлы встречаются длиной в 30 метр. Следовательно, цилиндрические котлы требуют очень большого помещения. К недостаткам таких котлов нужно отнести и то, что выделяющиеся из раствора в воде соли, а также и грязь, осаждаются на нижнюю часть котла, т.-е. как раз на наиболее нагретую поверхность, вследствие чего в этом месте образуется крепкая накипь, трудно удаляемая и плохо проводящая теплоту, отчего котел легко может прогореть. Цилиндрический котел нагревается неравномерно (нижняя половина сильнее, чем верхняя), вследствие чего в стенках проявляются большие внутренние напряжения, швы расстраиваются и текут.

Вследствие указанных неудобств цилиндрических котлов, они употребляются теперь редко и, главным образом встречаются на железодельных заводах, где обогреваются горячими газами, отходящими из калильных печей и в каменноугольных копях, где об экономии топлива не особенно заботятся.

Диаметр цилиндрических котлов делается от 0,6 до 1,5 метра.

В какой-нибудь части котла должен быть лаз, через который можно было бы проникнуть во внутрь котла.

Длинные цилиндрические котлы лучше при установке подвешивать к балкам, при помощи пружин или при помощи рычагов. с

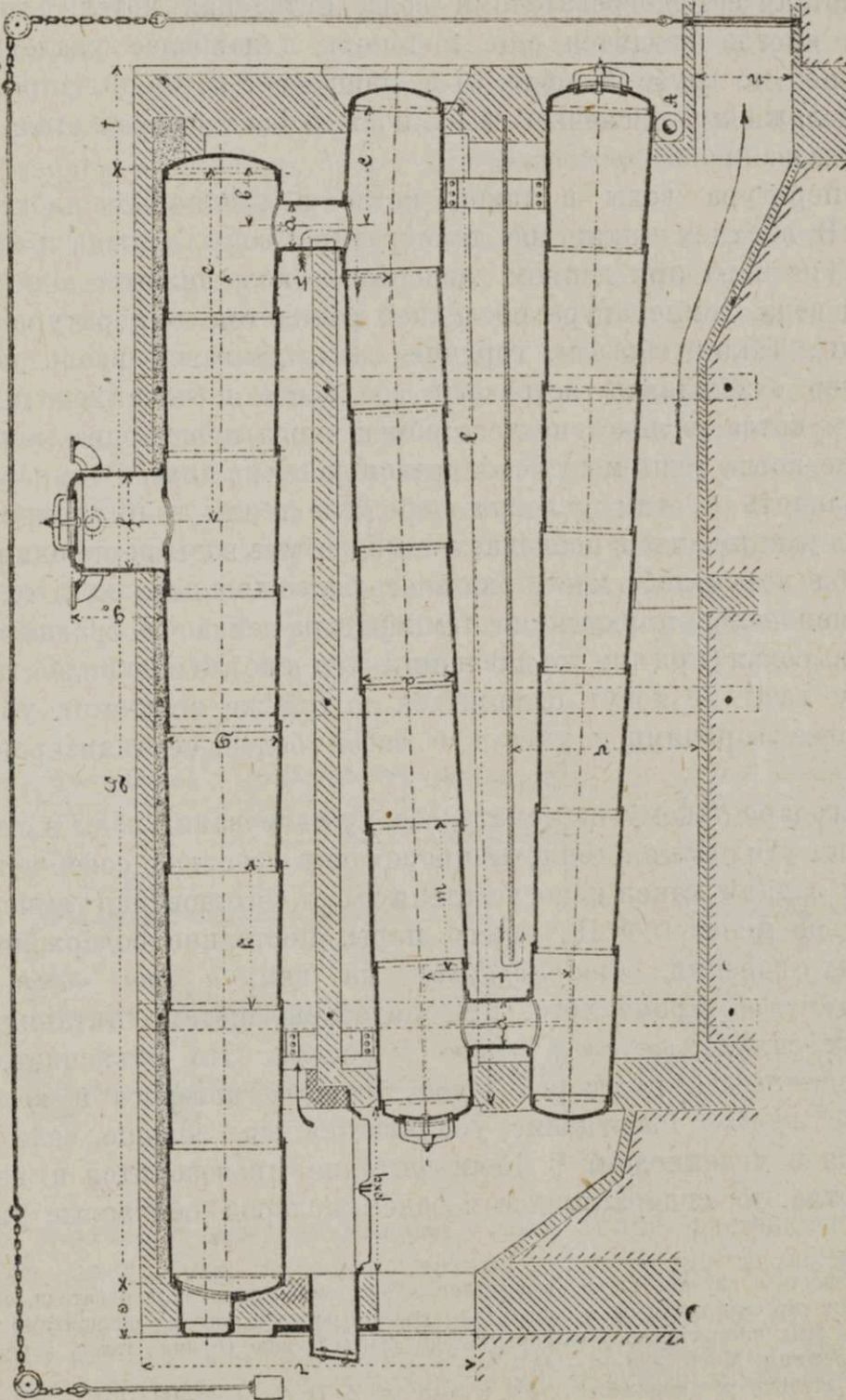
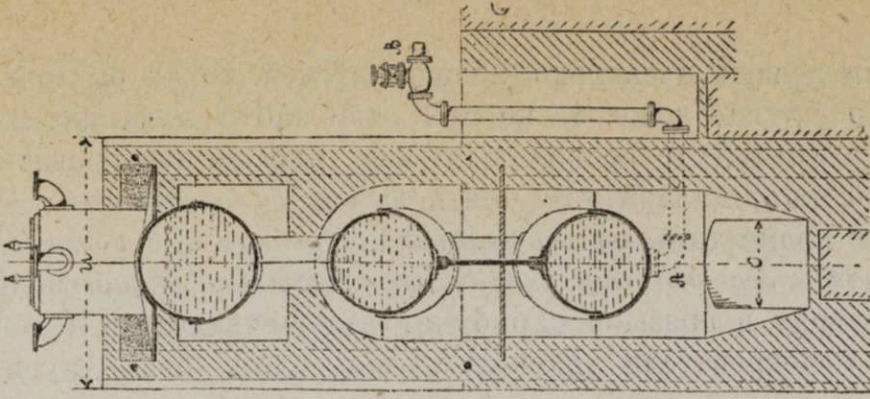
контр-грузами, а не опирать котлы на кладку, так как при осадке кладки, котел может легко прогнуться, и в поперечных швах появится течь, а иногда швы могут напрягаться настолько сильно, что причинят разрыв котла.

19. Котлы с подогревателями. Желая уменьшить площадь, занимаемую цилиндрическим котлом, его разбивают на части и ставят одну под другой; таким образом получается система котлов, известных в практике под названием *котлов с подогревателями* (фиг. 5).

Нижние части котла соединяются с верхней посредством *подтрубков* или *штуцеров*. Размеры соединительного штуцера должны быть таковы, чтобы в него легко можно было пролезть, и чтобы он был достаточно прочен. В виду этого диаметр его не следует делать менее 450 мм., и толщину стенки не менее 10 мм. Штуцеров бывает иногда несколько по длине, но лучше делать один, большого размера, помещая его у конца цилиндра. Так как верхняя часть котла нагревается сильнее, чем нижняя, то расширяются они неравномерно и при существовании нескольких подтрубков, в последних могут появляться вредные напряжения, — отчего штуцера быстро разрушаются. Для избежания этого неудобства соединительные штуцера делаются длинными (более 550 мм.), или же котлы соединяются одним штуцером. Так как в нижней части котла может образоваться пар, то этой части котла следует давать уклон и штуцера располагать в высших точках, дабы пар мог свободно протекать к штуцерам и по ним подниматься в верхний котел. Если же эти уклоны не будут соблюдены, то в нижнем котле будет скопляться пар, и в этих местах котел может прогореть. Нужно заметить, что в некоторых случаях, при очень сильной топке, несмотря на приданные подогревателем уклоны, в верхнем подогревателе может образоваться такое количество пара, что верхняя стенка не будет смачиваться водой и перегорит. Этот же уклон необходим и для того, чтобы при промывке из котла можно было свободно спустить грязь. Обыкновенно верхнему котлу достаточно давать уклон от 0,005 до 0,01, а нижним котлам или подогревателям, — от 0,01 до 0,02.

Таблица 5, к фиг. 5.

Поверх. нагр. кв. метров.	<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



Фиг. 5.

Если делают несколько подогревателей, то их располагают или один над другим (фиг. 5), но при этом котел приходится зарывать глубоко в землю, что не всегда удобно, или же подогреватели ставят рядом под котлом. При этом опять должны быть соблюдены необходимые уклоны ¹⁾; кроме того, горизонтальный соединительный подтрубок должен иметь такой же диаметр, как и подогреватели, иначе нельзя будет спускать воду и грязь, и пар будет задерживаться в подогревателе. Иногда подогреватели располагаются один под другим, сбоку котла.

В котлах с подогревателями вода, питающая котел, вводилась ранее, а иногда вводится еще и теперь, в наиболее удаленный от топки конец по трубе А (фиг. 5) и, двигаясь в котле по направлению противоположному движению газов, постепенно подогревается; отсюда и самое название *подогреватели*.

Температура воды в таком котле в различных частях различная. В верхнем цилиндре температура воды должна равняться температуре пара при данном давлении, а около нижнего конца, куда вводится вода, температура последней равняется температуре питающей воды. Таким образом, горячие газы, двигаясь вдоль котла и постепенно охлаждаясь, встречают все более и более холодные поверхности котла, вследствие чего обмен тепла происходит энергично, и в конце котла газы могут охладиться до очень низкой температуры. Если сравнить с этим условия передачи тепла в цилиндрическом котле, то увидим, что в последнем температура воды везде одинаковая (если бы в каком-либо месте оказалось более холодная вода, то, вследствие появившейся циркуляции, температура сейчас же сравнялась бы) и более высокая (при том же давлении), чем в котле с подогревателями, а потому газы не могут охладиться до той же величины, уйдут из котла более горячими и унесут с собой более неутраченного тепла.

Благодаря такому систематическому нагреванию воды и охлаждению газов, утилизация теплоты происходит довольно совершенно, но при этом задний конец подогревателя имеет обыкновенно температуру значительно менее 100° Ц., отчего пары, постоянно содержащиеся в продуктах горения, конденсируются на нем, и эта часть котла быстро ржавеет. Кроме того, при подобной системе питания, подогреватели сильно ржавеют также и внутри. Это объясняется тем, что в воде всегда растворен воздух, кислород которого и производит разъедание стенок. Разъедание усиливается еще больше, если в воде находится и углекислота ²⁾. Если питание производится в верхнюю часть котла, то содержащийся в воде кислород сейчас же улетучи-

¹⁾ Известны случаи, когда, вследствие отсутствия уклона подогревателя, образовавшийся в нем пар задерживался в обихайках большого размера, рядом с обихайками меньшего диаметра; в этих местах подогреватели, подвергаясь действию горячих газов, перегревались и давали трещины. Маш. 388—4—06.

²⁾ О степени растворимости газов в воде см. Z. D. V. G. 5—08.

вается и отводится прочь с паром, и потому не может оказывать такого вредного действия.

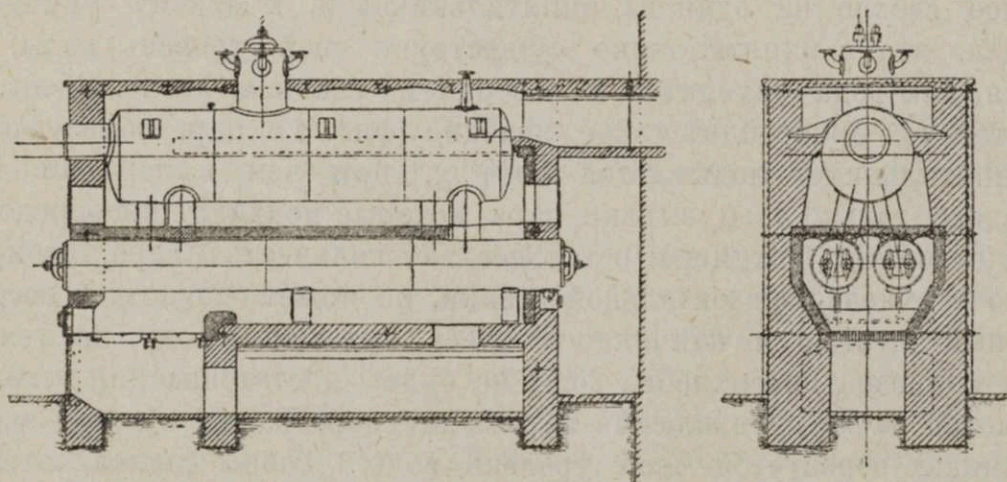
Если при питании вниз желают несколько уменьшить ржавчину котлов с подогревателями, то для этого питание производят или теплой водой, или же котел заставляют работать форсированно; в последнем случае, газы будут выходить при более высокой температуре и для их охлаждения надо ставить особый аппарат—экономейзер.

Выгода котлов подобной системы состоит еще в том, что давая подогревателям небольшой диаметр, их можно делать с сравнительно тонкими стенками, отчего котел выходит легким и дешевым.

Впрочем, уменьшать диаметр подогревателей можно только до известного предела, а именно, его не следует делать меньше 800 мм., и ни в каком случае нельзя брать диаметр меньше 600 мм., иначе чистка котла становится крайне затруднительною ¹⁾. Общая длина котла обыкновенно не превосходит 33 метров.

Котлы с подогревателями содержат довольно большой объем воды, вследствие чего они пригодны в тех случаях, где требуется сохранение постоянства давления при переменном расходе пара. Обладая в то же время массивной кладкой, они не пригодны там, где работа котла производится с частными перерывами. Вследствие того, что топка расположена под верхним цилиндром, колебание уровня воды не представляет большой опасности в смысле перегрева котла. Котлы эти удобны для чистки. Кирпичная кладка очень проста.

Вышеприведенная табл. 5 дает главные размеры встречающихся в практике котлов с подогревателями. Понятно, что при проектировании новых котлов от приведенных в таблице размеров могут быть сделаны значительные отступления.



Фиг. 6.

20. Котлы с кипяtilьниками. Если топка располагается под нижними барабанами, то такая система известна под названием „кот-

¹⁾ В случае очень тесных пространств внутри котла, человек легко может завязнуть. Известны случаи, когда завязнувшим рабочим приходилось оставаться в течение многих часов в самом критическом положении, прежде чем были разрублены соответствующие части, и рабочий был освобожден.

лов с кипяtilьниками". В этом случае нижние цилиндры прямо назначаются для приготовления пара, откуда происходит и самое название. Подобные котлы появились впервые во Франции, где они и до сих пор еще в употреблении. Кипяtilьников бывает два или три, которые располагаются в ряд под главным котлом (фиг. 6).

Табл. 6, к фиг. 6.

Поверхн. нагрева в кв. метрах.	Верхн. котел.		Кипяtilьник.		Кирпичная кладка.		
	Диам.	Длина.	Диам.	Длина.	Длина.	Шир- на.	Высо- та.
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

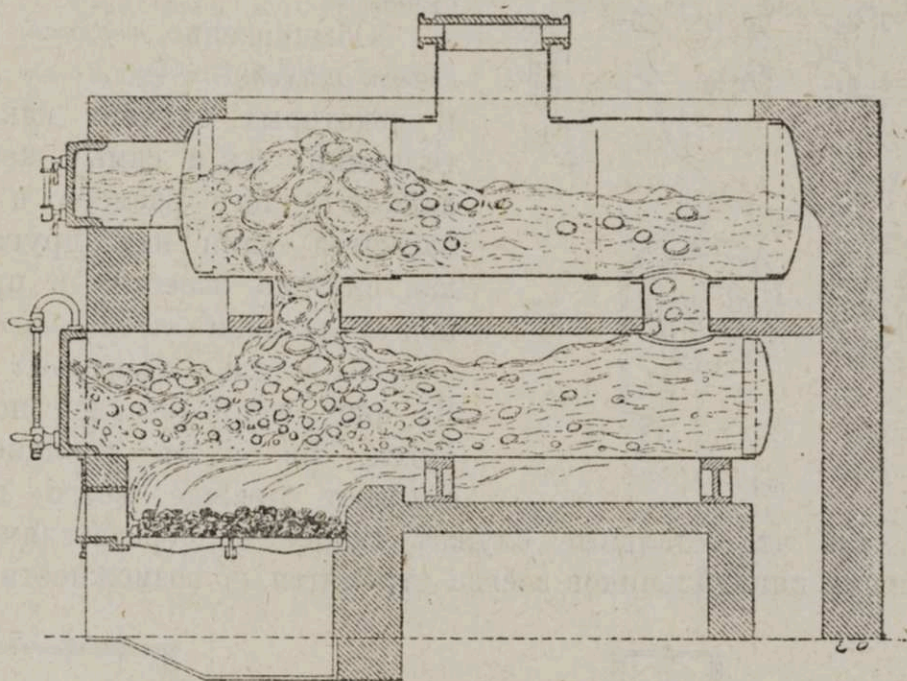
Горячие газы сначала омывают кипяtilьники, затем идут под нижней половиной котла вперед, над верхней половиной назад и выходят в дымовой боров. Соединяются кипяtilьники с котлом при посредстве штуцеров, которых делается два, три и даже более, смотря по длине кипяtilьника.

Советуют делать только два соединительных штуцера, предполагая,

что при этом получается лучшая циркуляция; по одному штуцеру вода опускается вниз, по другому поднимается вверх. На самом же деле, в таких котлах правильной циркуляции воды не происходит. Это интересное и вместе с тем чрезвычайно важное явление было случайно открыто *Полем Дюбио*, главным инженером Общества владельцев паровых котлов юго-востока Франции. Дюбио поставил водомерное стекло на один из кипяtilьников и, к своему удивлению, увидел, что в кипяtilьнике существует свой уровень воды, в то время, как вода находится и в верхнем, главном котле. Здесь, следовательно, происходит такое явление (фиг. 7): пар, образующийся в кипяtilьнике, подымается кверху, при чем в верхний котел попадают только те пузырьки пара, которые подходят непосредственно к отверстию штуцера; остальное же количество пара, собираясь около верхней горизонтальной стенки, не может попасть в соединительный штуцер и, накопляясь здесь, вытесняет воду до тех пор, пока кривизна поверхности воды не будет достаточна для того, чтобы могло начаться движение пара в штуцер. Таким образом в кипяtilьниках образуется свой уровень воды. Дюбио сделал затем наблюдение над целым рядом котлов, и оказалось, что во всех котлах с кипяtilьниками, соединяются ли они с главным цилиндром одним или несколькими штуцерами, происходит то же самое; при чем оказалось, что стрелка кривой поверхности воды в кипяtilьнике приблизительно равна 50 мм., при высоте воды в главном котле в 1 метр. При дальнейшем увеличении высоты воды на 100 мм. эта стрела увеличивается на 10 мм.

Образующиеся пузырьки пара, поднявшись до поверхности воды в кипятильнике, скользят по ней до соединительного штуцера; здесь они соединяются в большие пузыри, как это бывает всегда в том случае, когда пару приходится проходить через суженное пространство, и всплывают на поверхность воды котла, производя сильные толчки, так как каждый раз по выходе большого пузыря пара из штуцера, вода устремляется на его место, производя в водомерном стекле сильное волнение.

Таким образом в котлах с кипятильниками не может быть и речи о циркуляции воды, и котлы эти, если верхняя стенка кипятильника



Фиг. 7.

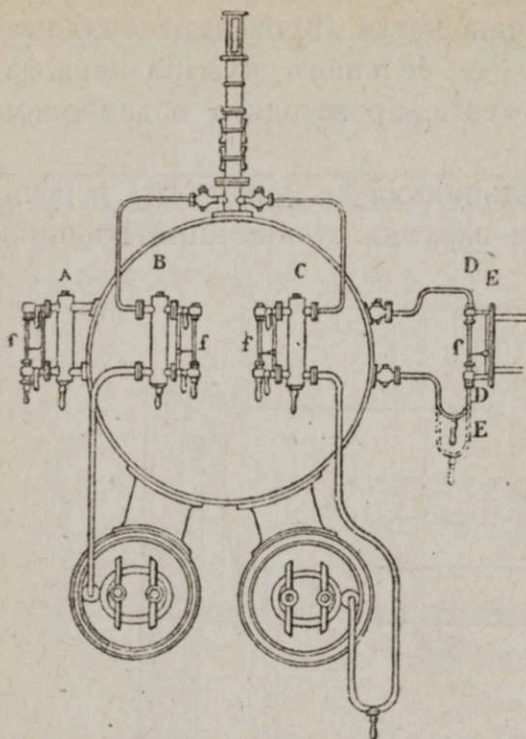
не обмурована кирпичной кладкой, не удовлетворяют требованию закона, гласящего, что паровое пространство не может быть обогреваемо горячими газами.

В некоторых случаях водомерное стекло ставят таким образом, что одну трубку соединяют с верхним котлом, а другую с кипятильником (фиг. 8). Подобное соединение совершенно неправильно, так как, вследствие присутствия в кипятильнике отдельного парового пространства, поставленное таким образом водомерное стекло дает совершенно ложные показания. Летюлье и Пинель приводят в „Revue Industrielle“, Mai — 1893, опыт с подобной установкой водомерного стекла, при чем оказывалось, что в то время, как уровень в котле был выше нормального, в водомерном стекле не было совершенно воды.

Так как верхняя стенка кипятильника не смачивается водой, то она сильно перегревается, и вследствие этого весь кипятильник искривляется; поэтому, если кипятильник соединен несколькими шту-

церами с главным котлом, то во всем устройстве могут проявиться очень сильные, опасные для котла напряжения.

Из всего вышесказанного следует, что для безопасной работы

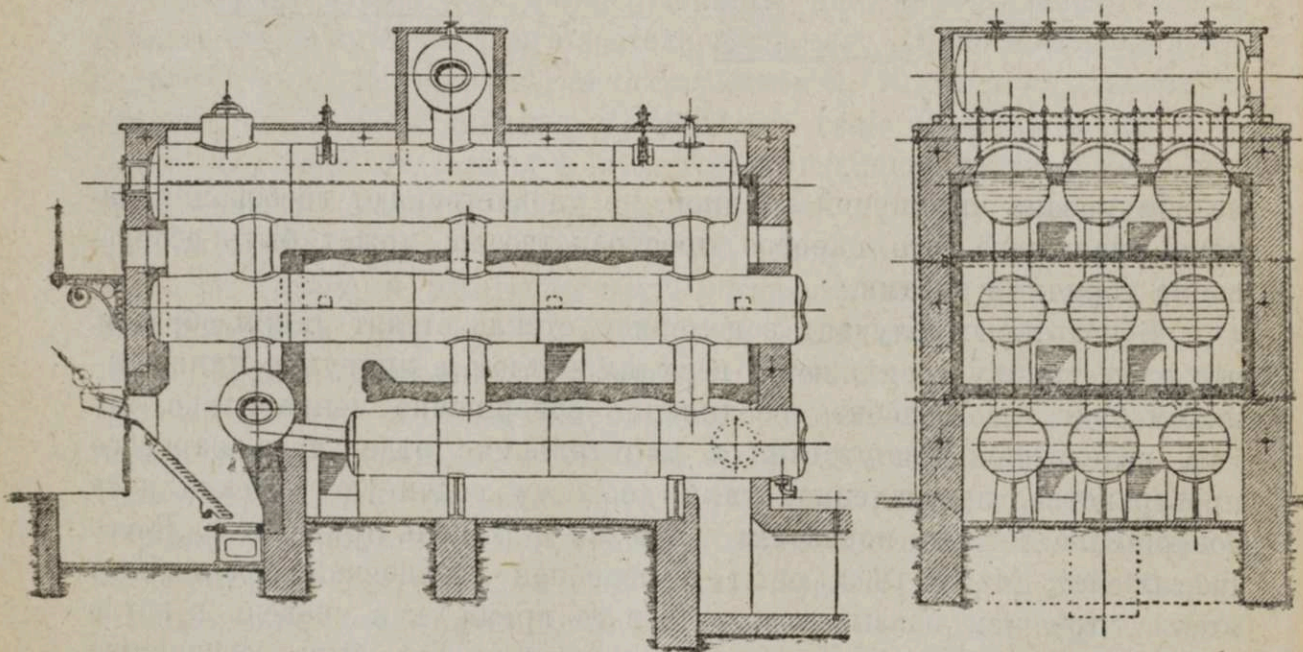


Фиг. 8.

котлов с кипяtilьниками, последние следует соединить с главным котлом одним большим соединительным штуцером и верхнюю часть кипяtilьника, около которой всегда находится пар, обмуровывать кирпичом, чтобы защитить ее от перегрева¹⁾.

Обыкновенно верхний барабан имеет диаметр от 900 мм. до 1500 мм. В некоторых случаях как кипяtilьники, так и самый котел делаются одного размера и располагаются один над другим. Такая система известна в практике под названием *соединенных кипяtilьников*, или *батареиных котлов*. На фиг. 9 представлен подобный котел, но здесь горячие газы омывают прежде всего верхний

барабан, так что остальные служат скорее подогревателями. При изготовлении кипяtilьников всегда стремятся, по возможности, умень-



Фиг. 9.

шить их диаметр, при чем котел для производства того же количества пара получается легче. Делать кипяtilьники менее 800 мм.

¹⁾ Случай такого перегрева и выпучины приведен в Z. B. R. V. 27—2—04.

не следует, имея в виду удобства очистки. В кипятильниках это условие еще более важно, чем в подогревателях, так как здесь грязь оседает на поверхности, омываемая самыми горячими газами, и потому легко образуется твердая накипь, которую отделять очень трудно.

Длина цилиндров обыкновенно не превосходит 13 метр. Если при такой длине и небольшом диаметре кипятильников размеры котла

Табл. 7, к фиг. 9.

Поверх- ность нагре- ва кв. мет.	Верх. котел.		Средний.		Нижний.		Кирпичная кладка.		
	Диам.	Длина.	Диам.	Длина.	Диам.	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

получаются недостаточными, то ставится рядом еще одна или две системы кипятильников. Все системы имеют общую топку и наверху соединяются общим барабаном, который служит для собирания пара. В виду различного расширения кипятильников, соединительные ножки необходимо делать достаточно длинными, не менее 550 мм., чтобы сообщить им большую упругость. Очень удобно этими же ножками пользоваться, как поддержкой для верхних кипятильников; в таком случае они должны иметь достаточные размеры, чтобы выдержать, не сминаясь, вес лежащих на них кипятильников, наполненных водой.

Площадь сечения соединительных штуцеров следует брать равной $1/60$ — $1/80$ от поверхности нагрева, с которой штуцеру приходится отводить пар; но в виду удобства очистки и осмотра, диаметр соединительных ножек не следует делать меньше 450 мм. Толщина железа штуцеров — не менее 10 мм. Кипятильники должны ставиться также с уклонами, но большими, чем подогреватели, а именно 0,02 — 0,025, и штуцера должны помещаться в высших точках. Отдельные барабаны кипятильников должны клепаться таким образом, чтобы соединительные швы не затрудняли движения пара.

В подобных котлах выход пара из кипяtilьников еще больше затруднен, чем в предыдущей системе, и потому в каждом кипяtilьнике образуется паровое пространство и все соединенные с ним неудобства. Если даже верхние стенки кипяtilьников будут обмурованы, то кладка может расстроиться и повлечь за собой перегрев кипяtilьников и их разрушение, чем и объясняются многие взрывы.

Такие котлы впервые появились очень давно, затем, вследствие присущих им недостатков, были оставлены. В сравнительно недавнее время они опять получили распространение на наших фабриках. Едва ли это можно признать рациональным; если такую систему котлов почему-либо приходится ставить, то лучше помещать топку под верхним котлом, обращая кипяtilьники в подогреватели.

Котлы с кипяtilьниками пред простыми цилиндрическими имеют преимущество только в весе и в том, что ремонт кипяtilьников производить дешевле, чем цилиндрического котла (при этой системе прогорает главным образом кипяtilьник). Утилизация теплоты в этих котлах не особенно совершенна. Лучших результатов достигают, соединяя несколько систем кипяtilьников вместе, при чем относительное количество теплоты, теряемое через кладку, получается меньше.

Заметный недостаток таких котлов—сырой пар, вследствие длинного пути, который пару приходится проходить, и легкое образование твердой накипи (в особенности, если вода содержит серно-кислые соли), причиняющей трудную очистку. Если вода содержит углекислые соли, то, при питании воды в верхний котел, твердой накипи в кипяtilьниках собирается немного, так как часть ее оседает на стенки верхнего котла. В таком случае много накипи собирается в нижнем кипяtilьнике только под ножками, куда она смывается из верхних кипяtilьников и в этих местах нижние кипяtilьники очень часто образуют выпучины и даже прогорают ¹⁾. Для предупреждения такого неудобства, полезно под соединительный штуцер ставить железные листы на ножках, на которых и будет собираться накипь; стенка же котла останется чистой. К неудобствам таких котлов нужно отнести их громоздкие размеры, что особенно сказывается при перевозке. Обыкновенно приходится перевозить котел по частям и производить окончательную скленку на месте. Иногда, для облегчения сборки, соединительные штуцера делаются из двух

¹⁾ Инж.-техн. Лопатко в № 1, 2, 3 „Инженера“ 1904 г. появление отдулин приписывает совместному действию охлаждающего тока воздуха и следующему затем перегреву, в присутствии накипи. Охлажденное место стенки котла сжимается, при чем находящаяся в соприкосновении с водой горячая накипь, сохраняя свои размеры, стесняется от стенки;—образуется род парового прослойка, который при дальнейшем нагреве стенки вызывает ее перегрев, ослабление и затем выпучивание стенки под влиянием внутреннего давления в котле. Прекращается деформация вследствие того, что лопнувшая накипь пропускает воду, которая и охлаждает снова стенку.

Едва ли здесь играет большую роль охлаждение стенки; перегрев может произойти и без этого.

частей, так что на месте приходится только свернуть фланцы на болтах или склепать.

Котлы с жаровыми трубами.

21. Корнвалийский котел. Желая еще больше увеличить поверхность нагрева котла, не увеличивая при этом занимаемого им места, внутри котла помещают трубу, чрез которую пропускают горячие газы. Такая труба называется *жаровой* или *пламенной* трубой. Котел подобной конструкции впервые был построен Оливером Ивенсом в 1800 г.

Первоначально в таких котлах топка располагалась под котлом, но подобное устройство оказалось нерациональным, так как при этом наиболее нагревается нижняя часть котла, т.-е. как раз то место, где больше всего скопляется грязь и которое наименее доступно для очистки, вследствие чего здесь быстро образуется твердая накипь, и котел прогорает. Чтобы устранить указанные недостатки, английский инженер Ричард Тревичик (Trevithick) поместил топку внутри жаровой трубы. Такие котлы нашли особенно большое распространение в Корнвалисе, почему они и известны под названием корнвалийских.

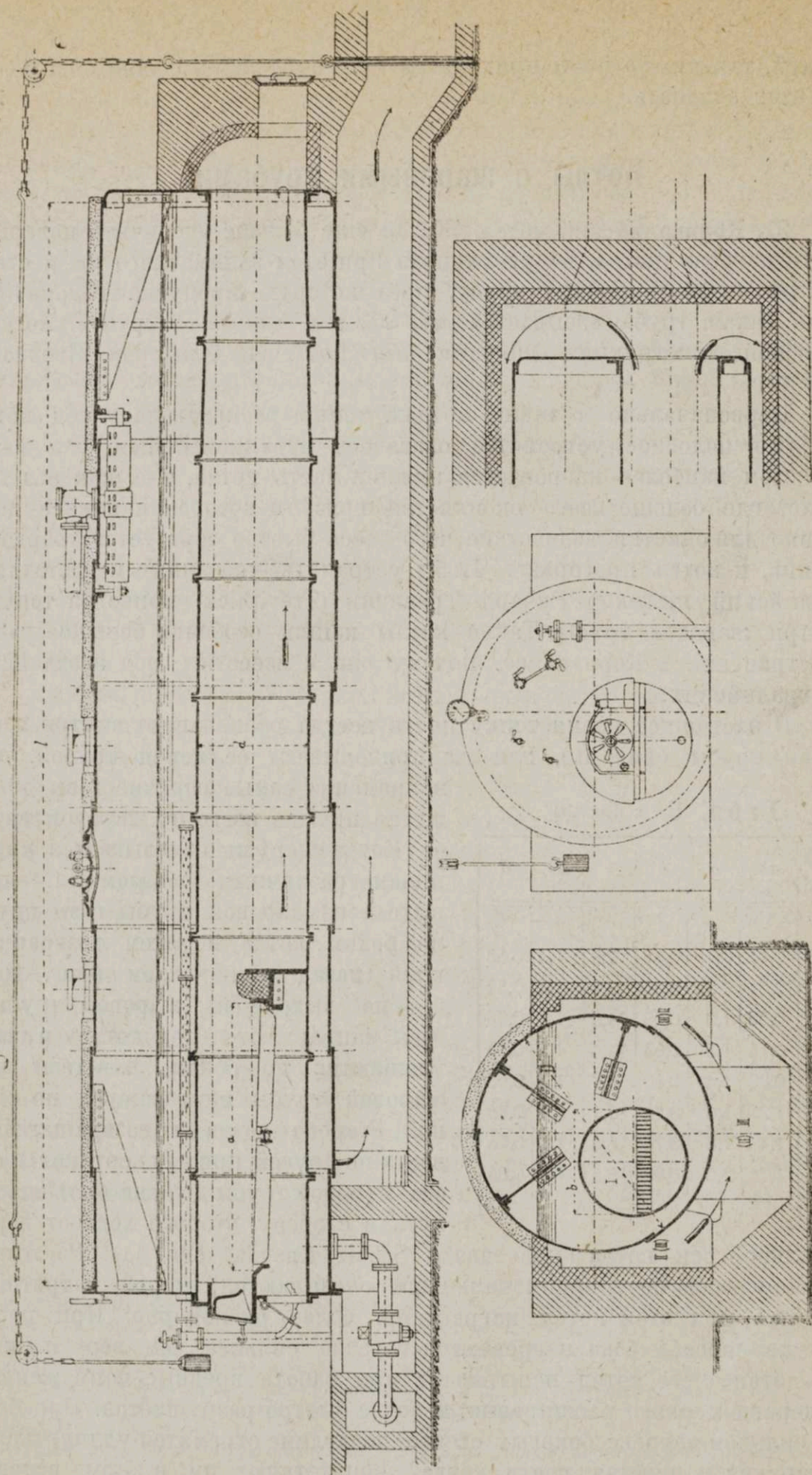
В настоящее время топку почти всегда располагают внутри жаровой трубы (фиг. 10), или же приделывают ее перед трубой, но

Табл. 8, к фиг. 10.

Поверх. нагрева 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

непреренно самые горячие газы движутся прежде всего по жаровой трубе. Котел снаружи обделывается кирпичем различным образом: 1.— по выходе из жаровой трубы газы идут по бокам котла и затем возвращаются назад под котлом (фиг. 10); 2.— по выходе из жаровой трубы, газы направляются под котлом и возвращаются по бокам; 3.— газы из жаровой трубы идут вперед по одной стороне котла и возвращаются назад по другой, при чем вертикальная ось жаровой трубы должна быть сдвинута в сторону второго хода от вер-

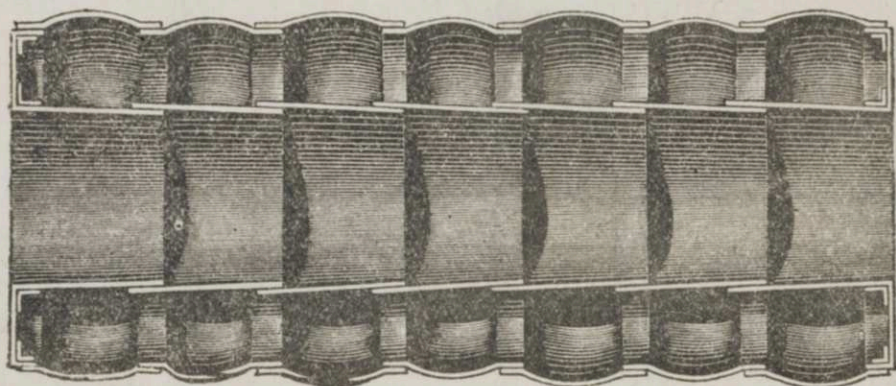
тикальной оси котла (тип завода Schulz Knaudt, фиг. 11). Из этих трех способов более рациональными оказываются второй и третий, так как при этом котел нагревается более равномерно. При первом же способе бока нагреваются гораздо сильнее, чем верх и низ, вследствие чего котел испытывает при работе вредные напряжения от неравномерного расширения, и более быстро разрушается. При более сильном нагреве боковых стенок, последние стремятся удлиниться, а верхняя и нижняя части котла препятствуют им в этом, вслед-



ствие чего боковые стенки изгибаются волнообразно, как это представлено в карикатурном виде на фиг. 12, при чем перегибы происходят в швах, как наиболее слабых частях стенки, и вследствие этого, при такой обмазке поперечные швы котлов страдают.

При проходе горячих газов под котлом, температура внутри корнвалийского котла распределяется наиболее равномерно, но подобная обмазка представляет то неудобство, что боковые каналы, получаются тесными и недоступными для чистки и осмотра котла.

При обмазке по третьему способу в нижней части канала получается достаточное место для того, чтобы человек мог свободно про-



Фиг. 12.

лезть. При такой обмазке котла жаровая труба сдвигается в сторону второго хода, по которому движутся более горячие газы. Вследствие чего узкая полоса воды между трубой и внешней стенкой более быстро обращается в пар и в котле появляется энергичная циркуляция воды вокруг трубы, что способствует лучшему уравниванию температур ¹⁾ воды в котле.

На фиг. 11 верхняя часть котла перекрыта сводами, образующими канал, по которому, впрочем, горячие газы не движутся и своды служат только для изоляции верхней части котла от потерь тепла. Вместо устройства сводов можно покрывать котел изолирующим веществом так, как показано на фиг. 10 и фиг. 14.

На нижеприведенной таблице даны размеры корнвалийских котлов, исполняемых заводом *Schulz Knautdt, Essen a/Ruhr*.

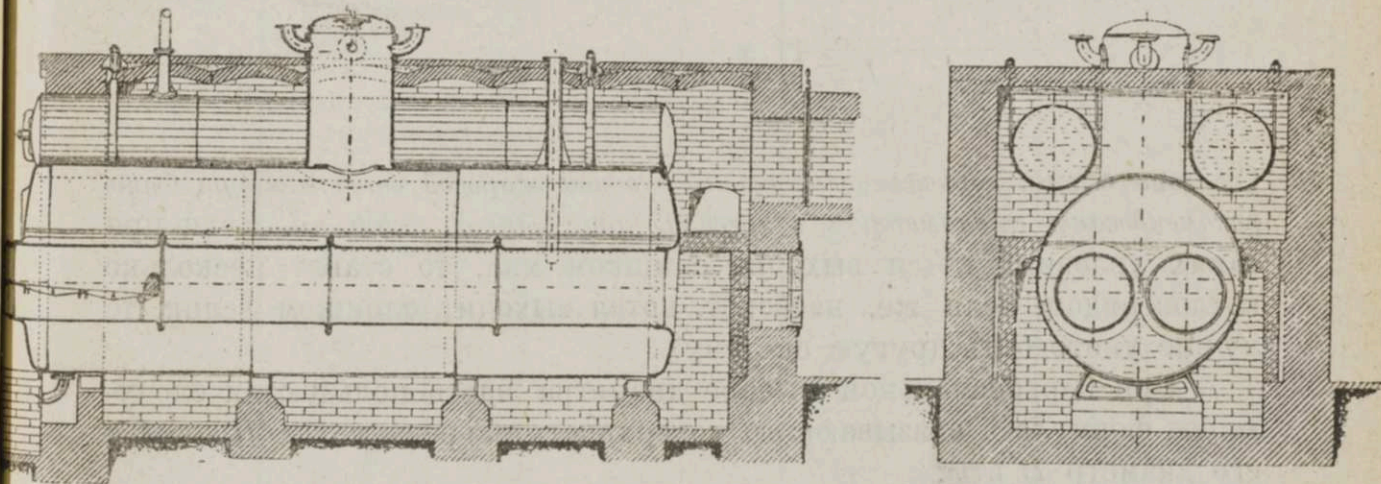
¹⁾ Рациональность подобной обмуровки корнвалийского котла вполне подтверждена опытами, произведенными в Механической Лаборатории Московск. Высшего Технического Училища. При растопке котла лабораторией температура верхнего и нижнего уровня воды не разнилась более, чем на 31° Ц. (тогда как при обмуровке по другим способам эта разность доходит в иных случаях до 100° с лишним; см. ниже „Опыты с раскаленными стенками“ и Z. B. R. V. № 10—93—06). Когда же в котле образовалось давление, то температура нижних слоев быстро, почти скачком, уравнилась с верхними слоями, что нужно приписать появлению энергичной циркуляции, вследствие выделения пузырей пара в большем количестве в узком пространстве между жаровой трубой и вторым газоходом;—пузыри, подымаясь вверх, заставляют и весь столб воды вращаться около жаровой трубы. Подробности опытов см. статью К. В. Кирша Б. II. О. 385—04.

Аналогичные же наблюдения над растопкой корнвалийского котла приведены в Z. B. R. V. № 5—41—05. № 21—219—08.

Т а б л и ц а 9, к фиг. 11.

Диаметр котла, метры.	Длина котла метры.	Внутренний диам. жаровой трубы, метры.	Внешний диам. жаровой трубы.	Д Н И Щ Е.						Поверхность нагрева, кв. метры.	Кирпичная кладка.					
				Диаметр отверстия.	Сдвиг оси в вертик. направл.	Сдвиг оси в горизонт. направл.	Высота отогнутого борта.	Выпуклость вместе с бортом.	Ширина.		Длина.	Высота.	Толщина передней стенки.	Толщина задней стенки.	Боковой стенки.	
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 способ обмазки состоит в том, что из жаровых труб горячие газы идут под котлом, по одному общему ходу, затем подымаются поверх котла и проходят над ним в боров (фиг. 13). Этот



Фиг. 13.

способ обмазки, согласно русским законам, допустим только в том случае, если газы, прежде чем соприкоснуться с паровым пространством, омоют поверхность нагрева, превосходящую в 20 — 40 раз площадь колосниковой решетки ¹⁾. Такой способ обмазки дает равно-

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

мерное распределение температур; нижний канал получается просторным, не затрудняя осмотра и чистки; кроме того, при этом обогревается и паровое пространство, следовательно, пар несколько подсушивается и выходит более сухой. В верхнем ходе можно ставить два цилиндрических котла, по которым пропускается питательная вода, для подогревания ее пред поступлением в котел. Температура воды в этих подогревателях будет ниже, чем температура воды в самом котле, и это позволит охладить отходящие газы до более низкой температуры. Невыгодная сторона такой обмуровки—большая, горячая поверхность кладки, требующая очень хорошей изоляции, иначе будет большая потеря тепла в пространство.

Одно из самых важных условий для хорошего действия корнвалийских котлов, это такие размеры и положение жаровой трубы, при которых было бы удобно производить очистку и осмотр внутренности котла, и равномерный нагрев котла.

Обыкновенно диаметр жаровой трубы d берут равным половине диаметра котла D . Для того, чтобы очистка была возможна, труба в нижней части не должна подходить к котлу ближе, чем на 150 мм., между верхнею частью трубы и котлом не должно быть менее 600 мм., поэтому наименьший допустимый диаметр котла определится из следующего равенства:

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

длина котла не должна быть больше 5 диаметров и за крайний предел нужно принять $L = 11$, поэтому

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

Следовательно, корнвалийские котлы с одной жаровой трубой могут быть рекомендованы с диаметром в пределах от 1500 до 2200 мм. Если при таких условиях котел выходит слишком мал, то ставят несколько котлов рядом; если же, наоборот, котел выходит слишком велик, то лучше употребить другую систему.

При первоначальном выборе диаметра часто пользуются следующей формулой, связывающею поверхность нагрева котла H в m^2 и его диаметр D в m :

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

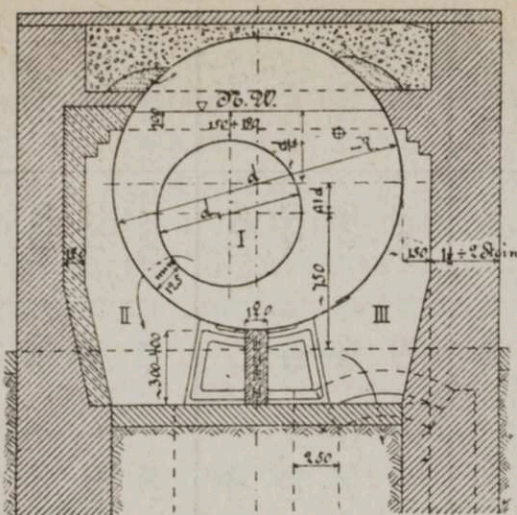
Если давление пара в котле требуется свыше 6 атм., то корнвалийские котлы с гладкой жаровой трубой делаются с диаметром только до 1800 мм., так как гладкие жаровые трубы более 900 мм. получаются слишком тяжелыми. Поверхность нагрева подобных кот-

ТАБЛИЦА 10.

Котлы с одной жаровой трубой.

Диаметр котла.	Диаметр жаровой трубы.		Длина котла. мм.	Поверхность нагрева котла. кв. м.	Площадь колосниковой решетки. кв. м.	Объем водяного пространства. куб. м.	Объем парового пространства. куб. м.	Свист осей труб в вертикальном направлении.	Свист осей труб в горизонтальном направлении.	Высота норм. уровня над осью котла.	Ширина вмазки снаружки.	Ширина вмазки внутри.	Высота вмазки над полом.
	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

лов обыкновенно не превосходит 40 кв. метр. Для котлов больших размеров употребляются более прочные волнистые трубы (фиг. 11),



Фиг. 14.

На фиг. 14 представлены данные, определяющие расположение жаровой трубы относительно оси котла, а также положение водяного уровня и огневой линии.

и, в таком случае, котлы с одной жаровой трубой исполняются до 2200 мм. в диаметре, с поверхностью нагрева до 90 кв. метров. Нужно стараться, чтобы первый поперечный шов не попал в топочное пространство; это, однако, не важно в том случае, когда применяется скрепление Адамсона, показанное, напр., на фиг. 10. Часто первый барабан сваривается со вторым и получается таким образом барабан до 2600 мм. длиной. Продольные швы жаровых труб располагаются всегда в нижней части, так, чтобы они находились по крайней мере на $\frac{1}{4}$ диам. ниже колосниковой решетки; делается это с

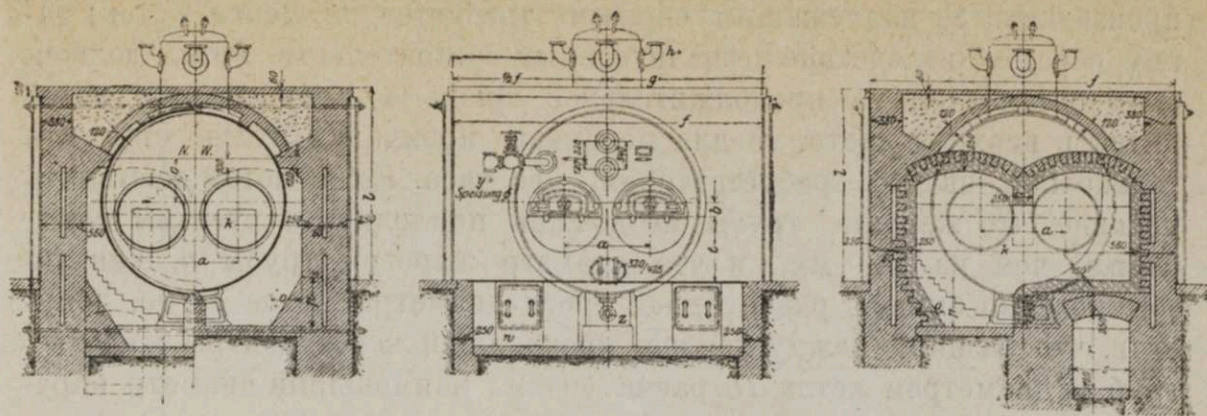
целью защитить их от действия жара.

Как уже было сказано, труба, сдвинутая в бок от вертикального диаметра котла, является выгодной в смысле более совершенной циркуляции в котле. Кроме того, такое положение трубы делает более удобной работу человека при очистке котла, так как рабочий имеет возможность помещаться стоя в большом вертикальном пространстве. Чтобы человеку легче было передвигаться, к внешней оболочке котла приклепывается угольник, на который рабочий может опираться ногой.

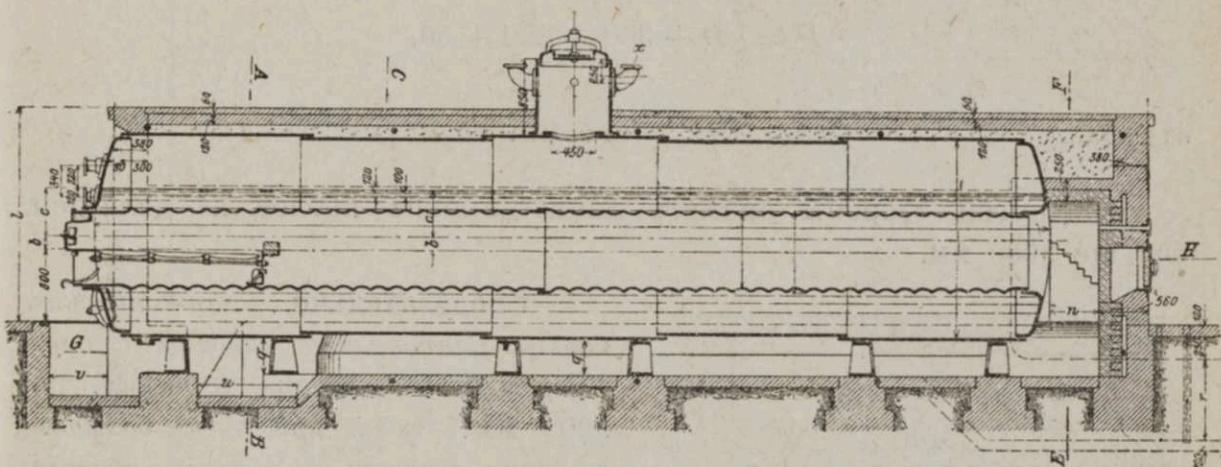
22. Ланкаширские котлы. Желая увеличить размеры корнвалийского котла, в Ланкашире стали строить котлы с двумя жаровыми трубами (фиг. 15, 16, 17 и 18). Такие котлы известны под именем *ланкаширских* и очень распространены в Англии.

Топки располагаются обыкновенно или внутри жаровых труб, или перед ними. Все, что было сказано относительно вмазки корнвалийских котлов, остается справедливым и по отношению ланкаширских.

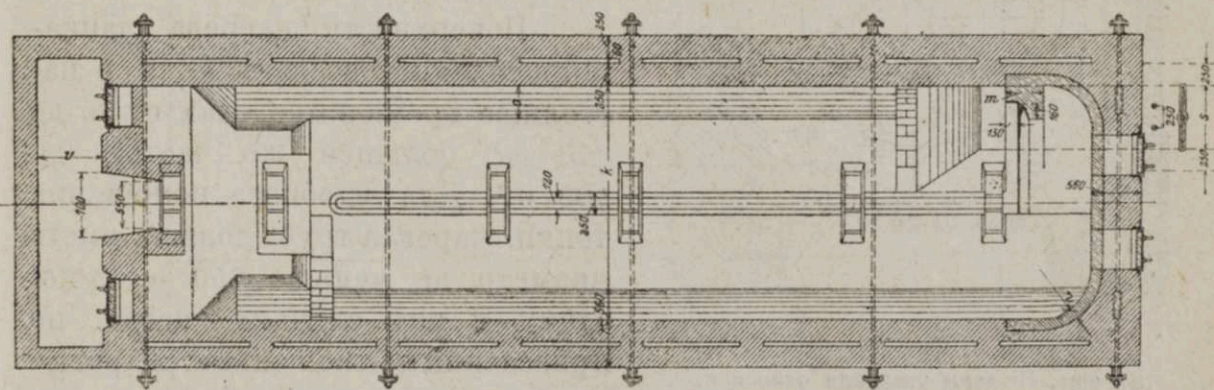
Здесь тоже непременно условием правильности действия котла является его доступность для осмотра и очистки, и равномерность нагрева. С этой целью расстояние между трубами не должно быть меньше 300 мм., чтобы человек мог пролезть между ними в нижнюю часть котла. Иногда трубы ставятся более близко и в нижней части котла делается особый лаз. Присутствие большого лаза в нижней части котла неудобно также и потому, что при пропаривании через прокладку, что случается довольно часто, приходится для перемены прокладки спускать всю воду из котла; а для этой операции, если



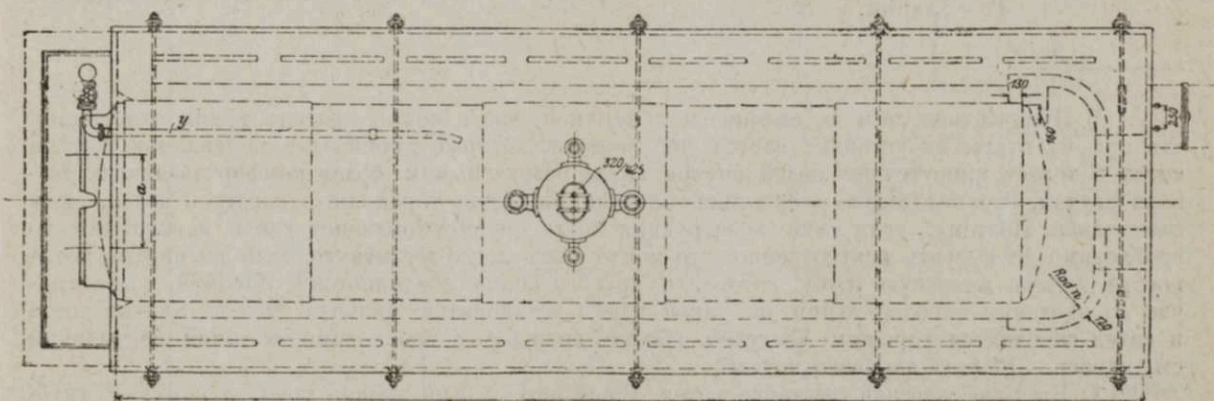
Фиг. 15



Фиг. 16.



Фиг. 17.



Фиг. 18.

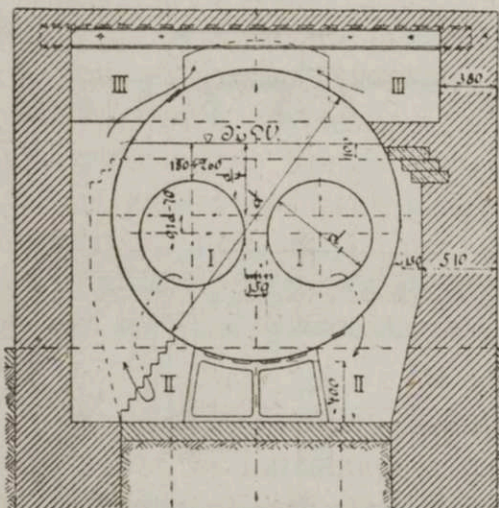
производить ее надлежащим образом, требуется не менее суток; таким образом, вследствие незначительных обстоятельств, котел должен быть остановлен на продолжительное время ¹⁾. Если же лаз находится в верхней части, то для перемены прокладки нужно спустить только пар, на что требуется один—два часа. Если потом поставить условие, что жаровые трубы не должны подходить к стенкам котла ближе, чем на 140 мм., и что диаметр жаровой трубы d , как это обыкновенно бывает, равен одной трети диаметра котла D , то, допустив, что разница между хордой, проходящей через центры жаровых труб и диаметром котла D , равна 50 мм., наименьший диаметр определится из следующего равенства:

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

откуда

$$D \geq 1890 \text{ мм.}$$

С другой стороны диаметр ланкаширских котлов не делается больше 3000 мм.



Фиг. 19.

На фиг. 19 даны указания относительно расположения жаровых труб, а также положения водяного уровня и огневой линии.

Следовательно, ланкаширские котлы рационально строить с диаметром в пределах от 1890 мм. до 3000 мм., хотя при очень большом давлении в котле до высшего предела благоразумнее не доходить ²⁾.

Поверхность нагрева ланкаширских котлов колеблется в настоящее время в пределах от 35 до 140 m^2 , большей же частью до 100 m^2 . Для удобного помещения топki, жаровая труба должна иметь диаметр не меньше 750 мм.; поэтому в тех случаях, когда, по приведенным отношениям, жаровые трубы выходят меньших размеров, в месте топki их уширяют.

¹⁾ Присутствие лаза в нижней и в верхней части котла полезно в том отношении, что при их открытии устанавливается ток воздуха, который производит вентиляцию внутри котла и делает присутствие людей внутри котла безопасным и более комфортабельным. Бывали случаи, что вследствие отсутствия вентиляции, когда торопились влезть в котел, люди задыхались. Поэтому, если сама конструкция котла не обуславливает такой вентиляции, то необходимо ее вызвать искусственно, что может быть легко достигнуто, если во внутрь котла ввести легкую железную трубу, которая с другого конца соединяется с бором, тогда сейчас по введении через верхний лаз такой трубы установится сильная тяга во внутрь котла и котел заполнится хорошим воздухом. (Более подробно о необходимости такой вентиляции см. парагр. „Ремонт парового котла“).

²⁾ На Брюссельской выставке котел Piedboeuf с 3-мя жаров. труб. и верхним трубчатым имел $D = 3000$ мм. при 12 атм. давления Z. D. и M. 4 34—10.

ТАБЛИЦА 11.

Котлы с двумя жаровыми трубами.

Диаметр котла.	Диаметры жаровых труб.		Длина котла. мм.	Поверхность нагрева котла. кв. м.	Площ. колосниковой решетки. кв. м.	Объем водяного пространства. куб. м.	Объем парового пространства. 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	—	375	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	—	—

Уширение лучше делать эксцентрично по направлению к оси котла, так как при этом получается больше пространства внутри котла.

При первоначальном выборе диаметра часто пользуются следующей формулой, связывающею поверхность нагрева котла H в m^2 и

$$D = 0,24 \sqrt{H},$$

диаметр D в m : а также принимают соотношение между D и d (диаметром жаровой трубы)

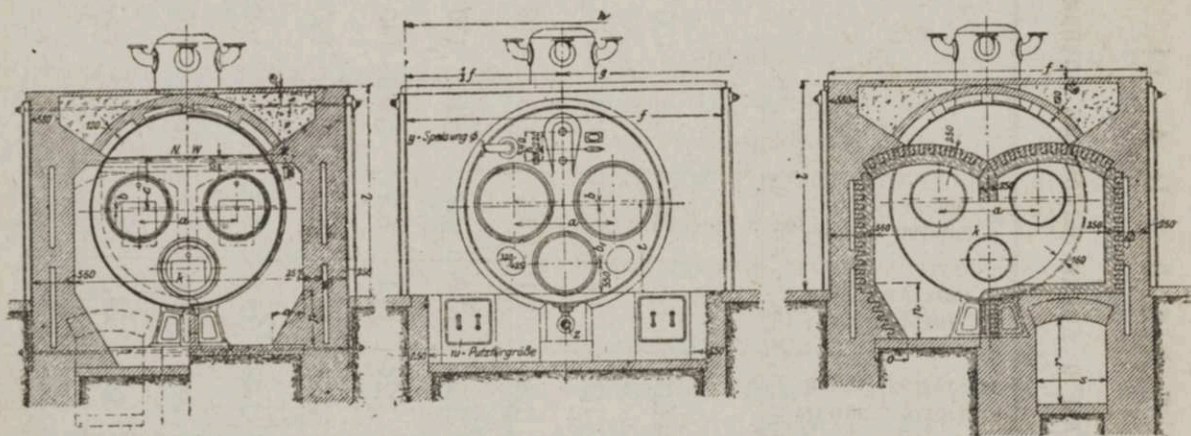
$$D = 2 d + 600$$

и иногда (мин. предел)

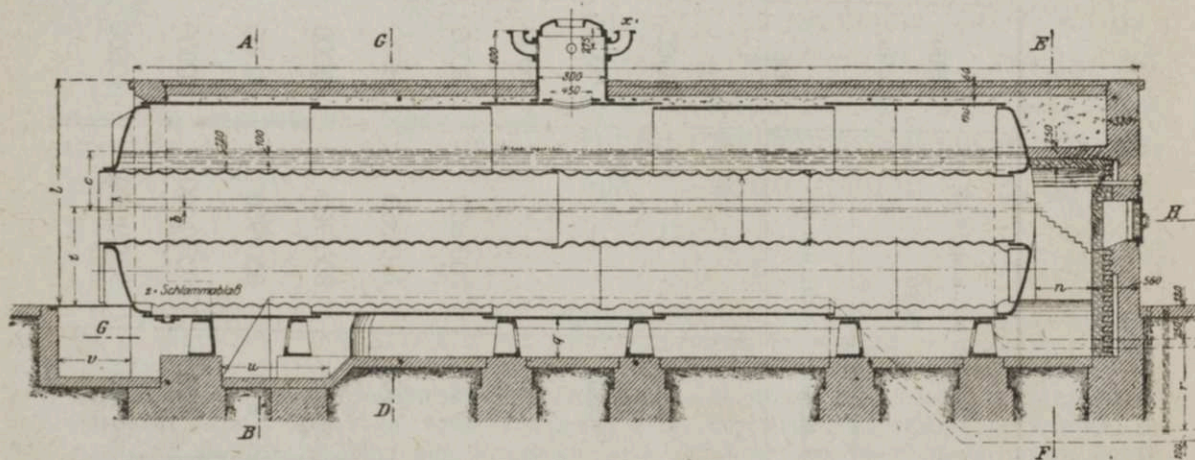
$$D = 2 d + 500.$$

Таблица 11 дает наиболее ходовые размеры ланкаширских котлов.

23. Котлы с тремя жаровыми трубами. Иногда делают котлы с тремя жаровыми трубами фиг. 20 и 21: две помещаются рядом, как и в ланкаширских котлах, а третья, под ними, несколько



Фиг. 20.



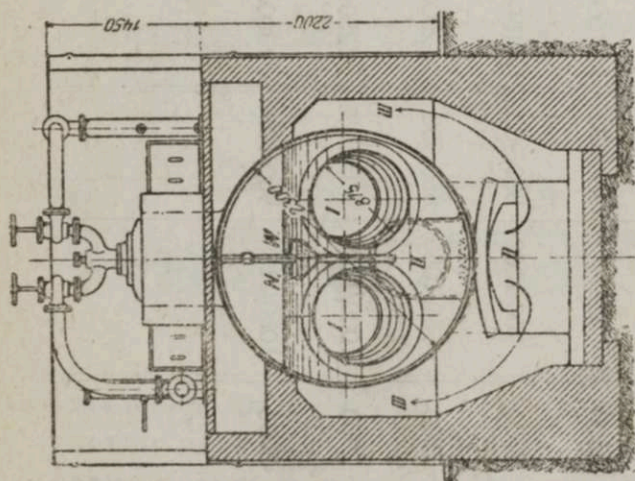
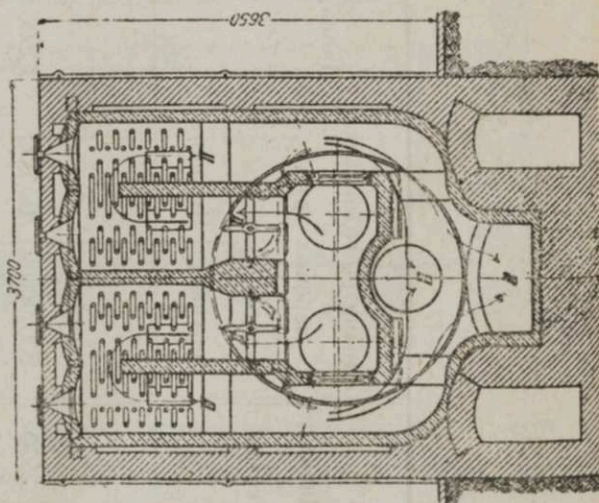
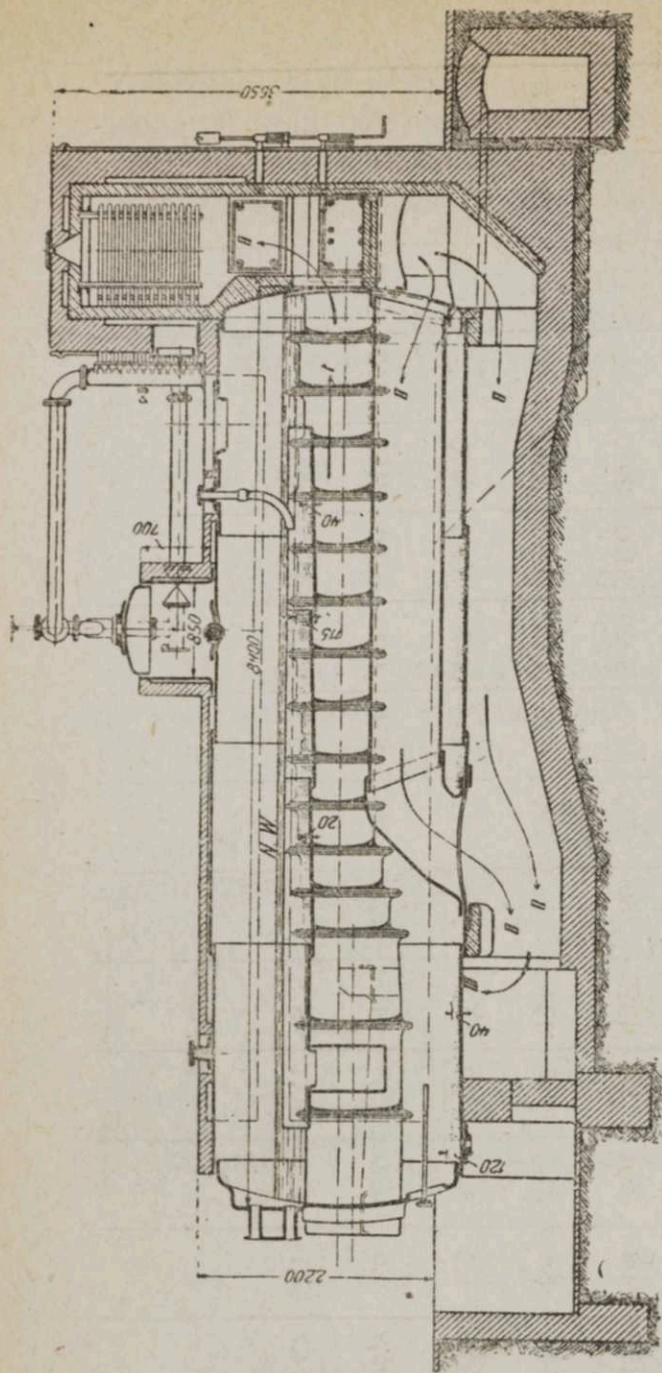
Фиг. 21.

меньшего размера; во всех трех трубах помещаются топки. Такие котлы появились в последнее время и имеют то преимущество, что дают большую поверхность нагрева на том же располагаемом про-

ТАБЛИЦА 12.

Котлы с тремя жаровыми трубами.

Диаметр котла.	Диаметры волнистых жаровых труб.		Длина котла.	Предел прочности котла.	Площ. колосниковой решетки.	Объем водяного пространства.	Объем парового пространства.	a	b	b ₁	c	f	k	l	n	o	p	b
	Верхних.	Нижней.	мм.	кв. м.	кв. м.	куб. м.	куб. м.											
2500	800/900	700/800	10500	134,3	4,4	25,6	7,4	1275	25	750	725	4120	3000	2900	600	425	700	450
2600	850/950	750/850	11000	148,8	4,8	28,4	8,0	1325	50	770	775	4220	3100	2970	"	"	"	"
2700	900/1000	800/900	11500	164,2	5,4	31,7	8,5	1375	75	790	825	4370	3250	3040	650	450	750	500
2800	950/1050	850/950	12000	180,6	6,0	35,2	9,0	1425	100	810	875	4470	3350	3110	"	"	"	"
2900	1000/1100	900/1000	12500	196,9	6,5	39,0	9,5	1475	125	830	925	4620	3500	3180	700	475	"	"
3000	1050/1150	950/1050	13000	214,7	7,1	43,0	10,1	1525	150	850	975	4720	3600	3250	"	"	"	"



странстве для котла, и, кроме того, нагревание котла происходит более равномерно, но, вероятно, вследствие дорогой цены и затруднительной чистки употребляются редко.

В таблице 12 приведены основные данные для котлов с тремя жаровыми трубами.

Существуют также котлы с тремя трубами, у которых топка помещается только в одной трубе, и газы, пройдя по ней, возвращаются по другой трубе, идут назад по третьей и затем уходят в боров. Такие котлы кирпичной кладки не имеют, и дымовые каналы образуются самим котлом. Встречаются редко и современным требованиям (большое напряжение) не удовлетворяют.

Завод Паукша (Н. Paucksch, A. G., Landsberg a. W.) строит котлы с тремя трубами так (фиг. 22), что третья труба не имеет топки. Это невыгодно в том отношении, что размер колосниковой решетки получается несколько меньше, чем в том случае, когда решетка помещается во всех трех трубах. Третья труба до переднего днища не доходит и позволяет увеличить в передней части диаметр жаровых труб, а вместе с этим несколько увеличить и размер решетки. Присутствие третьей трубы в передней части котла выгодно тем, что передняя часть нагревается сильнее и вследствие проявления циркуляции воды в котле получается более равномерное распределение температур в котле при растопке и более быстрый прогрев котла. Так, при испытании подобного котла, проф. Левицким получились следующие результаты: температура воды в водомерном стекле при начале растопки 43° Ц. термометр, поставленный в нижний лаз на расстоянии 900 мм., показывал $29,5^{\circ}$ Ц., через 12 мин. после начала растопки термометр стал подниматься; через 16 мин. началось парообразование; давление в 8 атм. было достигнуто через 56 мин., при чем термометр под жаровыми трубами показывал 53° Ц. Через 100 мин. термометр стал быстро подниматься и через 2 часа и 27 мин. достиг до 175° Ц., что соответствовало давлению пара в котле. (Более подробно см. статью Кирша Б. П. О. 385—04).

При подобном же испытании котла с двумя жаровыми трубами, приблизительно с тою же поверхностью нагрева и при том же часовом расходе топлива, парообразование началось через 37 мин., а полное давление было достигнуто через 1 час 30 мин., при чем термометр под жаровыми трубами показывал 52° Ц. Полное уравнивание температур было достигнуто спустя 4 часа 27 мин. Таким образом котел с тремя трубами дал пар на 34 мин. скорее, а уравнивание температур произошло на 2 часа ранее. Еще лучше в этом отношении котлы с одной жаровой трубой, сдвинутой на бок.

24. Котлы Галловей. Для увеличения поверхности нагрева в корнвалийских котлах, Галловей предложил в жаровых трубах ставить небольшие конические трубки (*Галловеевские трубки*). Их ставят несколько по длине жаровой трубы, при чем они поочередно слегка

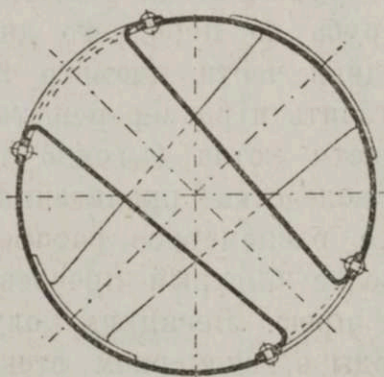
наклоняются то в ту, то в другую сторону (фиг. 23 и 25). Галловеевские трубки укрепляют жаровую трубу от сплющивания.

Обычные размеры Галловеевских труб (фиг. 23):

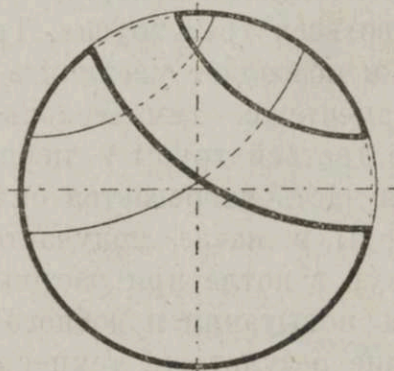
При диам. жаровой трубы	700	750	800	850 мм.
Диаметр D Галловеевской трубки	270	270	305	305 „
„ d „ „ „	140	140	150	150 „

Толщина стенки от 9 до 15 мм. (по расчету). Ставятся трубки на расстоянии 1250—1500 мм. друг от друга. При жаровых трубах меньшего диаметра, вследствие трудности постановки, Галловеевские трубки не употребляются.

Завод Фицнер-Гампера видоизменил форму Галловеевских труб—фиг. 24, делая их овальными, изогнутыми, равного диаметра. Отгиб их в верхней части жаровой трубы сделан с целью свободного доступа внутрь жаровой трубы.



Фиг. 23.



Фиг. 24.

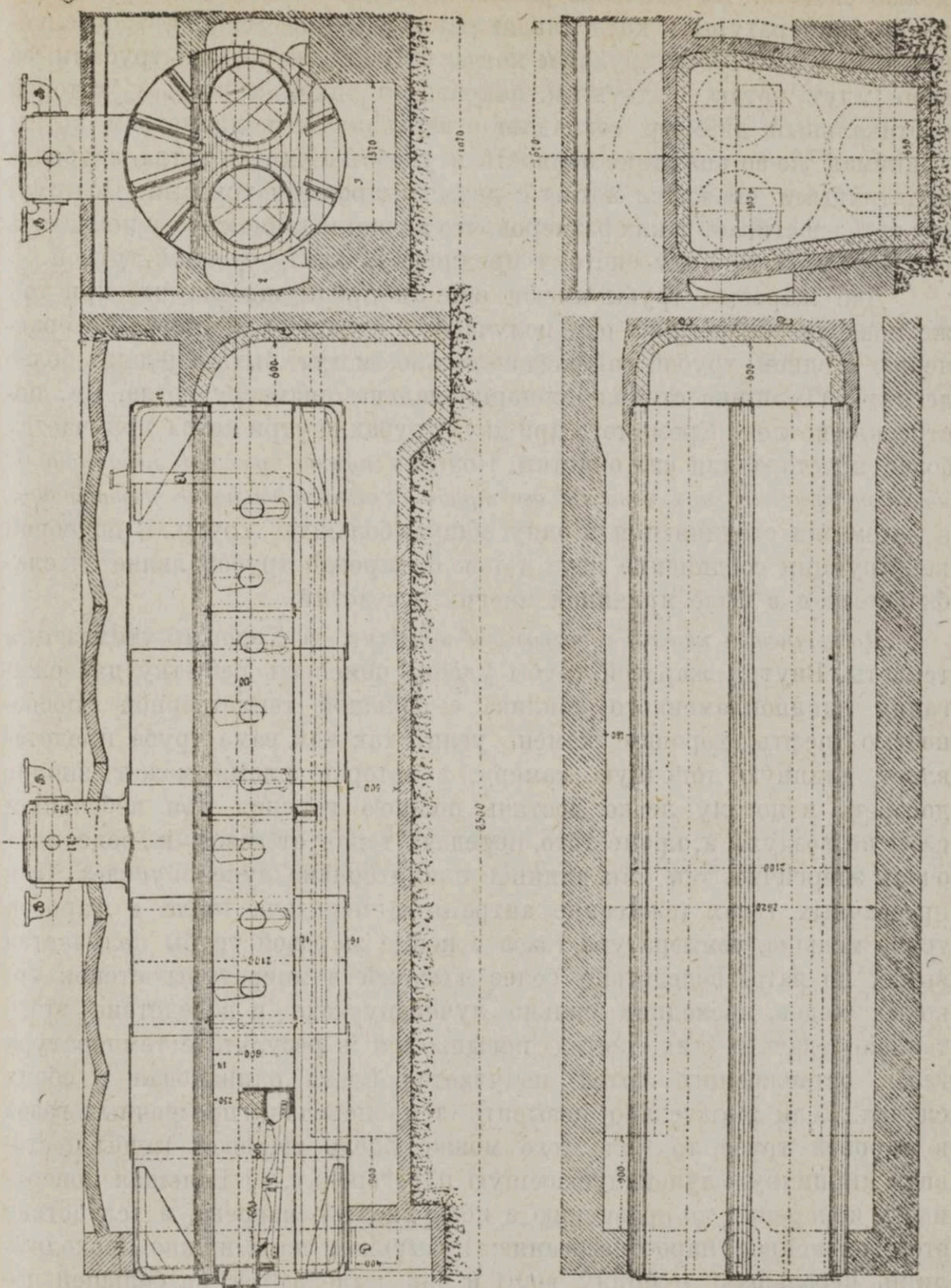
Своими трубками Галловей думал достичь лучшей циркуляции воды, и вследствие этого, более равномерного распределения температуры в котле; но, как показали специально произведенные опыты Флетчера (см. добавление), заметного влияния на циркуляцию воды эти трубки не оказывают, а потому, являясь деталью вообще дорогой, очень неудобной для очистки и осмотра и, вследствие этого, в некоторых случаях легко портящейся, едва ли могут быть особо рекомендованы.

25. Котлы Паукша. Паукш для улучшения теплопередачи делает жаровую трубу из цилиндров различных диаметров (фиг. 22) чем достигается лучшее перемешивание газов ¹⁾.

Если газы в трубе двигаются совершенно не перемешиваясь, то слой газов, прилегающий к поверхности нагрева и отдающий котлу тепло, охлаждается, вследствие чего передача тепла уменьшается, так как количество тепла передающегося через стенку пропорционально разности температур газов и воды, омывающих стенку. Между тем, горячая центральная часть газов почти не принимает участие в теплопередаче, так как прозрачные газы почти не лучеиспускают, а образовавшийся

¹⁾ Перемешивание газов в жаровых трубах необходимо.

холодный прослойк около стенки не позволяет более горячим газам отдавать тепло непосредственным соприкосновением. Следовательно,



Фиг. 25.

для повышения интенсивности теплопередачи нужно удалить от стенки охлажденные газы и подвести к ней более горячие из средней части, что и достигается перемешиванием газов.

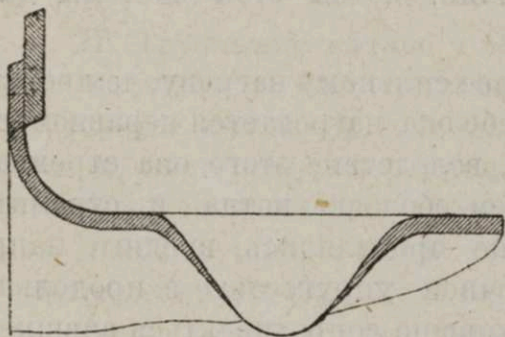
26. Сравнительные достоинства и недостатки котлов с жаровыми трубами. Сравнивая между собой котлы с жаровыми трубами, можно сказать, что наиболее рациональными, в отношении распределения температуры в котле, являются котлы типа Schulz Knaudt (сдвинутая набок жаровая труба) и котлы с тремя жаровыми трубами, за ними идут котлы с двумя и, наконец, с одной трубой, у которой вертикальный диаметр совпадает с вертикальным диаметром котла; принимая же во внимание ценность и удобство чистки котла, наиболее практичными окажутся котлы с двумя жаровыми трубами. Поэтому, раз котел достигает таких размеров, что является возможность поместить две трубы, нужно эту систему предпочесть котлу с одной трубой.

Две жаровые трубы имеют еще то преимущество, что при той же поверхности нагрева они получаются меньшего диаметра по сравнению с одной трубой, а, следовательно, могут быть сделаны более легкими. (Толщина стенки пропорциональна диаметру котла. См. построение котлов). Кроме того при двух трубах внутри котла получается более простора для его очистки. Поэтому *нужно признать нерациональной конструкцию, при которой две трубы делаются только в месте топок, а потом они соединяются в одну общую большую трубу.* В подобной конструкции соединение двух топок с жаровой трубой является слабым местом и было причиной многих несчастий.

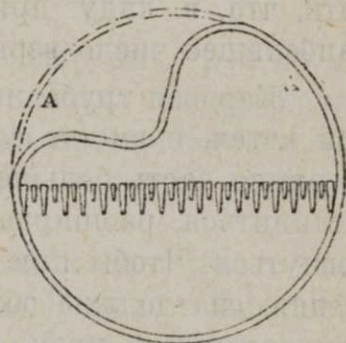
Достоинства котлов с жаровыми трубами. 1) Хорошая утилизация теплоты. Внутри жаровой трубы удобно помещать решетку для сжигания длиннопламенного топлива с большой теплотворной способностью (нефть, хорошие камен. угли), так как сама труба представляет длинную топочную камеру, в которой пламя может вполне догореть, и потому легко достичь полного горения при небольшом избытке воздуха, а, кроме того, передача тепла от газов к воде идет очень энергично, так как длинное пламя сильно лучеиспускает. При прозрачных газах (сжигание антрацита) передача тепла в жаровой трубе меньше, температура газов в конце жаровой трубы получается выше, но зато, вследствие более высокой температуры стенок боковых ходов, последние сильно лучеиспускают и вследствие этого теплопередача в этих частях повышается; в результате температура газов, оставляющих котел получается почти одинаковая в обоих случаях. Если желательно повысить теплопередачи прозрачных газов в жаровой трубе, то для этого можно вдоль жаровой трубы поставить кирпичную лучеиспускающую перегородку. 2) Большая поверхность испарения по сравнению с поверхностью нагрева, и вследствие этого спокойное парообразование: пузырькам пара нужно проходить лишь небольшую толщину воды и они выделяются на большой поверхности, вследствие чего нет сильного бурления воды, и вода менее увлекается паром в виде механической примеси — пар получается более сухой. Кроме того, пузырьки пара, поднимаясь кверху, сейчас же отделяются от стенок котла, вследствие благоприятствующей кривизне стенок; вследствие этого стенки всегда омываются чистой водой

без примеси пара и лучше передают теплоту. 3) Котлы эти достаточно удобны для очистки и внутреннего осмотра. 4) Размер кладки у котлов с жаровыми трубами не велик, поэтому потеря тепла в пространство и засасывание воздуха не велики.

Слабая сторона таких котлов—жаровая труба большого диаметра, подверженная внешнему давлению и действию сильного жара, помещающейся внутри ее топки. Очень часто, вследствие недосмотра кочегара или вследствие порчи питательных и водоуказательных аппаратов, уровень воды понижается настолько, что жаровая труба, обнажаясь, раскаляется и выпучивается во внутрь, подобно тому, как показано на фиг. 26¹⁾. Это особенно легко может случиться в виду того, что слой воды над трубой небольшой (его не следует допускать менее 100 — 150 мм.). Но, независимо от этого, и при нормальном уровне воды жаровая труба все-таки может раскалиться и разрушиться. Это бывает в том случае, если котел питается водой, содержащей жиры, напр.,



Фиг. 26.



Фиг. 27.

если вода получается из конденсатора. Достаточно небольшому количеству такого жира попасть на стенку, расположенную над топкой,

¹⁾ По мнению Кнауда (О. Knaudt, Z—1779—06), на сплющивание трубы главным образом влияет неправильность ее формы. Отклонение от правильной цилиндрической формы сильно понижает коэффициент надежности. Так для трубы диам. 1350 мм., рассчитанной с коэффициентом надежности 5,2 (по сравнению с началом видимых изменений) разница в диаметре в 35 мм. понизила этот коэффициент до 3,6, а разница в 167 мм. понизила коэф. надежности до 1,9. Постепенные отклонения трубы от правильной формы могут произойти вследствие неравномерного нагрева трубы в верхней и нижней части, в особенности в топочном пространстве. Приведенное выше отклонение на 35 мм. произошло в течение 300 дней работы трубы, при чем оно шло совершенно равномерно все время, что и указывает, что действующей причиной здесь была температура, а не давление пара, так как в последнем случае отклонения по мере их возрастания должны бы были идти все быстрее и быстрее.

Müller в Z. 779—09 определяет аналитически добавочные напряжения вследствие неравномерного нагрева жаровых труб и приходит к заключению, что эти напряжения могут вызвать в них значительные деформации. Он считает, что такие напряж. приобретают наибольшую величину в месте А, отчего в этом месте и получают наибольшие выпучины, когда они не зависят от низкого уровня или слишком большого давления.

Если железо мягкое, то обыкновенно сплющивание трубы не причиняет большого несчастья, даже если в сплюсненном месте расположен заклепочный шов, который в таких случаях только начинает течь. Если же близ деформирующегося листа помещается шов с укрепляющим кольцом Адамсона, не позволяющий листу плавно согнуться, или помещается плохо сработанный сварной шов, то лист часто разрывается (дает поперечную трещину) с очень серьезными последствиями.

чтоб стенка прогрелась и выпучилась, при форсированной работе котла. В этом случае труба перегревается обыкновенно с боку, приблизительно под углом в 45° от колосниковой решетки. Объясняется это тем, что пар, образующийся с боку трубы, не отделяется сейчас от стенки, а подымается по ней и, пройдя дугу в 45° , примешивается к пару, который в этом месте образуется особенно сильно, вследствие того, что под таким углом начинается особенно сильное действие лучистой теплоты. Скопившийся в этом месте пар не позволяет воде смачивать стенку, вследствие чего последняя раскаляется и выпучивается, как показано на фиг. 27 ¹⁾. Для избежания этого, у котлов с внутренней топкой жаровую трубу необходимо поддерживать в чистом состоянии. При всех указанных деформациях трубы, если материал, из которого труба приготовлена, достаточно мягок, кроме порчи котла и остановки работы на время ремонта, никаких серьезных последствий не произойдет, если же материал плох, то труба разорвется, и тогда неминуемо последует взрыв котла. Нужно заметить, что, в виду приведенных причин, котлы этой системы дают наибольшее число взрывов.

Жаровая труба подвергается более сильному нагреву, чем остальной котел, и вместе с тем сама по себе она нагревается неравномерно (верхняя часть больше, чем нижняя), вследствие этого она стремится удлиниться, расширяется сильнее, чем оболочка котла, и стремится согнуться. Чтобы при этом в трубе не проявлялись вредные напряжения, она должна обладать достаточной упругостью в продольном направлении, а кроме того, должна хорошо сопротивляться внешнему давлению, стремящемуся сплюснуть жаровую трубу, наконец, поверхность трубы должна быть такова, чтобы она способствовала перемешиванию проходящих по ней газов, благодаря чему последние более совершенно отдают свое тепло. Всем этим требованиям гладкая труба совершенно не удовлетворяет; гораздо лучшей во всех отношениях является волнистая труба, так как волны сообщают трубе большую упругость

¹⁾ Интересные случаи смятия жаровых труб приведены в Z. D. und. M. 201—04 и 107—05; также Glaser's Annalen 335—1891.

Чтобы исправить деформировавшуюся трубу, ее сначала нагревают, а затем выправляют при помощи домкратов. Эту операцию нужно производить, по возможности быстро, иначе труба может остыть, и тогда будет трудно ее выправить. Для большого удобства работы, для нагревания трубы, внутрь ее может быть введена жаровня особой конструкции с дутьем, представляющая из себя род горна; эта жаровня может поддерживаться на рычагах и быстро вводиться и выниматься из трубы. Для нажатия удобнее всего употреблять гидравлический домкрат—тонн в 15—20. Между разогретым местом и домкратом нужно проложить еще один круглый лист, разогретый до красна, чтобы уменьшить охлаждение трубы, или того места, которое соприкасается с домкратом.

Для определения величины деформации труб имеются особые инструменты см. Eg. 342—II—902.

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

Случай, когда во всех отношениях доброкачественная волнистая жаровая труба сплюснулась вследствие налета жира описан в Z. d. V. d. I, 1641—07.

То же. Z. D. und. M. 458—11—08.

Сплюсн. волнистые трубы их броненосц. Dupuy-de-Lome и Wattignies. Kumo. Chaudières Marines Z. E. Bertin. стр. 227.

в продольном направлении и большую жесткость в поперечном, и вместе с тем, образуя большие выступы, способствуют прекрасному перемешиванию газов.

К недостаткам же котлов с жаровыми трубами, как и вообще котлов с внутренней топкой, нужно отнести неравномерный нагрев их, и вследствие этого проявление внутренних вредных напряжений.

Наконец, котлы с жаровыми трубами, будучи вообще большого диаметра, требуют более толстых листов, которые трудно гнуть, пригонять и пр., и потому такие котлы выходят всегда тяжелее и дороже, чем другие котлы. Но, с другой стороны, кирпичная кладка обходится у этих котлов дешевле, чем в других системах.

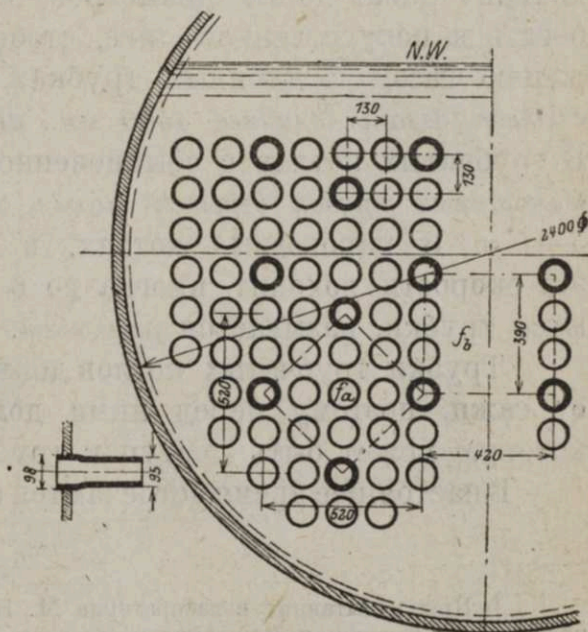
Котлы с жаровыми трубами имеют небольшую поверхность нагрева (обыкновенно не больше 100 кв. метр.) и потому они являются особенно пригодными для мелких котельных установок, позволяя выполнять их из нескольких отдельных единиц, которые можно выводить из работы, не особенно повышая напряженность работающих котлов.

27. Трубчатые котлы. Увеличивая число жаровых труб и уменьшая их диаметр, мы тем самым будем увеличивать нагревательную поверхность котла, не изменяя занимаемого им пространства и, таким образом, постепенно перейдем к типу котлов, которые в практике известны под названием *трубчатых*.

Впервые такого типа котлы предложены около 1830 г. почти одновременно во Франции бароном Сегье (Ségurier) и в Англии Бутсом (Booth) и сейчас же применены Георгом Стефенсоном для его первых паровозов.

В различных системах встречаются трубки, диаметром от 32 до 230 мм., но наиболее употребительные размеры труб колеблются в пределах от 45 до 90 мм. Трубки такого размера, в отличие от жаровых, называются *дымогарными*, а также *прогарными*.

Трубчатые котлы представляют удобство в том отношении, что, занимая мало места, дают большую поверхность нагрева. Кроме того, газы, двигаясь внутри трубок малого диаметра, лучше отдают теплоту, чем при движении по жаровым трубам большого диаметра. Это относится к прозрачным газам, которые, разбиваясь на мелкие струйки в дымогарных трубках отдают тепло как бы по всей своей массе, тогда как при движении по большой жаровой трубе газы, соприкасаю-



Фиг. 28.

как при движении по большой жаровой трубе газы, соприкасаю-

щиеся с холодной поверхностью котла и охлажденные, мешают передаче тепла от всей остальной массы газов. Если при передаче тепла участвует и лучеиспускание, то картина меняется. Поэтому для увеличения теплопередачи в дымогарных трубках полезно вставлять в них железные полосы, которые, накаляясь, отдают тепло лучеиспусканием и повышают теплопередачу ¹⁾).

В виду сказанного, обыкновенно стараются уменьшить диаметр трубок, чтобы при этом передача теплоты происходила более совершенно. Но уменьшать диаметр трубок можно до тех пор, пока этим не будет затруднена тяга и не будет затруднительно чистить трубки.

В целях осмотра и очистки поверхности трубок и удобства проникновения в нижнюю часть котла, трубки часто располагают двумя группами (фиг. 28) с промежутком посередине в 400—450 мм.

Часть трубок иногда играет роль анкерных связей (показано на фиг. 28 толстыми линиями). Их стенки делаются тогда толщиной до 7 мм. Концы трубок при этом снабжаются резьбой (11 винтов на 1").

Длина трубок должна находиться в известном отношении к их диаметру. Если трубки сделать слишком длинными, то при движении своем газы могут настолько охладиться, что в конце трубки передача тепла будет происходить уж крайне слабо, и потому выгоды, получаемые от несколько большего парообразования котла, не будут окупать затрат, связанных с увеличением длины трубок. В виду этого, *желательно, чтобы длина труб не превосходила их диаметра больше, чем в 40—50 раз*; но в практике встречаются котлы, у которых длина трубок равна 60 диаметрам. В паровозах же, где величина поверхности нагрева является первым условием, длина трубок доходит даже до 80 диаметров, но в этом случае необходимо прибегать к искусственной тяге, чтобы преодолеть сопротивление движению газом в длинных трубках. Вообще дымогарные трубки *не следует делать длиннее 4500 мм., иначе они способны легко прогибаться*. В трубчатых котлах с обыкновенной тягой *площадь поперечного сечения дымогарных трубок берется такая, чтобы скорость газов не превосходила 3—4 м.* В паровозных котлах, в присутствии искусственной тяги, эта скорость доходит иногда до 6 м. Стенка, в которой закрепляются трубки, называется *решеткой*.

Трубки трубчатых котлов должны почти каждый день очищаться от сажи, поэтому перед ними должна быть сделана дверца, через которую может быть доступ к трубкам.

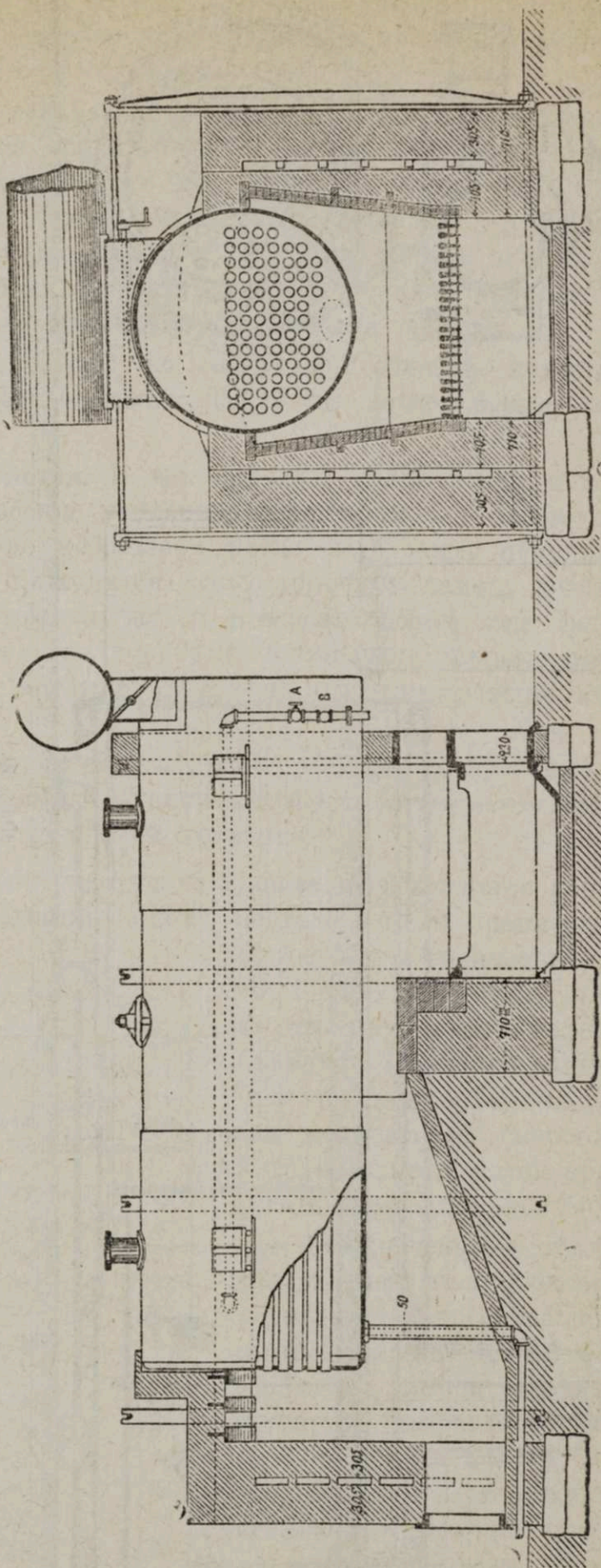
В настоящее время встречаются следующие типы трубчатых котлов.

¹⁾ При испытаниях в лаборатории М. В. Т. У. комбинационного котла в дымогарных трубках при изменении температуры газов от 755° до 940° и скорости газов от 3,8 до 9,5 м., коэффициент теплопередачи K изменялся для трубок без вставок от 14 до 22 и со вставками от 20 до 31. См. Б. П. О.

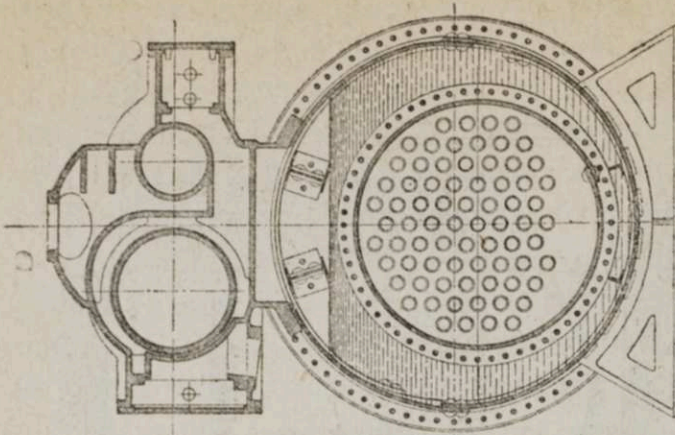
Для лучшего перемешивания газов и повышения вследствие этого K в трубки вставляются кольца. При опытах с подобными кольцами на паровозах температура дымовой коробки понижалась на 58° или 180°. См. И. М. О., ноябрь 1911.

28. Котел Паукша (фиг. 29). Представляет из себя простой цилиндрический котел, в днище которого вставлены дымогарные трубки. Топка располагается под котлом; газы, двигаясь к задней части котла, омывают низ и бока, затем возвращаются по трубкам в *дымовую коробку*, приделанную к передней части котла и уходят в трубу. В задней части котла кладка образует уширение, чтобы в этом месте могла осесть сажа и зола. Здесь же имеются дверцы для чистки трубок, такие же дверцы должны быть и в передней части котла. Чистка трубок от сажи производится металлическими щетками (род банника), навинченными на тонкую газовую трубку.

В котле имеется лаз, через который можно проникнуть внутрь для очистки. Вода в котле стоит, по крайней мере, на 100 мм. выше трубок. Такого рода котлы очень распространены в Америке. В Европе, в большинстве случаев, вмазка котла отличается от американской и производится так, что горячие газы идут сначала под котлом, возвра-



Фиг. 29.



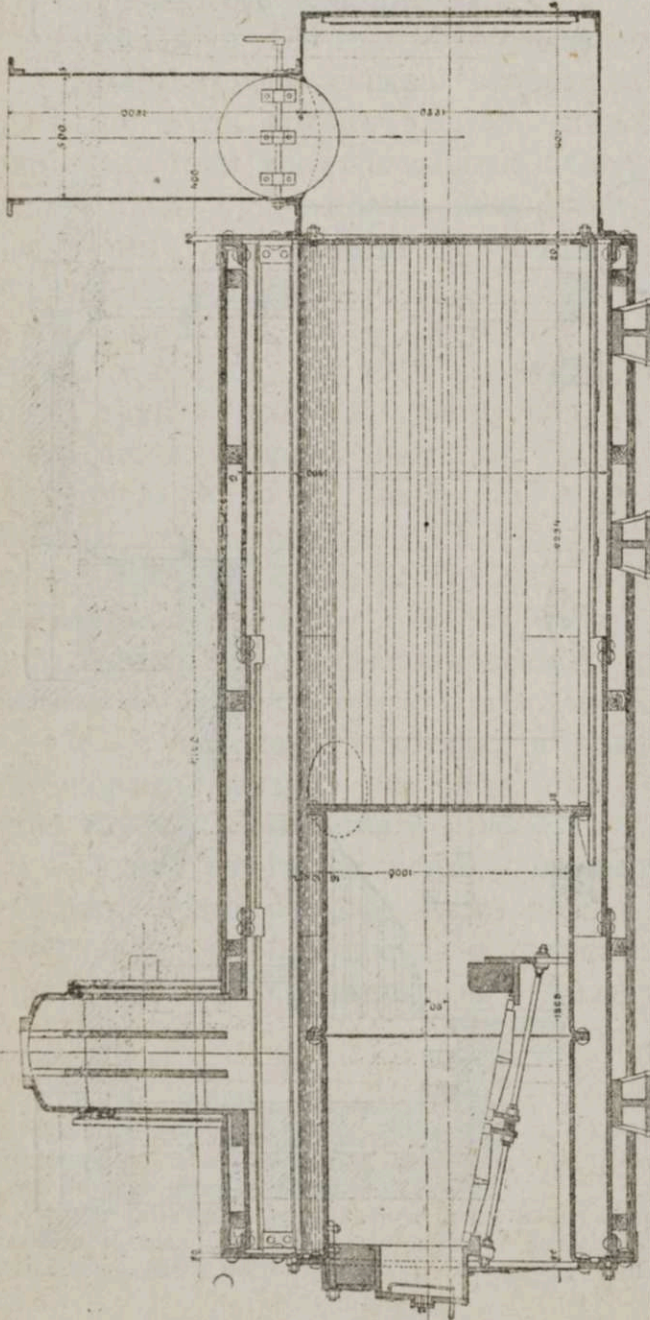
щаются к передней части котла по трубкам и затем идут назад с боков котла. В остальном котел остается одинаковым с только что описанным, но только в большинстве случаев трубки располагаются как указано на фиг. 28.

Американской системе вмазки, как более простой, нужно отдать предпочтение.

К недостаткам котла Паукша нужно отнести то, что трудно прикреплять части арматуры, вследствие присутствия спереди дымовой коробки.

Кроме того, уже было указано на неудобство помещать топку под котлом, так как при этом не только часть теплоты теряется через стенки кладки, но и самый сильный жар действует на нижнюю часть

Фиг. 30.



1) Приспособление для очистки сажи в трубах вертикальн. котлов; применено и для горизонтальн. Изготавливается Fred Clark Boiler Cleaning Co., 93 Nassau Str. New-York. D. A. 1448—7—5—08.

Аппарат для сдувания с трубок сажи и золы—„Romopneur“—при помощи наметания воздуха—струей пара—изготавливается заводом W. H. Willcox & Co.—Southwark—jt., London E. C.—Eng. 766—6—08. T. E. 299—9—08.

Аппараты для чистки сажи в трубах Изв. М. С. № 12, авг. 157—08.

котла, а в этом месте как раз оседает вся грязь, которая, пригорая, образует твердую накипь, совершенно не удаляемую продувкой, вследствие этого котел легко может прогореть.

29. Трубчатый котел с внутренней топкой (фиг. 30). Здесь в передней части котла имеется жаровая труба большого диаметра, в которой и помещается топка, а затем эта труба переходит в мелкие трубки. Газы движутся к задней части котла, выходят в дымовую коробку и в трубу. В дымовой коробке делается дверка, для того, чтобы можно было производить очистку трубок от сажи. Этот котел может быть обмазан так же, как котлы с жаровыми трубами.

На фиг. 30 изображен котел без кирпичной обмазки, который можно переставлять с места на место. Такой тип котлов называется также *полулокомобильным*.

30. Локомобильный котел. В тех случаях, когда топка котла должна производиться особенно усиленно, как например, в локомотивах, где при сравнительно небольшом котле необходимо получить как можно больше пару, приходится самую топочную камеру делать больших размеров, и в этом случае ей придают особый вид, представленный на фиг. 31. Так как подобные топки были впервые применены на паровозах, то котлы такого типа известны вообще под названием *паровозных*.

В настоящее время такие котлы, малого размера, употребляются для локомотивов и называются в таком случае *локомобильными*. Они иногда употребляются и в заводской практике.

При построении подобного котла главной задачей является получить котел легкий, занимающий немного места и в то же время даю-

щий большое количество пара. В виду этого здесь приходится трубки брать малого диаметра и большой длины, при чем для сообщения газам надлежащей скорости в трубках приходится прибегать к искусственной тяге.

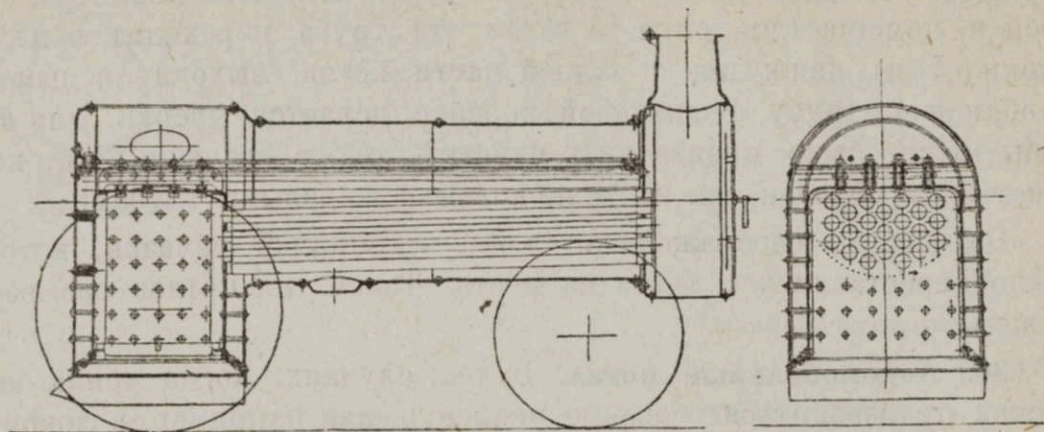
Обыкновенно в таких котлах газы из трубок выходят настолько охлажденными, что их можно без особенных потерь отводить прямо в дымовую трубу. Для этой цели все трубки сводятся в общую камеру, называемую *дымовой коробкой*, из которой газы уже и выходят в дымовую трубу.

Табл. 13, к фиг. 30.

Поверхн. нагрева в кв. метр.	Внешн. цилиндр.		Жаровая труба.		Трубки.	
	Диам.	Длина.	Диам.	Длина.	Внешн. диам.	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

Локомотивные котлы не обкладывают кирпичной кладкою, а обделывают снаружи только плоскими проводниками тепла.

Трубки должны идти, повышаясь немного по направлению к дымовой коробке. Без этого уклона, при растопке тяга долго не устанавливается, и котел дымит.



Фиг. 31.

В таблице 14 приведены относительные размеры небольших локомотивных котлов.

У больших локомотивов диаметр цилиндрической части котла достигает до 2000 мм., а длина до 5000 мм. и более.

Такие котлы выходят легкими, позволяют быстро разводить пар и работают довольно экономично.

Недостатки их те же, что и у всех вообще трубчатых котлов.

Табл. 14, к фиг. 31.

Цилиндрич. часть.		Топочная часть.			Топочная коробка.			Дымогарн. трубки.		Дымовая коробка.		Поверхность нагрева, кв. мет.
Диам. метры.	Длина. метры.	Длина. метры.	Шири. на. мет.	Высота. метры.	Длина. метры.	Шири. на. мет.	Высота. метры.	Число.	Диам. мм.	Длина. метры.	Диам. 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	1,23	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

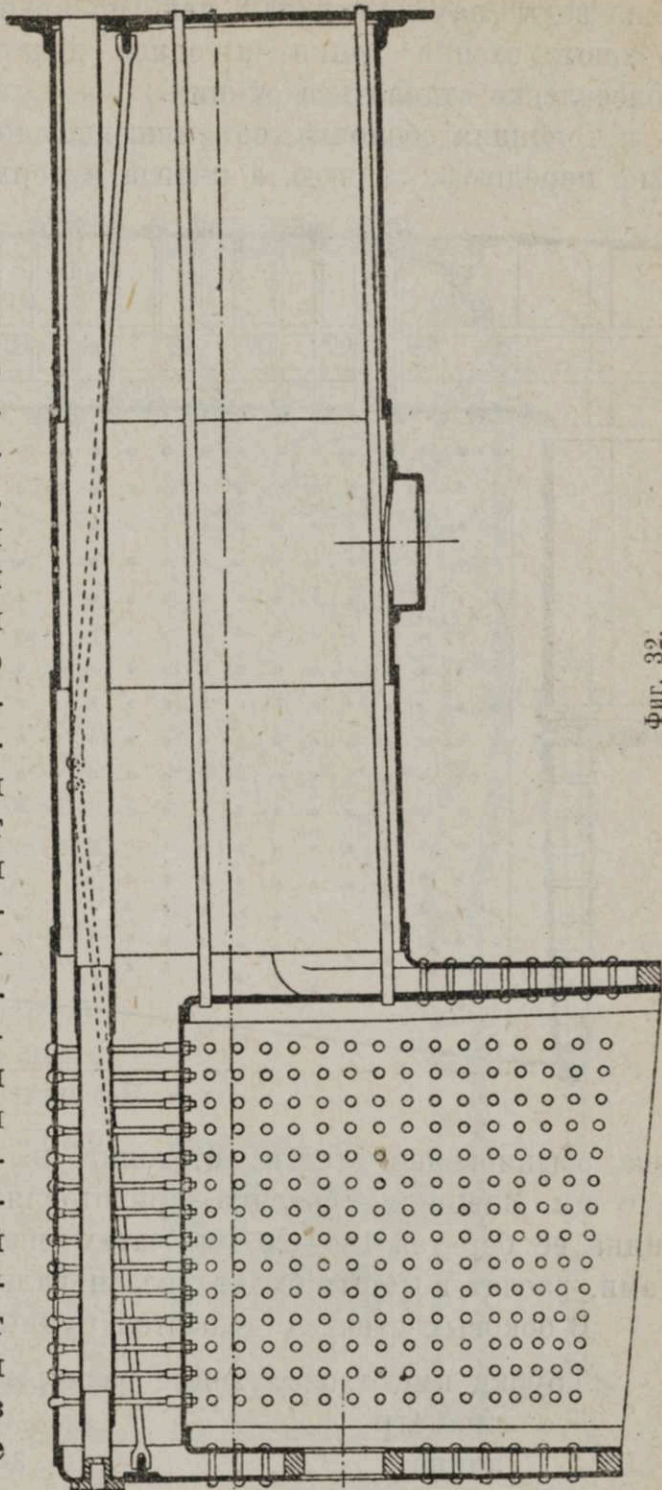
31. Паровозный котел. Паровозный котел сохранил в общих чертах тот же тип, какой имел котел знаменитого первого паровоза „Рокет“, только изменились его размеры и конструкция деталей.

Котел у паровоза «Рокет» имел поверхность нагрева 14 кв. м., современные паровозы имеют котлы с поверхностью нагрева в 200 кв. м., а в Америке доходят до 750 кв. м. Тип котла, назначенного, собственно, для паровоза, представлен на фиг. 32 и 33. Котел состоит из цилиндрической части, заполненной трубками, и призматической, в которой помещается топка.

Цилиндрическая часть делается диам. от 1000 мм. до 1900 мм.

Топочная камера (фиг. 33) имеет плоские стенки, которые плохо сопротивляются действующему, на них давлению, вследствие чего они должны быть скреплены с внешней оболочкой котла анкерными болтами. В виду того, что стенки топочной камеры подвергаются сильному нагреванию, по сравнению с внешней оболочкой, они испытывают значительные деформации, и потому материал как для самой камеры, так и для анкерных болтов должен быть возможно мягкий, вязкий. Для болтов обыкновенно употребляется красная медь, марганцевая бронза или очень мягкое железо. Точно также, стенки камеры изготавливаются из красной меди (Германия и Англия¹⁾) хотя американцы предпочитают употреблять для этой цели мягкое железо, как увидим в последствии, это имеет свое значение.

Медные стенки у топочных камер имеют обыкновенно толщину в 16—20 мм.; решетки для труб 26—28 мм. Железные топки могут быть сделаны значительно тоньше, напр., решетки можно делать не



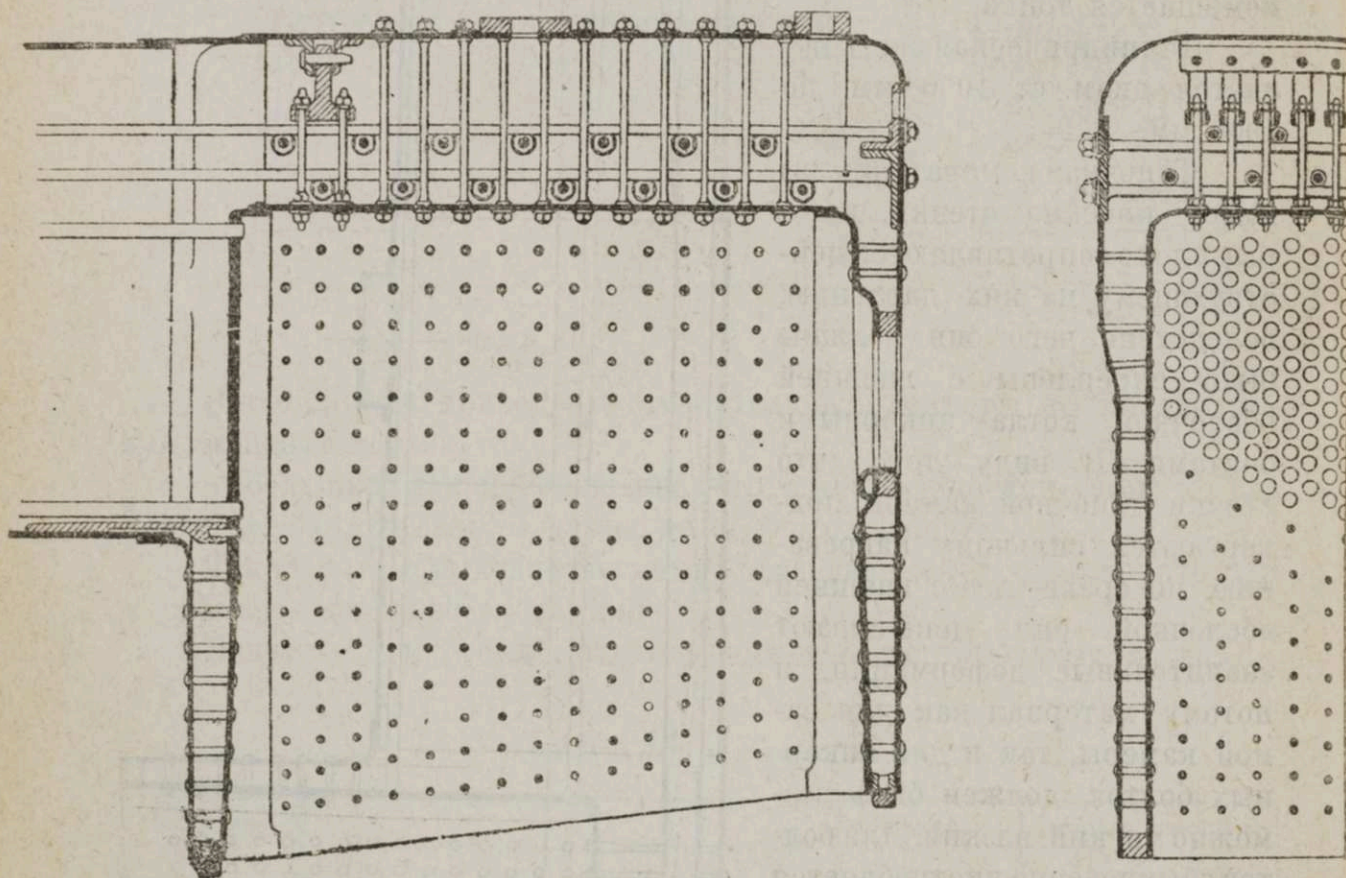
Фиг. 32.

¹⁾ В Z. B. R. V. 123—05 приведен пример, где медная топка подверглась более сильному разъеданию, чем железные части.

толще 12 мм., при чем они получаются очень упругими, легче следуют за деформациями трубок, и потому последние менее текут.

Верхняя стенка топки располагается таким образом, чтоб уровень воды находился над ней, по крайней мере, на 120—150 мм. Боковые стенки топки выгоднее делать наклонными, чтоб пар мог более легко отделяться от них.

Внешняя оболочка, объемляющая топочную камеру, имеет боковые, переднюю, заднюю, а иногда и верхнюю стенки плоские; внизу



Фиг. 33.

она обыкновенно отстоит от топки на 60—80 мм., вверху на 100—140 мм. Внешняя оболочка готовится всегда из железа и толщина ее берется 18—20 мм., затем она скрепляется анкерными болтами, расчет которых будет указан дальше.

В боковых стенках делаются ручные лазы для чистки.

Трубки имеют следующие размеры:

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

расстояние между трубками иногда делается очень малым,—до 15 мм.

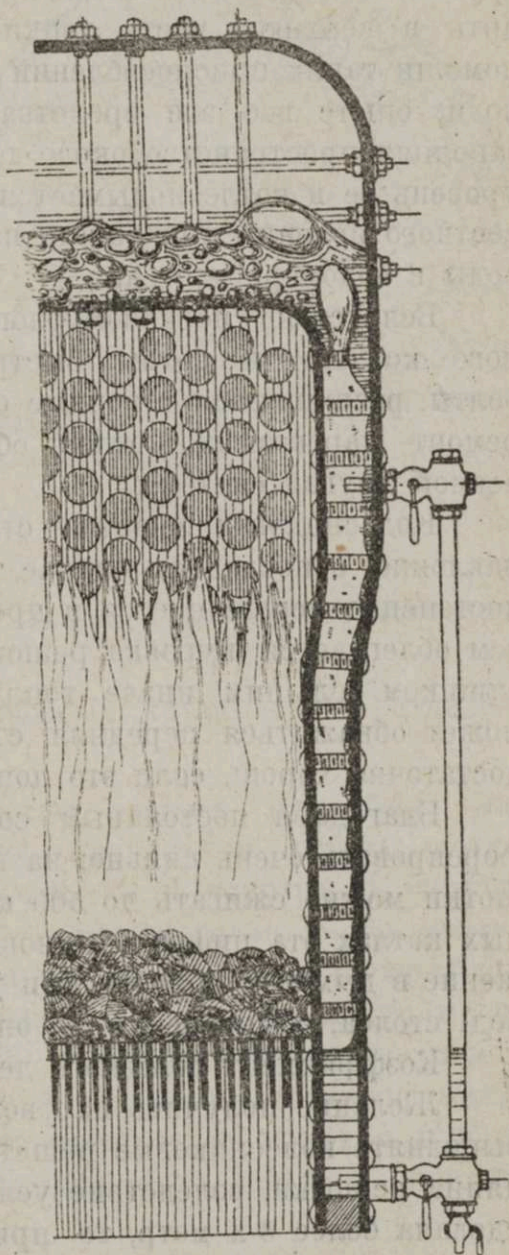
По направлению к дымовой коробке трубки идут, несколько повышаясь.

Все дымогарные трубки выводятся в общую дымовую коробку, которая обыкновенно имеет размер, равный цилиндрической части

котла и готовится из железа толщиной 10—15 мм. В верхней части коробка имеет отверстие для трубы, в нижней части делается иногда отверстие для удаления золы, закрываемое крышкой, а спереди имеется дверца, открывая которую, можно производить прочистку дымогарных трубок.

Паровозные котлы, благодаря искусственной тяге и большим размерам топочной камеры, дают хорошее сгорание топлива, а трубчатая поверхность хорошо утилизирует полученную теплоту (в случае, если трубки чисты), вследствие этого паровозный котел является одним из самых энергичных парообразователей. С кв. метра поверхности нагрева такого котла снимают до 80 кгр. пару в час.

Паровой котел современного локомотива должен давать в час до 10000 кгр. пара, поэтому интенсивность испарения в таком котле должна быть доведена до крайних пределов. К счастью, условия работы паровозного котла очень благоприятны для такого форсированного парообразования. Тот же самый котел, обращенный в заводский и стоящий спокойно, будет в состоянии дать лишь $\frac{1}{2}$ часть этого количества пара, не вызывая сильного перегрева отдельных частей. Это обстоятельство нужно объяснить тряской, которую котел испытывает в пути, вследствие чего вода очень сильно волнуется и энергично омывает горячие поверхности, механически удаляя с них образующийся пар, тогда как в спокойном котле в различных частях у горячих стенок образуются паровые прослойки, обуславливающие сильный перегрев стенок при форсированной работе. Тем не менее стенки топочных камер у паровых котлов обыкновенно скоро перегорают. Происходит это вследствие того, что в узком пространстве между



Фиг. 34.

стенкой камеры и внешней оболочки котла не может происходить никакой циркуляции воды, а вместе с тем парообразование около этой стенки, получающей излучением громадное количество тепла, идет очень энергично, и потому все это пространство заполнено

исключительно паром. Справедливость этого легко подтвердить, если в стенку котла вставить водомерное стекло. Вода покажется только в самой нижней части стекла и тем укажет, что все пространство заполнено паром (фиг. 34). Для устранения этого недостатка предлагались различные способы,—так, например, предлагали ставить перегородку между двумя стенками—топочной и наружной; предлагали соединять нижнюю часть пространства отдельной трубой с цилиндрической частью котла; предлагали ставить внутри тонкие трубки, изогнутые коленом, при чем одно колено должно было входить в верхнюю часть топки, а другое в боковые ее стенки. При помощи таких приспособлений думали достичь лучшей циркуляции, но на опыте все эти средства оказались недействительными. Пар, заполняя пространство около топки, вытесняет оттуда воду, при чем уровень ее в котле подымается; это и служит объяснением общеизвестного явления при работе паровозного котла,—повышение уровня воды в водомерном стекле.

Вследствие неравномерного нагрева различных частей паровозного котла, эти котлы быстро разрушаются (ломаются анкерные болты, разрушаются топочные стенки, расстраиваются швы), и потому ремонт паровозных котлов обходится дороже, чем ремонт котлов всякой другой системы.

Колосниковая решетка ставится или горизонтально или слегка наклонно, в последнем случае топливо при сотрясении паровоза само постепенно перемещается и происходит вытряхивание золы и шлаков, чем облегчается шуровка решетки. Не следует только делать уклон слишком большим иначе топливо перемещается слишком быстро и может обнажиться передняя сторона решетки; уклон в $1/10$ будет достаточно хорош, если это допускает размер колес.

Благодаря постоянным сотрясениям паровозный котел можно форсировать очень сильно; на кв. м. поверхности колосниковой решетки можно сжигать до 500 кгр. угля в час, тогда как в постоянных котлах эта цифра обыкновенно не превосходит 200 кгр. Разрежение в дымовой коробке при усиленной топке достигает до 200 мм. вод. столба, обыкновенно же оно равно 125 мм.

Коэффициент полезного действия этих котлов около 0,65.

Желание получить паровозы очень большой мощности заставило выполнять колосниковые решетки очень больших размеров. Так как длина решетки, вследствие условий шуровки топлива, не может быть сделана более 3-х метр, то пришлось увеличивать поперечный размер решетки, при чем пришлось решетку подымать довольно высоко, чтобы она могла, располагаясь над рамой паровоза, упираться настолько, насколько это позволяет габарит пути. Такой тип паро-

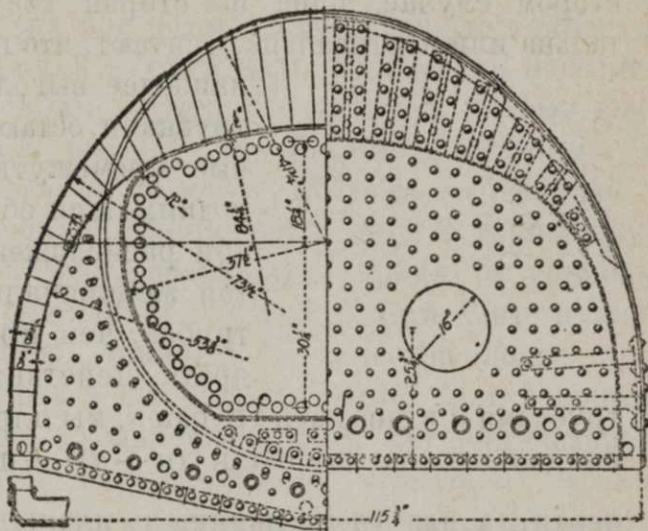
¹⁾ Endurance of locomotive flue material. Об изнашивании решеток и развальцов. трубок М. Е. 788—08.

Для более свободного расширения топочных камер, предложено отдельные листы соединять волнистыми подкладками. См. М. Е. 72—7—07.

возных котлов был предложен Вутеном (Wooten) и в настоящее время в большом распространении в Америке. На фиг. 35 представлена топка Вутена, исполненная заводом Baldwin Locomotiv Works, в Филадельфии, с громадной колосниковой решеткой, имеющей площадь 90 кв. фут. Диамет. котла 6 ф. 8 д., в нем помещаются 511 трубок диам. 2 д., длиной 14 ф. 8 д., дающих поверх. нагрева 3890 кв. фут; кроме того, топка имеет поверхн. нагр. 215 кв. ф., так что общая поверхн. нагрева, котла равна 4115 кв. фут ¹⁾.

В паровозных котлах поверхность, на которой выделяется пар, слишком мала по сравнению с поверхностью нагрева, и потому пар получается всегда очень сырой, так что в некоторых случаях прибегают к сепараторам.

Срок службы паровозных котлов определяется от 8 до 10 лет, хотя существуют котлы проработавшие 15 лет при довольно грязной воде, что объясняется очень высоким качеством материала и сравнительно небольшим рабочим давлением (до 10 атм.).



Фиг. 35.

Дальнейшие подробности о паровозных котлах см. в ²⁾ разделе о построении котлов ²⁾.

32. Главные недостатки трубчатых котлов. Как было уже сказано, одним из главных условий правильной работы котлов является возможность их внутренней очистки и осмотра. К сожалению, *трубчатые котлы совершенно не удовлетворяют этому условию.* Вся внутренность трубчатого котла заполнена трубками, преграждающими доступ внутрь его, и потому очистка и осмотр могут производиться только крайне несовершенно. Чтобы хотя несколько помочь этому затруднению, трубки располагают группами, оставляя между ними промежутки, в которые может поместиться мальчик или рабочий может просунуть руку и скребком, хотя немного, очистить

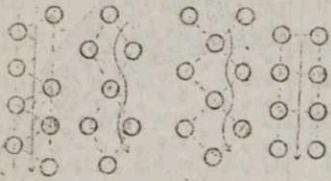
¹⁾ О новых типах американских паровозных котлов см. Z. f. d. V. d. I. 1228—05., M. E. 72 и 107—1—03, Proc. of Institution Civil Engineers—1903, доклад P. J. Cowan; в извлечении помещен в Bulletin de la Commission Internationale du Congres des Chemins de Fer. Juin 1904, и Б. П. О. 1907 г.

О больших паровозных котлах см. доклад Churchward'a (Lagre Locomotive Boilers), читанный в Institute of Mechanical Engineers. febr. 16—1906. Перепечатан в Engineering—258—2—06 и M. E. 254—2—06, также 362—9—09.

²⁾ См. также. Новость паровозного дела на Коломенском заводе. Б. П. О. 273—1910 года.

поверхность трубок и котла. Эти промежутки между группами трубок вместе с тем значительно облегчают выход пара ¹⁾).

Трубки располагаются или таким образом, что их центры находятся в углах квадратов (фиг. 36), или так, что их центры находятся в углах правильных треугольников. Кроме того, первое расположение может быть исполнено так, что с вертикалями будут совпадать или стороны квадрата или его диагонали, точно также, и во втором случае, одна из сторон треугольника может быть горизонтальна или вертикальна. Считают, что последнее расположение является



Фиг. 36.

наиболее выгодным, так как при этом между трубками остаются довольно большие вертикальные промежутки, по которым может свободно подниматься образующийся пар, а кроме того, при расположении по углам треугольника, на той же площади решетки можно поместить более трубок, чем при расположении по углам квадрата. Действительно, называя расстояние между

трубками a и диаметр трубки d , мы для расположения по углам квадрата найдем, что на площади $(a + d)^2$ — помещается одна трубка (4 четверти), а для треугольника на площади $\frac{(a + d)^2}{2} \cos 30^\circ$ помещается $\frac{1}{2}$

трубки или на площади $(a + d)^2$ при таком расположении поместится $\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{\cos 30} = 1.155$ [трубки. Расстояние между трубками не должно быть меньше 25 мм., иначе выход для пара будет слишком за-

¹⁾ Для очистки накипи с трубок в последнее время предлагаются особые аппараты, представляющие из себя род молоточков, которые на длинной трубке вводятся во внутрь дымогарных трубок. Через трубку, на которой прикреплен подобный аппарат, пропускается под сильным давлением воздух, вода или пар, которые приводят молоточек в движение. Постукивая с внутренней стороны поверхности трубки, молоточек оббивает с нее накипь и таким образом очищает дымогарную трубку. Подобные механические очистители труб, действующие ударом, представляют, по мнению Гартфордского Общества (The Locomotive 91—oct—04), значительную опасность, так как благодаря ударам, трубки могут в некоторых местах принимать неправильную форму и сплющиваться; в особенности это является опасным в том случае, когда аппарат остается в одном положении долгое время и удары наносятся в большом числе по одному и тому же месту. Кроме того, вследствие ударов, трубка вытягивается, так что концы после очистки выступают из решетки на 3—4 мм., что, конечно, влечет за собой ослабление закрепления трубок в решетке и связанную с этим течь. Наконец, если аппарат приводится в движение паром, который выходит из аппарата внутри трубки, то последняя нагревается значительно выше по сравнению с остальными частями котла, при чем как ослабляется закрепление трубки, так и вообще материал ее очень сильно напрягается. Таким образом, при употреблении подобных аппаратов нужно быть очень осторожным и по мнению Гартфордского Общества, следует соблюдать следующие правила: 1) при употреблении аппарат должен все время передвигаться, чтобы удары не наносились по одному и тому же месту; 2) аппарат должен приводиться в движение давлением не большим 20—30 фунтов на кв. д.; 3) пар не должен проходить через холодную трубку и нагревать ее; 4) лучше аппарат приводить в движение при помощи сжатого воздуха; 5) после каждой очистки подобным аппаратом котел должен быть очень внимательно осмотрен, чтобы убедиться в том, что в нем не появилось каких-либо трещин или удлинения трубок; 6) работа таким аппаратом не должна поручаться лицам, в сообразительности которых и понимании дела не вполне уверены.

труднителен: кроме того, решетка, в которой закреплены трубки, может легко дать трещину; наконец, промежутки между трубками скоро затянутся грязью, после чего действие котла будет вполне остановлено.

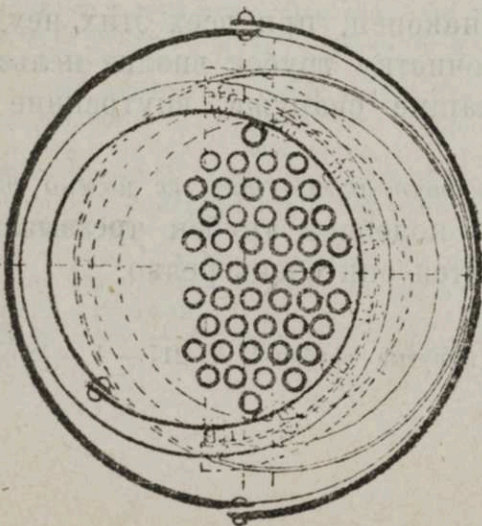
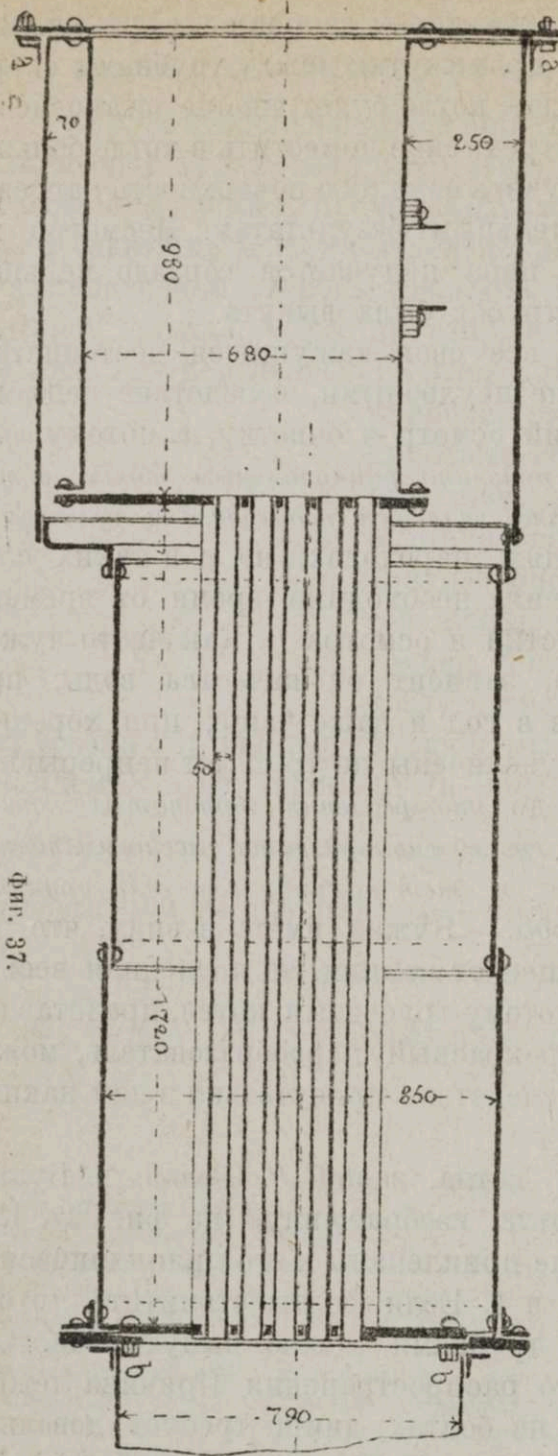
Вообще, нужно заметить, что стремление поместить в котле больше трубок малого диаметра, чтоб получить большую поверхность нагрева, обыкновенно приводит к отрицательным результатам. Несмотря на увеличение поверхности нагрева, пара получается гораздо меньше, чем в том случае, если бы часть трубок была вынута.

Таким образом, несмотря на все свои кажущиеся достоинства, трубчатые котлы являются крайне неудобными, вследствие невозможности производить их внутренний осмотр и очистку, а потому применение трубчатых котлов можно признать рациональным только в тех случаях, когда небольшой размер котла является необходимым условием — например, в паровозах, локомотивах, пароходах; но и в таких случаях, для безопасного их действия, необходимо время от времени вынимать трубки для полной очистки и осмотра ¹⁾. Как часто нужно производить подобную операцию, зависит от качества воды; при плохой воде нужно вынимать раз в год и даже чаще; при хорошей воде эти промежутки могут быть увеличены до трех лет непрерывной работы котла. Что же касается до употребления трубчатых котлов в обыденной заводской практике, то его можно признать уместным только в том случае, если питающая вода не дает накипи, или если приняты меры к предварительной очистке воды. — Нужно иметь в виду, что раз котел не может быть хорошо очищен от накипи, то последняя весьма затрудняет передачу теплоты, и потому трубчатый котел, представляя с теоретической точки зрения прекрасный парообразователь, может оказаться очень неэкономичным, вследствие присутствия в нем накипи в большом количестве.

С целью облегчить очистку котла, задод Р. Вольф, в Букау, предложил систему трубчатого котла, изображенную на фиг. 37. Как видно из чертежа, днища котла не приклепаны к его цилиндрической части, а привернуты на болтах *a* и *b*. Если болты отвинтить, то оба днища с прикрепленными к ним трубками можно вынуть вон. Система эта не нашла себе большого распространения. Причина лежит, вероятно, в том, что закрепление на болтах днищ требует довольно искусной работы, иначе они парят; кроме того, при каждой перестановке днищ, приходится менять слишком много болтов, что влечет за собой уже порядочные расходы; наконец, при всех этих неудобствах, все-таки произвести осмотр и очистку трубок вполне нельзя — можно очистить трубки только лежащие снаружи, внутренние же остаются недоступными.

Иногда трубки делаются такой конструкции, что их можно вынимать каждую отдельно, но вынимание подобных трубок чрезвычайно затруднительно, и потому употребляются они очень редко.

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



Другой большой недостаток трубчатых котлов, это часто появляющаяся течь в местах закрепления трубок. Течь особенно бывает заметна в трубчатых котлах с внутренней топкой; в этом случае трубки нагреваются гораздо сильнее, чем котел, и потому, расширяясь, слегка перемещаются в местах закрепления, следствием чего и бывает течь. Для уменьшения этого Бах предлагает при раскатке трубок нагревать их, вкладывая в них горячее железо ¹⁾. Ослаблению закрепления трубок способствует чрезмерное нагревание решетки, которое особенно сильно происходит со стороны топки. Вследствие высокой температуры, в этом месте парообразование вокруг трубок идет очень энергично; решетка, с закрепленными в ней трубками оказывается окруженной водой с большой примесью пара, вследствие чего поглощение теплоты значительно уменьшается, что ведет за собой значительный перегрев решетки и трубок и уничтожает плотность их соединения.

Кроме того, у неопытного кочегара при открывании топочных дверей каждый раз в топку врывается холодный воздух, который охлаждает сразу решетку и закрепленные в ней трубки и таким образом заставляет их сокращаться. Все это, взятое вместе, очень легко может расстроить плотное соединение трубок с решеткой и повлечь за собою сильную течь ²⁾. Нужно

¹⁾ См. Б. П. О. — 324 — 03.

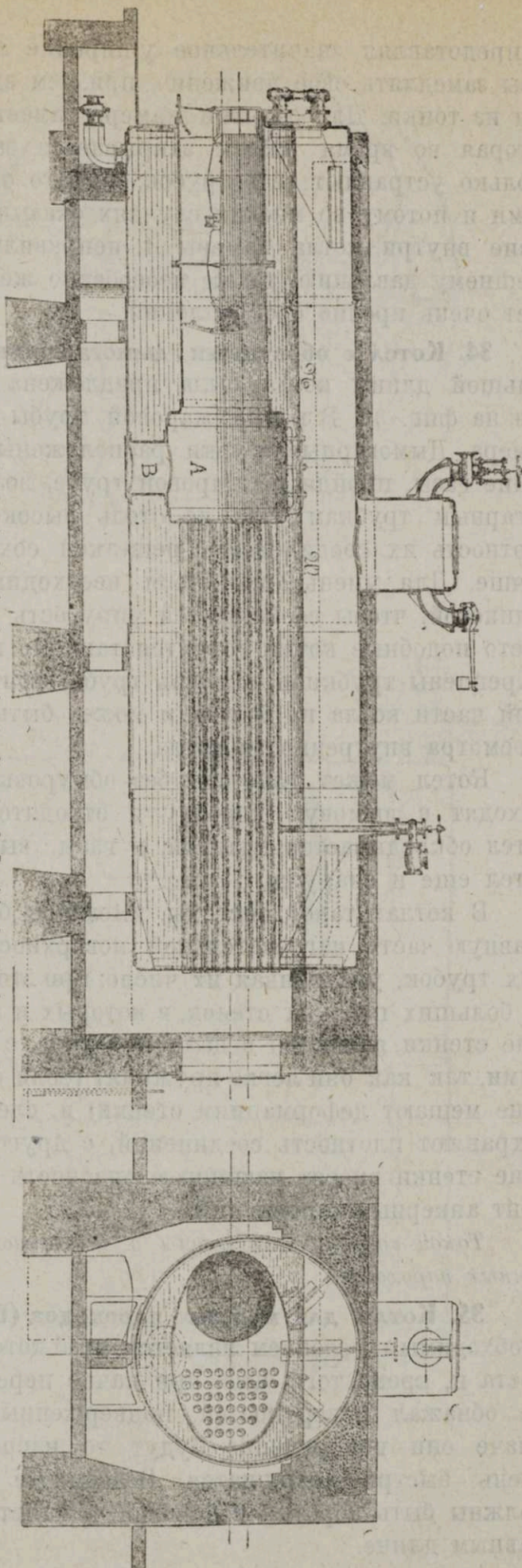
²⁾ В докладе о паровозных котлах Уэлс (Wells) указывает на то, что

заметить, что раз такая течь появилась, то уничтожить ее, не вынимая трубок, почти невозможно, так как в промежутке между трубкой и решеткой попадает накипь и грязь, которые и нарушают плотность соединения. Иногда в таких случаях, для большого укрепления концов, загоняют в трубки кольца, но подобная мера, вследствие указанной выше причины, не всегда оказывается действительной. Для плотности соединения необходимо, чтобы поверхность трубки и отверстия в решетке были совершенно чисты.

До некоторой степени течь в трубах можно предупредить, если пускать в них газы уже слегка охлажденные.

33. Котел Ферберна.

Охлаждение газов может быть произведено, помещая решетку в длинной жаровой трубе. Это и имел в виду Ферберн при проектировании своего котла, изображенного на фиг. 38. Как видно из чертежа, сзади жаровых труб поставлена камера А, одна стенка которой представляет решетку для трубок. Камера имеет в сечении эллиптическую форму



Фиг. 38.

температуры в котле при растопке и охлаждении распределяются очень неравномерно, а также происходит сильное охлаждение трубок при введении в котел холодной питательной воды. От этих причин и появляются по мнению Уелса, течь в трубках паровозных котлов. (М. Е. 222 - 2 - 06)

и, представляя значительное уширение жаровой трубы, заставляет газы замедлять свое движение, при чем здесь оседает зола, увлеченная из топки. Для очистки камеры имеется вертикальная труба В, которая во время работы закрывается заслонкой. Такие котлы несколько устраняют течь трубок, но зато они выходят слишком длинными и потому во многих случаях оказываются неудобными. Присутствие внутри котла камеры А, неправильной формы, подверженной внешнему давлению, также неособенно желательно, так как она требует очень прочного скрепления.

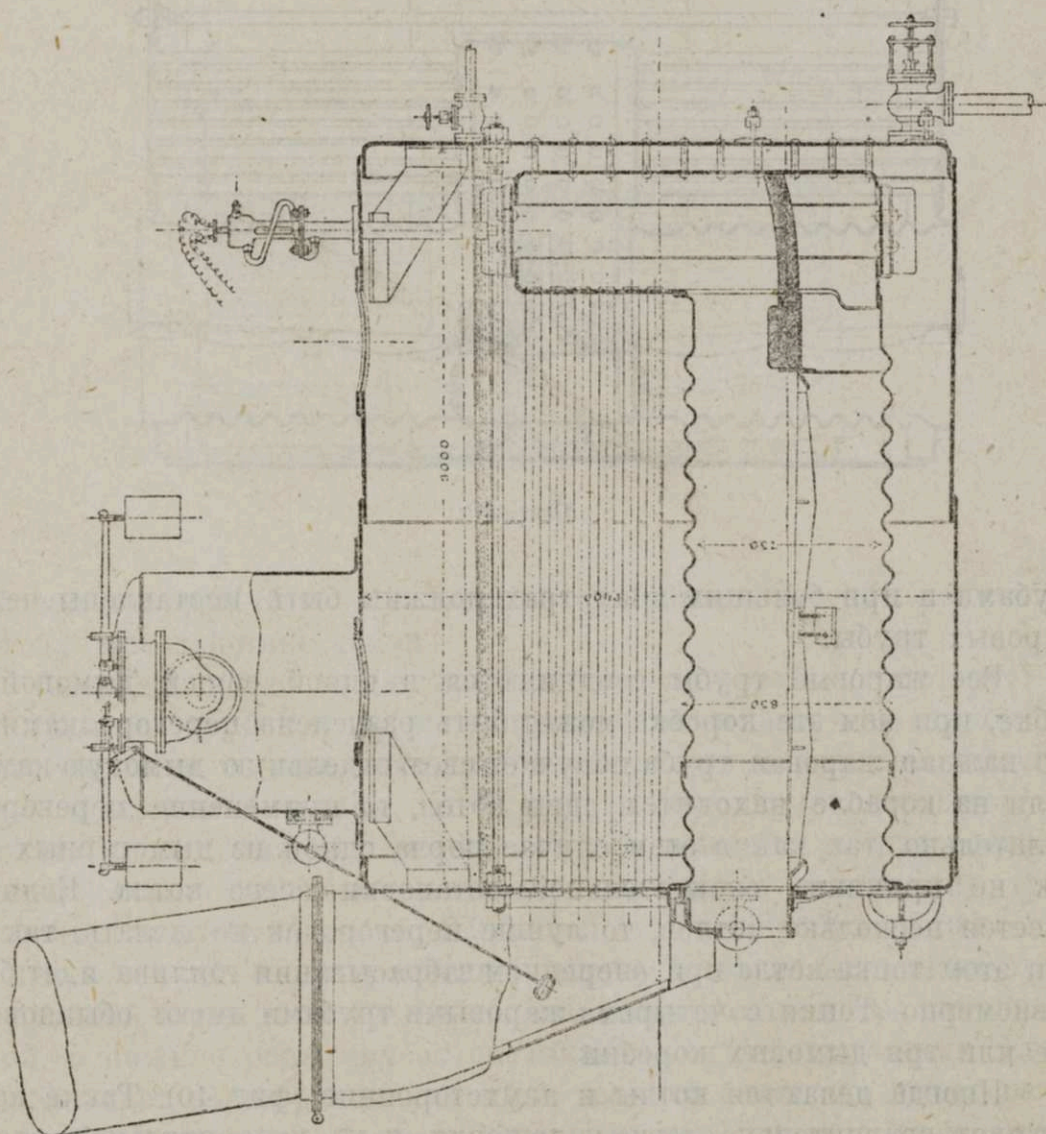
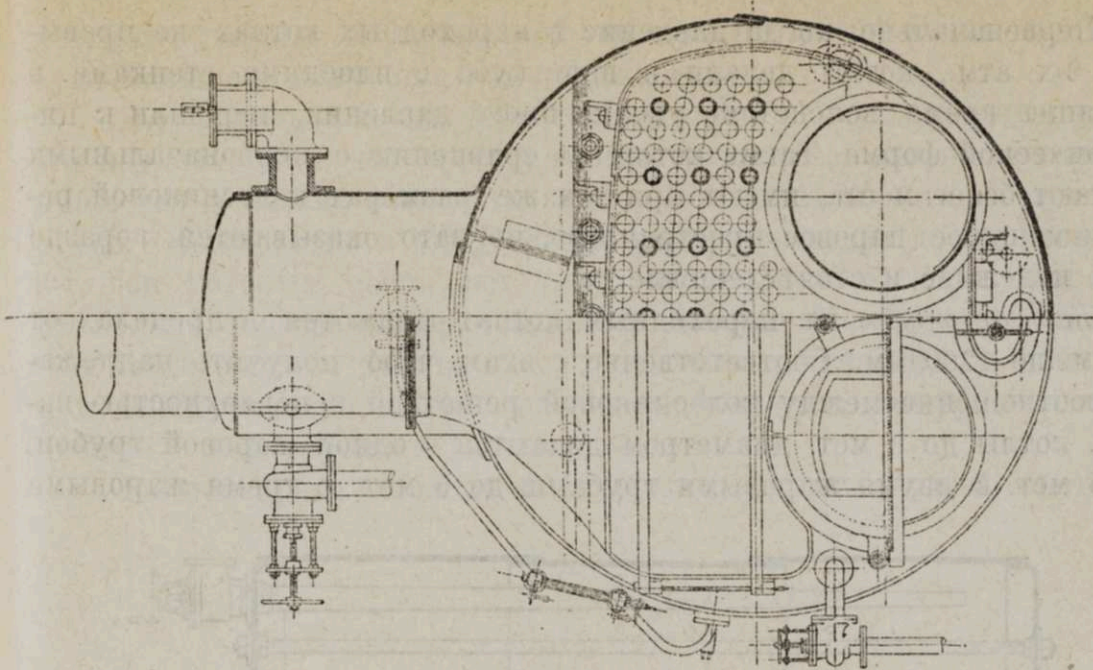
34. Котел с обратными дымогарными трубами. Чтобы избежать большой длины котла, была предложена конструкция, представленная на фиг. 39. В конце жаровой трубы помещена более широкая камера. Дымогарные трубки расположены над жаровой трубой. Горячие газы, пройдя по жаровой трубе, возвращаются обратно по дымогарным трубкам уже не столь высокой температуры, и потому плотность их соединений с решеткой сохраняется в данном случае лучше. Для уменьшения течи необходимо жаровую трубу делать волнистой, чтобы сообщить ей упругость в продольном направлении. Часто подобные котлы строятся так, что передняя стенка, в которой закреплены трубки и жаровая труба, привертывается к цилиндрической части котла на болтах и может быть легко отнята для очистки и осмотра внутренности котла.

Котел может работать без обмуровки (фиг. 39), газы из трубок выходят в дымовую коробку и отводятся оттуда в трубу. Или же котел обкладывается кладкой, и газы, выйдя из трубок, обогревают котел еще и снаружи.

В котлах такой системы, имеющих большие размеры, стараются главную часть нагревательной поверхности образовать из дымогарных трубок, увеличивая их число; при этом задняя камера образуется из больших плоских стенок, в которых и закрепляются трубки. Большие стенки являются в данном случае, с одной стороны, очень удобными, так как они легко пружинят (если связи поставлены правильно и не мешают деформациям стенки) и, следуя за движениями трубок, сохраняют плотность соединений, с другой стороны, как всегда, плоские стенки вносят излишнюю опасность и излишние расходы на ремонт анкерных скреплений.

Такой конструкции котлы в большинстве случаев применяются на речных пароходах.

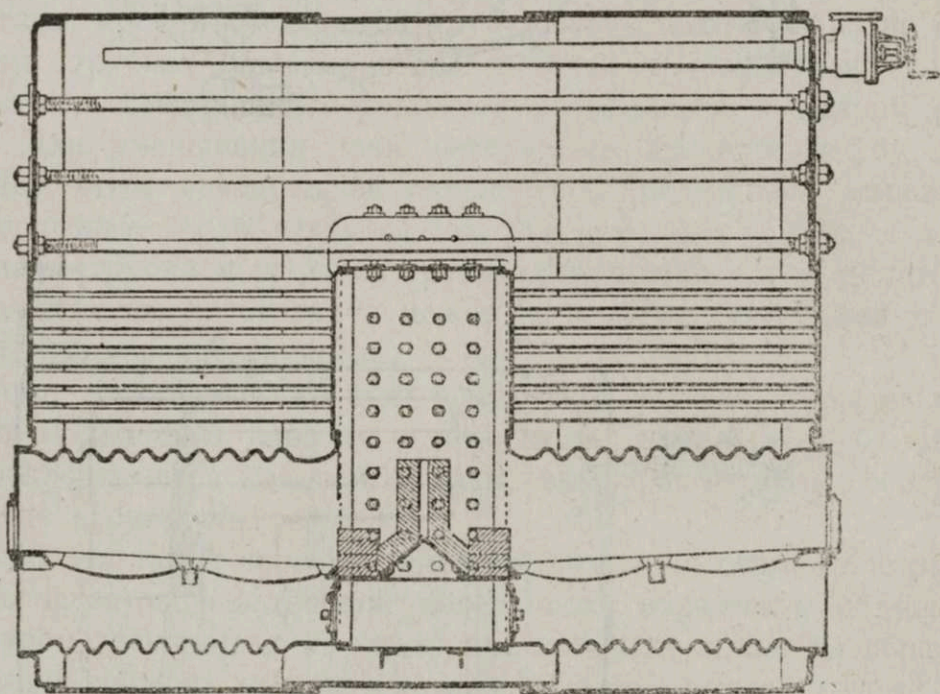
35. Котлы для морских пароходов (Шотландские). В этом случае необходимым условием является, чтоб котел занимал возможно меньше места и, кроме того, чтоб при качке перемещающийся уровень воды не обнажал поверхностей, подверженных действию горячих газов, иначе они попеременно будут то нагреваться, то охлаждаться и очень быстро разрушатся. Вследствие такого требования, котлы должны быть коротки и большого диаметра—последний делают почти равным длине.



Фиг. 39.

Первоначально, когда давление в пароводных котлах не превышало 2-х атм., котлы делали в виде куба с плоскими стенками, в настоящее время, вследствие увеличенного давления, перешли к цилиндрической форме. Такие котлы по сравнению с первоначальными занимают более места, имеют при тех же размерах колосниковой решетки меньшее паровое пространство, но зато оказываются гораздо легче, надежнее и стоят дешевле.

Жаровые трубы на пароводных котлах делаются в пределах от 900 мм. до 1200 мм. Соответственно с этим, чтоб получить надлежащее соотношение между колосниковой решеткой и поверхностью нагрева, котлы до 3 мет. диаметром делаются с одной жаровой трубой, до 4,5 мет. с двумя жаровыми трубами, до 5 мет. с тремя жаровыми



Фиг. 40.

трубами и при больших диаметрах должны быть поставлены четыре жаровых трубы.

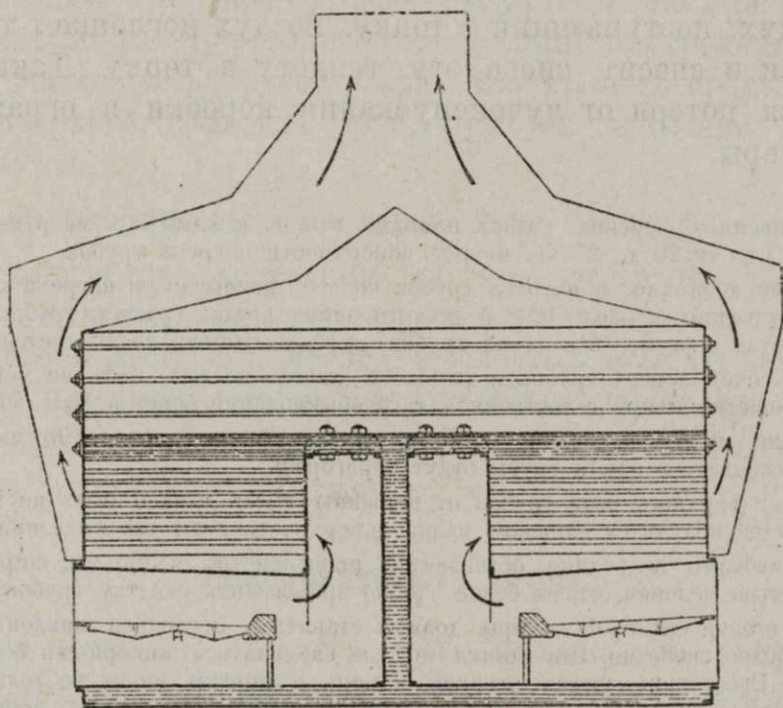
Все жаровые трубы соединяются в одной общей дымовой коробке, при чем эта коробка может быть разделена перегородками, так что каждая жаровая труба получает свою отдельную дымовую камеру. Если на корабле находится один котел, то применение перегородок желательно, так как в этом случае порча одной из дымогарных трубок не причинит окончательной остановки всего котла. Если же имеется несколько котлов, то лучше перегородок не делать, так как при этом топка котла при очередном забрасывании топлива идет более равномерно. Топки с четырьмя жаровыми трубами имеют обыкновенно две или три дымовых коробки.

Иногда делаются котлы и двухсторонние (фиг. 40). Такие котлы выходят сравнительно легче и дешевле, и их испарительная способ-

ность получается более высокой, но в изготовлении такие котлы требуют большего искусства и осторожности.

Двухсторонние котлы имеют иногда одну общую дымовую камеру: это неудобно тем, что при прочистке решетки в одной из топок нарушается действие всех остальных, поэтому такие котлы встречаются редко. Обыкновенно в одну общую камеру выходят две жаровые трубы, оси которых совпадают (фиг. 40). Чтоб газы двигались более правильно, иногда посреди дымовой камеры выкладывается кирпичная стенка; но это делать опасно, так как стенка сильно накаляется и лучеиспусканием сильно нагревает решетку, расстраивая закрепленные в ней трубки и вызывая течь.

Рациональнее снабжать каждую жаровую трубу своей собственной



Фиг. 41.

дымовой камерой (фиг. 41). Хотя это удорожает котел, но обусловливает лучшее действие топок.

Снаружи котла приделывается *дымовая коробка*, в которую входят газы из трубок и затем направляются в дымовую трубу. Она готовится из железных листов, скрепленных при помощи угольников, с плотными швами, чтоб дым не мог из нее выходить в котельные помещения. В передней стенке делаются дверцы, открывая которые, можно бы было производить прочистку и перемену трубок и выемку золы из коробки. В нижней части коробка должна иметь не менее 300 мм. по направлению длины котла и быть ниже трубок по крайней мере на 50 мм. Иначе эта часть очень быстро заполняется золой, и нижние ряды трубок оказываются бездействующими. Кверху коробка идет расширяясь, так что в верхней части она имеет размер, по крайней мере, в два раза больший, чем внизу. Затем коробка

переходит в дымовую трубу и эта часть называется *дымовым каналом*. Форма канала зависит, конечно, от относительного положения трубы и котла. Сечение этого канала должно быть не менее сечения трубок.

Коробка готовится из железа толщиной от 4 до 6 мм. В тех случаях, когда вес котла желательно, по возможности, облегчить, эта толщина может быть взята и 3 мм. Дверцы делаются из такого же железа. С внутренней стороны к дверцам, на расстоянии около 40 мм., прикрепляется плита, 6 мм. толщины, защищающая дверцу от удара горячих газов. Снаружи к дымовой коробке на некотором расстоянии прикрепляется железная обшивка так, чтобы между коробкой и обшивкой остался промежуток, через который мог бы проходить воздух, поступающий в топку. Воздух поглощает теплоту стенок коробки и вносит снова эту теплоту в топку. Таким образом, уменьшается потеря от лучеиспускания коробки и ограждаются от жары кочегары.

В обыкновенных морских котлах принято, что на каждый кв. метр колосниковой решетки должно быть от 20 до 27 кв. метров поверхности нагрева трубок.

Отношение поверхности нагрева трубок ко всей поверхности нагрева котла около 0,80 в односторонних котлах и около 0,88 в двухсторонних котлах (размер трубок берется внешний и принимается в расчет вся длина трубки, переднее днище не считается).

Площадь сечения всех трубок и дымового канала должна быть не менее $\frac{1}{7}$ площади колосниковой решетки и при естественной тяге обыкновенно берется $\frac{1}{3}$.

Расстояние между жаровыми трубами не должно быть менее 100 мм., иначе между трубами будет скопляться пар и трубы будут перегорать.

Расстояние верхнего ряда трубок от вершины котла должно быть не менее 0,28 диаметра котла, иначе получится слишком малая поверхность воды для выделения пара.

Между трубами посередине оставляется пространство в 300 мм. ширины, в которое мог бы поместиться человек, чтобы более удобно производить очистку трубок.

Плоская стенка дымовой камеры должна ставиться несколько наклонно, чтоб пар от нее отделялся более свободно. Эта стенка должна скрепляться анкерными болтами с задним днищем котла. Расстояние между стенкой камеры и днищем внизу не должно быть менее 150 мм., а в верхней части не менее 250 — 300 мм., иначе очень трудно производить чистку котла и очистку.

Объем парового пространства паровых котлов зависит от типа машин, для которых они готовят пар. Чем меньше оборотов будет делать машина при большем ходе поршня, тем неравномернее она будет брать пар из котла и тем больше паровое пространство должен иметь котел, чтоб в нем не происходило сильного бурления, так как всякий раз при понижающемся давлении вода будет сильно вскипать. В виду этого для колесных пароходов, где машины делают малое число оборотов, размер парового пространства должен быть больше, чем для пароходов винтовых.

Ситон считает нужным иметь размер парового пространства на каждую индикаторную силу машины 0,8 куб. фута для колесных пароходов; 0,65 куб. фута для товарных винтовых пароходов, и 0,55 для быстроходных пассажирских винтовых пароходов. Нужно также заметить, что чем выше давление, тем меньше может быть паровое пространство.

Размер трубы в паровых котлах выбирается так, чтобы быть в соответствии с общим видом судна. В военном флоте при естественной тяге поперечное сечение трубы делается равным $\frac{1}{8}$ площади колосниковой решетки, в торгоном флоте $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$. Высота трубы

около 13 метров. Так как в военных судах котлы форсированно работают редко, то и труба может быть соответственно меньше, что, конечно, и желательно.

В настоящее время на судах котлы предпочитают заставлять работать с очень большим давлением, обыкновенно не менее 12 атм., чаще же 13 атм. и более, и затем при выпуске пара в машину понижают давление; при этом пар несколько высушивается и, кроме того, в котлах не представляется надобности иметь большого парового пространства, что особенно важно для водотрубных котлов.

Для увеличения парообразовательной способности паровых котлов *Сервом* были предложены особые дымогарные трубки, с продольными внутренними ребрами. Трубки *Серва* при тех же условиях дают поверхность нагрева на 75% более и, как показали опыты, производят пара на 30% более, чем обыкновенные трубки. Их готовят, прокатывая полосы с ребрами, эти полосы затем свертываются в трубку и свариваются. Высота ребра составляет обыкновенно 0,2 диаметра, число ребер доходит до 10. При таких соотношениях внутренняя обогреваемая газами поверхность трубок *Серва* значительно превосходит внутреннюю поверхность гладких труб, при чем движение газов почти не затрудняется.

Такие трубки применяются также и на паровозах.

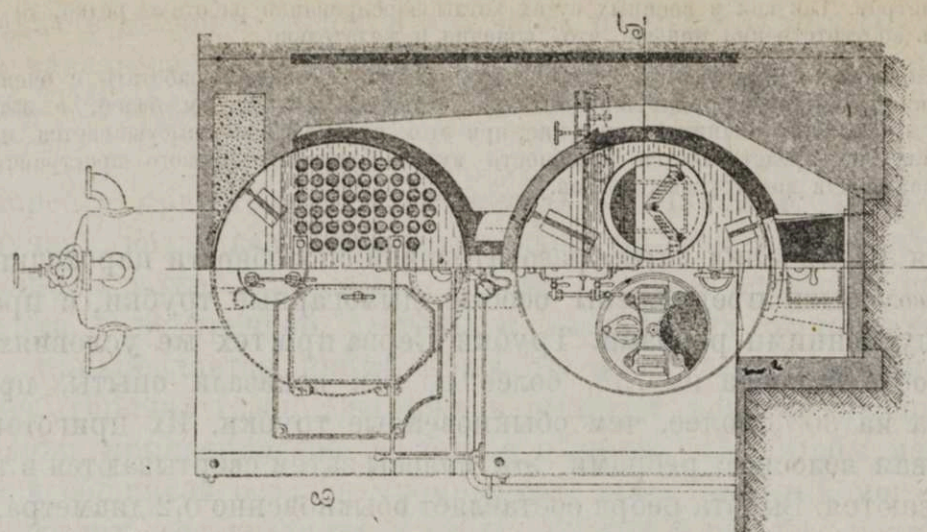
Около концов, на расстоянии 300 мм., ребер не делают, чтобы можно было производить раскатку. Сначала опасались, что трубки *Серва*, вследствие своей жесткости, не будут сгибаться и будут давать течь в решетках, но на самом деле на американских паровозах, где трубки *Серва* были применены в большом количестве, течь даже уменьшилась.

Комбинационные котлы.

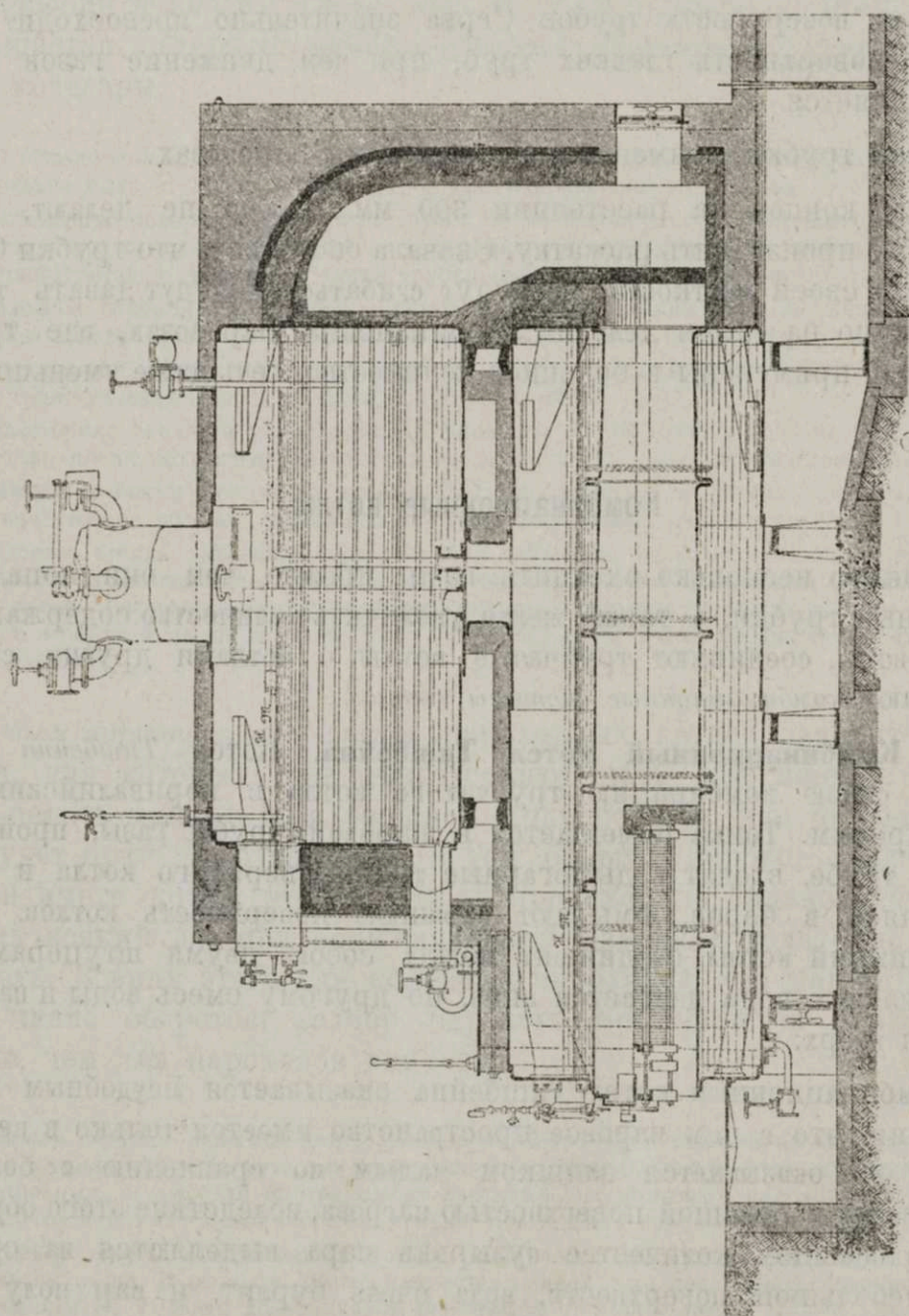
С целью несколько охладить газы, прежде чем они попадут в дымогарные трубки, а также желая увеличить количество содержащейся в котле воды, соединяют трубчатые котлы с котлами других систем, и получают *комбинационные системы котлов*.

36. Комбинационный котел Тишбейна. Котел *Тишбейна* представляет собою комбинацию трубчатого котла с *корнвалийским* или *ланкаширским*. Топка помещается в жаровой трубе; газы, пройдя по жаровой трубе, входят в дымогарные трубки верхнего котла и затем, направляясь в боров, омывают внешнюю поверхность котлов. Верхний и нижний котлы соединены между собою двумя штуцерами; по одному из них вода двигается вниз, по другому смесь воды и пара подымается вверх.

Комбинационный котел *Тишбейна* оказывается неудобным в том отношении, что в нем паровое пространство имеется только в верхнем котле, и оно оказывается слишком малым по сравнению с большой массой воды и большой поверхностью нагрева; вследствие этого образующиеся в большом количестве пузырьки пара выделяются на сравнительно небольшой поверхности, вода очень бурлит, и пар получается



Фиг. 43.

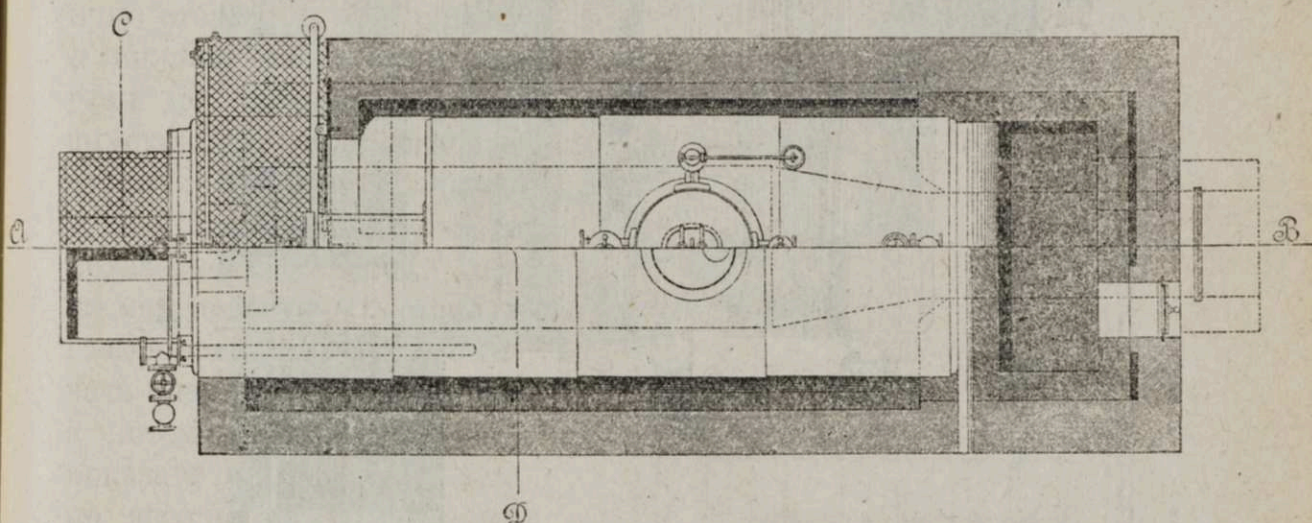


Фиг. 42.

очень сырой. Наконец, при такой системе котла, как замечено, происходит большое отложение накипи на трубках и на задней решетке верхнего котла, вследствие чего эта решетка, перегреваясь, очень скоро дает трещины, и ее приходится менять. При форсированной работе нагревание нижнего и верхнего котлов разнятся довольно значительно, и это весьма вредно отзывается на прочности соединительных штуцеров, которые дают течь в швах и трещины в целых местах. Вследствие стольких недостатков, котел Тишбейна в настоящее время почти не употребляется, но он послужил типом для нижеследующих котлов, в которых указанные недостатки устранены.

37. Комбинационный котел Вейнлига. Этот котел предложен в 1876 г. и представляет тоже соединение корнвалийского или ланкаширского котла с трубчатым (фиг. 42—44).

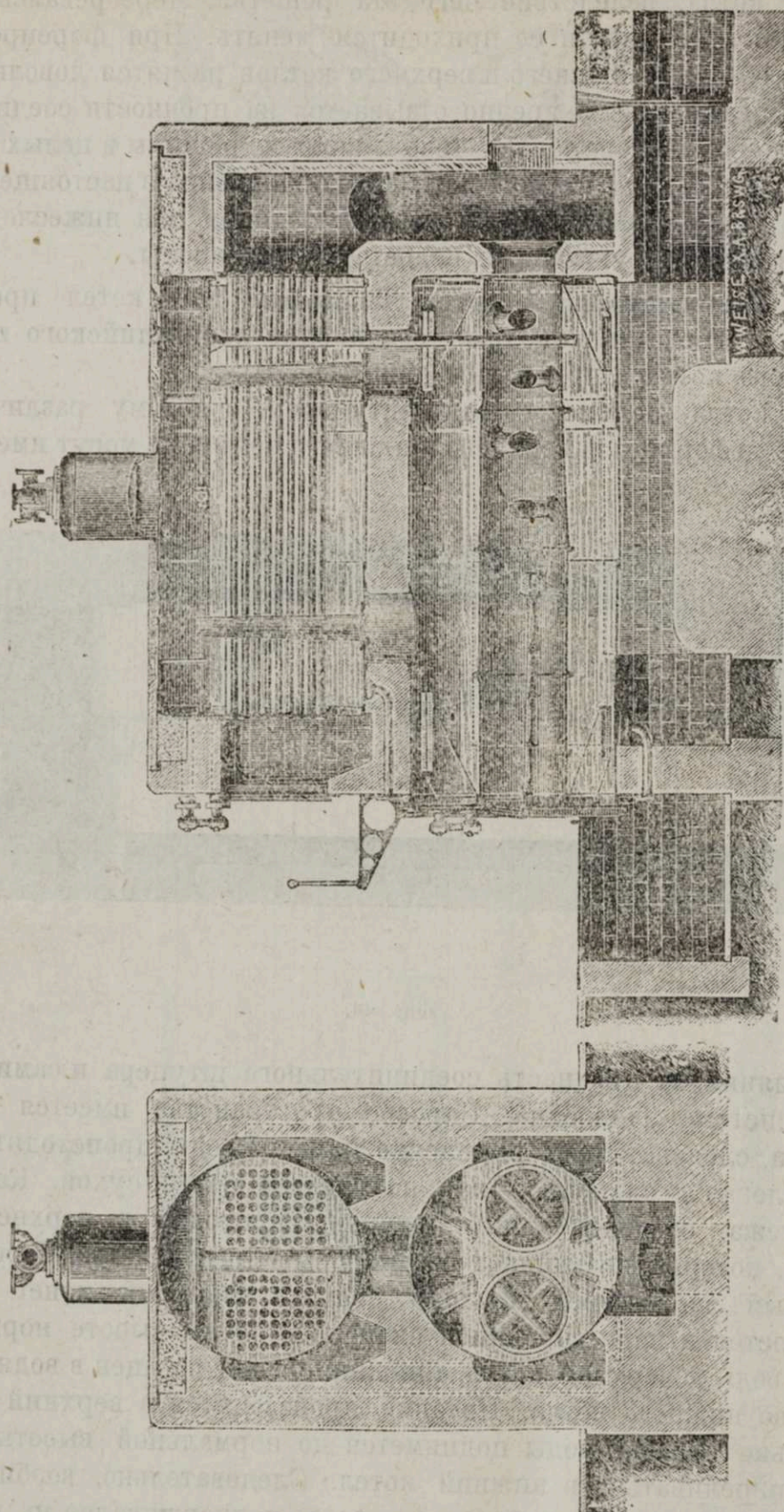
Оба котла соединены одним штуцером, и потому различные по величине деформации верхнего и нижнего котлов не могут иметь вред-



Фиг. 44.

ного влияния на прочность соединительного штуцера и самих котлов как в системе Тишбейна. Паровое пространство имеется в обоих котлах и, следовательно, выделение пара из воды происходит сравнительно легко и спокойно,—пар получается более сухой. Как видно из чертежа, соединительный штуцер переходит в верхнем котле в трубу, которая и соединяет оба паровые пространства. Через соединительный же штуцер проходит трубка, верхний конец которой расширяется в виде воронки и оканчивается на высоте нормального уровня воды в верхнем котле, а нижний конец опущен в водяное пространство нижнего котла. Питание производится в верхний котел, и как только уровень воды поднимется до нормальной высоты, она начинает переливаться в нижний котел. Следовательно, вообще достаточно следить за тем, чтоб уровень воды поддерживался на надлежащей высоте в нижнем котле, но для большей безопасности лучше ставить водомерные аппараты и в верхнем котле.—Газы в котле Вейнлига

движутся по жаровых трубах, затем поднимаются к верхнему котлу, проходят по трубкам к фронту котла, выйдя из трубок, омывают



Фиг. 45.

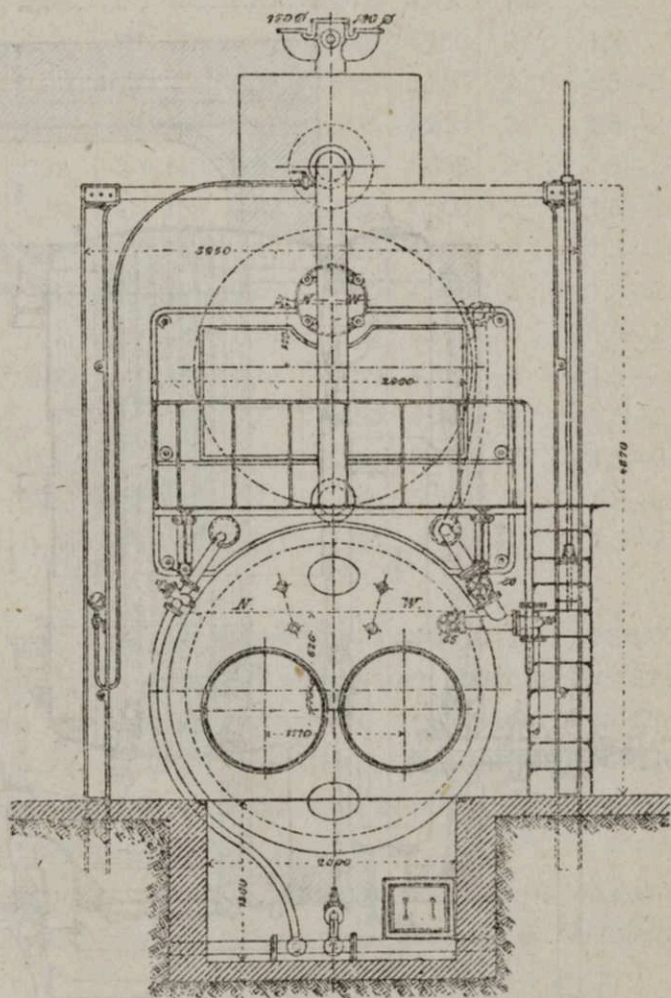
верхний и нижний котлы с внешней стороны, после чего уходят в боров. При обмазке этого котла нужно иметь в виду, что паровое про-

странство нижнего котла, соприкасающееся с задним днищем, не должно подвергаться действию еще очень горячих (около 900°) в этом месте газов, поэтому вся часть днища выше жаровой трубы должна быть выложена огнеупорным кирпичом. Для поддержания этой стенки устраивается свод. Подобный свод, вследствие высокой температуры, очень часто трескается и перегорает. Это является одним из больших неудобств котла Вейнлига.

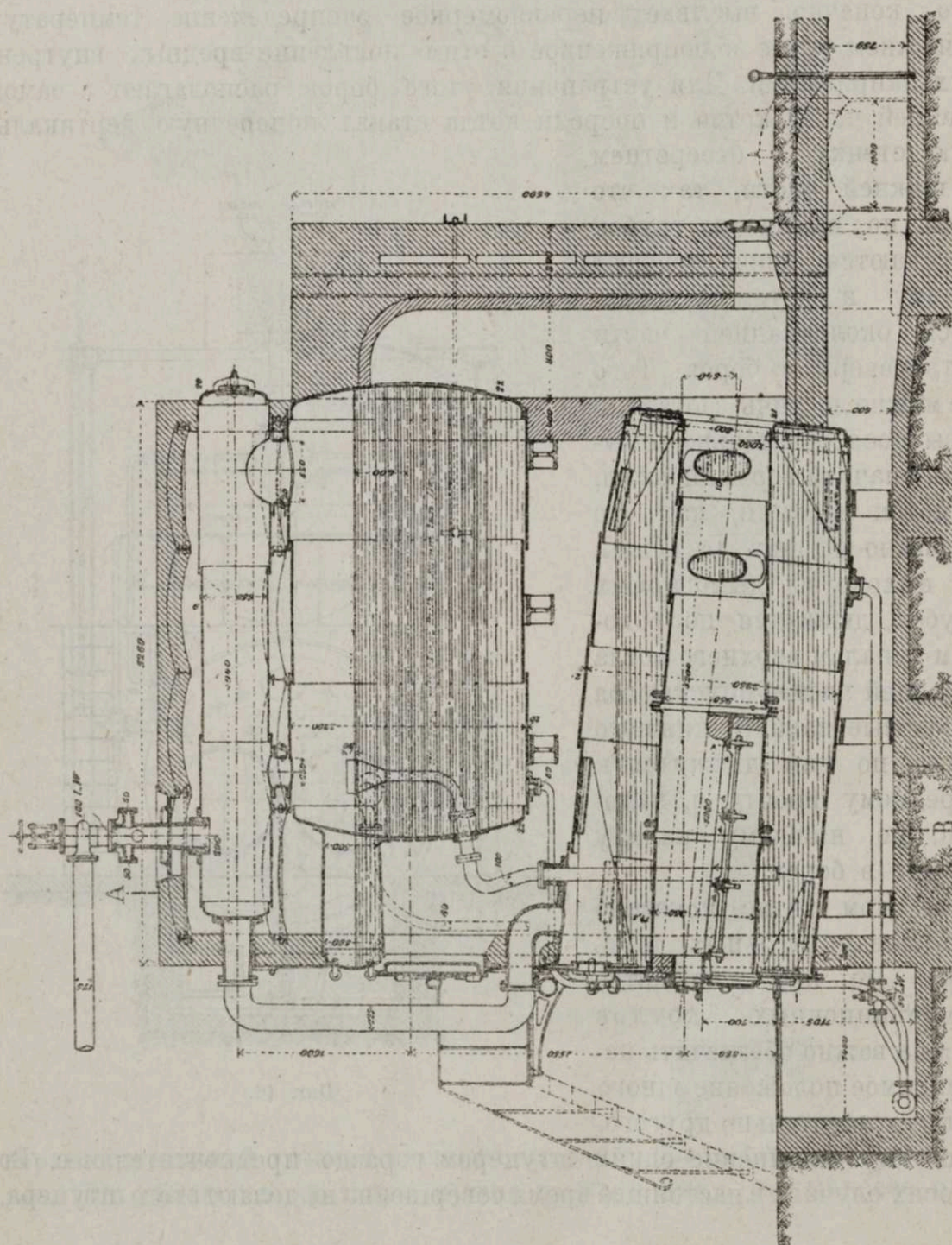
Если в комбинационном котле Вейнлига газы по выходе из трубок заставляют сразу омывать поверхность обоих котлов (верхнего и нижнего) и потом выходить в боров, расположенный внизу, в задней части, то передняя часть нижнего котла получает слишком мало теплоты, так как газы из трубок направляются прямо к борову. Это, конечно, вызывает неравномерное распределение температур в нижнем котле и сопряженное с этим появление вредных внутренних напряжений. Для устранения этого боров располагают в самой высшей части котла и посреди котла ставят поперечную вертикальную стенку с отверстием в нижней части, так что газы по выходе из трубок опускаются вниз, огибают стенку и потом поднимаются около задней части котла вверх в боров. Того же можно достичь, заставляя газы последовательно омывать сначала верхний котел, а потом нижний, как это показано на фиг. 45. Газы, по выходе из дымогарных трубок, движутся по боковым каналам верхнего котла к задней части, опускаются в боковые каналы нижнего котла, по ним движутся к переднему фронту и, наконец, по нижнему каналу уходят в боров.

В этом котле показано два соединительных штуцера. Но при устройстве комбинационных котлов весьма важно обеспечить независимое положение одного котла относительно другого,

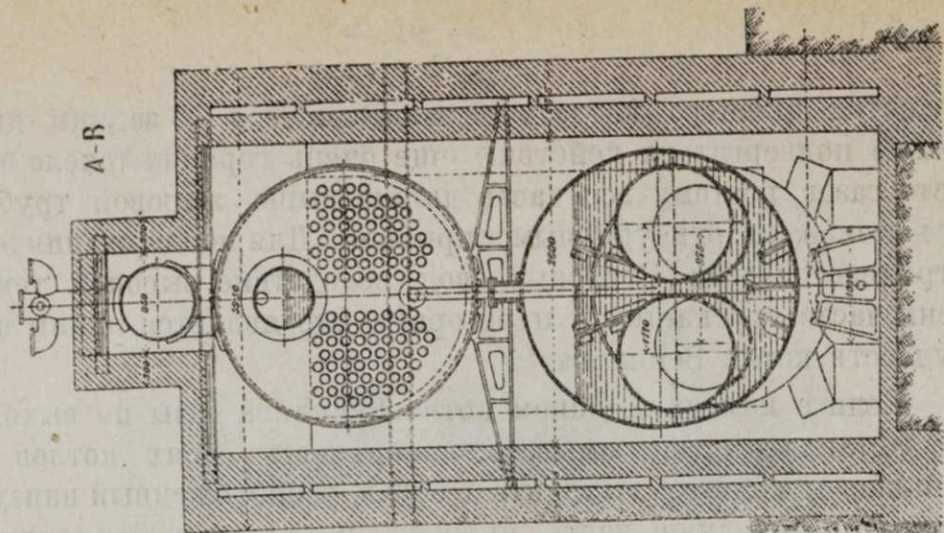
и потому соединение одним штуцером гораздо предпочтительнее. Во многих случаях в настоящее время совершенно не делают этого штуцера,



Фиг. 46.



Фиг. 47.



Фиг. 48.

соединяя паровое и водяное пространство обоих котлов длинными, упругими трубами из железа, расположенными с внешней стороны обмуровки (фиг. 46—47). При таком устройстве верхний котел может быть поставлен или подвешан на особых балках. Кирпичная кладка в таких котлах, вследствие ее большой высоты, должна исполняться с особой тщательностью и хорошо скрепляться связями.

В приведенной ниже таблице 15 даны главные размеры котлов типа Вейнлига, исполняемых заводом Паукша (Aktien-Gesellschaft in Landsberg a/Warthe).

Табл. 15 к фиг. 42—44.

Верхний котел.				Нижний котел.				Поверх. нагрева, кв. метры.	Кирпичная кладка.				
Диаметр, метры.	Длина, метры.	Трубки.		Диаметр, метры.	Длина, метры.	Жар. труб.			Ширина, метры.	Длина, метры.	Высота, метры.	Толщина бок. стен, кир- пичей.	Толщина пе- редней и зад. стенки 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	3,200	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

Так как трубчатые котлы, в виду прогиба трубок, не делают длинными (не более 4—5 метр.), то и нижний котел нет смысла делать длинным. В противном случае на долю верхнего, трубчатого котла выпадает слишком малая работа. Вследствие этого, комбинационные котлы такой системы обыкновенно приготавливаются короткими и имеют лишь большие размеры в вертикальном направлении.

С передней или задней стороны перед трубчатым котлом должно быть оставлено место, чтобы можно было производить чистку и перемену испорченных трубок.

Нижний котел делается обыкновенно с двумя жаровыми трубами, чтобы получить большую поверхность колосниковой решетки; но вследствие большой поверхности нагрева всего котла и при таком устройстве топку приходится сильно форсировать.

Для прочистки трубок верхнего котла от сажи и золы в передней стенке делается дверца, через которую открывается доступ ко всем трубкам. Чтобы не терять теплоты, дверцы изнутри следует обкладывать дурным проводником, напр., толстым слоем асбеста.

Так как при открытии такой дверцы в дымовые каналы будет засасываться большое количество воздуха, то открывать ее и чистить трубки можно только в то время, когда топка котла прекращена и заслонка опущена.

Чтобы дать возможность очищать трубки от золы, не останавливая работы котла, в передней стенке, позади дверцы ставится еще решетка, с отверстиями против каждой из

трубок; такие отверстия закрываются колпачками, которые можно открывать по очереди и чистить помещающуюся против отверстия трубку; при этом воздуха в дымовые каналы будет попадать самое незначительное количество. Для большего удобства в некоторых котельных перед котлами устанавливается передвижная рама, на которой подвешен стержень для прочистки. Рисунок такого приспособления представлен в Z. D. und V. G. 47—5—04.

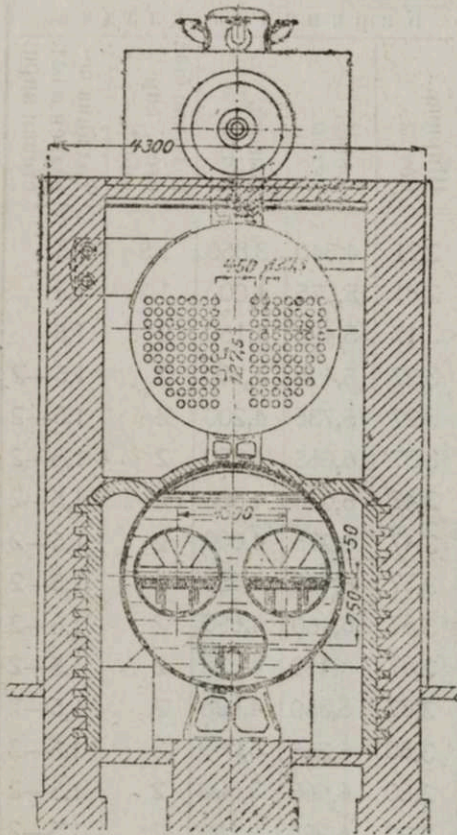
Фирма *В. Н. Hellmann*, в Праге, снабжает дверцы проходящими через них короткими подтрубками, закрываемыми снаружи колпачками. При закрытии дверец эти подтрубки близко подходят к дымогарным трубкам и служат направляющими для щетки, которую можно ввести, открывши колпачек.

Таким образом прочистка трубок может

производиться во время работы котла, не открывая дверец, не вводя излишнего воздуха. Чтобы не препятствовать движению газов, стенки подтрубков продырявлены. Рис. см. Z. D. und M. 2873—05.

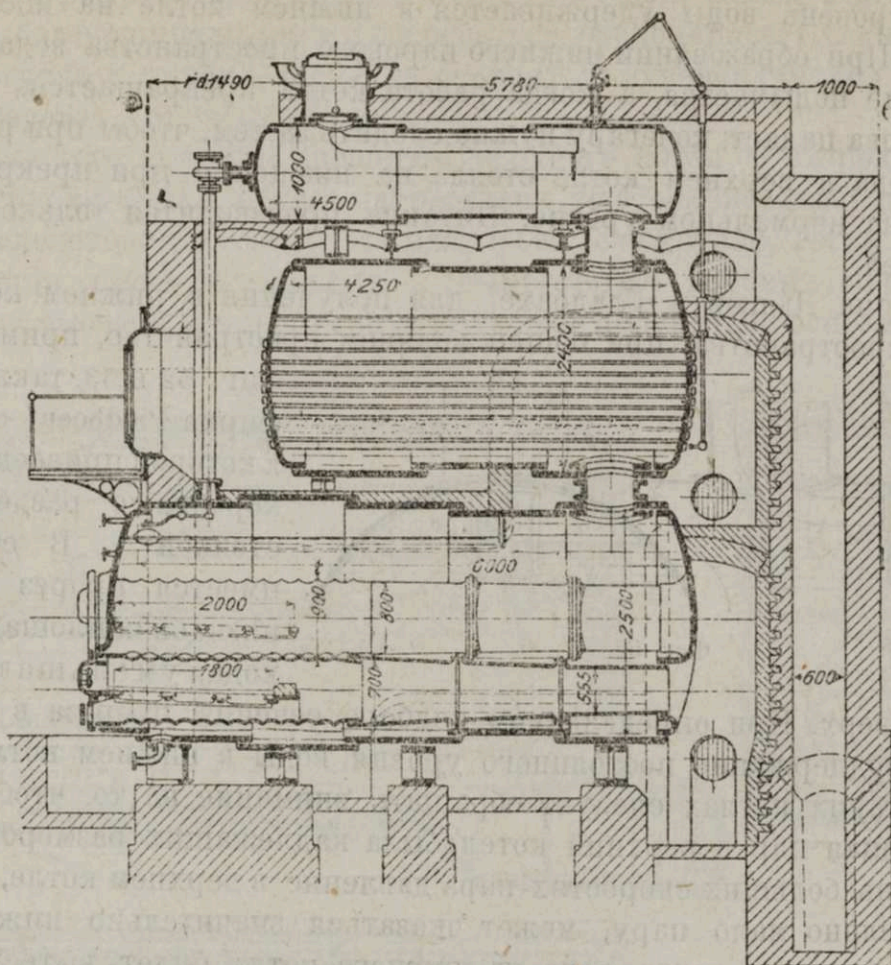
38. Котел Бернингауза (фиг. 46—48). Для избежания частаго ремонта кладки, на немецком заводе *E. Berninghaus*, в *Duisburg*'е, нижний котел ставят слегка наклонно, вследствие чего паровое пространство не соприкасается с задним днищем, и потому его незачем обделывать огнеупорным кирпичем, а стенку, направляющую движение газов, ставят прямо на самый котел и этим избегают устройства свода.

39. Котел Пьебёфа. I. Piedboeuf, Düsseldorf-Oberbilk (фиг. 49—51). Верхний и нижний котлы соединены штуцером, тем не менее в каждом котле имеется свое собственное паровое пространство. В нижнем котле,

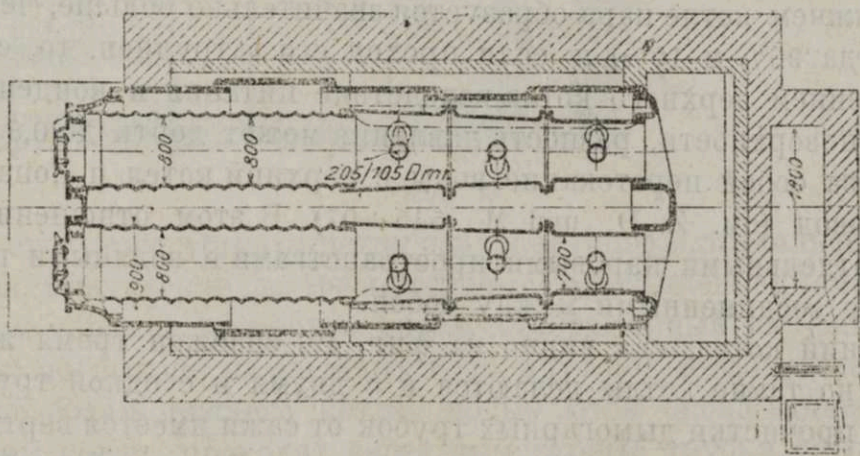


Фиг. 49.

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



Фиг. 50.



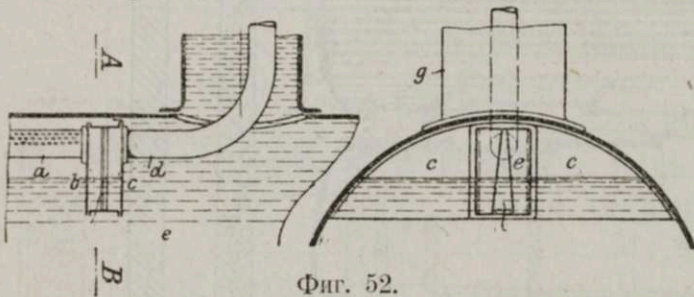
Фиг. 51.

паровое пространство¹⁾. Это пространство соединено с верхним паровым пространством трубой, в верхней части которой поставлен кла-

¹⁾ На Брюссельской Выставке 1910 г. котел Piedboeuf в 500 кв. м. поверхн. нагрева имел диам. 3000 мм. (нижнего и верхнего), толщину стенки 26 мм., работал при 12 атм., давая в среднем 20 кгр. пару в час с кв. м. поверхн. нагр. Z. D. M. 434—10.

пан, соединенный с поплавком. Когда в нижнем котле накопится пар и уровень воды понизится, то вместе с этим опустится и поплавок, откроет клапан и перепустит пар в верхнее пространство, таким образом, уровень воды удерживается в нижнем котле на постоянной высоте. При образовании нижнего парового пространства вода в верхнем котле подымается, а когда работа котла прекращается, уровень воды снова падает; кочегару нужно следить за тем, чтобы при растопке котла вода в верхнем котле стояла на низшем и при прекращении работы на нормальном уровне. Питание производится только в нижний котел.

Фирма Дюпюи в Гладбахе, для получения в нижнем котле парового пространства, при общем водяном пространстве, применяет —



фиг. 52 и 53, также как и фирма Piedboeuf, стенку *e*, к которой присоединяется коробка с разделяющей стенкой *e*. В стенке *e* имеется прорез с изменяющейся площадью прохода, уменьшающейся

снизу вверх. При определенном подборе сечения прореза в *e* достигается поддержание постоянного уровня воды в нижнем котле.

В таких котлах следует обращать внимание на то, чтобы труба, проводящая пар в верхний котел, была надлежащих размеров; иначе при очень больших скоростях пара давление в верхнем котле, дающем сравнительно мало пару, может оказаться значительно ниже, чем в нижнем котле, и тогда вода из нижнего котла будет вытесняться в верхний.

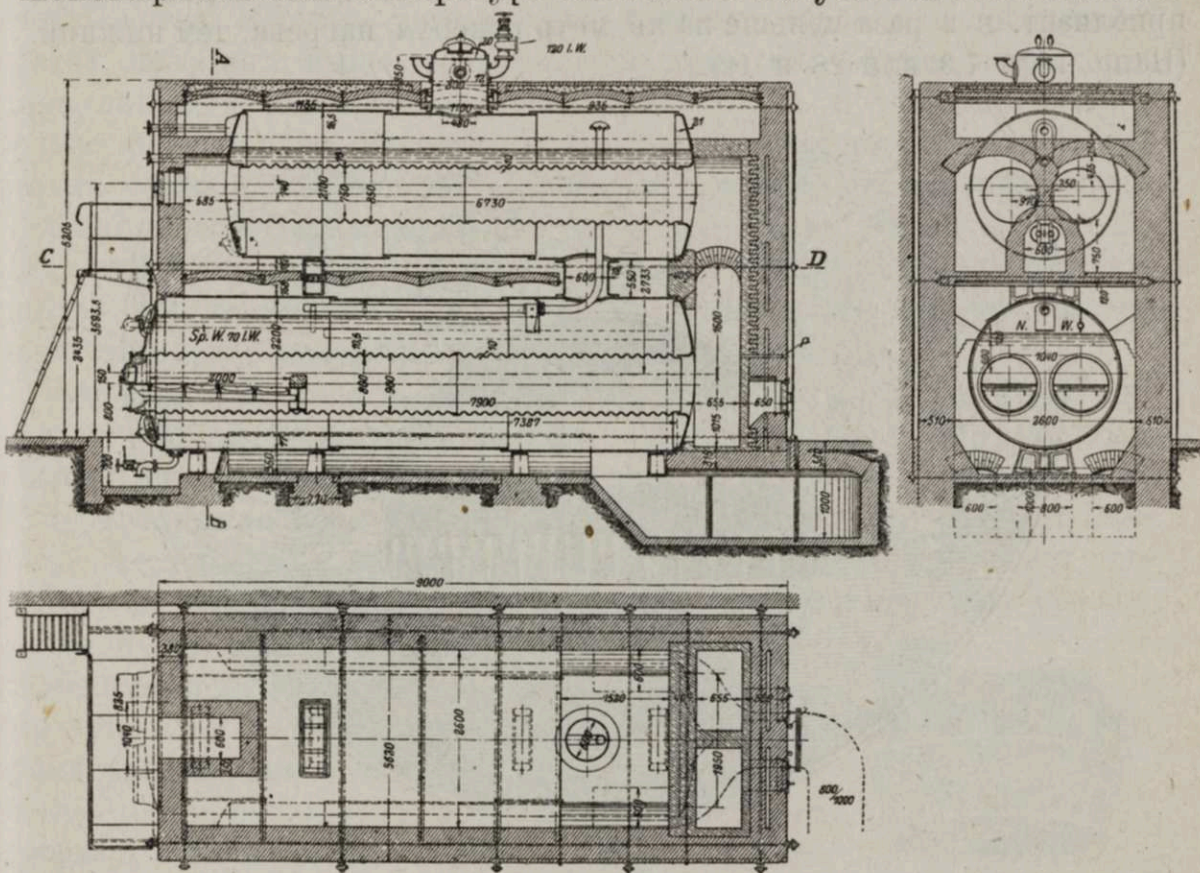
В нижнем котле пара образуется значительно больше, чем в верхнем (иногда 90% и 10%) и если проход его затруднен, то, совместно с охлаждением верхнего котла вследствие питания и конденсации по внешней поверхности, разность давления может дойти до 0,8 атм., что повлечет за собой перетекание воды в верхний котел и попадание ее в паропровод (см. Z. D. und M. 545—07). В этом отношении лучше котлы с отдельными паровыми пространствами и водяными пространствами, не соединенными между собой.

Нижний котел, как видно на фиг. 49, снабжен тремя жаровыми трубами, но такие котлы делаются и с двумя и с одной трубой.

Для прочистки дымогарных трубок от сажи имеется вертикальная трубка, расположенная около заднего днища. В верхней части трубка соединена при помощи шалнеров с котлом, средняя часть трубки проходит через втулку, помещенную в сводике, а к нижнему концу прикреплена поперечная трубка, имеющая отверстие против каждой дымогарной трубки. Пуская в вертикальную трубку пар из котла и двигая эту трубку вверх и вниз, можно продуть всю находящуюся в дымогарных трубках сажу.

Желательно обмуровку комбинационного котла изменить так, чтобы газы из жаровых труб омывали внешнюю поверхность котла; при этом более высокая температура повысит лучеиспускание стенок кладки, и общий коэффициент теплопередачи k увеличится; самый котел будет работать более напряженно и обогреваться равномернее. Охлажденные газы поступят в трубки, где k не зависит от лучеиспускания и не зависит, следоват., от температуры.

Кроме того и днище (решетка) верхнего котла со стороны входа газов в трубки будет менее нагреваться уже сильно охлажденными газами, вследствие чего не будет появляться течи трубок. Тогда как при направлении газов из жаровых в дымогарные трубки нагрев решетки при высокой температуре газов может получиться более сильный



Фиг. 53.

еще вследствие того, что на решетку излучает тепло вертикальная кирпичная стенка, а излучение быстро повышается с повышением температуры. Указанным образом обмурован котел, изображенный на фиг. 49—51.

Газы, по выходе из жаровых труб, идут под котлом, затем возвращаются по бокам нижнего котла, поднимаются около заднего днища к верхнему котлу, проходят через дымогарные трубки, омывают снаружи верхний котел и, поднявшись вверх, уходят в боров.

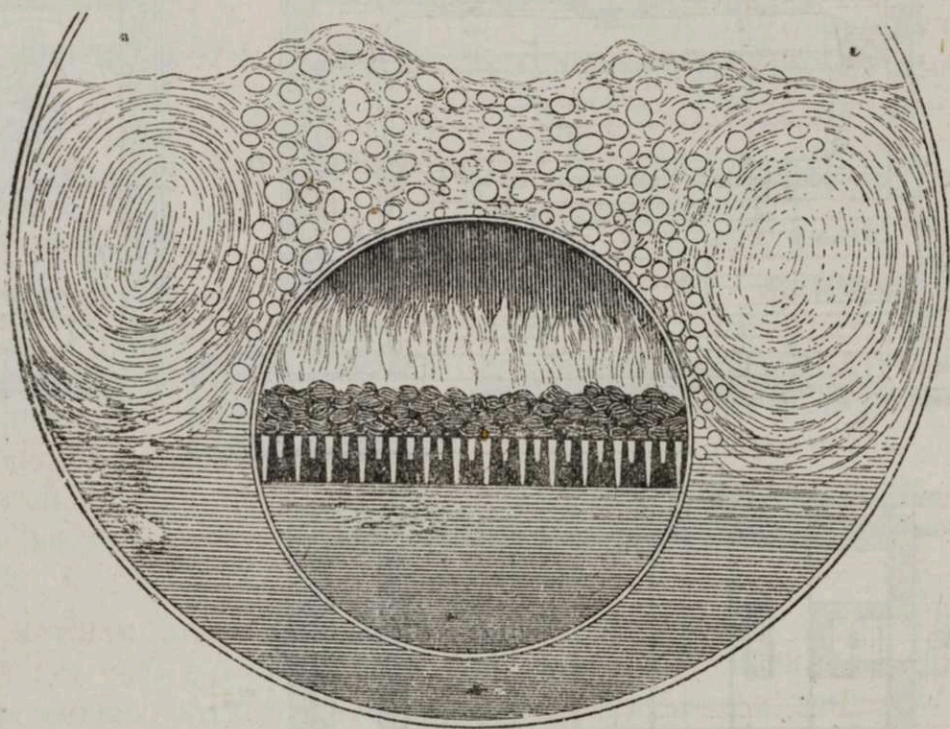
Комбинационные трубчатые котлы, как и просто трубчатые, уместны только в том случае, если вода совершенно чистая. При таком условии они являются очень экономичными парообразователями. Но, обладая обыкновенно большой поверхностью нагрева, которая обходится довольно дорого, такие котлы могут применяться только при больших установках.

Трубчатые котлы комбинируются также и с кипяtilьниками. В этом случае все неудобства, присущие кипяtilьникам, сказываются здесь еще в более сильной степени, так как выход пара из кипяtilьников в таких котлах еще более стеснен трубками.

При проектировании этих котлов нужно иметь в виду те указания, которые были даны при описании котлов с кипяtilьниками.

Нужно также заметить, что верхний трубчатый котел в комбинационных котлах обыкновенно прибавляет сравнительно мало к паропроизводительности котла, главная масса пара получается в нижнем котле.

По опытам А. С. Ломшакова на Путиловском заводе (Доклад проф. Г. Ф. Денна Парижск. Конгрессу 1900 г.) верхний котел давал пара приблизит. в 2 раза меньше на кв. метр поверхн. нагрева, чем нижний. (Напр. 18^и и 7,3 или 28 и 12).



Фиг. 54.

Понятно, что кроме указанных комбинаций могут быть и другие, напр., ланкаширского котла с галловеевским или ланкаширским, как казано на фиг. 53, изображающей котел завода Dupuis в Гладбахе.

40. Сравнительные достоинства и недостатки котлов с внешней и внутренней топкой. Некоторые из рассмотренных нами паровых котлов были с *внешней*, а другие с *внутренней* топкой.

Внешняя топка имеет то достоинство, что размер ее не стеснен размерами котла, и потому она может быть легко приспособлена для топлива всевозможных сортов. Такие котлы могут топиться даже самыми плохими и дешевыми сортами горючего материала.

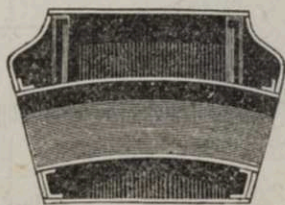
Недостатки котлов с внешней топкой, главным образом, заключаются в том, что большое количество теплоты теряется стенками топки.

Поэтому, при всех равных прочих условиях, котлы с внешней топкой будут на несколько процентов работать хуже, чем котлы с внутренней топкой ¹⁾.

Расположение топки внутри котла, в смысле утилизации теплоты гораздо выгоднее, но, вместе с тем, такое расположение топки значительно стесняет ее размеры, и потому внутренняя топка, может иметь место только при употреблении хорошего топлива, с высокой теплотворной способностью.

Как на весьма важный недостаток, присущий паровым котлам с внутренней топкой, нужно указать на слабую циркуляцию, и вследствие этого, неравномерное распределение температуры в различных частях котла. В таких котлах вода, главным образом, нагревается в частях, лежащих выше колосниковой решетки, — здесь происходит циркуляция, и температура в этой части котла поддерживается довольно равномерная. Вода же, лежащая ниже решетки, нагревается весьма слабо и по температуре сильно разнится от верхних слоев. Явление, которое происходит внутри котла, представлено на фиг. 54. Над трубой происходит сильное парообразование; с боков вода циркулирует; под топкой же вода находится в покое, и ее температура тем ниже, чем гуще положена штриховка на чертеже.

Большая разница в распределении температур в заводских котлах, имеющих кирпичную кладку, следовательно обогреваемых также и снизу, замечается, главным образом, во время растопки котла. В это время, как показали опыты, произведенные в лаборатории Высшего Технического Училища ²⁾, разность температур может достигать до 140° Ц. Затем, через несколько часов температура уравнивается и разница остается в 45—50° Ц. В котлах же, не имеющих обмазки, резкая разница температур нижних и верхних слоев воды остается все время работы. Такое состояние котла очень вредно отзывается на его прочности: котел коробится, как показано в карик. виде на фиг. 55 и потому многие строители старались искусственно произвести циркуляцию и уравнивать температуру ³⁾.



Фиг. 55.

Для этой цели предлагались механические приспособления, ко-

¹⁾ См. Б. П. О. 483 и 497—09.

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

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

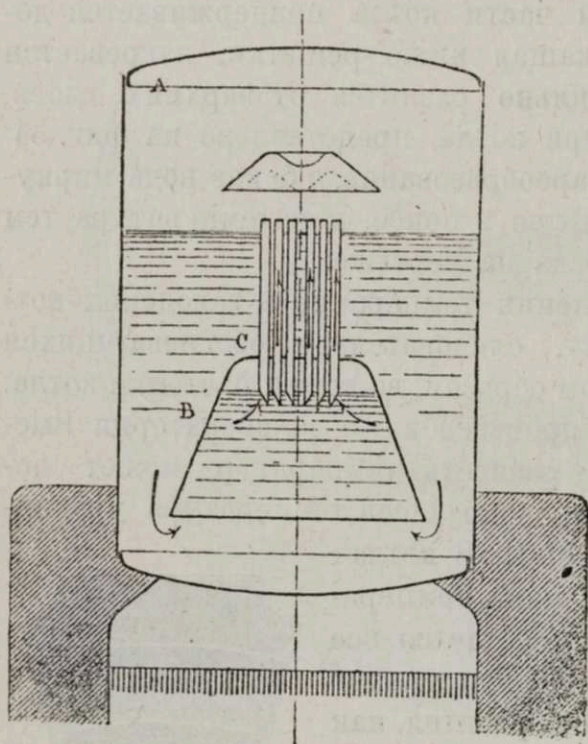
³⁾ Как показывают статистические данные, котлы с внутренней топкой дают менее несчастных случаев (смертных, так как о таковых только и имеются вполне достоверные сведения), чем котлы с наружной топкой. Впрочем, по мнению *Компера*, директора французского О-ва по надзору за паровыми котлами (Association Parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur), делая такой вывод, нужно иметь в виду, что котлы с внутренней топкой получили особенно большое распространение за последнее время, и потому статистические данные относятся, главным образом, к котлам сравнительно новым. Кроме того, котлы с внутренней топкой послужившие материалом для статистики особенно распространены в Германии, где котлы не особенно сильно напрягаются, и где построение котлов стоит очень высоко. Annales des Mine. (1904). Z. D. und. M. 183—04.

торые должны были приводить массу воды в движение, но такие приспособления, помещаясь внутри котла, не могли действовать исправно, и потому распространения не получили.

Галловеем были предложены его циркуляционные трубки, но, как показали опыты Флетчера, эти трубки заметного изменения в действие котла не вносят, и потому не могут быть признаны решающими вопросом.

Предлагали для уравнивания температуры применить принцип инжектора Жифара; опыты во французском флоте получились неудовлетворительные, хотя Флетчер дает об этом способе более благоприятный отзыв.

Для той же цели предложили одинаковые по идее приборы, различающиеся только в конструктивных деталях. 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 их состоит в том, что в нижней части котла помещается трубка, изогнутая спиралью или иной конструкции; один конец трубки соединен с паровым пространством котла, а другой с питательным насосом. Пар входит в спираль, подогревает окружающую ее воду, а сам конденсируется, при чем конденсат откачивается питательным насосом и примешивается к питающей воде. Такое приспособление уравнивает температуру при растопке, но начинает действовать только после того, как в котле появился пар, а до того момента неравенство температур имеет место.

Более энергично действует в этом смысле жаровая труба, сдвинутая на бок, как об этом уже говорилось выше.

Можно также уравнивать температуру, вводя в нижнюю часть котла пар из другого котла; но это опять не удобно в том отношении, что приходится иметь для этой цели специальный котел.

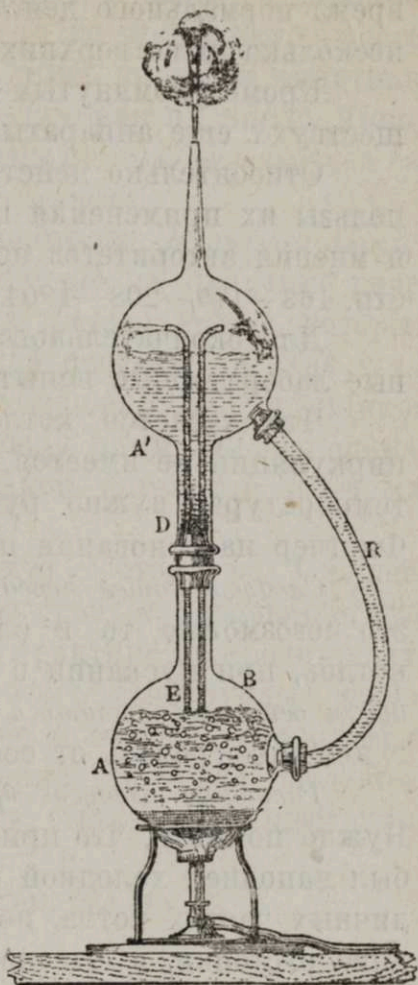
Можно также уравнивать температуру, вводя в нижнюю часть котла пар из другого котла; но это опять не удобно в том отношении, что приходится иметь для этой цели специальный котел.

41. Циркуляционная помпа Дюбио. Принцип устройства циркуляционного, или эмульсионного прибора Дюбио представлен на фиг. 56. Как видно, в воде помещается колокол *В*, в верхней части которого закреплены трубочки, выходящие на поверхность воды; нижние концы трубочек скошены под углом в 45° . Диаметр трубок берется от 15 до 30 мм. При кипении под колоколом собирается пар, который вытесняет воду, и как только уровень воды опустится до нижнего края трубочки, в нее попадает пузырек пара, за которым входит небольшое количество воды, затем вновь пузырек пара, и т. д. Весьма

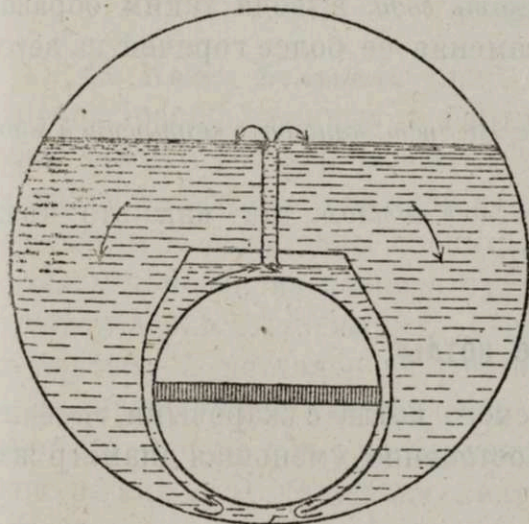
важно, чтобы диаметр трубки не был велик, так чтобы попавший в нее пузырь пара заполнял все поперечное сечение, при чем вся трубка окажется заполненной чередующимися пузырями пара и прослойками воды; вес столба смеси внутри трубки будет гораздо меньше веса соответствующего столба воды, вследствие чего снизу явится значительная сила, заставляющая смесь, заполняющую трубку, быстро двигаться вверх—установится сильная энергичная циркуляция ¹⁾.

Действие аппарата Дюбио очень ясно можно наблюдать на приборе, представленном на фиг. 57. Как скоро в нижнем шаре *A* начнется кипение, устанавливается очень сильный ток смеси пара и воды по трубкам *E*. Циркуляция появляется настолько сильная, что если в нижний шар положить какие-нибудь твердые тельца, то они будут циркуляцией перенесены в верхний сосуд.

Прежде чем такой прибор начнет действовать надлежащим образом, вода из трубочек будет выбрасываться с перерывами. Это происходит от того, что вода, притекающая по трубке *R*, охлаждает нижний сосуд и заставляет конденсироваться образовавшийся в нем пар, вследствие чего действие прибора на некоторый промежуток времени останавливается. Когда же температура во всем приборе сравняется, циркуляция происходит непрерывно.



Фиг. 57.



Фиг. 58.

В паровых котлах прибор сначала уравнивает температуру воды во всем котле, а затем уже начинает действовать, как эмульсионный прибор.

Трубки Дюбио можно применить в котлах всевозможных систем. Устройство прибора для котлов с внутренней топкой будет подобно представленному на фиг. 58. Первоначально котел должен быть наполнен водой таким образом, чтоб уровень ее был выше трубок. Тогда при топке установится слабый ток воды, как показано стрелками, обусловливаемый разностью плотностей и будет продолжаться до тех пор,

¹⁾ Описание опытов, подтверждающих выгоду применения эмульсеров Дюбио, см. в Z. d. V. d. I. 807—97.

пока во всем котле вода не нагреется до температуры кипения, после чего начнется циркуляция, порождаемая эмульсированием. Во время нормального действия аппарата уровень воды лучше держать несколько ниже верхних оконечностей трубок.

Кроме упомянутых приборов для побуждения циркуляции существуют еще аппараты Кнапика, Фойгта и друг.

Относительно действительности работы подобных аппаратов и пользы их применения пока не имеется вполне достоверных указаний и мнения авторитетов по этому вопросу расходятся (см. Z. D. und. M. стр. 163—179—208—1904 года) ¹⁾.

Для окончательного выяснения требуются правильно поставленные лабораторные испытания.

Что касается котлов, в которых аппаратов для возбуждения циркуляции не имеется, то для достижения в них более равномерной температуры нужно руководствоваться указаниями, которые дает Флетчер на основании произведенных им испытаний.

Следует котел перед растопкой наполнять теплой водой, если же это невозможно, то в случае, когда работают совместно несколько котлов, при пускании в ход одного из них, следует его наполнить водой и оставить стоять в течение по крайней мере 24 часов, чтобы вода в нем подогрелась от соседних котлов.

Растопку следует производить возможно медленно—около 12 часов. Нужно помнить, что при быстрой растопке, в том случае, когда котел был наполнен холодной водой, вследствие разности температур в различных частях котла, последний настолько напрягался, что в середине растопки, в его швах показывалась течь, которая снова прекращалась, когда температура уравнивалась. Конечно, такое напряжение котла не может не отзываться на его прочности.

В некоторых случаях, во время растопки и работы котла, хорошо открывать продувной кран и спускать воду, выводя таким образом из нижней части холодную воду и заменяя ее более горячей из верхних слоев.

Кроме того, ни в каком случае не следует котлов с внутренней топкой питать в нижнюю часть.

Второй дымовой ход лучше делать под котлом, так как это тоже способствует уравниванию температур.

Водотрубные котлы.

Как мы видели, от цилиндрического котла с жаровыми трубами к котлу трубчатой системы перешли постепенно, уменьшая диаметр жа-

¹⁾ Эберле, на основании произведенных им опытов в лаборатории Баварского О-ва, отрицает пользу циркуляторов: они не способствуют уравниванию температуры при растопке и не повышают коэф. полезн. действ. котла.—Z. B. 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 в Z. D. und M. —6—09.

ровых труб и увеличивая число их, желая при этом получить котел с большей поверхностью нагрева, следовательно, с большей паропроизводительной способностью, занимающий в то же время малое место. Того же самого можно достичь, исходя из типа котлов с кипятильниками, уменьшая диаметр последних и увеличивая их число. Такие трубки, наполненные кипящей водой, называются *кипятильными*, а самые котлы подобной системы *водотрубными котлами*.

42. Первый водотрубный котел был построен *Вильямом Баклей* еще в 1766 г. Но впервые удачное применение на практике водотрубный котел получил в руках американца *Джамса Рамсея*, который и должен считаться творцом котлов подобной системы. В 1788 г. он взял в Англии патент на котел, в котором топка окружалась ящиком с плоскими стенками, и все пространство между ними было заполнено трубками. В 1793 г. Фультон употреблял такой котел для своих пароходов.

Водотрубные котлы отличаются тем, что состоят из большого числа отдельных частей, соединение которых требует довольно искусной работы и удачной конструкции, чтоб на практике не представлять больших неудобств. Вероятно вследствие этого водотрубные котлы довольно медленно входили в употребление и только сравнительно недавно нашли себе громадное распространение, так что на последних всемирных выставках экспонируемые котлы были преимущественно водотрубных систем.

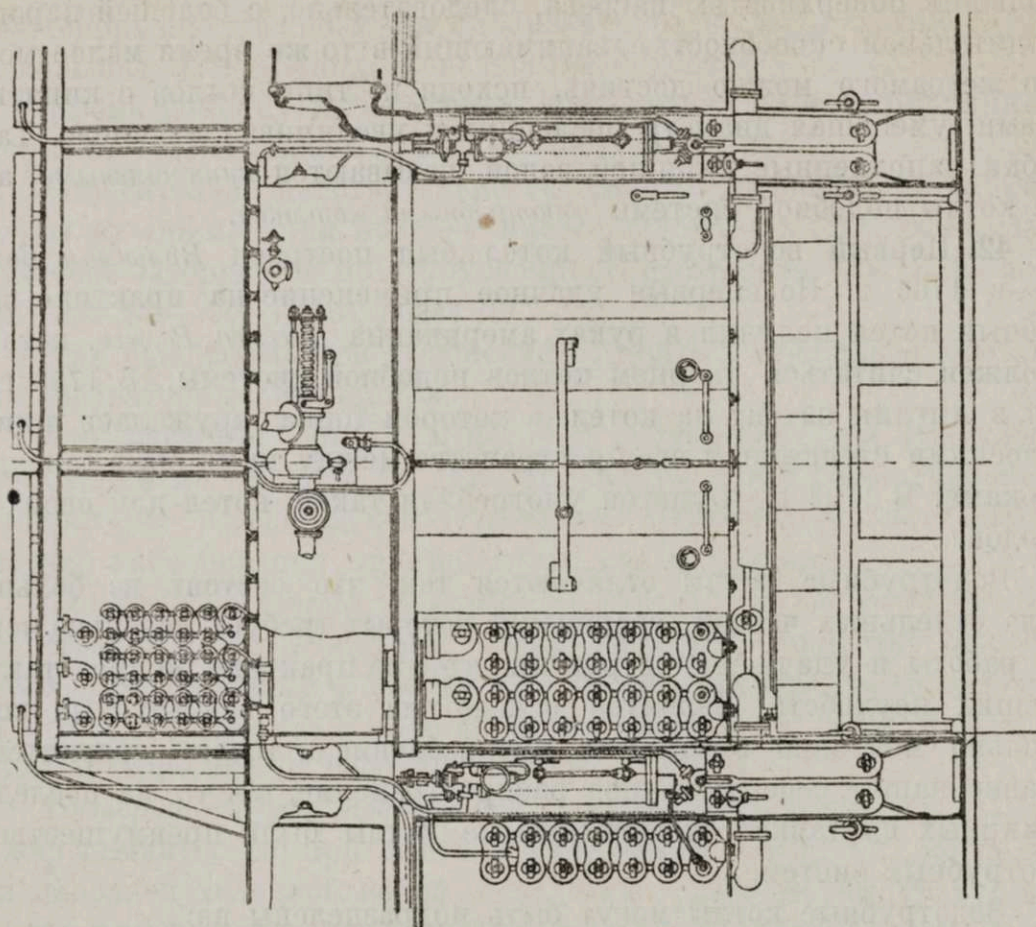
Водотрубные котлы могут быть подразделены на:

I. Котлы без циркуляции воды.

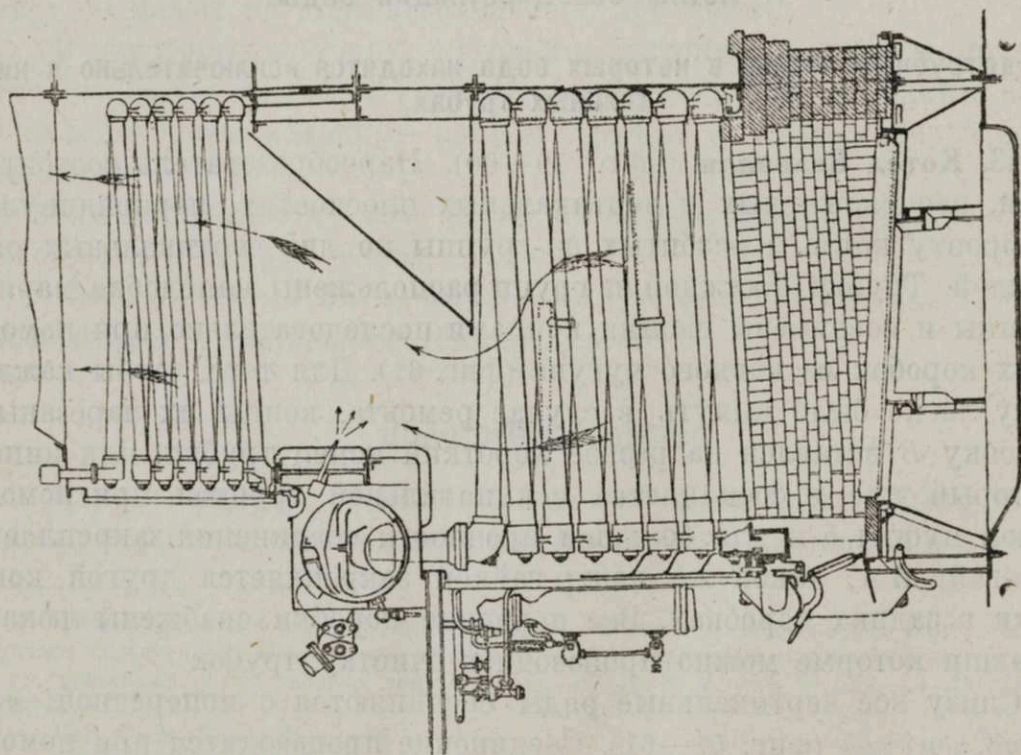
А) Водотрубные котлы, в которых вода находится исключительно в кипятильных трубах.

43. Котел Бельвиля (фиг. 59—60). Парообразователь состоит из трубок, расположенных в вертикальных плоскостях, перпендикулярных фронту котла и разбитых на группы по два вертикальных ряда в каждой. Трубки в каждой из групп расположены наподобие маршей лестницы и соединены своими концами последовательно при помощи особых коробок из ковкого чугуна (фиг. 61). Для того, чтобы каждую трубку легко было вынуть в случае ремонта, концы их нарезаны, и в коробку *В* вставлен на резьбе короткий конец трубки, или нипель *а*, который уже и соединяется с кипятильной трубкой при помощи сгонной муфты *б* и для большей прочности соединения закрепляется контр-гайкой *с*; такой же контр-гайкой закрепляется другой конец трубки в задних коробках. Все передние коробки снабжены люками, открывши которые можно производить очистку трубок.

Снизу все вертикальные ряды соединяются с поперечной *питательной* коробкой (фиг. 59—61). Соединение производится при помощи конуса *т*, завинченного в соединительную коробку и прижатого к ко-



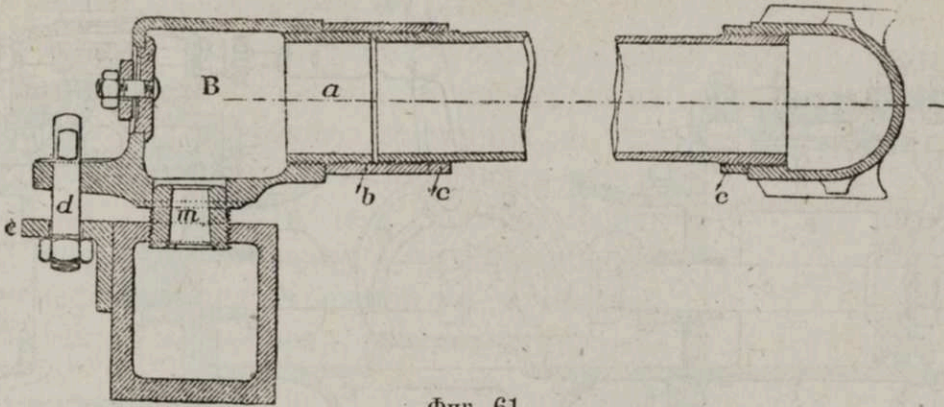
Фиг. 60.



Фиг. 59.

робке *B* при помощи болта *d*; для плотности соединения в этом месте прокладывается еще никкелевое кольцо.

Вверху все трубки соединяются с *коллектором* (фиг. 62). Внутри коллектора поставлено корыто *C* и, кроме того, перегородки 1—2—3;



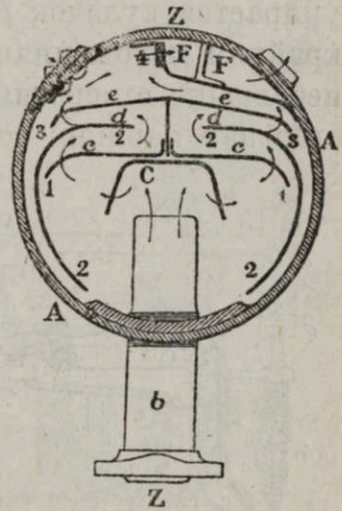
Фиг. 61.

первая и последняя по краям зазубрены в виде гребенки. Все эти перегородки назначены для отделения воды, примешанной к пару. Зубцы по краям перегородок способствуют такому отделению.

Питательная вода приводится в верхний коллектор на середине его длины. Входя сюда под сильным давлением, струя воды ударяется в дно корыта *C* (фиг. 62), распыляется, падает на дно коллектора и здесь смешавшись с водой, отделенной от пара, сильно подогретая, стекает по боковой вертикальной трубке в нижнюю питательную коробку, из которой и поступает в кипяtilьные трубки.

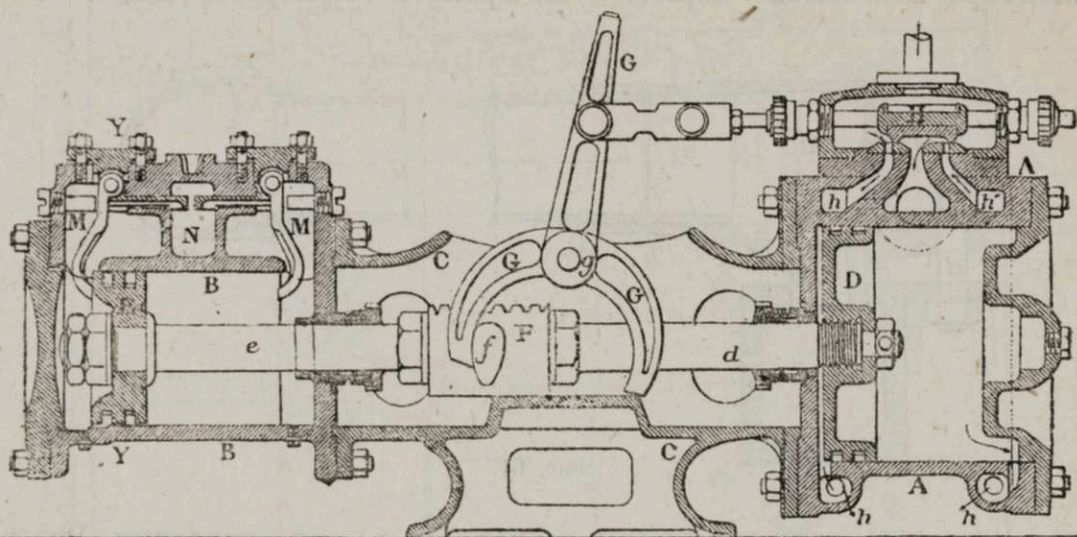
В котлах новейшей конструкции Бельвиль ставит не более 6—7 рядов наклонных трубок. Нормальный уровень воды находится на середине высоты трубок, и, следовательно, в трубках никакой циркуляции воды не происходит. В каждой вертикальной серии трубок выделение пара идет как бы в отдельном котле. Выделяющийся пар увлекает с собой массу воды, так что верхняя половина трубок заполнена очень сырым паром, который и предупреждает перегрев трубок. Вода отделяется в верхнем коллекторе. На боковой вертикальной трубке поставлен *грязевик*, в котором могут осаждаться выделяющиеся из раствора соли. В этом же грязевике поставлен и продувной кран.

Так как в котле находится очень мало воды, то всякое небольшое изменение в интенсивности топки или в расходе пара сказывается на давлении пара, поэтому при котле необходимо иметь автоматически действующие аппараты для поддержания постоянного давления. Эти аппараты нужно считать как бы составляющими часть котла Бельвиля.



Фиг. 62.

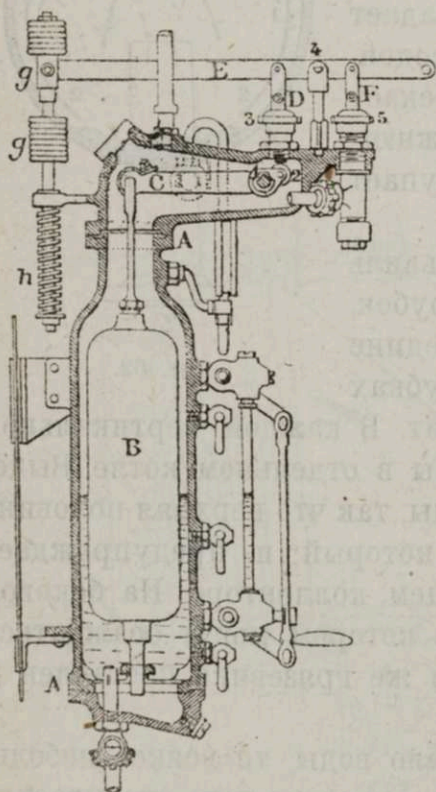
Питание производится при помощи парового насоса прямого действия системы Бельвиль (фиг. 63). Распределение совершается при помощи простого золотника, передвигаемого рычагом *G*, в который



Фиг. 63.

упирается кулачок *f*. Поршень водяного цилиндра *E*, подходя к своим крайним положениям, упирается в рычаги *ММ*; эти рычаги открывают небольшие отверстия, сообщающие пространства цилиндра по обеим сторонам поршня; вследствие этого, давление во всасывающей части

цилиндра сразу повышается, и поршень, получив сразу сильный толчок, переставляет быстро золотник. Насос работает беспрерывно, скорость же его регулируется в зависимости от того, насколько открыт питательный клапан, и следовательно, в зависимости от большого или меньшего сопротивления в питательной трубе.



Фиг. 64.

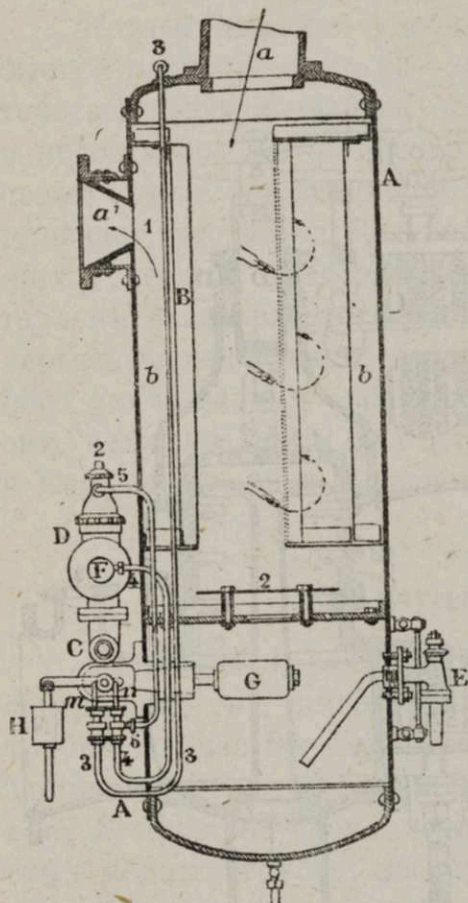
Нормальный уровень воды в котле поддерживается при помощи аппарата представленного на фиг. 64. Этот прибор ставится на трубке, соединяющей самую нижнюю коробку с самой верхней трубкой. На приборе поставлено водомерное стекло и пробные краны. Уровень воды в стекле при таком соединении прибора будет стоять на одной высоте с уровнем воды в котле. Внутри прибора помещается поплавков *B*, соединяющийся с рычагом *C*. Рычаг имеет точку опоры *1* и на другом плече его помещается ролик *2*, упирающийся в штифт *D*, проходящий через сальник *3*. Штифт *D* упирается, в свою очередь в рычаг *E*, имеющий точку

упирается, в свою очередь в рычаг *E*, имеющий точку

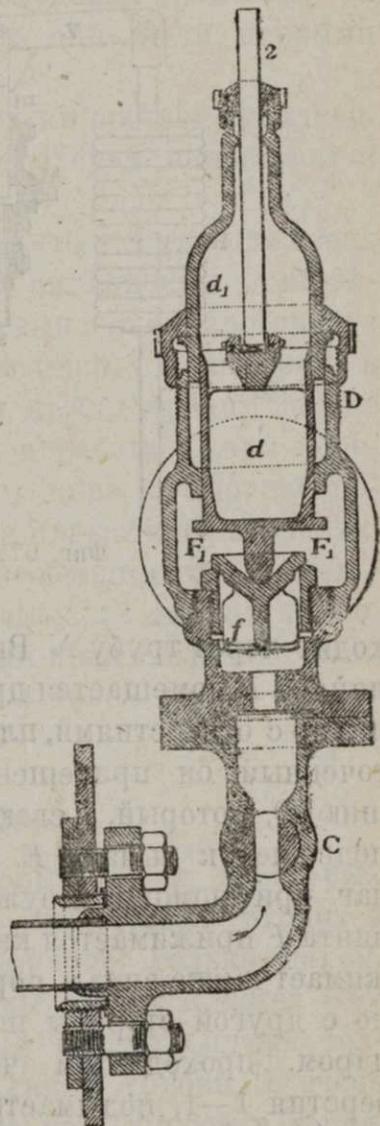
опоры 4 и на одном плече штифт F ; этот последний, проходя через сальник 5, соединяется с питательным клапаном. Вся эта система уравновешена при помощи контр-грузов g и пружины h . При понижении или повышении уровня вода повышается или понижается поплавков B и, действуя на питательный клапан, поддерживает уровень воды постоянно на одной и той же высоте.

Сепаратор. Для окончательного отделения пара от воды на паровой трубе ставится сепаратор, конструкция коего указана на фиг. 65. Он состоит из железного цилиндра A . Пар проводится в отверстие a и выходит в отверстие a' ; на своем пути пар должен обойти поставленную перегородку b , и при поворотах, вследствие центробежной силы, от него отделяется вода, которая стекает в нижнюю

часть сосуда. Перегородка 2 поставлена на всякий случай, чтоб пар не мог при своем движении опять увлечь стекающую вниз воду. Нижняя часть сосуда представляет из себя конденсационный горшок особой конструкции. Его назначение удалять воду по мере ее накопления и в то же время не пропускать пара. Достигается это следующим



Фиг. 65.

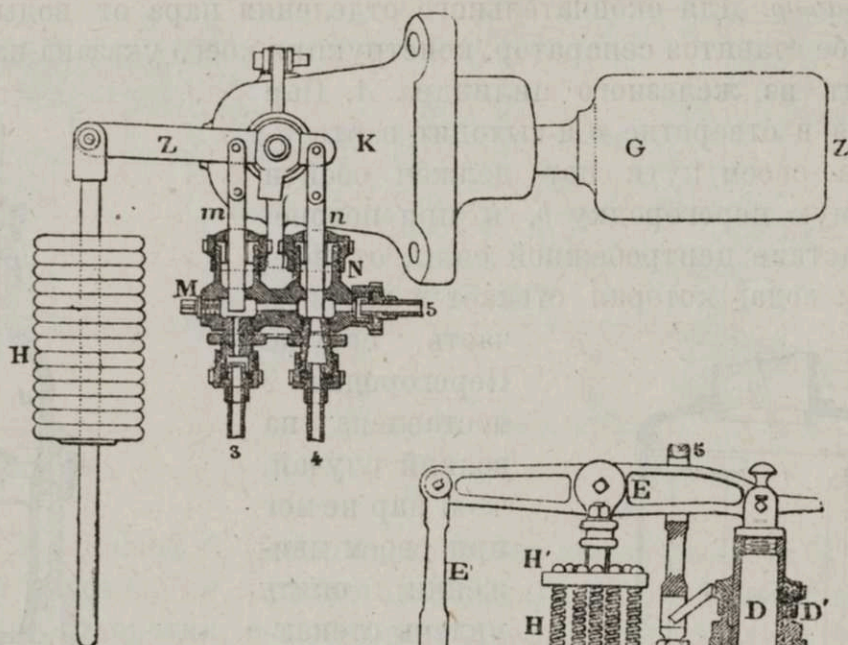


Фиг. 66.

образом: вода или пар, стремящийся выйти из сосуда, удерживается клапаном F , изображенным в большом масштабе на фиг. 66. Если сепаратор наполнен паром, то клапан F плотно закрыт, вследствие того, что пар по трубке 3 проходит в трубку 5 (сообщение между трубкой 3 и 5 более ясно показано на фиг. 67) и давит на поршень b , площадь которого гораздо больше, чем площадь клапана. Если же нижняя часть сепаратора наполняется водой, то поплавок S всплывает и, поворачивая рычаг Z (фиг. 67) и передвигая штифты m n , закрывает

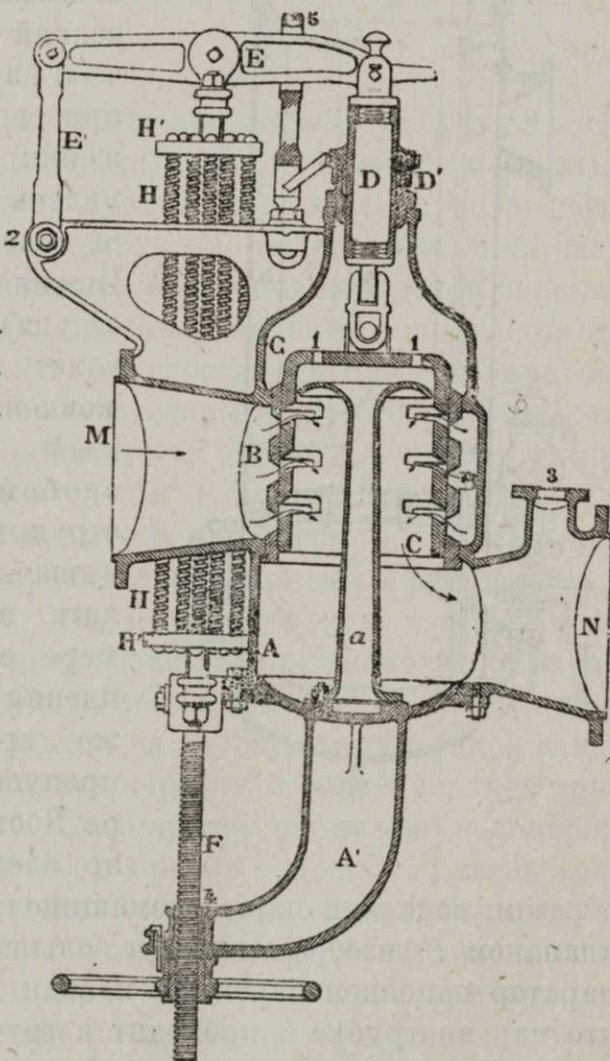
трубку 3 и открывает трубку 4; этим уравнивается давление над поршнем в пространстве F_1F_1 (фиг. 66), после чего клапан может открываться и вынудить собравшуюся в сепараторе воду. Затем груз G опускается, и клапан опять становится плотно закрытым.

Регулятор давления изображен на фиг. 68. Пар притекает в отверстие M , проходит через цилиндр с отверстиями B и затем вы-



Фиг. 67.

ходит через трубу N . Внутри цилиндра B помещается другой цилиндр с отверстиями, плотно приточенный; он привешен к поршню D , который, в свою очередь, подвешен к рычагу E . Этот рычаг при помощи пружин H и винта F прижимается книзу и нажимает также вниз и поршень D , но с другой стороны, поршень D паром, проходящим через отверстия 1—1, подымается вверх. Таким образом устанавливается известное равновесие, обуславливающее известное открытие окон в цилиндре B . Если давление пара в пространстве C повышается, то поршень D подымается вверх, закрывает окна B , и этим понижает давление до надлежащей величины и обратно. При помощи винта F можно натягивать пружины H и этим регулировать давление в пространстве C , или в трубопроводе.



Фиг. 68.

Кипятильные трубки готовятся из стали диаметром от 82 до 115 мм.; толщина их изменяется в зависимости от давления и диаметра, но всегда трубки нижних рядов, как более сильно нагревающиеся, берутся более толстые. Так например, при диаметре трубок в 100 мм. толщина первых двух рядов берется в 8 мм., третьего и четвертого—в 6 мм. и следующих—в 4 мм. В случае порчи трубки требуется 5—6 часов для замены ее новой.

Для большей сухости пара в верхней части котла ставится вторая серия трубок, в которой пар просушивается (фиг. 59—60) ¹⁾.

Котлы Бельвиля употребляются, как для заводской практики, так и для морского дела и из водотрубных котлов они были первыми применены во французском флоте.

Поставленные на суше, они обкладываются кирпичной кладкой; спереди делается металлический фронт. На пароходах они ставятся в металлических футлярах.

Котлы Бельвиля удобны в том отношении, что могут быть очень быстро растоплены (в 20—25 мин.). В 1900 году английским адмиралтейством была назначена особая комиссия для выяснения достоинств и недостатков котлов Бельвиля. После многочисленных испытаний, в своем отчете, появившемся в 1902 г., комиссия между прочим вполне признает, что котел Бельвиля, когда он новый и работает при хороших условиях, представляет хороший генератор пара, но быстрая потеря им своей работоспособности при работе на плавающих кораблях, серьезные недостатки, обнаруженные в нем, и необходимость тщательного ухода за ним—все это делает котел Бельвиля, по мнению комиссии, нежелательным для флота. Доклад комиссии полностью напечатан в Eng. 54—7—02 и в извлечении в Б. П. О. 303—03.

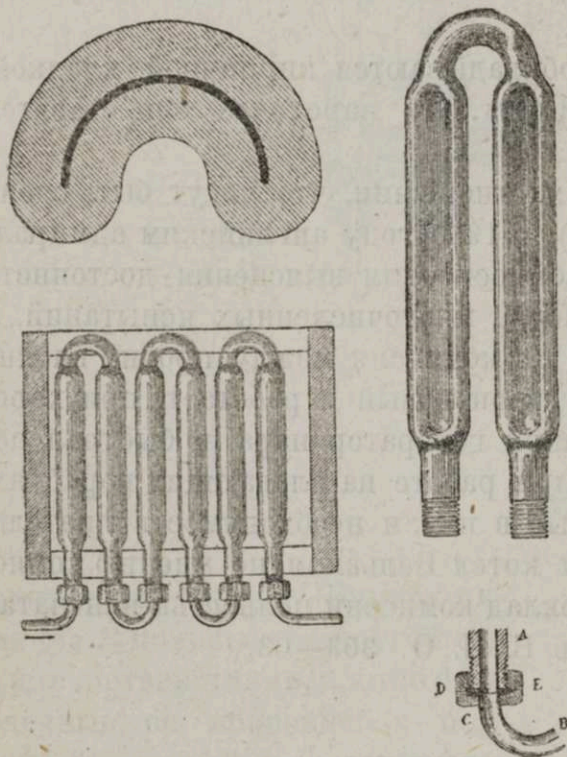
В) Котлы без содержания воды.

44. Котел Серполе. Существуют водотрубные котлы, в которых совершенно не имеется запаса воды,—вода, как только входит в трубки, сейчас же испаряется, и весь котел заполнен только паром. Типичным представителем котлов такой системы является котел *Серполе*. В прежнее время котлы Серполе состояли из сплюснутых толстых медных трубок, изогнутых по спирали. Такие трубки, с очень тонкой щелью внутри их, располагались одна над другой в топке, раскаливались, и как только в них попадала вода, она испарялась и выходила уже из трубок в виде перегретого пара.

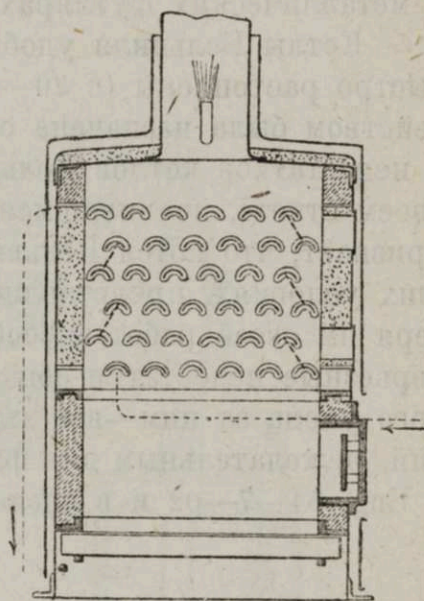
Первоначальной конструкции котла Серполе приписывали следующие недостатки: неравномерную работу—(иногда котел давал слишком сырой пар, а иногда слишком перегретый), неэкономную утилизацию топлива, частые остановки вследствие засорения трубок. Все эти недостатки

¹⁾ В некоторых случаях выше перегревателя ставится еще серия трубок для подогрева питательной воды. См. Z. d. V. d. I. 941—05.

менее замечаются в конструкции котла, показанной на (фиг. 69—70). Котел состоит из отдельных элементов, расположенных горизонтальными рядами один над другим. Каждый такой элемент приготовлен из тянутой стальной трубки без шва, которой при помощи штамповки придано сечение, показанное на чертеже. Действие штамповки не распространяется на концы трубок, которые поэтому остаются цилиндрическими и легко могут быть соединены между собой, образуя один непрерывный канал. Вода приводится с нижнего конца этого канала, испаряется внутри его и в виде сухого и перегретого пара выходит на его верхнем конце.



Фиг. 69.



Фиг. 70.

Серполе употребляет для производства своих элементов трубы трех размеров, сообразно с парообразовательной способностью, которую должен давать котел:

- 1) диаметров 63 мм. толщиной 10 мм.
- 2) " 73 " " 12 "
- 3) " 83 " " 13 "

такие трубки соответственно весят на погонный метр 13,32 кгр., 18,4 кгр. и 22,88 кгр.

Вследствие применяемого способа штамповки, получающаяся внутри трубок щель имеет длину, равную полуокружности внутреннего очертания трубок. Ее толщина изменяется от 1 до 3 мм., соответственно размерам и эффекту, который желают получить от трубы. Понятно, что построенный таким образом котел содержит очень мало воды, и потому он должен быть очень чувствителен к переменам в степени интенсивности топки. На самом деле котел Серполе содержит в себе довольно

большой запас теплоты, но последний заключается не в воде, а в металлических стенках котла, служа и в этом случае регулятором колебаний в работе топki. Нагретая масса металлических стенок является очень значительной по сравнению с тем количеством воды, которое они окружают. Действительно, трубки диаметром 63 мм. погонный метр, который весит 13,32 кгр., заключает на той же длине всего 0,125 кгр. воды, т.-е. вес металла в 106 раз больше веса воды. Следовательно, количество теплоты, заключенное в трубках, сравнительно очень велико и может служить регулятором при переменном действии топki ¹⁾.

В новом котле отдельные элементы расположены друг над другом в шахматном порядке, так что газы при движении своем постоянно сталкиваются с ними и хорошо отдают теплоту. Котел в смысле утилизации теплоты работает довольно экономично.

Что касается засорения котла, то, как оказывается, при новой его конструкции засорения почти не замечается, а если оно и происходит, то стоит только несколько раз быстро опорожнить котел и затем снова его наполнить, как он опять делается чист.

Это явление нужно объяснить, вероятно, тем, что после продувки котла и образования в нем пустоты, притекающий в котел обратно пар изменяет температуру накипи, заставляет ее лупиться и потом увлекает ее с собой, двигаясь по трубкам с большой скоростью. В общем котлы Серполе оказываются довольно прочными, по крайней мере, с тех пор, как была введена новая конструкция этих котлов, многие установки работают исправно.

Главным образом котлы Серполе применимы для очень мелких двигателей.

1) Это еще лучше можно пояснить численным примером. Обыкновенно температура трубок очень высока и при работе котла может испытывать колебания, достигающие до 200° Ц. Имея в виду такую цифру колебания температуры, определим, какой длины может быть испарен столб воды с поперечным сечением, равным щели трубки, за счет понижения температуры стенок ее на указанную выше величину, если начальная температура воды — 0° Ц., и процесс испарения происходит при 760 мм. столба. рт.

Удельная теплоемкость стали 0,1166, а количество теплоты, необходимое для испарения 1 килограмма при указанных условиях составляет (по Молье) 639, 7 калорий.

Мы получим для трубки диаметром 63 мм.:

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

Следовательно, тем количеством теплоты, которое отвечает колебанию температуры трубки в 1 метр длиной на 200° Ц., можно испарить столб воды длиной в 3,88 мет., т.-е. количество воды, в 3,88 раза больше того, которое заключается в 1 погонном метре трубки.

Точно также можно определить, на сколько повысится температура трубок при испарении всего, содержащегося в них количества воды:

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

II. Водотрубные котлы с циркуляцией воды.

Водотрубные котлы с циркуляцией воды, наиболее распространенные в современных паровых установках, характеризуются тем, что в них главные элементы, содержащие воду, так расположены относительно друг друга и так соединены между собой, что частицы воды имеют возможность совершать круговой путь.

Такой круговорот воды конструктивно осуществляется различными способами, рассмотренными ниже при описании отдельных разновидностей котлов этой группы.

Сухопутные водотрубные котлы с циркуляцией воды можно разбить на две группы: котлы с малым уклоном кипяtilьных трубок и котлы, в которых трубки имеют крутой уклон или расположены вертикально. За первыми установилось наименование „горизонтальных“ водотрубных котлов, а за вторыми наименование „вертикальных“.

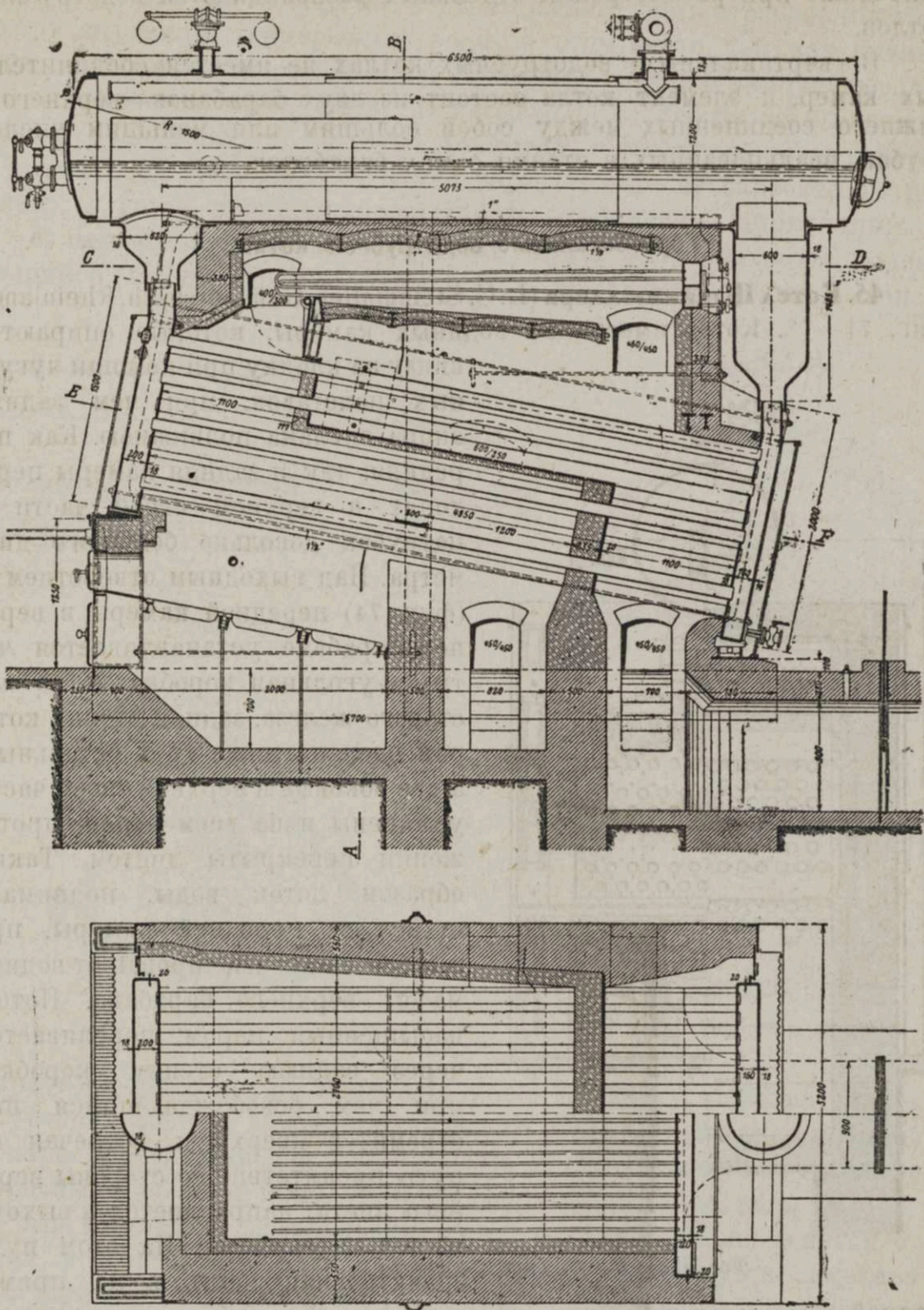
Главными составными элементами „горизонтальных“ водотрубных котлов являются, кроме кипяtilьных трубок, расположенный над ними цилиндрический резервуар—верхний барабан—и камеры. Последние служат соединительным звеном между верхним барабаном и кипяtilьными трубками. Камер может быть или две,—по одной на переднем и заднем конце трубок,—или одна,—только на переднем их конце, или, наконец, может быть несколько камер. Соответственно с этим котлы данной группы можно разделить на двукамерные, однокамерные и многокамерные. Из последних, в свою очередь, можно выделить котлы, в которых каждые две камеры с комплектом связанных с ними труб, а при одностороннем расположении камер—каждая отдельная камера с ее трубками, являются настолько обособленными, как элементы котла, что могут быть, в случае надобности, удаляемы, не вызывая своим отсутствием безусловной необходимости останавливать работу котла. Такие обособленные элементы котла принято называть секциями, а самые котлы—секционными.

Водяные камеры однокамерных и двукамерных котлов заключают в себе по две плоских стенки значительных размеров. Такие стенки не способны при обычной своей толщине противостоять давлению пара, и потому укрепляются при помощи особых связей (анкерных болтов), которые связывают две взаимно-противолежащих стенки, будучи ввинчены и в ту и в другую.

Кипяtilьные трубки закрепляются в стенках камер путем раскатки (развальцовки), каковая операция состоит в том, что конец трубки, свободно входящий в отверстие стенки камеры „раздается“ помощью особого инструмента, вследствие чего диаметр трубки в этом месте увеличивается, и края ее крепко прижимаются к краям отверстия. Возникающая при этом сила трения оказывается с избытком достаточной, чтобы удерживать трубку в отверстии.

Кипяtilьные трубки обычно располагаются так (фиг. 73), чтобы для потоков газов не образовалось прямых вертикальных проходов,

и частицы газов, выходя из какого-либо промежутка между двумя соседними трубками горизонтального ряда, встречали бы поверхность трубки следующего ряда. При таком расположении трубок поверхность



Фиг. 71 - 72.

их будет более полно омываться газами, а частицы последних будут лучше перемешиваться между собой.

Для доступа к трубкам против места их закрепления делаются в стенке камеры отверстия («люки»), закрываемые особыми крышками.

Знакомство с этими и другими деталями, а также с конструкцией водяных камер и способом их соединений с верхним барабаном дано ниже при рассмотрении отдельных разновидностей водотрубных котлов.

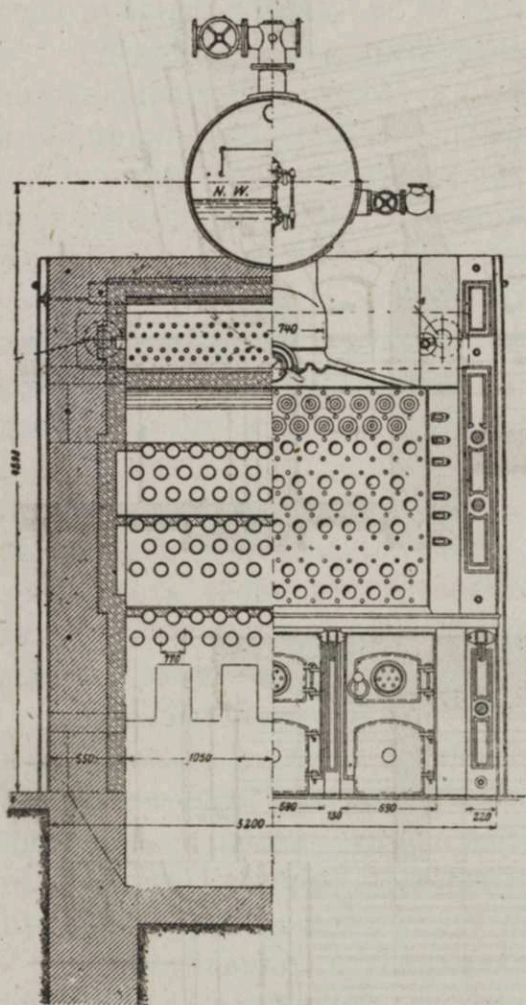
В «вертикальных» водотрубных котлах не имеется соединительных камер, и элемент котла состоит из двух барабанов—верхнего и нижнего, соединенных между собой большим или меньшим числом трубок, ввальцованных в стенки самих барабанов.

Горизонтальные водотрубные котлы.

45. Котел Штейнмюллера (L. C. Steinmüller, Gummersbach, Rheinland).

Фиг. 71—73. Котел имеет две водяные камеры, которые опираются

внизу на кладку при помощи чугунных подставок, при чем задняя опора сделана подвижною. Как передняя, так и задняя камеры переходят в верхней своей части в патрубок довольно большого диаметра. Над выходным отверстием А (фиг. 74) передней камеры в верхнем барабане устанавливается четырех-угольная коробка В из листового железа, задняя стенка которой сделана ниже трех остальных, а две боковые в верхней своей части удлинены и на всем своем протяжении перекрыты листом. Таким образом поток воды, поднимающийся из передней камеры, при выходе из нее изолирован от водной массы верхнего барабана. Поток, насыщенный паром, переливается через заднюю стенку коробки, при чем освобождающийся пар стремится кверху и, встречая на пути препятствие со стороны верхнего листа, направляется к выходу из-под перекрытия. На этом пути значительная часть воды, приме-



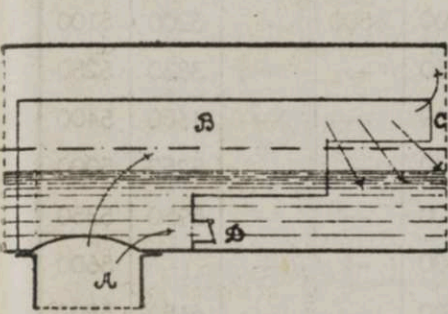
Фиг. 73.

шанной к пару, от него отделяется, и пар, таким образом, получается более сухим ¹⁾. В задней стенке имеется отверстие, переходящее в короткую трубу, снабженную на конце клапаном (D). Вода, менее насыщенная пузырями пара, частью направляется в эту трубу и, открыв

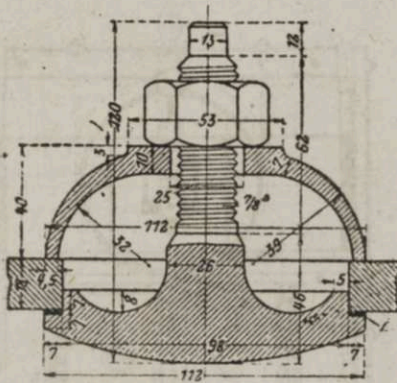
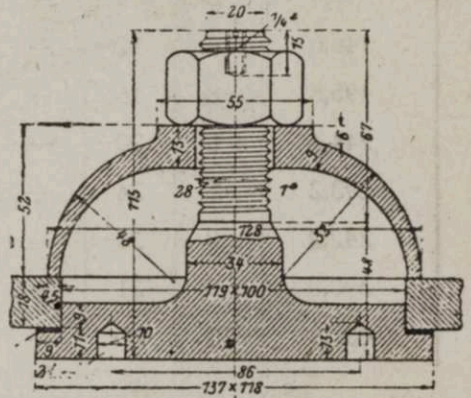
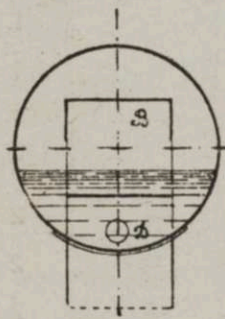
¹⁾ В Лаборатории М. В. Т. У. котел Штейнмюллера даже при самой форсированной работе (40 кг. с 1 кв. м.) давал пар с влажностью, не превышающей 10%.

клапан, входит в водное пространство нижней части барабана. Ответвлением потока более горячей воды в нижнюю часть барабана имеется в виду выровнять температуру воды в этом месте, так как именно сюда попадает питательная вода. Благодаря описанному приспособлению устраняется, кроме этого, так называемое захлебывание выходного устья передней камеры. Явление это состоит в том, что из устья камеры то вырывается большое количество пара, то вода из барабана устремляется в устье, нарушая правильность естественной циркуляции.

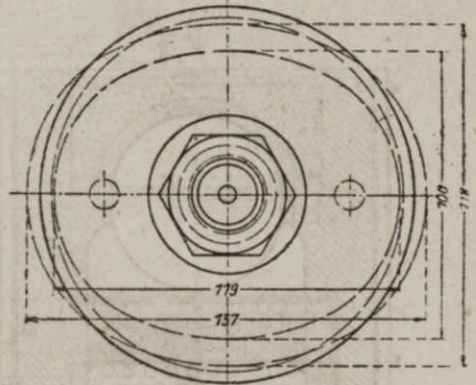
В первоначальных конструкциях котла Штейнмюллера поднимающийся из передней камеры поток воды направлялся в канал



Фиг. 74.



Фиг. 75.



Фиг. 76.

четыреугольного сечения, закрытый также и сверху, возвышающийся над уровнем воды и доходящий почти до устья задней камеры. Выход для пара имелся лишь на конце канала, а дно канала было снабжено поперечными щелями прямоугольной формы для стока воды.

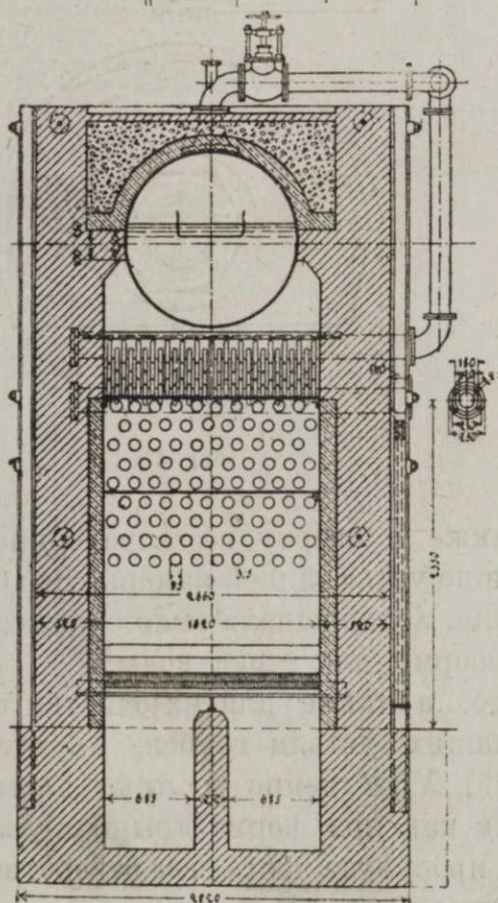
Для вставки и развальцовки труб, а также для их очистки от накипи, в стенках камер, противолежащих устьям трубок, имеются люки, закрываемые крышками (фиг. 75). Уплотнение в люке достигается тонким резиновым кольцом. Так как при форме крышки, указанной на фиг. 75, она не может быть просунута через свое отверстие, то часть люков делается овальной формы (фиг. 76). Один такой люк приходится на 2 на 3 горизонтальных ряда трубок.

Для очистки поверхности трубок струей пара от золы и сажи на лобовой и в задней стороне кладки имеются узкие вертикальные окна, по одному с каждой стороны камер.

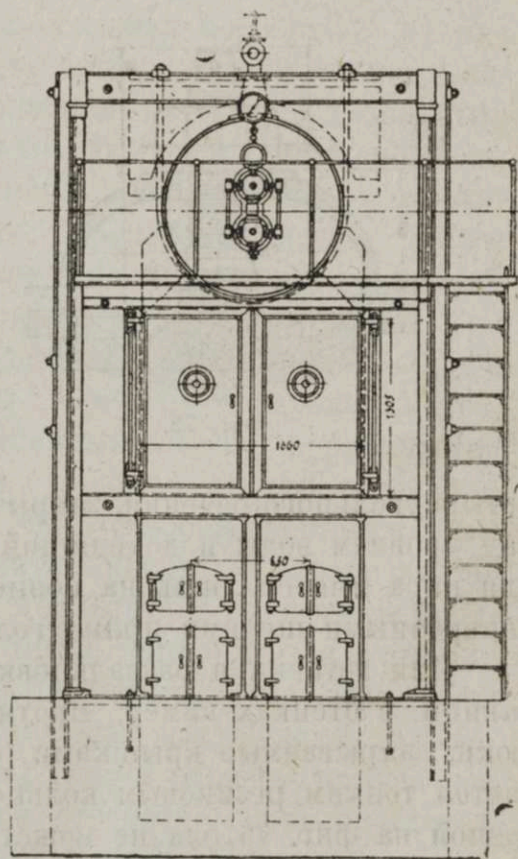
Таблица 16 приводит данные о главных размерах котла.

Таблица 16, к фиг. 71—73.

Поверхность нагрева кв. м.	Водяные трубки.				Верхний барабан.			Размеры кладки.		
	Число горизонт. рядов.	Число вертикальн. рядов.	Длина м. м.	Внутренний и внешний диа- метры м. м.	Число.	Диаметр 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



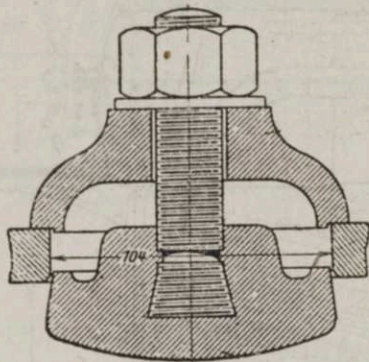
Фиг. 78.



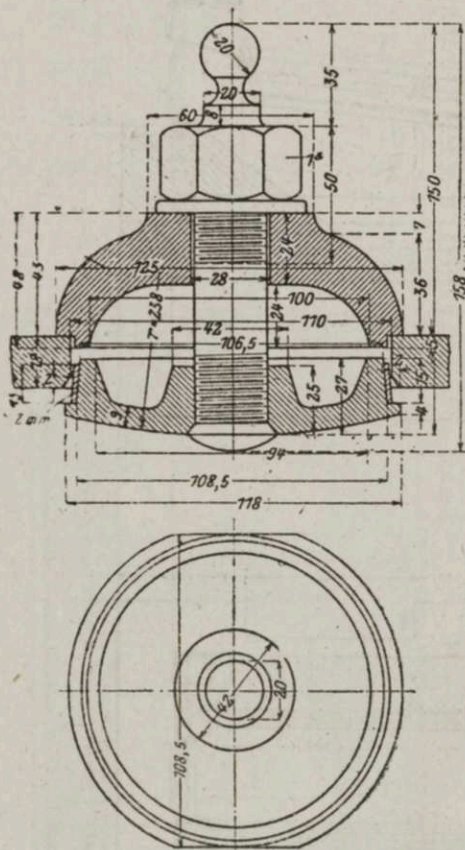
Фиг. 79.

46. Котел Бютнера. (Büttner & Co, в Uerdingen a. Rhein). Особенность его (фиг. 77—79) заключается в том, что передняя и зад-

так как сохраняется часть живой силы, приобретенной водою при восходящем движении в передней камере. Питательная вода вводится в переднюю часть верхнего барабана при помощи трубки, оканчивающейся в особом желобе, в котором может оседать грязь и выделяющиеся из раствора соли; точно также эти соли выделяются и в самом верхнем барабане, и чтобы накипь не попадала в трубы, в верхнем барабане сделана поперечная перегородка,



Фиг. 80.



Фиг. 81.

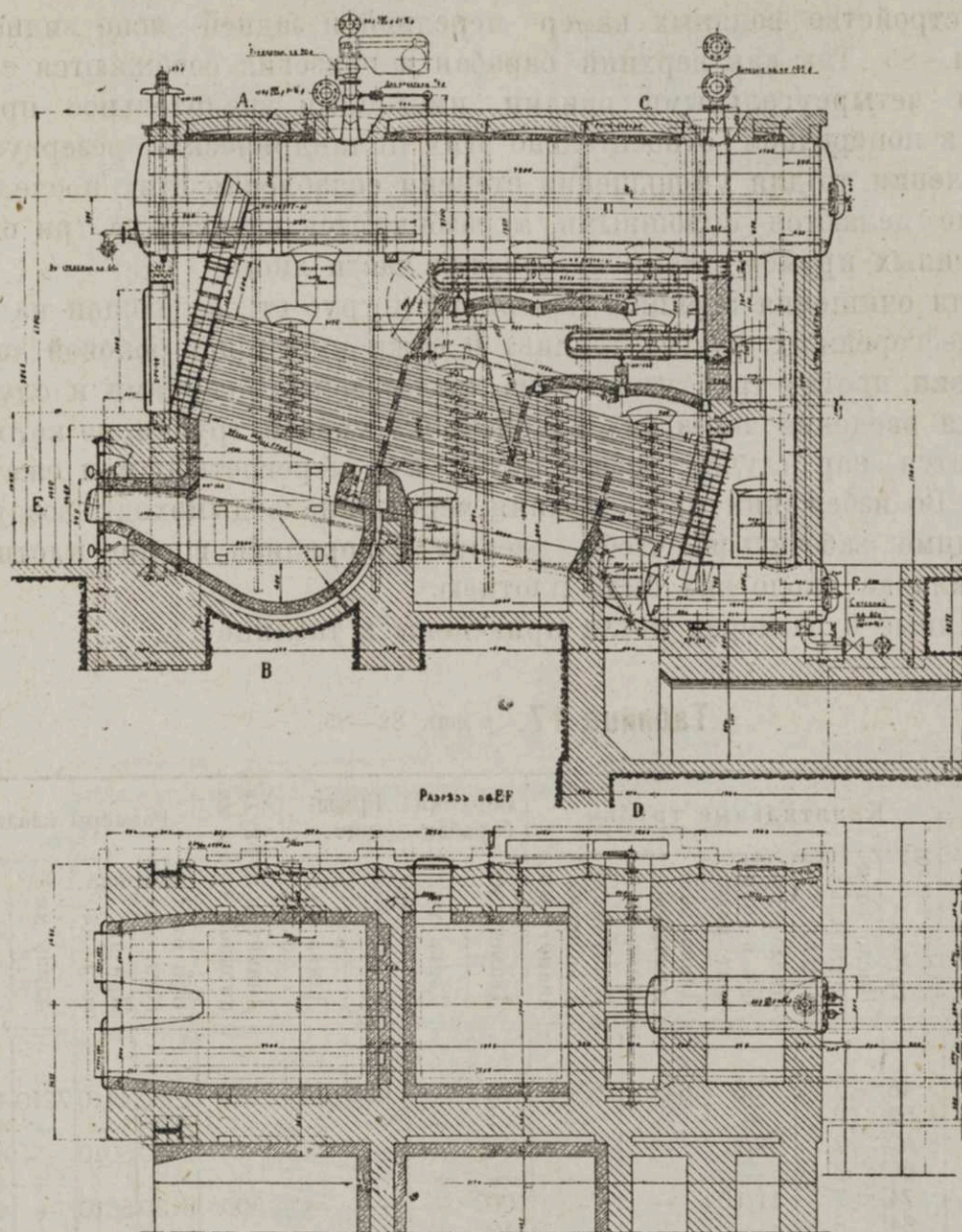
не допускающая грязь подходить к задней камере, где имеются в желобе отверстия для ввода чистой воды. Около этой перегородки помещается продувная труба, через которую может быть удалена вся грязь.

Люки для прочистки трубок (фиг. 80) изнутри закрываются коническими пробками, плотно приточенными, без всяких прокладок. Чтобы такие пробки можно было ввести во внутрь коробки, в некоторых местах сделаны люки, больших размеров, отверстия этих люков закрываются крышками (фиг. 81), плоско срезанными на двух противоположных сторонах и снабженными прокладками в виде медных колец. Очистка трубок от сажи производится струей пара, который подводится через вертикальные пустотелые стояки. Камеры и верхний котел изготовлены из топочного листового железа, нижние трубки изготовлены по способу Маннесманна, остальные ряды сделаны из литого железа.

47. Котел Фицнера и Гампера. (Сосновицы, Царство Польское). Котел Фицнера и Гампера (фиг. 82—85) имеет две водяных камеры, причем задняя камера соединяется с водным пространством верхнего барабана не верхней своей частью, а нижней—при помощи спускной трубы и грязевика. При таком

способе соединения задней камеры с верхним барабаном имеется в виду, что питательная вода, увлекаемая течением в спускную трубу, успеет выделить на пути те соли, которые не могут при высокой температуре оставаться в растворе, и, попавши в грязевик—резервуар значительного диаметра, оставят в нем как часть выделившихся солей, так и часть механически примешанных к питательной воде твер-

дых частиц. Таким образом, есть основание ожидать, что в кипяильные трубы попадает более чистая вода и в них отложится меньше накипи. Кроме того, при подведении воды из верхнего барабана в нижнюю часть задней камеры надо ожидать, что скорость течения в нижнем ряду трубок, будет больше, нежели в рядах выше лежащих, так



Фиг. 82—83.

как частицы воды, направляющиеся вверх, встретят на пути больше сопротивления вследствие трения о стенки камеры и встречающихся на пути препятствий в виде связей, выступающих концов трубок и крышек люков.

Присутствие длинной спускной трубы сообщает котлу известную степень эластичности и дает относительно большую свободу трубкам удлиняться.

Над входным отверстием из передней камеры в верхний барабан устанавливается склепанная из тонкого железа коробка, направляющая поток воды, богатой паром, и изолирующая его от водной массы верхнего барабана. Этим имеется в виду облегчить процесс выделения пара.

Устройство водяных камер—передней и задней—ясно видно на фиг. 84—85. Так как верхний барабан и грязевик сообщаются с камерами четырехугольными окнами, имеющими значительное протяжение в поперечном относительно этих цилиндрических резервуаров направлении, то для уменьшения степени ослабления этих последних окна не делаются сплошными, а разбиваются на два—на три окна, разделенных промежутками нетронутой части листа.

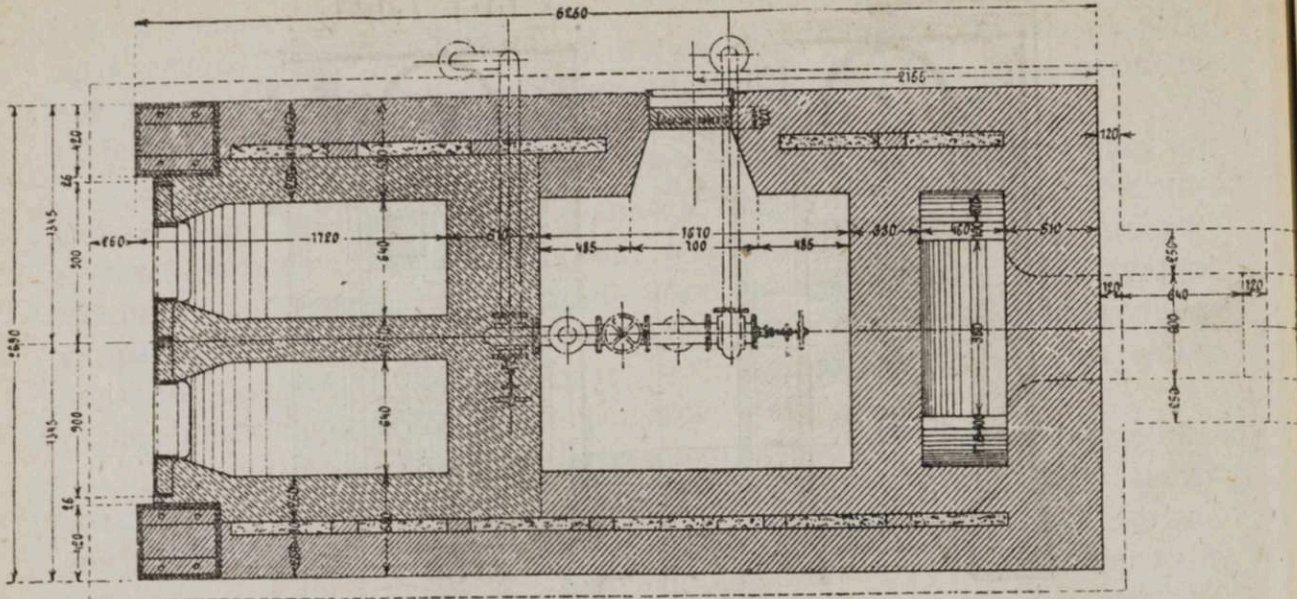
Для очищения внешней поверхности труб от оседающей на них золы, несгоревших частиц топлива и сажи имеются в боковой части обмуровки, против труб, узкие окна, закрываемые дверцами и служащие для введения через них наконечника гибкой трубки, по которой подводится пар (лучше всего сухой или перегретый) или сжатый воздух. Во избежании просачивания через окна в дымоходы воздуха, необходимо заботиться, чтобы дверцы затворялись вполне плотно и чтобы кладка около них была плотною.

Данные о размерах котла приведены в таблице 17.

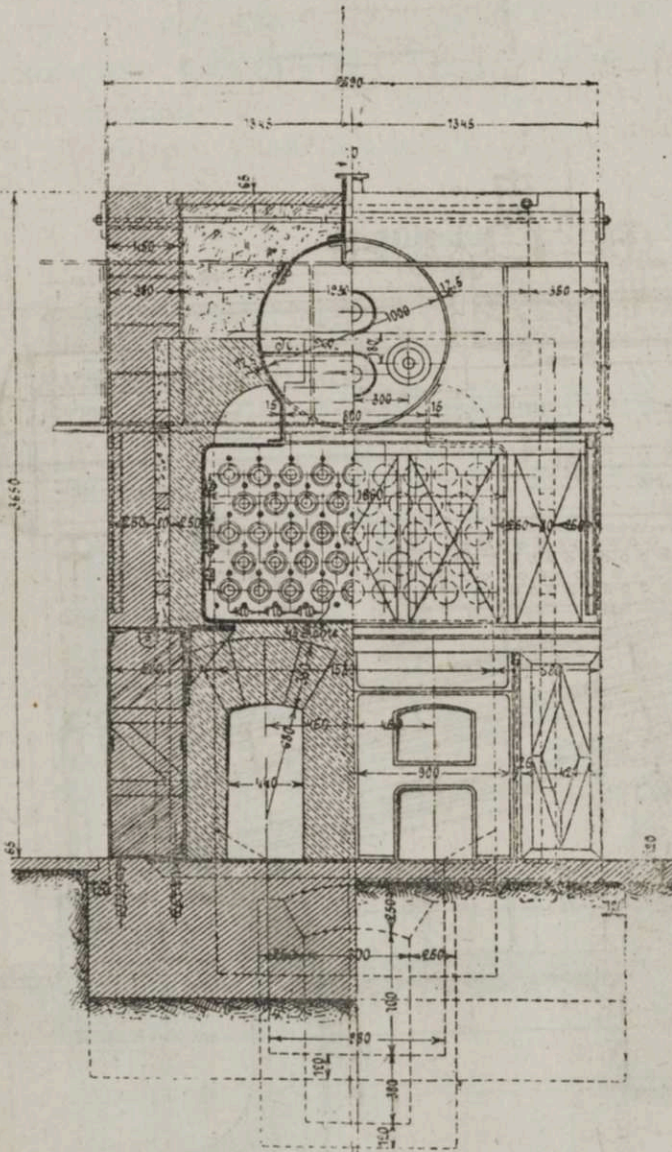
Таблица 17, к фиг. 82—85.

Поверхность на- грева кв. м.	Кипятильные трубки.						Верхний барабан.		Грязе- вик.		Диаметры циркуля- ционной трубы мм.	Размеры кладки.			
	Общее число трубок.	Число гори- зонтальных рядов.	Число тру- бок в гори- зонт. рядах.	Длина обо- греваемой части мм.	Внутренний и внешний диаметр мм.	Диаметр мм.	Длина мм.	Диаметр мм.	Длина мм.	Ширина.		Длина мм.	Высота мм.		
										При одн. котл. 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	

48. Котел Дюрра (Düsseldorf—Ratinger Röhrenkesselfabrik (бывш. Dürr & Co, в Ratingen'e близ Düsseldorf'a). Котел (фиг. 86—89)



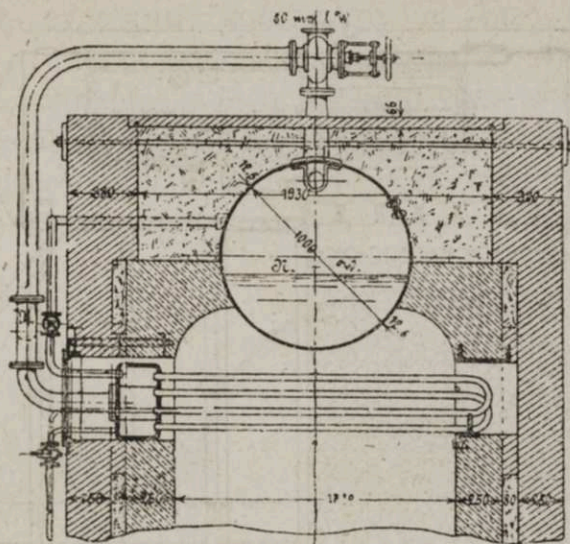
Фиг. 87.



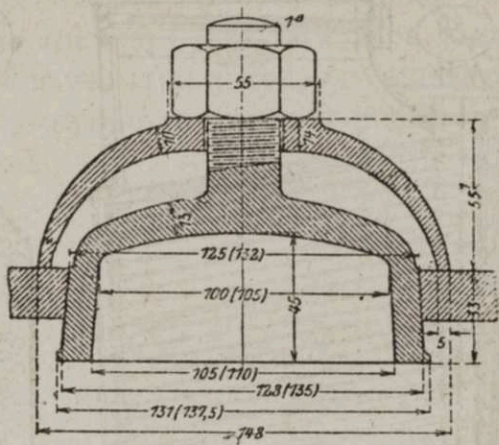
Фиг. 88.

отличается от описанных выше тем, что его кипячительные трубки соединяются только в одной камере с передней стороны котла. Самая камера имеет плоские стенки, скрепленные анкерными болтами. Как видно из чертежа (фиг. 86), каждая кипячительная трубка (диаметром в 108 мм.) имеет внутри еще другую трубку, так называемую *питательную* (52 мм.). Внешние кипячительные трубки закреплены на конусах в внешней стенке камеры без всякой прокладки, питательные же, или внутренние трубки закрепляются в перегородке, разделяющей камеру на две части. Перегородка делается разборной, так что, разобрав ее и вынув питательные трубки, можно произвести очистку кипячительных трубок через люки, находящиеся против каждой трубки (фиг. 90). Питание холод-

ной водой происходит в верхний барабан; прежде чем попасть в кипяtilьные трубки, вода в барабане нагревается и выделяет из раствора некоторые соли, которые и оседают здесь, не засоряя собой трубок.

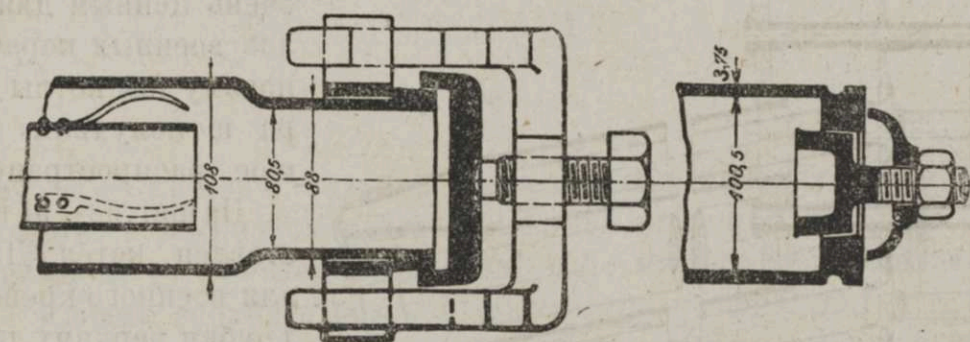


Фиг. 89.



Фиг. 90.

Подобная конструкция была придана котлу в том предположении, что образование пара происходит в кольцевом пространстве между кипяtilьными и питательными трубками, и пар стремится подыматься на поверхность по внутренней половине камеры, в это время в другой половине камеры вода движется вниз и по питательным трубкам подводится к кипяtilьным. При движении пара к поверхности, он увлекает с собой воду, но, двигаясь по барабану к паровому вентилю, большая часть увлеченной воды успевает осесть и снова вступает в кипяtilьные трубки для парообразования.

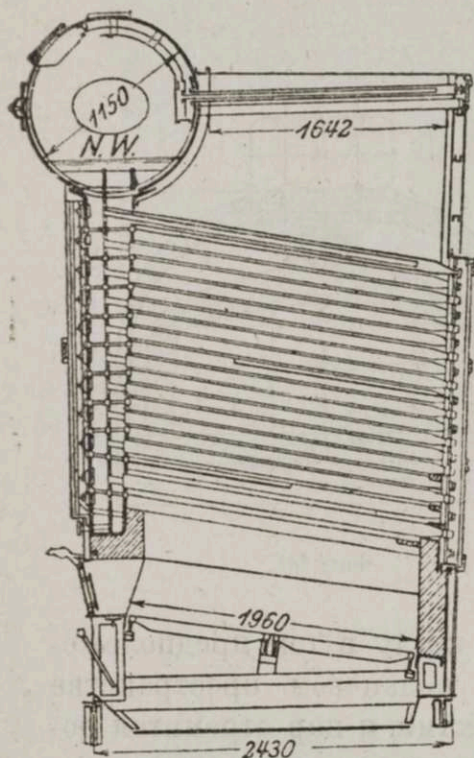


Фиг. 91—92.

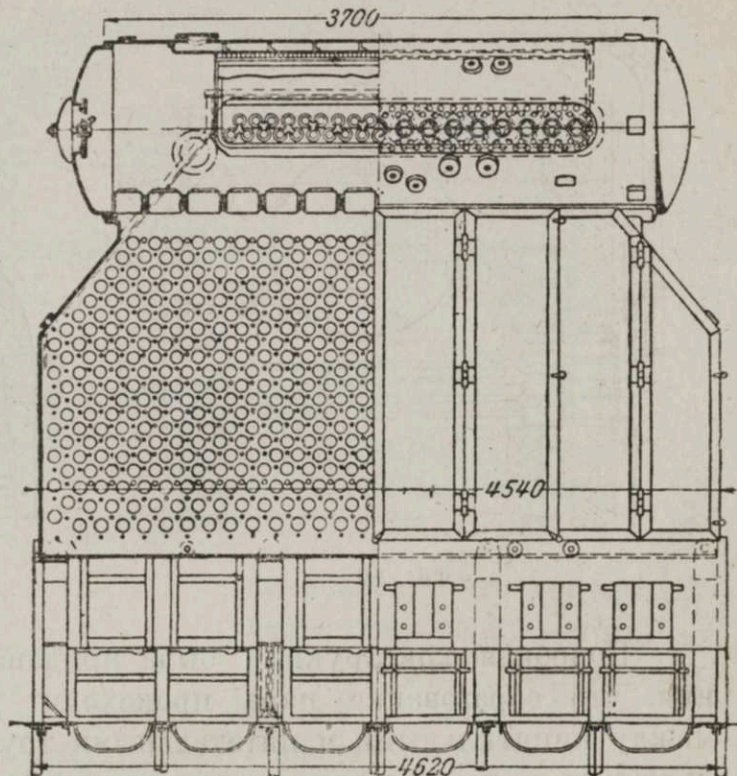
На самом деле явление происходит иначе, как это и будет показано дальше.

Кипяtilьные трубки с свободного конца закрываются коническими пробками (фиг. 112в.). Последние предпочитают фирмой в том случае, когда вода дает мало осадков, при воде же, богатой известью или илом, применяются внешние крышки (фиг. 91—92).

Удобство котла Дюрра и ему подобных в том, что их можно при растопке сильно форсировать, не опасаясь расстроить плотности закреплений трубок, так как последние могут совершенно свободно

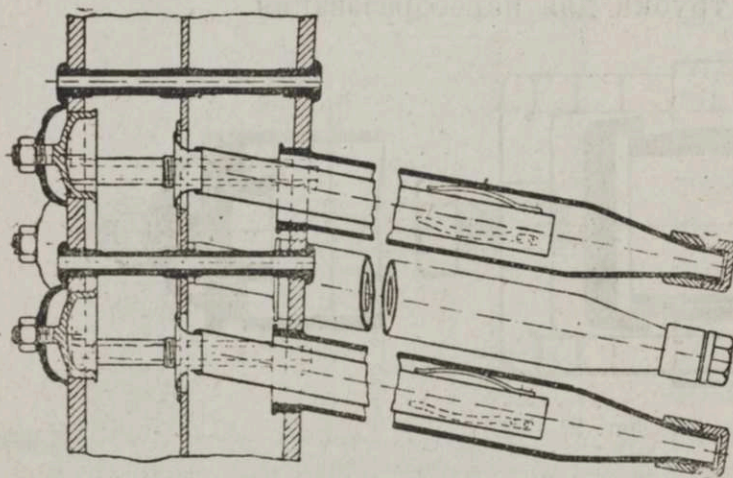


Фиг. 93.



Фиг. 94.

расширяться. Вследствие этого такие котлы в случае надобности можно растопить более быстро, чем водотрубные котлы других систем.



Фиг. 95.

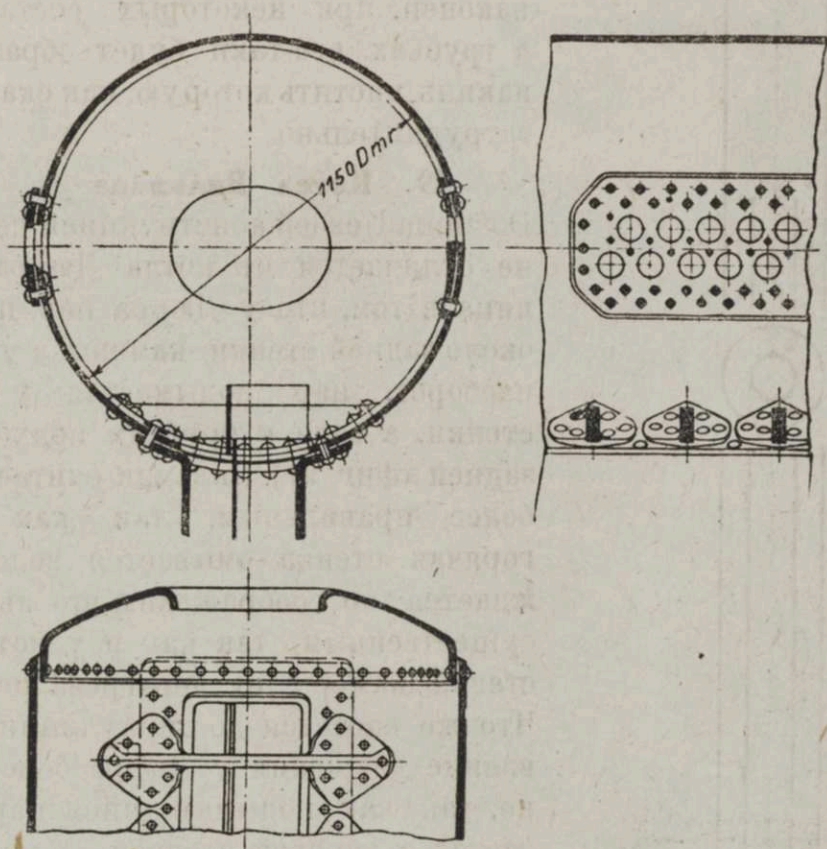
Это свойство бывает очень ценным для котлов военных кораблей, почему там котлы Дюрра и получили большое распространение.

На фиг. 93—94 представлен котел Дюрра для военного крейсера. Трубки верхних рядов имеют 83 мм. в диаметре при толщине стенки в 3 мм., трубки же двух нижних наи-

более близко к огню расположенных рядов имеют больший диаметр в виду более сильного испарения в них. Связи, служащие для укрепления стенок у водяных камер, пустотелые и расчеканены. Для возможности спустить воду из котла в кратчайшее время применявшиеся прежде на концах трубок внутренние пробки заменены здесь

гайками из марганцовистой бронзы. Опорной поверхностью для этих гаек, обуславливающих герметичность закрытия, а также и для направления трубок в решетке, служат железные кольца, навинченные на суженные концы трубок (фиг. 95).

Выполнявшееся в прежних конструкциях просверливание болтов, служившее для сдувания сажи с кипяtilьных трубок, здесь не применено, благодаря чему уменьшился диаметр этих болтов, а также расстояние между трубками, что повлекло за собой некоторую экономию в весе и пространстве. Внутреннее пространство котла очищается от



Фиг. 96.

сажи при помощи сильной тяги воздуха, появляющееся благодаря тому, что в замкнутом котельном помещении при открытом регистре производят вентилятором давление в 50 мм. водяного столба.

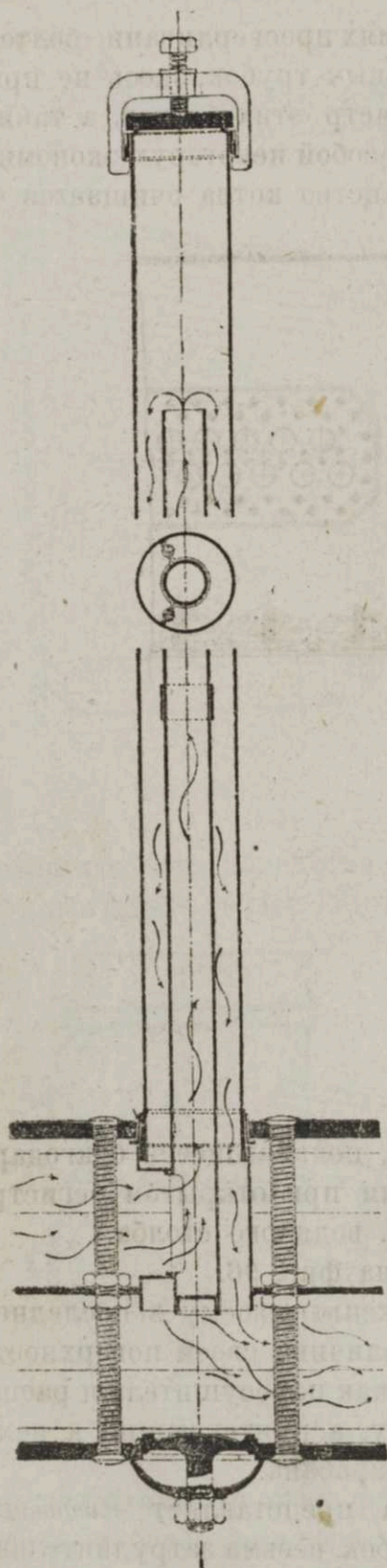
Клепка верхнего котла представлена на фиг. 96.

Перегреватель, который как по положению своему в последнем дымоходе, так и по относительно малой величине своей поверхности нагрева, должен служить, главным образом, как паросушитель и расположен перпендикулярно к верхнему котлу, а притекающий к нему пар отводится из высшей точки верхнего барабана.

По сравнению с другими, котел Дюрра представляет следующие неудобства: при спуске воды и очистке трубок весьма затруднительно снимать большое число колпачков и разбирать перегородку в камере. Колпачки, закрывающие задние концы трубок, делаются внутренние и внешние, как показано на фиг. 91—92. Внешние колпачки удобнее,

так как их можно быстро снять для прочистки трубок или спуска воды; внутренние же колпачки хотя и надежнее, но неудобны, так

как их приходится вынимать через передний конец труб, что сопряжено с большими хлопотами. Энергичного парообразования эти котлы дать не могут, так как выход пара до некоторой степени затруднен встречным током питательной воды, наконец, при некоторых составах воды, в трубках все-таки будет образовываться накипь, чистить которую, как сказано выше, затруднительно.



Фиг. 97.

49. Котел Вильмана (E. Willmann, Dortmund) своей конструкцией почти ничем не отличается от котла Дюрра. Вся разница в том, что у Дюрра пар подымается около задней стенки камеры, а у Вильмана наоборот, пар подымается у передней стенки, а вода к трубкам подходит около задней (фиг. 97). Вильман считает это наиболее правильным, так как наиболее горячая стенка омывается водой и охлаждается; по соображению это является несущественным, так как и у котла Дюрра стенка камеры от перегрева не страдает. Что же касается до циркуляции, то направление движения у Дюрра более правильно, так как поднимающийся пар соприкасается с горячей стенкой, а двигающаяся вниз вода—с более холодной.

Почти такую же конструкцию, как и котлы Дюрра, имеют котлы **Никлосса** (Niclausse, Paris), очень распространенные во французском флоте. Главное отличие их состоит в том, что вместо передней общей камеры, у Никлосса трубки закрепляются в отдельные вертикальные камеры, при чем каждая камера объединяет два ряда кипяtilьных трубок. Котел Никлосса должен быть отнесен, как описанный ниже котел Бабкока и Вилькокса, к группе котлов секционных.

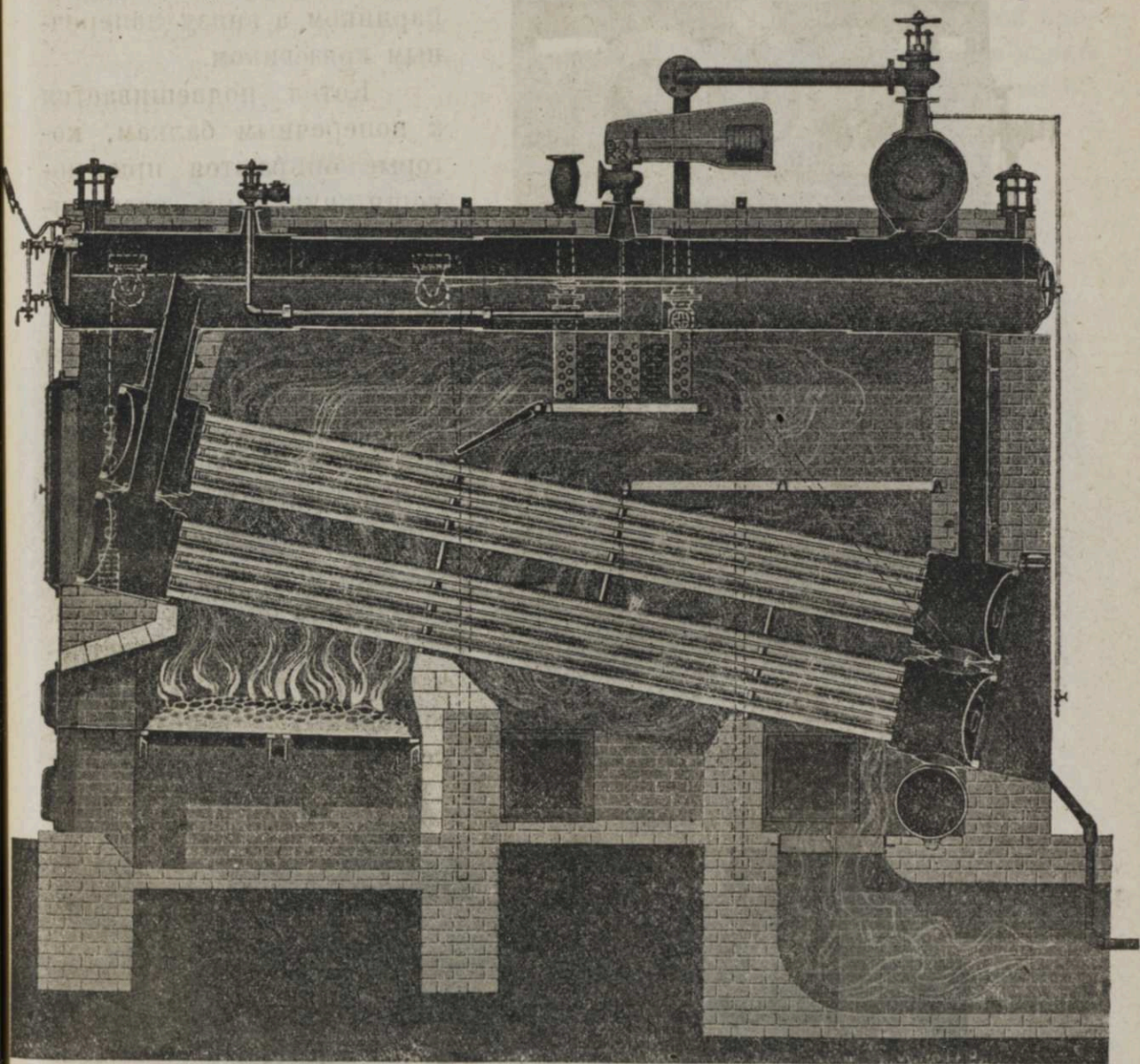
Такой же конструкции являются котлы **Адамсона** (Adamson, Vickers Maxim, Sheffield) и котлы **Жуайя** (Joya, Grenoble).

Описание еще некоторых других разновидностей горизонтальных

водотрубных котлов приведено в главе о перегревателях, совместно с описанием систем перегревателей.

50. Котел Шухова. У нас в России большое распространение получил котел системы инженера В. Г. Шухова (фиг. 98—100), исполняемый заводом А. В. Бари в Москве.

Кипятильные трубки собраны в пучки, по 19 или 28 трубок, и каждый пучок на переднем и заднем конце снабжен камерой,

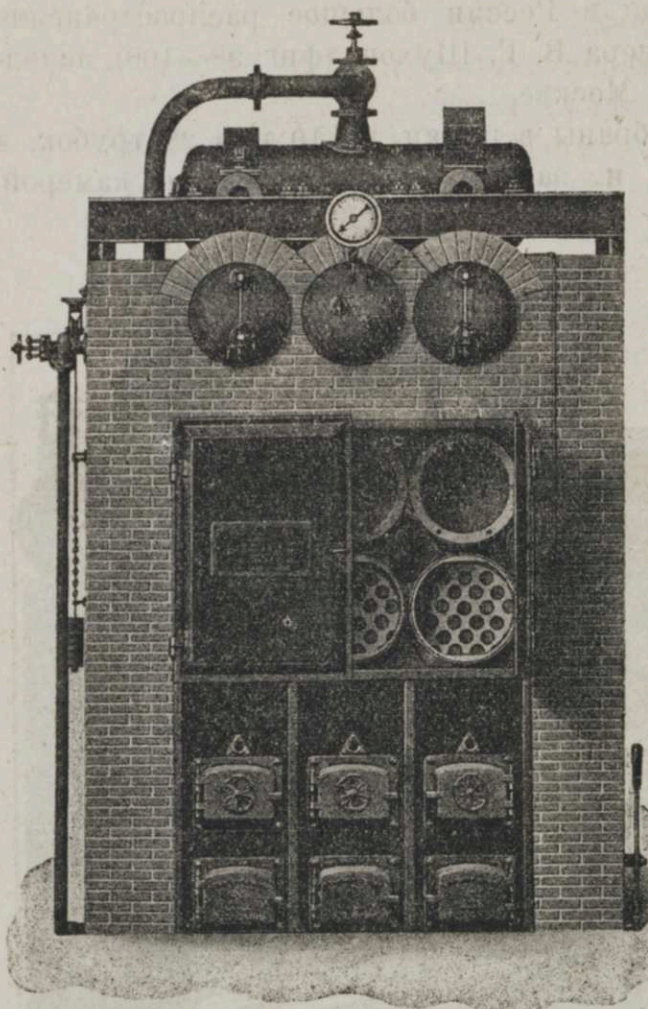


Фиг. 98.

имеющей форму короткого цилиндра. Такие элементы располагаются по высоте котла в количестве не более двух, а по ширине его, в зависимости от величины поверхности нагрева,—в количестве одного, двух, трех и четырех.

Камеры верхнего и нижнего пучка соединяются между собою штампованными фланцами помощью болтов, при чем последние находятся в водяном пространстве и не подвергаются действию огня. Такого же типа соединение применяется иногда и для прикрепления

передней камеры верхнего пучка к верхнему барабану. Но чаще передняя камера так же, как и задняя, соединяется с верхним барабаном помощью подтрубков.

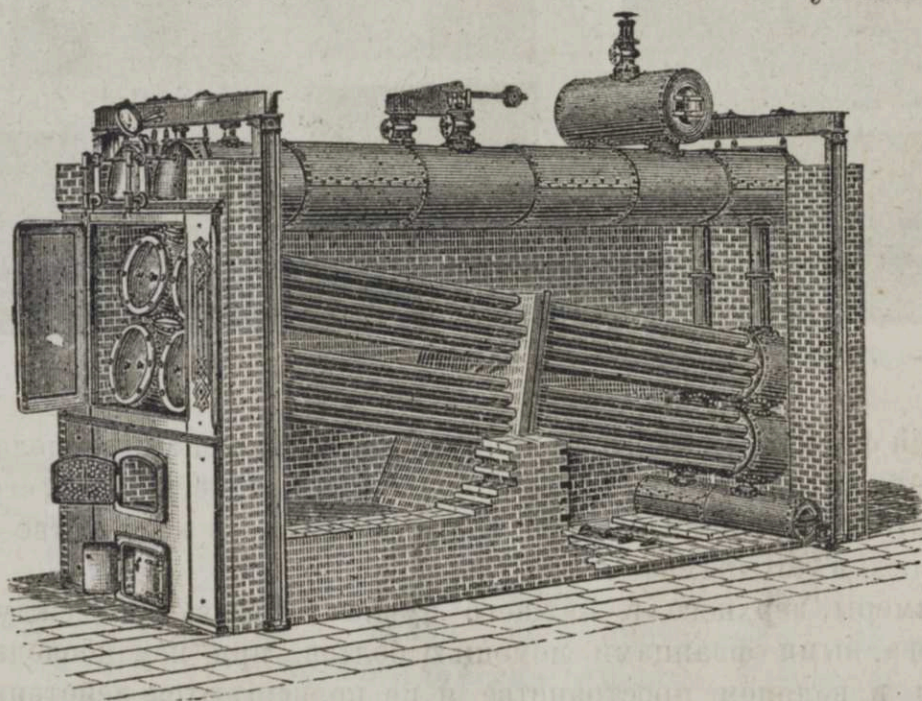


Фиг. 99.

Если рядом ставится несколько горизонтальных барабанов (2 или 3), то наверху они соединяются общим поперечным сухопарником, а внизу поперечным грязевиком.

Котел подвешивается к поперечным балкам, которые опираются при помощи чугунных соединительных башмаков на вертикальные двутавровые колонны; эти колонны служат вместе с тем и укреплением кладки. При таком способе подвеса котел при нагревании может свободно расширяться, не вызывая внутренних напряжений.

Достоинство котла: — отсутствие плоских стенок большого размера, встречающихся в других „горизонтальных“ водотрубных котлах и уменьшающих

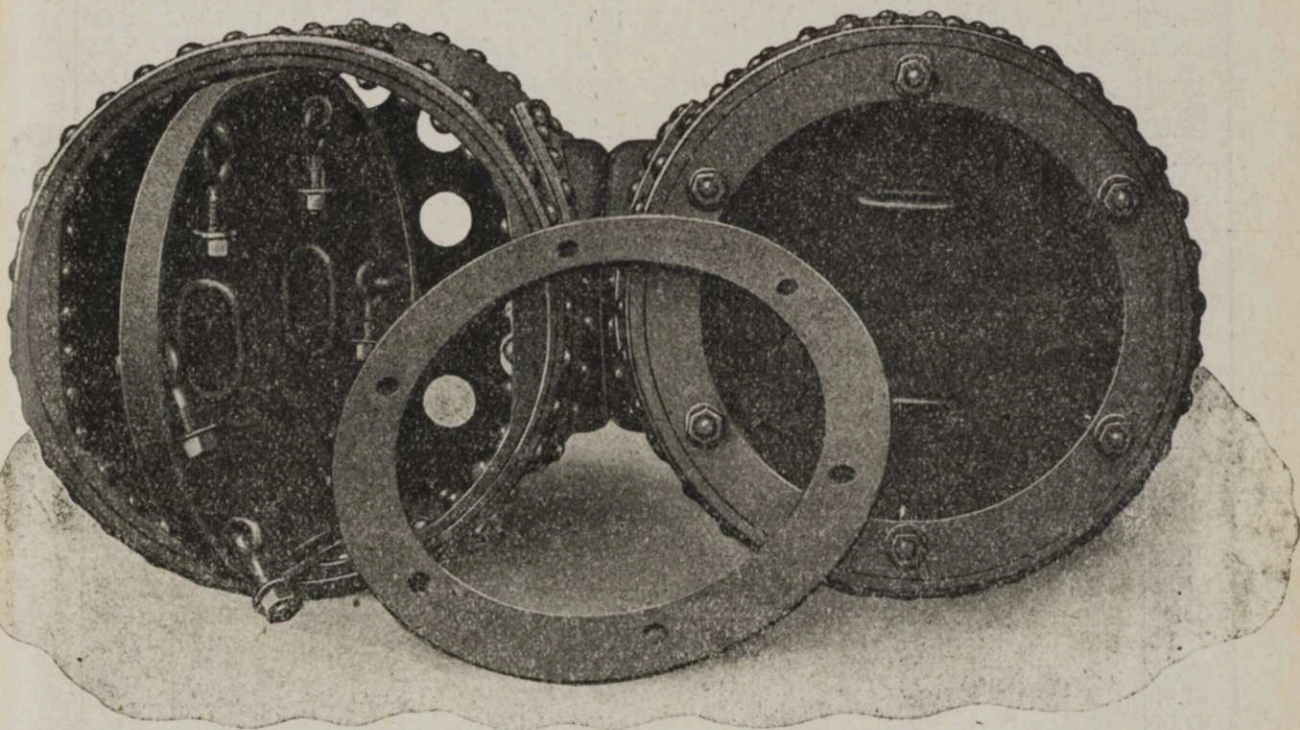


Фиг. 100.

безопасность работы котла. Открытием одного люка получается доступ сразу к 19 или, смотря по типу, к 28 трубкам, что вносит значительное облегчение при чистке котла, так как не приходится иметь дела с большим числом малых люков; благодаря этому же оказывается возможным без особых неудобств поставить трубки меньшего диаметра, которые способствуют лучшей циркуляции.

Фиг. 101 дает ясное представление об устройстве люков, замыкающих камеры и о способе их установки и закрепления.

Для своих котлов нормально завод Бари употребляет трубки диаметром в 75 мм. (3"), но во многих случаях заводом Бари установлены котлы с диам. труб 2", при чем число их в каждом пучке равно 37.



Фиг. 101.

При нормальной работе с одного квадратного метра пов. нагрева можно снимать, смотря по топливу, степени разрежения и условиям эксплуатации от 14 до 35 килогр. пара в час.

Котел Шухова за последние годы претерпел ряд изменений. Для улучшения циркуляции передняя камера нижнего пучка соединена трубой непосредственно с верхним барабаном (фиг. 98), так что потоки верхнего и нижнего пучков по пути не смешиваются и не мешают друг другу. Завод А. В. Бари строит котлы Шухова еще в несколько усложненной конструкции. Именно, в задней половине с верхними барабанами соединяются не верхние камеры, а нижние, для чего непосредственно под верхними барабанами располагается один поперечный барабан, соединенный с ними при помощи падтрубков. От этого поперечного барабана идут вниз по обеим сторонам камер две трубы, соединяющиеся тоже с поперечным барабаном-грязевиком, — а этот последний уже соединяется с камерами нижних пучков. Эта конструкция

Таблица 18 к фиг. 98—100.

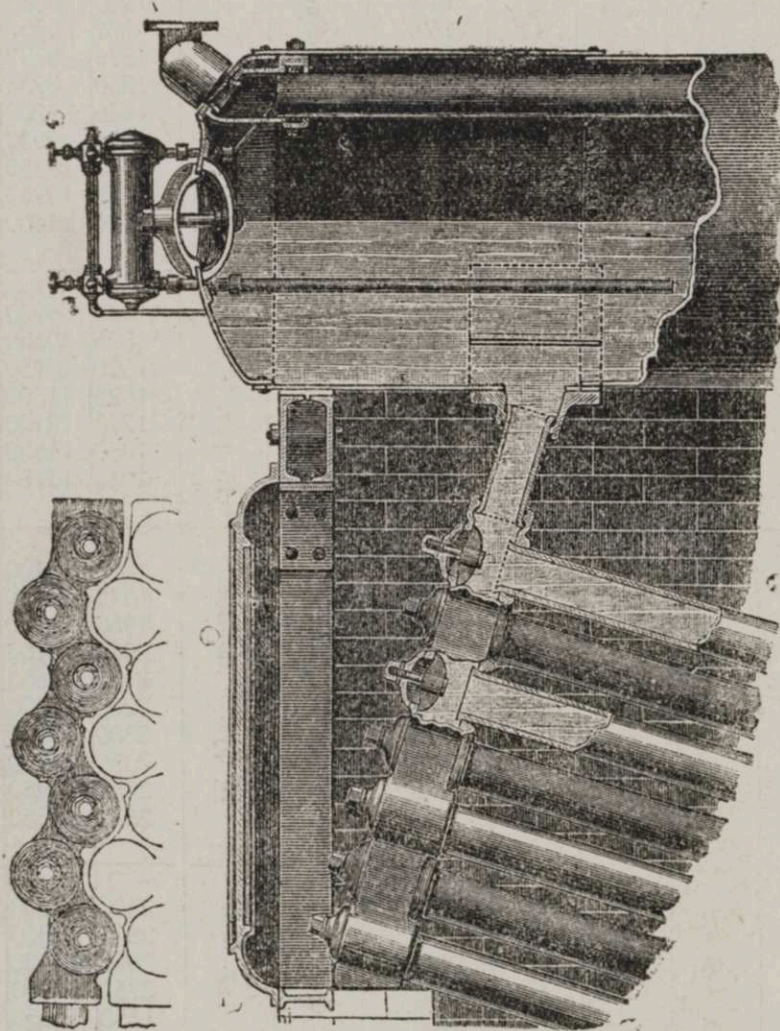
По- верхн. нагр.	Б а р а б а н ы.			Б а т а р е и.			Место, заним. котлом.			Число кирп.	
Метры.	Число.	Диаметр.	Длина.	Число ба- тарей.	В каждой батареи.	Длина тру- бок.	Длина.	Ширина.	Высота, включая сухопар.	Огнеупор- ных.	Красных.
16.70	1		14'	1		10'	15'			1100	8050
18.55	1		15'	1		11'	16'			1175	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'	6 футов 6 дюймов.	12 футов 6 дюймов.	1750	11400
30.65	1		15'	2		10'	15'6''			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''	6 футов 6 дюймов.	15 футов 2 дюйма.	2200	14440
61.30	2		15'	4		10'	15'6''			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''	8 футов 10 дюймов.	15 футов 2 дюйма.	2525	15550
119.85	3		18'	6		13'	18'6''			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''	11 фут. 2 дюйма.	15 фут. 2 дюйма.	2975	16100
171.85	4		19'	8		14'	19'6''			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''	13 фут. 6 д.	15 фут. 2 д.	3450	16950
229.90	5		20'	10		15'	20'6''			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''	15 фут. 10 д.	15 фут. 12 д.	4400	17700

Таблица 19 к фиг. 98—100.

По- верхн. нагр.	Б а р а б а н ы.			Б а т а р е и.			Место, заним. кирп. кладк. котлов.			Число кирпичей.	
	Число.	Диаметр.	Длина.	Число батареи.	В каждой батареи.	Длина труб.	Длина.	Ширина.	Высота.	Огнеупор.	Красных.
20.90	1		13'	1		9'	13'8"	6 футов 6 дюймов.	12 ф у т о в.	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'	1		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
					3 д ю й м а.						
43.20	1		15'	2		10'	15'6"	6 фут. 6 дюймов.	15 фут. 9 дюйм.	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
					28 т р у б д и а м е т р о м						
78.00	2		14'	4		9'	14'6"	8 фут. 10 дюймов.	15 фут. 9 дюймов.	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
					28 т р у б д и а м е т р о м						
179.05	3		18'	6		13'	18'6"	11 фут. 2 д.	16 фут. 3 д.	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"	13 ф. 6 д.	16 ф. 3 д.	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'	23'6"			3450	16950
					28 т р у б д и а м е т р о м						
326.15	5		20'	10		15'	20'6"	15 ф. 10 д.	16 ф. 3 д.	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		23'	10		18'	23'6"			4400	17700

имеет в виду осаждать часть выделившихся из раствора солей и механическую примесь в грязевике с тем, чтобы ослабить образование накипи в трубках. Кроме того, при такой конструкции надо ожидать, что скорость течения воды будет несколько больше в нижних рядах трубок, подвергающихся в области топки большому нагреванию. Установленные такой конструкции котлы, хотя и дают лучшие результаты, но сравнительно большая стоимость препятствует их распространению.

В настоящее время, отвечая запросам техники, заводом выработаны еще новые варианты котла системы Шухова.



Фиг. 102.

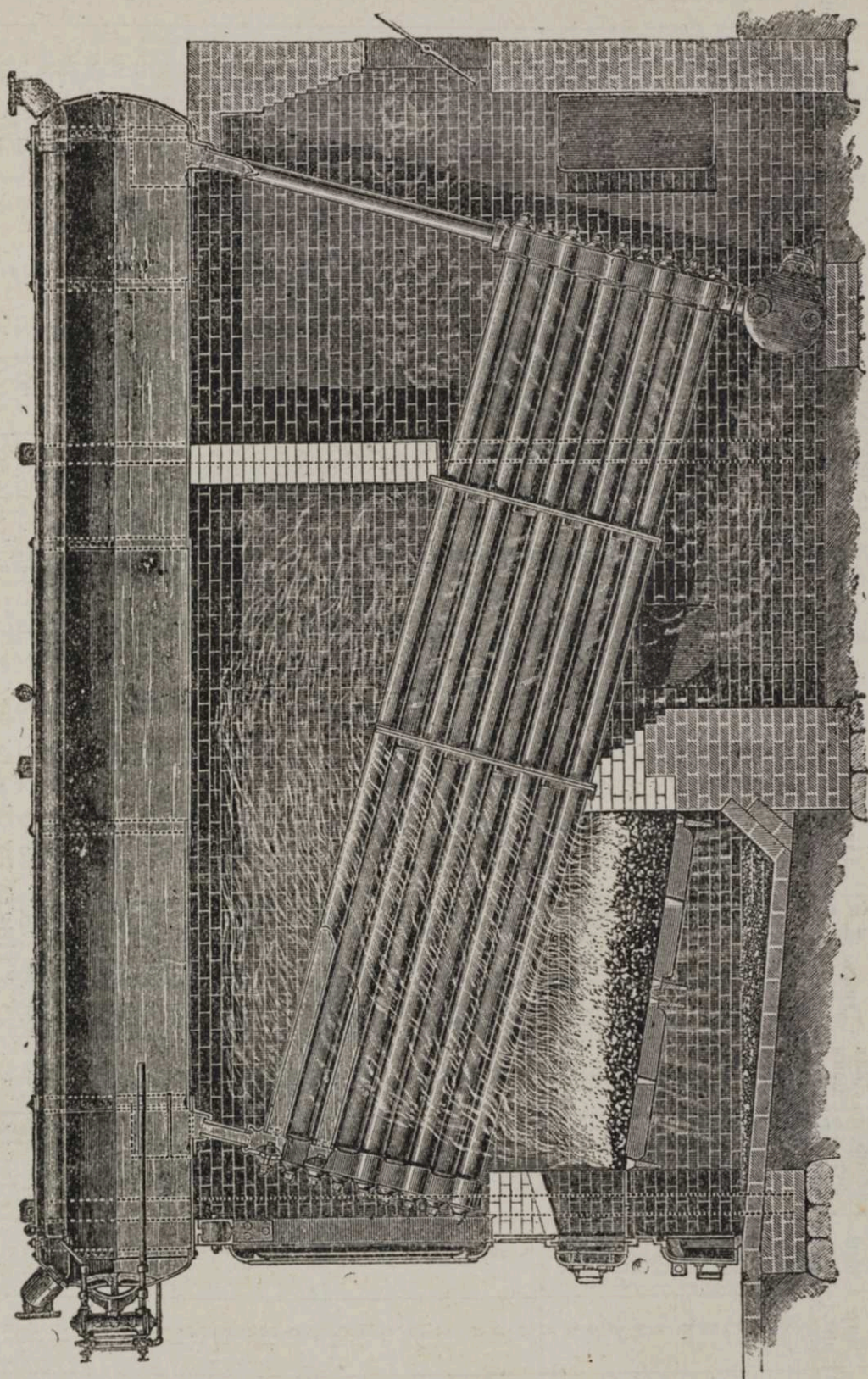
Так, для случаев, где необходимо считаться с колебаниями в расходе пара, емкость котла увеличена. Вместо двух верхних барабанов малого диаметра (650 мм.) в двубатарейном котле ставится один — большого диаметра (около 1360 мм.).

Затем, желая сделать котел способным на большую форсировку, завод разработал вариант с большим против обычного ($1/4$ или около 11°) уклоном трубок. Последний взят равным $1/2$ или приблизительно 26° . При этом отдельные для каждой батареи верхние барабаны заменены одним общим поперечным.

В этом варианте увеличена средняя высота топочной камеры, что отвечает требованию давать свободу развития пламени. Увеличенный уклон трубок способствует более быстрому освобождению образовавшегося пара.

В заключение описания котла Шухова остается упомянуть, что при пучках из 28 трубок последние располагаются не в вершинах равноностороннего треугольника, как это делается при 19 трубках, а в вершинах равнобедренного треугольника с углом при основании 51° .

В этом случае расстояние между стенками трубок вдоль основания треугольника оказывается вдвое больше, нежели вдоль его боковых сторон. При таком расположении трубок угол обхвата поверхности трубки



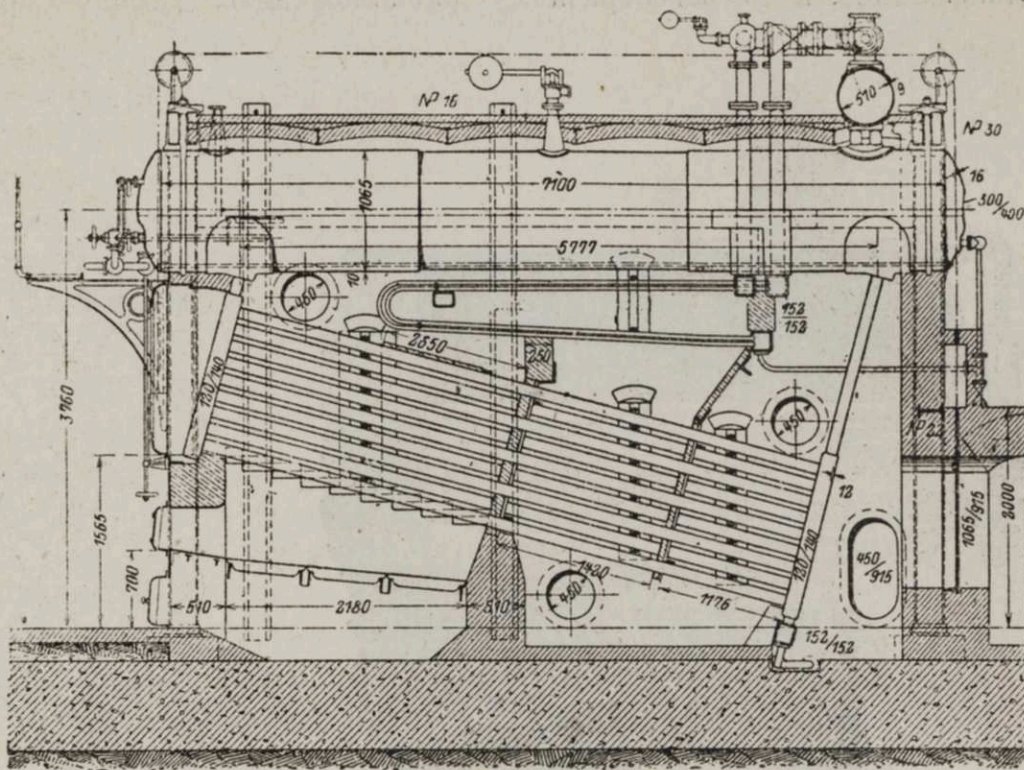
Фиг. 103.

потоками газов увеличился и уменьшилось мертвое пространство, где обычно отлагается зола и в тоже время проход для газов не претерпевает никакого сужения.

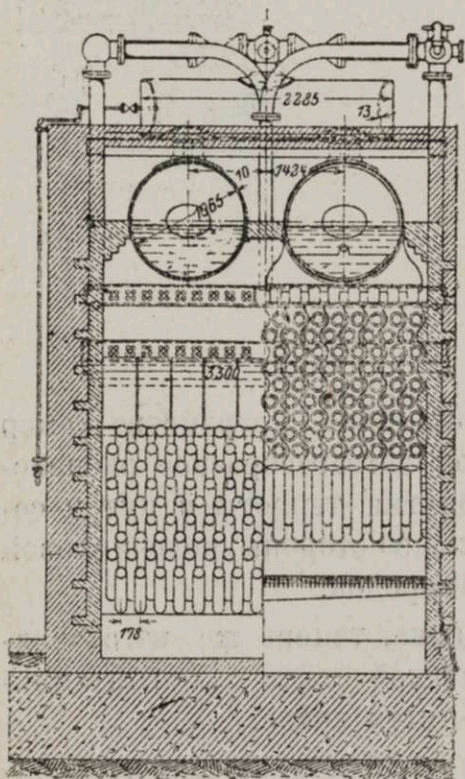
Таблица 10, к фиг. 108. Наиболее употребительные размеры котлов завода К^о Бабкок и Вилькок.

№	Норм. маля. испар. в час.	РАЗМЕРЫ.				Прибыль в пиптах.	Занимаемое место с кирпичною кладкою.			Потребное число кирпичей.	Предохранительные клапаны.		Паров. клапан.	Площ. колосников. решет.	Поверхность нагретая.					
		Трубы.		Цилиндров.	Длина.		Ширина.	Вышина.	Число.		Диам.									
		В шир. шт.	В выс. шт.									Длина фут.				Число.	Диам.			
1	136	3	4	6	1	24	10' 3"	175	9' 6"	4'	5"	×	8' 13 3/4"	2,200	800	1 двойной.	2"	2 1/2"	0,48	11,07
2	177	3	4	8	1	24	12' 4"	200	11' 6"	4'	5"	×	8' 13 3/4"	2,700	900	"	2"	2 1/2"	0,58	11,15
3	204	3	5	8	1	24	12' 4"	215	11' 6"	4'	5"	×	9' 43 1/4"	2,800	1,000	"	2"	2 1/2"	0,68	16,83
4	272	3	5	10	1	24	14' 5"	240	13' 6"	4'	5"	×	9' 43 1/4"	3,200	1,200	"	2"	2 1/2"	0,77	20,37
5	341	4	5	10	1	30	14' 8"	275	13' 6"	5'	0"	×	9' 11 1/2"	3,400	1,200	"	2"	3"	0,99	27,25
6	409	4	5	12	1	30	16' 7"	305	15' 6"	5'	0"	×	9' 11 1/2"	3,800	1,500	"	2"	3"	0,99	27,25
7	477	4	6	12	1	30	17' 2"	330	16' 0"	5'	8"	×	11' 51 1/2"	6,000	1,800	"	2"	3"	0,99	31,90
8	545	4	6	14	1	30	17' 2"	360	19' 0"	5'	8"	×	11' 51 1/2"	7,500	2,000	"	2 1/2"	3"	1,11	37,29
9	627	4	7	14	1	30	19' 3"	380	19' 0"	5'	8"	×	11' 11 1/4"	8,700	2,000	"	2 1/2"	3"	1,24	42,75
10	708	4	8	14	1	30	19' 3"	400	19' 0"	5'	8"	×	12' 53 1/4"	9,000	2,000	"	2 1/2"	3 1/2"	1,24	49,92
11	872	5	8	14	1	36	19' 3"	465	19' 0"	6'	3"	×	12' 11 1/4"	9,200	2,000	"	3"	3 1/2"	1,24	55,15
12	1035	6	7	16	1	36	21' 4"	550	21' 0"	6'	10"	×	12' 11 1/4"	10,000	2,200	"	3"	4"	1,52	68,36
13	1171	6	8	16	1	36	21' 4"	565	21' 0"	6'	10"	×	13' 0 1/2"	11,000	2,200	"	3 1/2"	4"	1,78	80,91
14	1308	6	9	16	1	36	21' 4"	600	21' 0"	6'	10"	×	13' 6 1/2"	11,000	2,400	"	3 1/2"	4"	1,78	91,44
15	1444	6	9	18	1	36	23' 7"	665	23' 0"	7'	5"	×	14' 1 1/2"	12,600	2,500	"	4"	4"	2,14	102,11
16	1498	7	8	18	1	36	23' 7"	690	23' 0"	7'	5"	×	13' 7 1/2"	12,600	2,500	"	4"	5"	2,14	113,27
17	1675	7	9	18	1	36	23' 7"	740	23' 0"	7'	5"	×	14' 1 1/2"	13,000	2,500	"	4"	5"	2,46	117,76
18	1689	7	9	18	1	42	23' 7"	770	23' 0"	7'	5"	×	14' 1 1/2"	13,000	2,600	"	4"	5"	2,46	131,22
19	1901	8	9	18	1	42	23' 7"	860	23' 0"	8'	0"	×	14' 8 3/4"	13,000	2,600	"	4"	6"	2,46	132,62
20	2070	12	7	16	2	36	21' 4"	1030	21' 0"	10'	4"	×	15' 6 1/2"	13,200	2,800	2 одинарных.	4"	6"	3,40	150,58
21	2110	8	10	18	1	42	23' 7"	900	23' 0"	8'	0"	×	15' 23 1/4"	13,000	2,700	1 двойной.	4"	6"	3,11	161,91
22	2343	12	8	16	2	36	21' 4"	1100	21' 0"	10'	4"	×	15' 3"	13,000	2,700	"	4 1/2"	6"	3,11	166,29
23	2615	12	9	16	2	36	21' 4"	1070	23' 0"	10'	4"	×	16' 0 1/2"	13,200	3,000	"	4 1/2"	6"	3,11	169,91
24	2887	12	9	18	2	36	23' 7"	1125	21' 0"	10'	4"	×	15' 9"	13,000	3,000	2 одинарных.	4 1/2"	6"	3,40	182,84
25	2996	14	8	18	2	36	23' 7"	1225	23' 0"	10'	4"	×	16' 1 1/2"	13,500	3,000	1 двойной.	4 1/2"	6"	3,62	186,72
26	3184	12	10	18	2	36	23' 7"	1300	23' 0"	11'	6"	×	16' 6 1/2"	13,500	3,200	2 одинарных.	5"	6"	4,09	204,32
27	3378	14	9	18	2	36	23' 7"	1270	23' 0"	11'	6"	×	17' 3 1/4"	14,000	3,200	"	5"	7"	4,09	226,64
28	3725	14	10	18	2	42	23' 7"	1350	23' 0"	11'	6"	×	16' 13 1/4"	14,000	3,300	2 двойных.	4"	7"	4,74	235,38
29	3835	16	9	18	2	42	23' 7"	1450	23' 0"	11'	6"	×	17' 13 1/4"	14,000	3,300	"	4"	7"	4,74	250,00
30	4245	16	10	18	2	42	23' 7"	1510	23' 0"	12'	8"	×	17' 13 1/4"	15,000	3,600	"	4"	7"	4,74	262,54
31	4327	18	9	18	2	42	23' 7"	1635	23' 0"	12'	8"	×	17' 7 3/4"	16,000	4,000	"	4 1/2"	7"	4,74	265,24
32	4762	18	10	18	2	48	23' 7"	1730	23' 0"	13'	10"	×	17' 13 1/4"	16,000	4,000	"	4 1/2"	7"	5,39	292,00
33	5650	18	12	18	2	48	23' 7"	2120	23' 0"	13'	10"	×	18' 13 1/4"	16,500	4,500	"	4 1/2"	7"	5,39	301,00
34	6560	18	14	18	2	48	23' 7"	2365	23' 0"	13'	10"	×	19' 7 3/4"	17,000	4,500	"	5"	7"	7,06	333,00
								2550	23' 0"	13'	10"	×	20' 7 3/4"	17,000	4,500	"	5"	7"	7,06	340,00
																			7,06	374,00
																			7,06	444,00
																			7,06	515,00

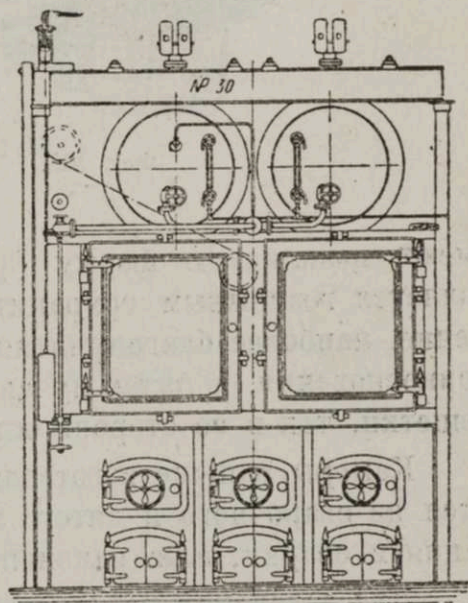
51. Котел Бабкока и Вилькокс (фиг. 102—109 и фиг. 111—112).
Котлы этой фирмы отличаются прекрасной работой во всех деталях, почему они и получили громадное распространение.



Фиг. 104.



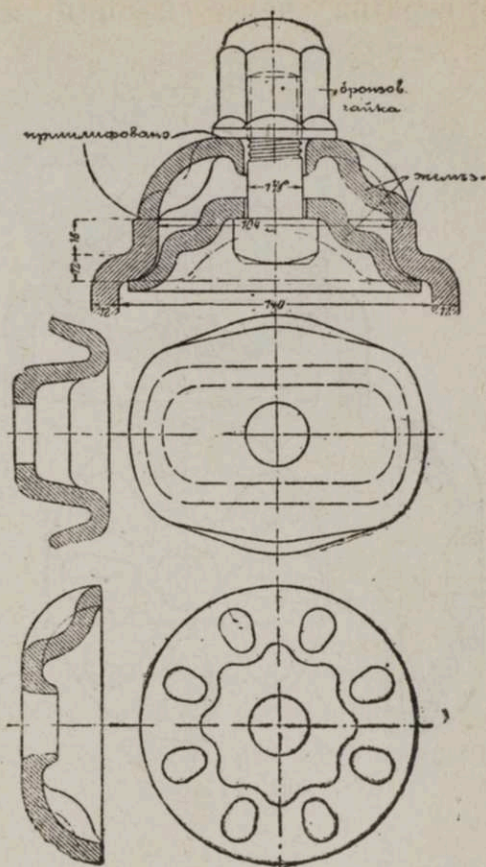
Фиг. 105.



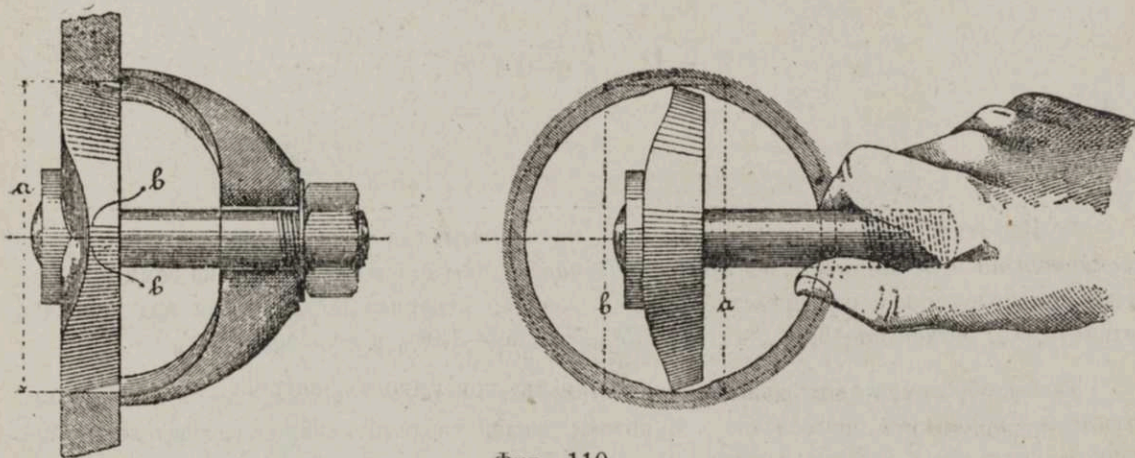
Фиг. 106.

Трубки в камерах закрепляются *только раскаткой* ¹⁾. Против каждой трубки в камере имеется небольшой люк, закрывающийся крышкой, притягиваемой болтом (фиг. 109). Полное уплотнение достигается обработкой поверхностей и смазыванием их слегка суриком, *без всякой прокладки* ²⁾.

Каждая группа трубок (секция) соединяется с верхним барабаном при помощи короткой трубки, с переднего конца, и длинной—с заднего конца. Соединительные трубки раскатываются с одной стороны в отверстия, сделанном в верхней части камеры, а с другой—в особом придатке, (фиг. 112) т. н. кармане, верхнего барабана. Точно также соединяется с камерами грязевик, расположенный внизу, сзади котла. В боковых стенах кладки оставляются продолговатые в вертикальном направлении



Фиг. 109.



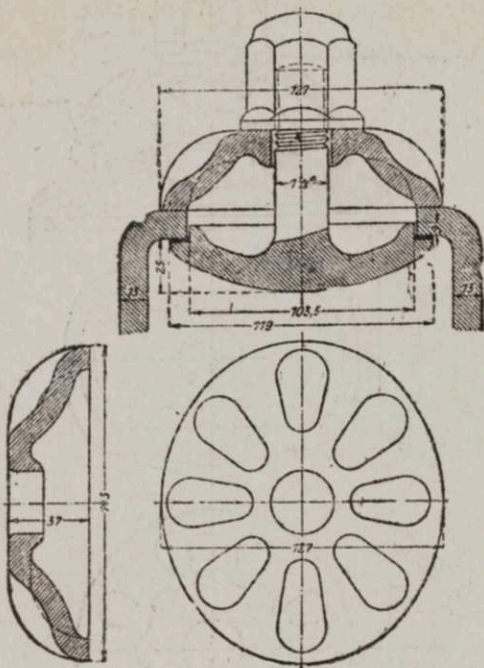
Фиг. 110.

¹⁾ Некоторыми закрепление труб только одной раскаткой признается недостаточной. Так напр., Гартфордское Общество по надзору за паровыми котлами требует, чтобы при больших давлениях трубы выступали из мест закрепления на 6 мм. 10 м. и выступающий конец был расширен в виде конуса на 3 мм. больше, чем диаметр самой трубы. (Locomotive, May—1902).

²⁾ Некоторые заводы (Симонис и Ланц) для закрывания люков употребляют конические крышки, представленные на фиг. 110. Как видно; крышка срезана с двух сторон, и на краях люка имеются тоже вырезы, через которые крышка может пройти, затем ее поворачивают около оси на 90 гр. и вставляют в конус.

На фиг. 111 изображены люки овальной формы, применяемые иногда в котлах Бабкока и Вилькокса. Способ вставления крышки понятен из самой конструкции ее. Болт в этом случае, как и в большинстве других конструкций, оказывается разгруженным.

отверстия, через которые можно производить очистку трубок от сажи, направляя на них струю пара. Трубки поставлены наклонно (уклон $\frac{1}{4}$) для того, чтобы образующийся в них пар двигался легче к переднему концу и затем к выходу в барабан.



Фиг. 111.

Ставить более 9 трубок в вертикальном направлении не следует; увеличивать же размер котла следует расположением большого числа труб в горизонтальном направлении. Такое размещение трубок имеет себе полное оправдание в опытах, произведенных Уаттом ¹⁾.

На [фиг. 113—115 представлен котел Бабкока и Вилькокса для морских пароходов ²⁾.

В заключении этого обзора „горизонтальных“ водотрубных котлов не будет лишним привести практиче-

скую формулу для определения диаметра верхнего барабана (в метрах):

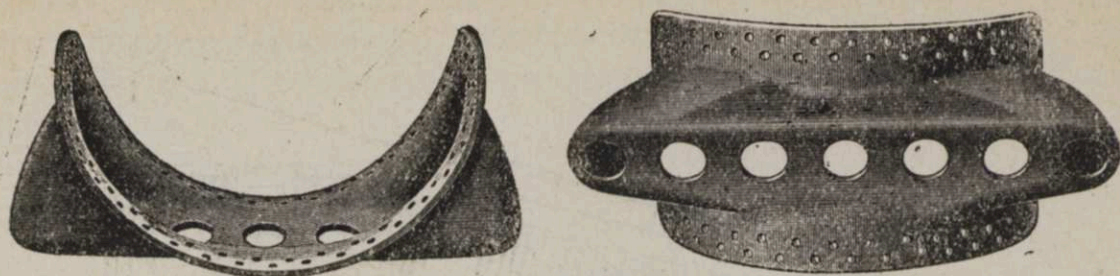
$$d = \sqrt{\frac{H}{A}} + 0,4 \text{ м.},$$

¹⁾ Из этих опытов оказывается, что *испарительная способность трубок сильно изменяется по мере того, как их положение удаляется от топки*. Так, из семи трубок—первая, расположенная непосредственно над топкой, испарила 60%, вторая над ней 24%, третья—9,5%, четвертая—3,5%, пятая—1,5%, шестая—1,0% и седьмая—0,5%.

Таким образом, *парообразование происходит главным образом в нижних трубках, верхние же почти не дают пара*. И потому, желая увеличить парообразовательную способность котла, мы должны увеличивать поверхность нагрева, помещая больше трубок в горизонтальном направлении. Если же мы будем прибавлять трубки по направлению кверху, и соответственно с увеличившеюся поверхностью котла, будем требовать от него больше пару, то придем к плохим результатам, так как все излишнее количество пара будет опять, главным образом, получаться в нижних трубках и, следовательно, они окажутся переполненными паром, не будут в состоянии отвести его прочь, вследствие чего скоро перегреются и перегорят.

Из тех же опытов Уатта оказалось, что *чем больше диаметр трубок, тем равномернее распределяется парообразование в них* и, следовательно, при той же общей поверхности нагрева можно выпарить большее количество пара, без вреда для нижнего ряда трубок. (Engineering, April, 1896, стр. 45).

²⁾ В отделе пароперегревателей помещен конструктивно более полный чертеж такого котла.

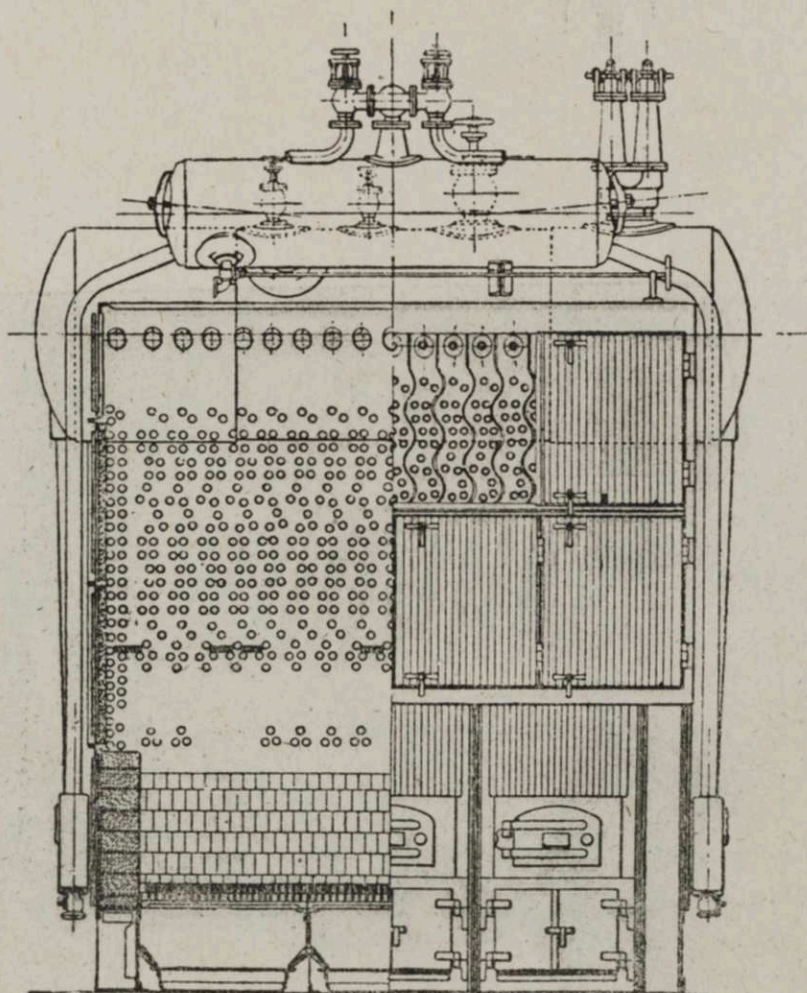


Фиг. 112.

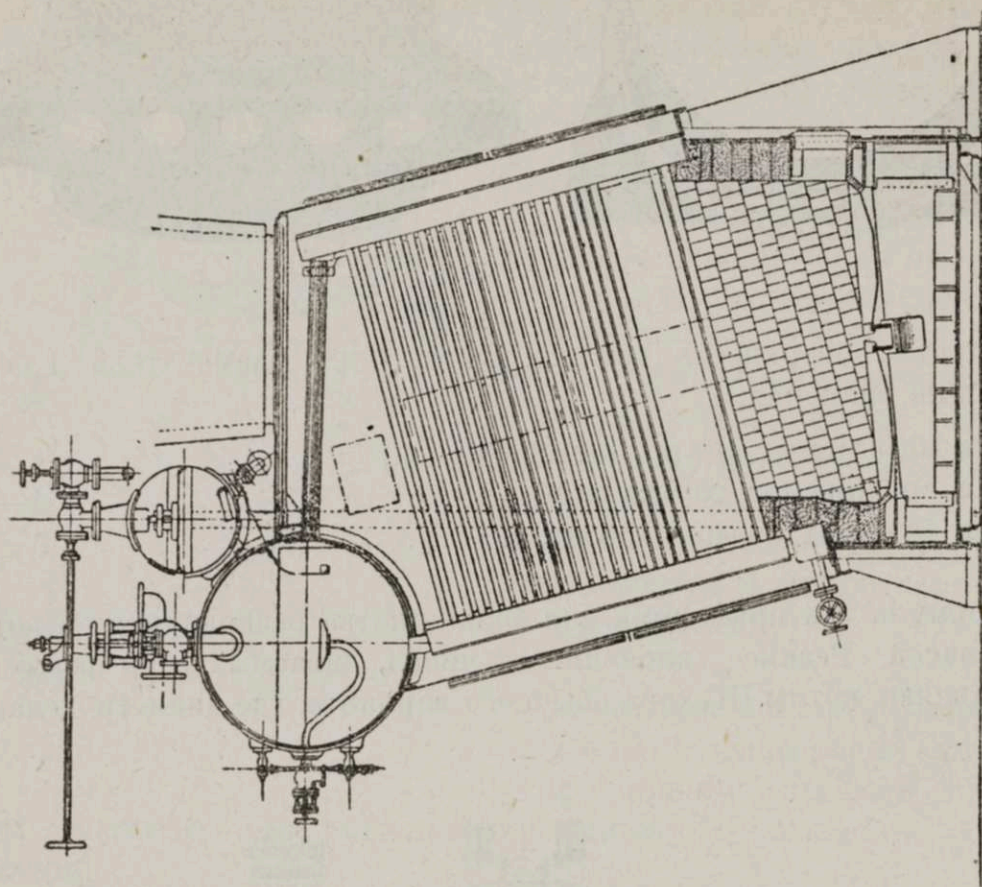
где H есть поверхность котла в кв. м., а для знаменателя A берут следующие значения:

для небольших котлов (до 100 кв. м.)	$A - 100$
для средних (до 250 кв. м.)	$A - 150$
для больших (свыше 250 кв. м.)	$A - 200$

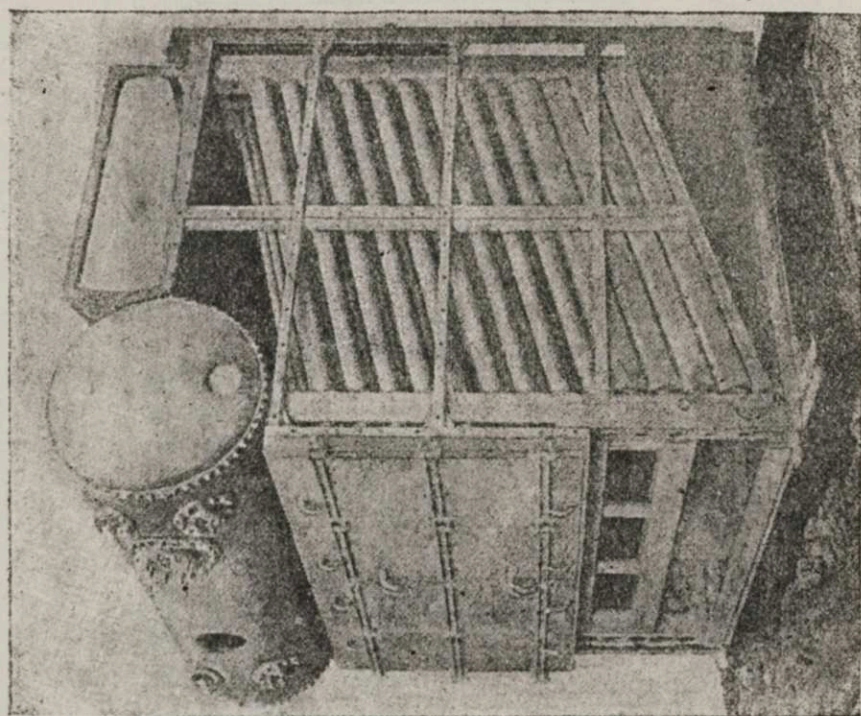
Формула эта применима для большинства разновидностей котлов этого класса. Резкие отклонения от чисел, даваемых этой формулой, представляют котлы Шухова обычного варианта, где диаметр делается



Фиг. 113.



Фиг. 114.



Фиг. 115.

равным 650 мм. и котла Бобкока и Вилькокса, где есть основания брать диаметр барабана по возможности малым, чтобы избежать больших размеров для кармана, представляющего относительно слабую часть котла.

Таблица 21, к фиг. 104—106.

Поверхность нагрева. кв. м.	Водяные трубки. Уклон 15°.				Верхний барабан.			Размеры кладки.		
	Число горизонт. рядов.	Число трубок в гориз. ряду.	Длина трубок. мм.	Внутрен- ний и внешний диаметры трубок. мм.	Число бара- банов.	Диаметр. 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

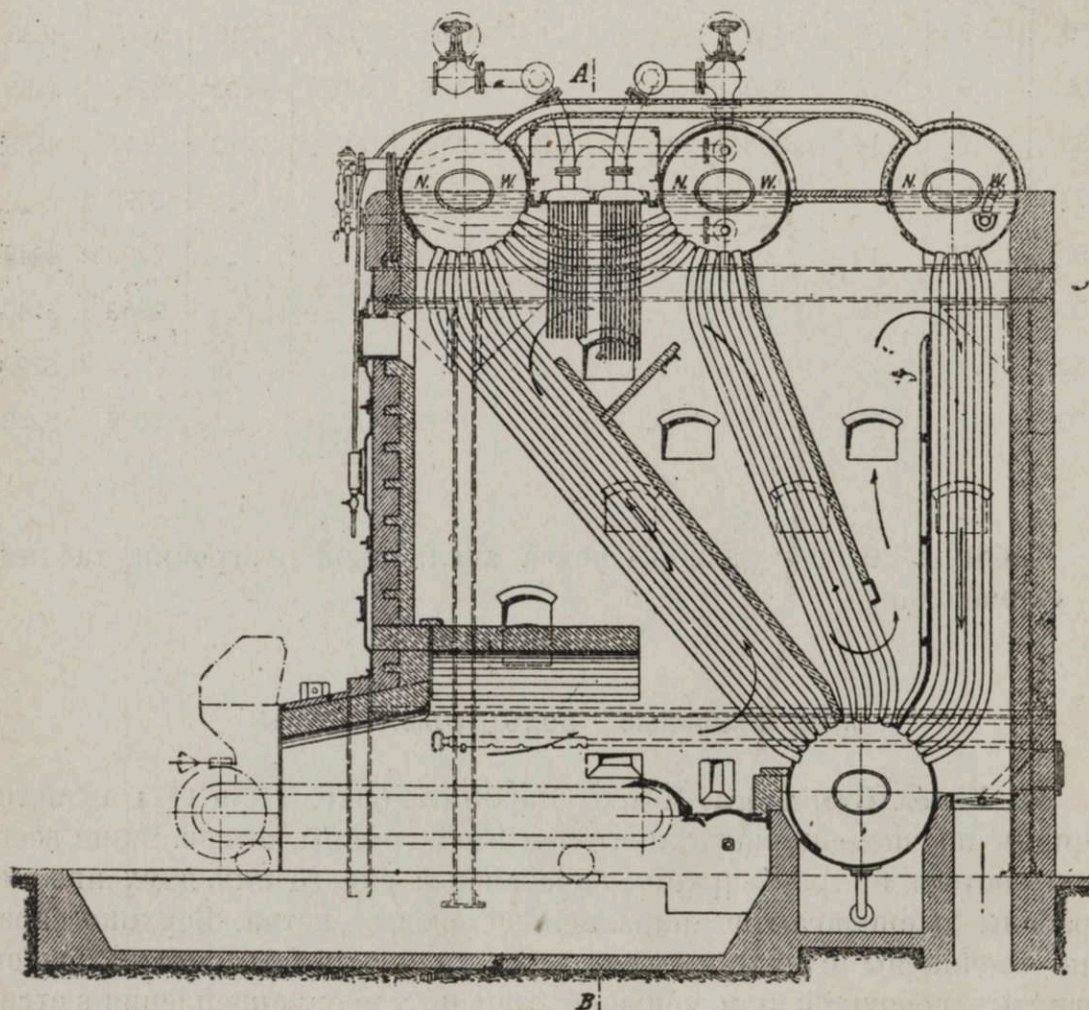
Таблица 20 дает размеры котла английской постройки, таблица 21—германской.

„Вертикальные“ водотрубные котлы.

52. Котел Стэрлинга. Котел Стэрлинга (фиг. 116 и 117) является старшим по времени представителем этой группы котлов. Чаще всего котел состоит из трех верхних барабанов и одного или двух нижних. Барабаны располагаются параллельно фронту котла. Верхние барабаны соединены с нижним (или с двумя нижними) пучками трубок изогнутых в большой или меньшей степени у мест закрепления в стенках барабанов согласно требованиям, имеющим в виду надежность

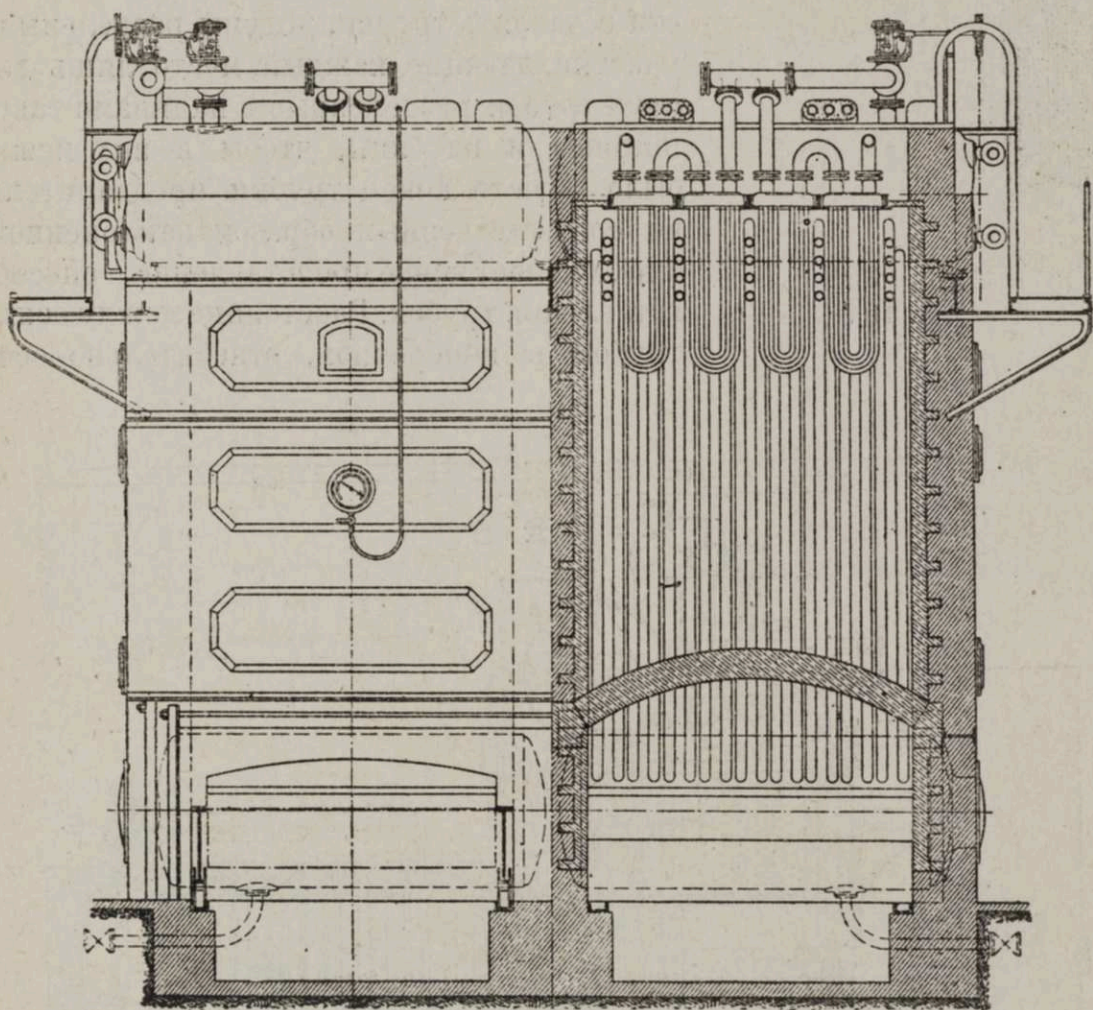
Таблица 22, к фиг. 115 и 116.

Поверхность нагрева.	Кипятильные трубки.				Верхн. бараб.			Нижн. барабан.			Наруж. разм. кладки.		
	Число		Длина. мм.	Диаметр. мм.	Число	Диаметр. мм.	Длина. мм.	Число	Диаметр. мм.	Длина. мм.	Вдоль фронта котла. мм.	Перпендикул. к фронту котла. мм.	Высота. мм.
	Вдоль фронта котла.	Перпендикул. к фронту котла.											
Кв. мм.													
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. Задний пучок трубок, который омывается относительно холодными газами, является собственно подогревателем воды. В этот пучок поступает из заднего верхнего барабана питательная вода. Паровые пространства всех трех барабанов соединяются трубками, иногда—так, как указано на фиг. 115, а иногда—так, что первый барабан соединяется со вторым, а второй с третьим. Водяные пространства вверху соединяются только у первого и второго барабанов. Нижний барабан, естественно, играет роль грязевика. Расположение

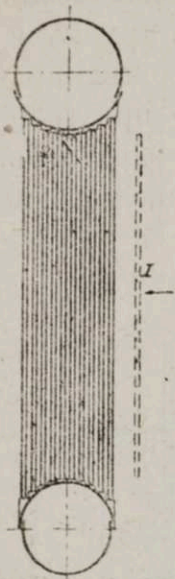


Фиг. 117.

перегородок и направление газов ясно видно из чертежа (фиг. 115). Характерные размеры некоторых частей даны в таблице 22. Нормально с одного кв. м. снимается до 25 кг. пару, а при максимальной форсировке — до 35 кг. Коэффициент полезного действия котлов Стэрлинга—70—75%.

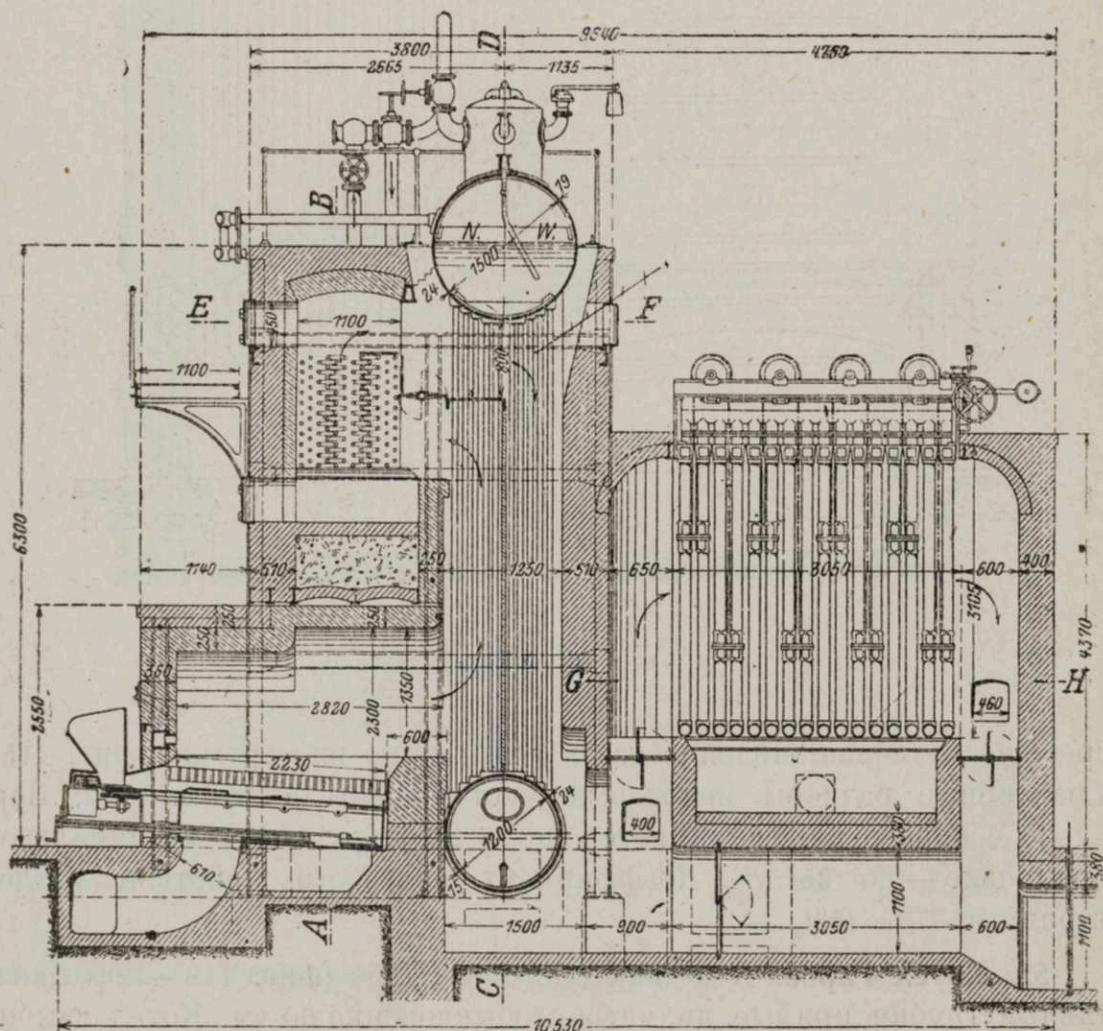
53. Котел Гарбе. В котлах системы Гарбе (фиг. 118—126) кипя-
 тильные трубки прямые, диаметром обыкновенно 60 мм. Котел состоит
 из одного или двух элементов, образуемых двумя барабанами—верх-

ним и нижним, соединенных кипяtilьными трубками. Барабаны располагаются чаще всего вдоль фронта котла, а при двух элементах—исключительно таким образом.



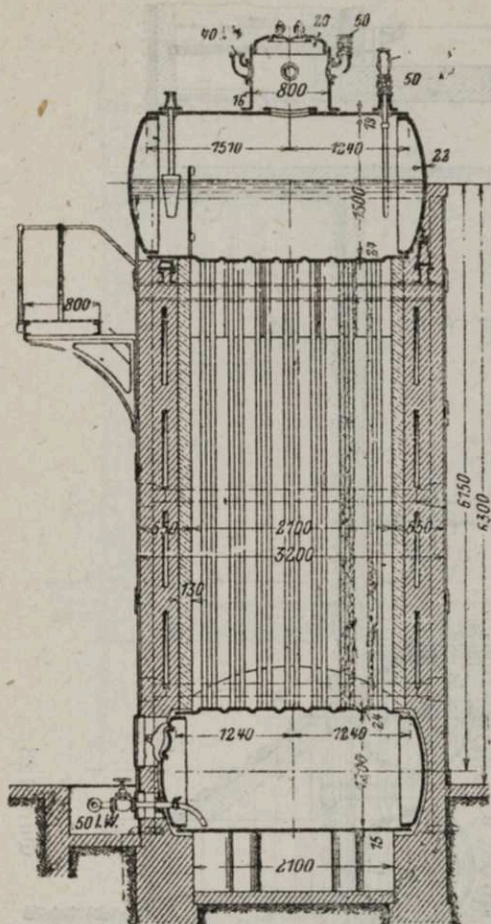
Фиг. 118.

Чтобы при прямых трубках оказалось возможным с достаточной надежностью их завальцевать, не прибегая к чрезмерному утолщению стенки барабана, эта последняя отштамповывается уступами и каждый уступ, предназначенный лишь для одного ряда трубок. Для удобства и самой возможности вставлять трубки, уступы разделены на участки, дающие, каждый, место лишь для двух трубок, разделенные в подине такой ширины и глубины, чтобы в них можно было завести конец трубки, предварительно соответственным образом наклоненной. Фиг. 118 дает ясное представление о способе вставления трубок. Расстояние между осями трубок в поперечном, относительно осей

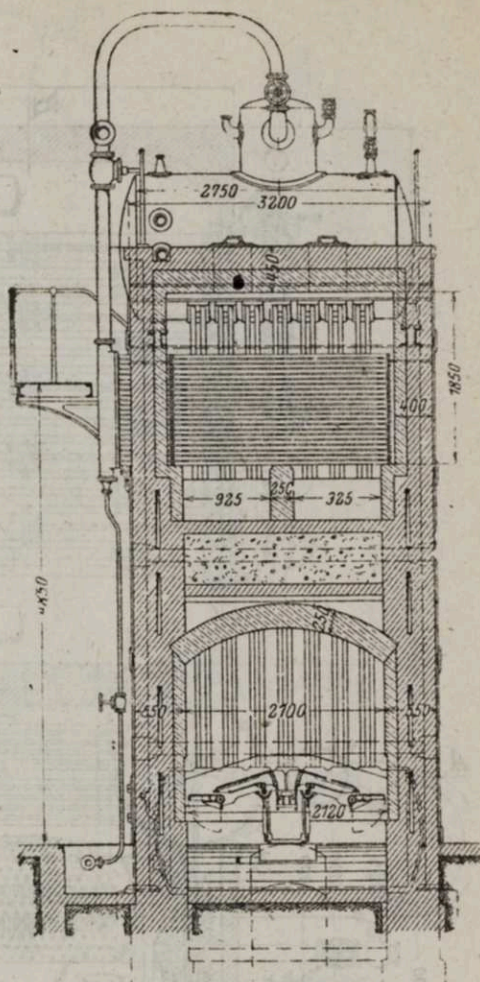


Фиг. 119.

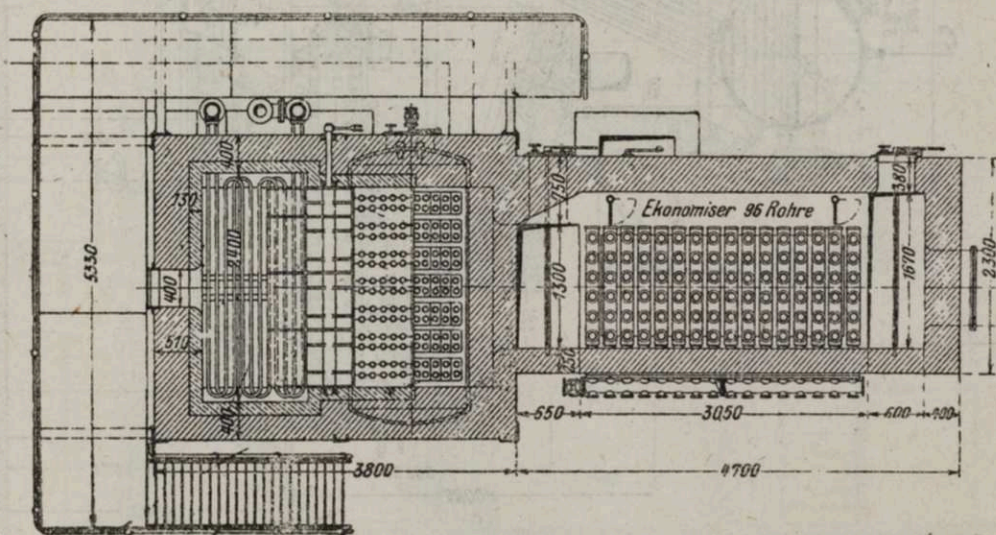
барабанов направления делается около 110 мм. В продольном же направлении расстояние между осями трубок одного и того же участка



Фиг. 120.

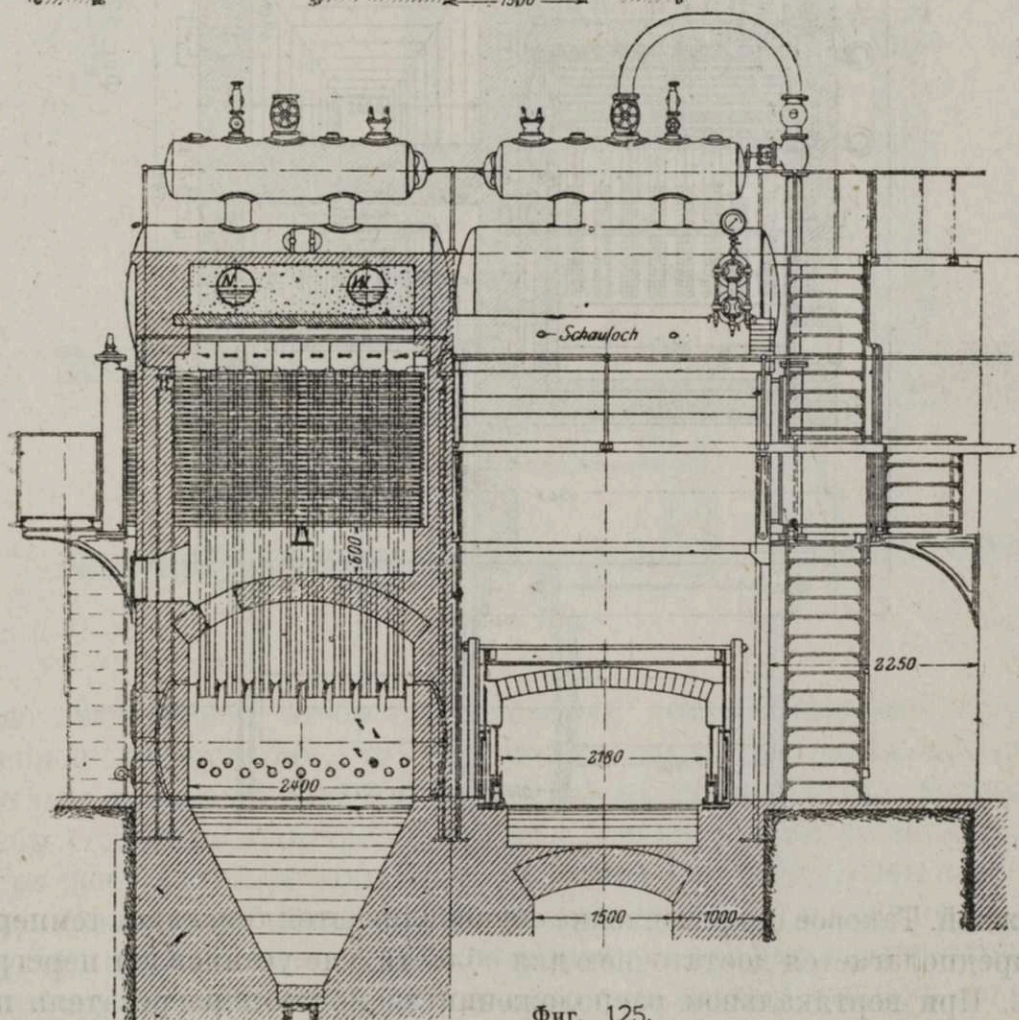
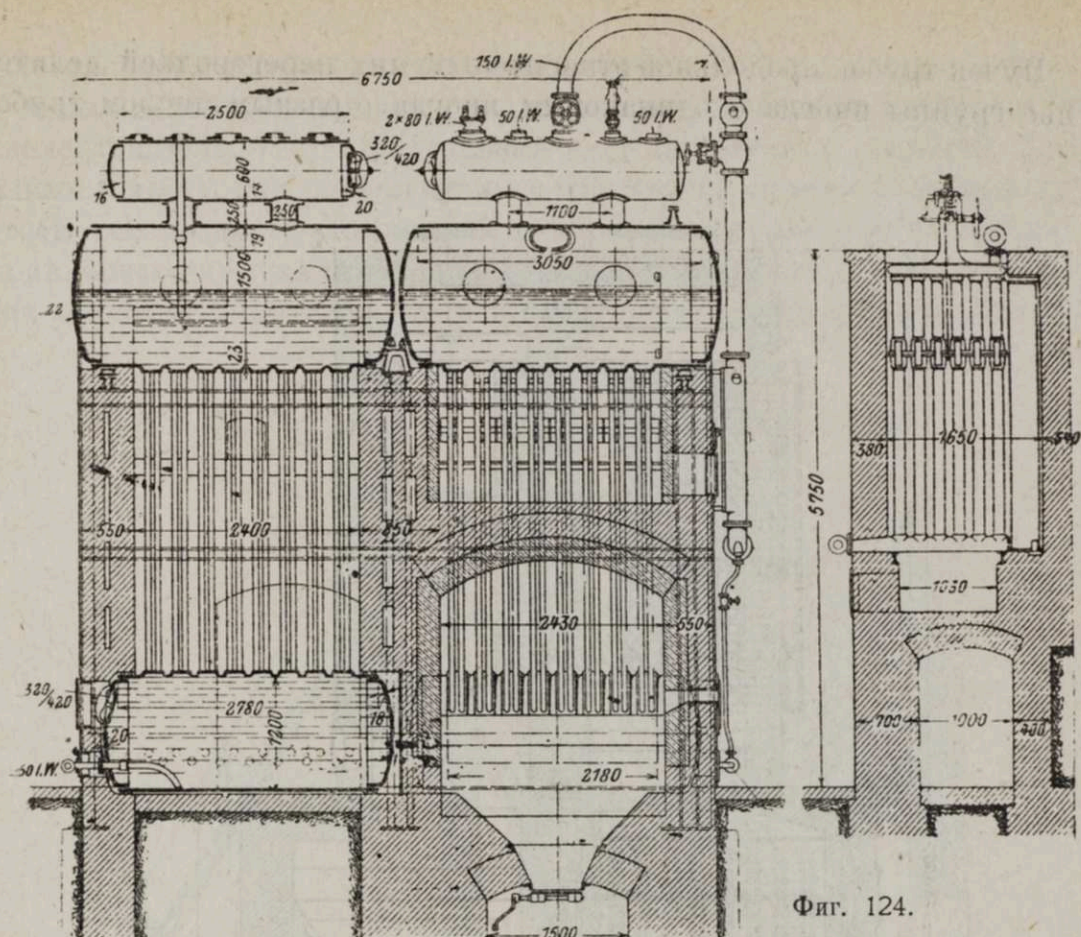


Фиг. 121.

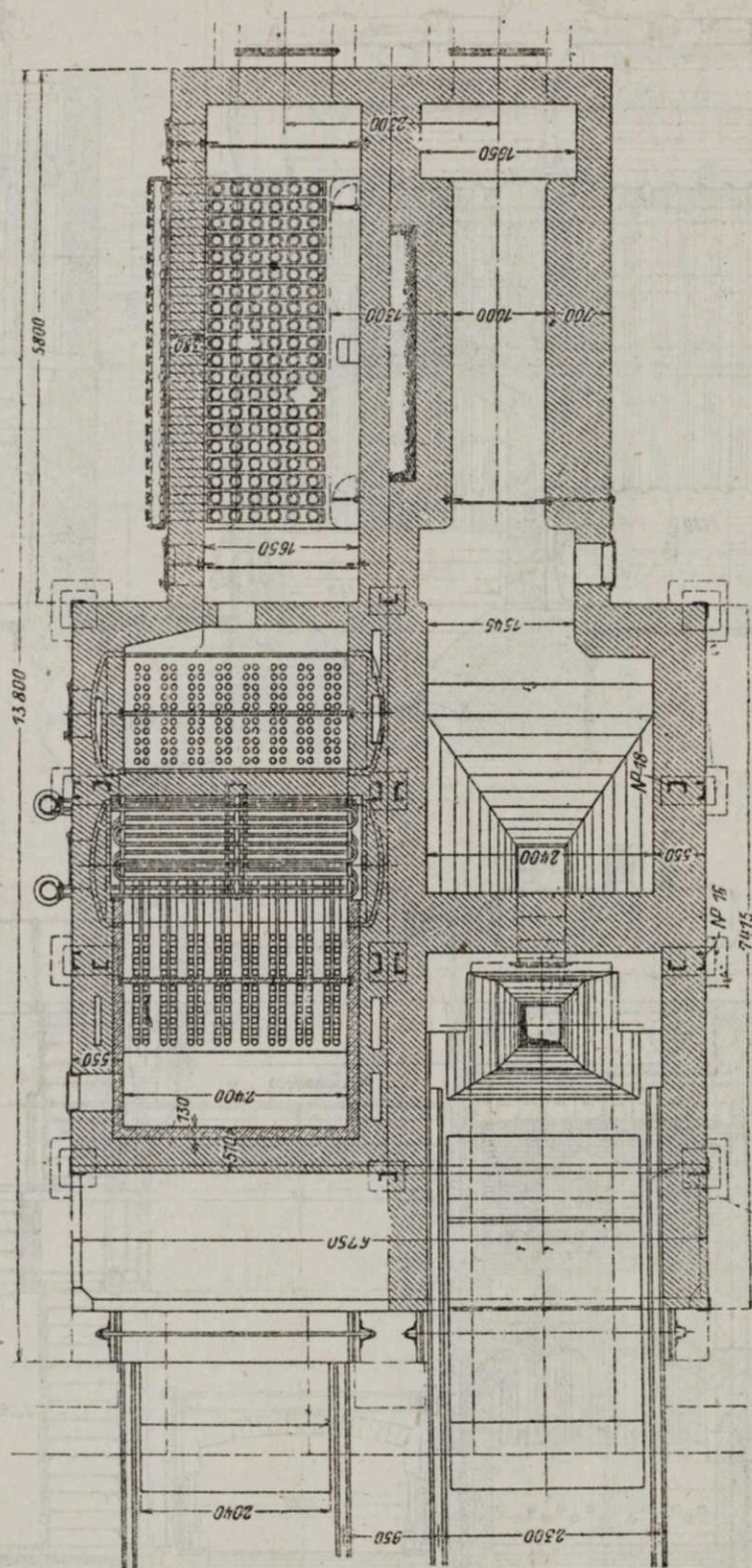


Фиг. 122.

делается около 90 мм., а от середины одного участка до середины другого — около 290 мм.



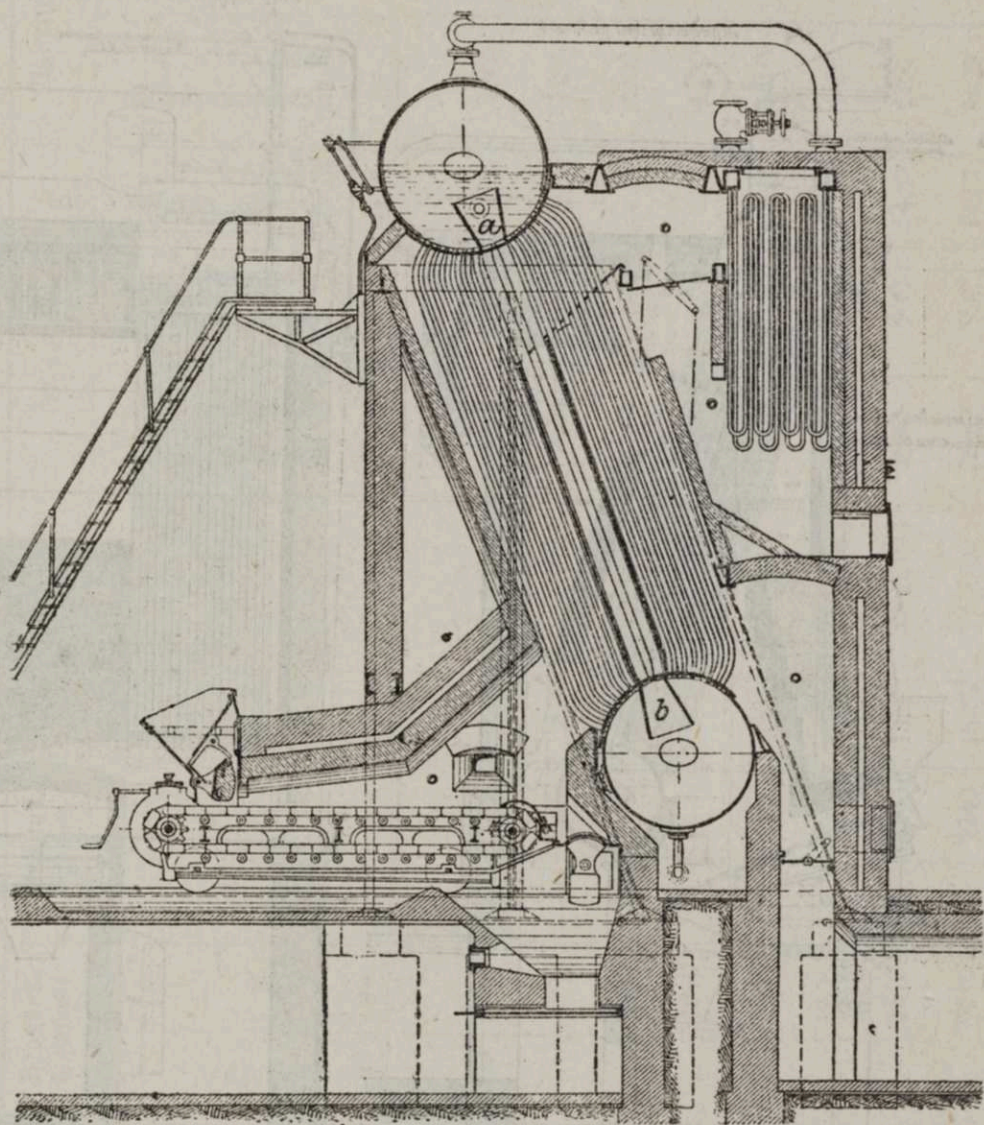
Пучок трубок продольной относительно них перегородкой делится на две группы иногда с одинаковым, иногда с разным числом трубок



Фиг. 126.

в каждой. Таковое подразделение обуславливается тем, какая температура предполагается достаточной для области, где установлен перегреватель. При вертикальном расположении элемента перегреватель поме-

щается перед пучком трубок, при наклонном—позади него, сейчас же у конца первого дымохода (там же, где он находится в котле из двух элементов, фиг. 123). Питательная вода подается в верхний барабан ближе к месту, где расположены устья трубок задней половины пучка, чтобы тем создать условия, благоприятствующие естественному направлению циркуляции воды. Так как в задней половине пучка трубок возможно, при соответственных условиях, парообразование, доста-

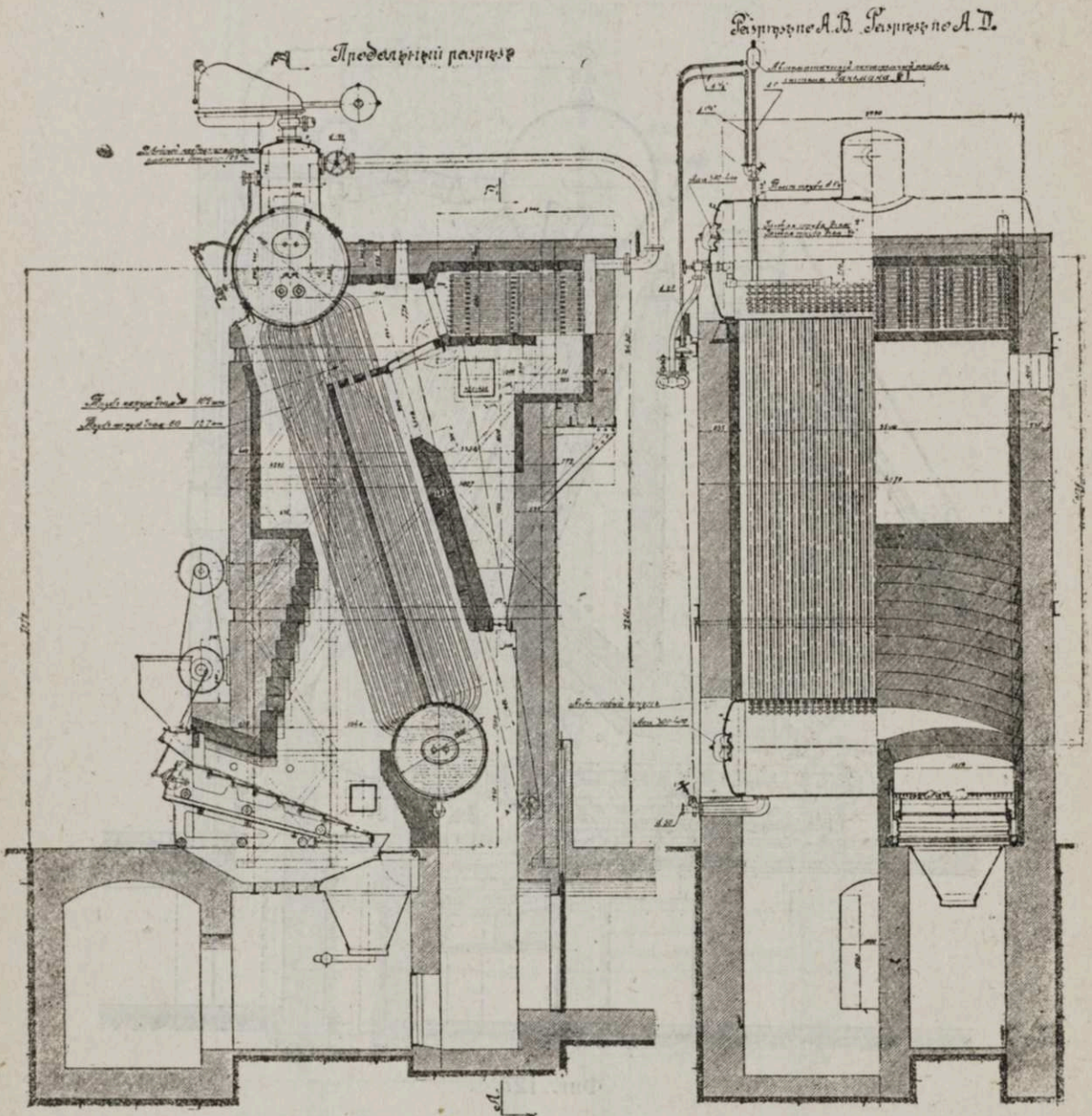


Фиг. 127.

точно интенсивное, чтобы стать фактом, неблагоприятным для естественной циркуляции, то для потока воды, направляющегося из верхнего в нижний барабан, по середине пучка иногда завальцовывают трубы большого диаметра (до 120 мм.). Эти последние на значительной части своей длины защищаются с передней и задней стороны перегородками, служащими одновременно и для обычного направления газов. Иногда в эти спускные трубы вода вливается при посредстве входящих в них трубок обычного диаметра, которые своими концами заделаны

в дно желоба, куда подается питательная вода. В таблице 23 приведены данные о размерах одиночного котла Гарбе.

При двух элементах (фиг. 123—125), первый, ближайший к топке, ставится наклонно, второй—вертикально. Верхние барабаны соединяются трубами, обнимающими своими устьями и паровое и водяное пространство. Нижние барабаны тоже соединяются трубами.



Фиг. 128.

Фиг. 129.

Расположение перегородок, делящих пучок трубок на равные или неравные части ясно видно из чертежа. Задний, вертикальный элемент омывается достаточно охлажденными газами, чтобы утратить значение испарителя, а стать только подогревателем. Поэтому устройство каких-либо приспособлений, имеющих в виду устранить препятствия для правильного хода естественной циркуляции, становится здесь излишним.

Таблица 23, к фиг. 119—122.

Котлы Гарбе одиночные, с поперечными барабанами, Эльзасского Машиностроительного Общества в Мюльгаузене.

Поверхность нагрева.	Кипятильные трубки.			Верхний барабан.		Нижний барабан.		Колосниковая решетка.		Объём.		Площадь водяного зеркала.	Наружные размеры кладки без экономайзера.			
	Число	Длина.	Внутренний и внешний диаметр.	Диаметр.	Длина.	Диаметр.	Длина.	Площадь.	Ширина.	Водяного пространства.	Парового пространства.		Перпендикулярно фронту.	Параллельно фронту.		Высота.
														При одном котле.	При двух котлах.	
кв. мм.	мм.	мм.	мм.	мм.	мм.	мм.	мм.	кв. мм.	мм.	мм.	куб. м.	куб. м.	кв. м.	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	"	"	3660	"	3160	3,96	2×1200	8,83	3,76	5,34	4150	3900	7500	6300
200	200	5500	"	"	4050	"	3760	—	2×1500	10,84	4,37	6,37	4300	4500	8700	6800
260	240	6000	"	"	4640	"	4360	7,2	2×1800	12,82	5,03	7,26	4450	5100	9900	7300
310	280	6000	"	"	5240	"	4960	8,19	2×1800	14,63	5,56	8,16	4450	5700	11100	7900
390	480	4500	"	"	8620	"	8340	10,80	2×2400	22,60	8,69	13,23	4450	9100	17900	5800
510	540	5000	"	"	9510	"	9240	13,37	3×2700	25,63	9,47	14,57	4150	10000	19700	6300
600	540	6000	"	"	9510	"	9240	15,80	3×2700	26,89	9,47	14,57	4450	10000	19700	7300

Таблица, 25 к фиг. 128—129.

Поверхность нагрева.	Кипятильные трубы.				Верхний барабан.			Нижний барабан.			Приблизит. вес котла.		Место записанное котлом со вязкой, но без арматуры и гарантии.			Количество кипятилка для вязки		Площадь колос. решетки.	Кв. м.	Кв. м.	Поверхность нагрева.	Приблизительный вес.
	Нар. диам. = 60 мм.		Нар. диам. = 70 мм.		Количество.	Диаметр.	Длина.	Количество.	Диаметр.	Длина.	Пуды.	Пуды.	Длина.	Ширина.	Высота.	Обыкновенного.	Отступного.					
	Количество.	Средняя длина.	Количество.	Средняя длина.																		
80	81	2750	57	2750	1	1300	3200	1	1200	2600	870	930	3480	3500	5970	11500	4900	2,1	20	120		
100	81	3500	57	3500	1	1300	3200	1	1200	2600	920	980	3680	3500	6700	12400	5500	2,63	25	150		
150	99	4250	70	4250	1	1300	3750	1	1200	3200	1160	1230	3900	4020	7350	15750	7700	3,95	38	230		
200	116	4850	84	4850	1	1500	3750	1	1200	3200	1380	1475	4160	4020	8230	18100	9700	5,26	50	300		
250	137	5050	102	5050	1	1500	4000	1	1200	3750	1640	1740	4230	4570	8375	20600	11600	6,58	63	380		
300	157	5650	102	5650	1	1500	4000	1	1200	3750	1820	1920	4600	4570	8920	21800	12200	7,9	75	450		
400	215	5400	187	4150	2	1500	4000	1	1800	3900	2660	2835	6600	4570	7830	21900	13450	10,52	100	600		
500	234	6450	187	4970	2	1500	4000	1	1800	3900	3030	3210	7350	4570	8650	26600	16600	13,16	125	750		
600	320	5650	252	4365	2	1500	6800	1	1800	6600	4145	4435	6800	7320	8100	30800	28300	15,8	150	900		
700	352	6000	280	4650	2	1500	6800	1	1800	6600	4450	4740	7200	7320	8350	33000	31000	18,4	175	1050		

На приведенных чертежах экономайзер установлен тотчас же позади котла. При недостатке места и высокой стоимости площади пола экономайзер устанавливается и над котлами.

На таблице 24 приведены данные о размерах котла из двух элементов.

54. Котел Борзига. Котел Борзига (фиг. 127) отличается от котла Гарбе лишь конструктивными деталями. В нем не стенки барабанов, а трубки подчинены требованию, обеспечивающему надежность закрепления их в отверстиях путем развальцовки: трубки у места входа в стенки барабанов получают требуемый изгиб. Для обеспечения правильной циркуляции средний ряд трубок пучка, которые делают большого диаметра, ограждается с передней и задней стороны огнеупорными перегородками, и над устьями трубок в верхнем барабане устраивается желоб, куда поступает питательная вода.

55. Котел Петроградского Механического завода. В некоторых своих вариантах этот котел (фиг. 128 и 129) имеет большое сходство с котлом Борзига. К отличительным конструктивным особенностям котла относится форма загиба трубок. Прямолинейный участок у всех трубок делается одинаковой длины; равным образом, загиб трубок делается таким, что каждая трубка оказывается годной для установки в любом месте пучка—стоит только ее по мерке обрезать.

Таблица 25 дает цифры характеризующия размеры котла при различных величинах поверхности нагрева.

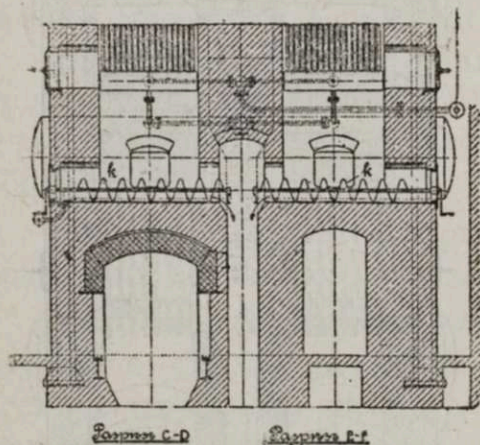
56. Котел Буркардта. Котел (фиг. 130—133) состоит из четырех барабанов—двух верхних и двух нижних,—расположенных своими осями параллельно фронту котла и соединенных пучками кипяtilьных трубок частью крест-на-крест, частью прямо. Перекрестно расположенные трубки предназначаются для восходящих потоков воды и по числу своему преобладают, составляя 70% трубчатой поверхности нагрева котла. Последнее обстоятельство обуславливает относительно малую скорость движения воды в восходящих потоках, а следовательно и более спокойное выделение пара, что необходимо для получения его более сухим. Боковые, соединяющие барабаны, пучки трубок, предназначены, в силу условий их обогрева, для нисходящих потоков воды, и питательная вода, направляемая в верхние барабаны, подводится близко к устьям этих трубок.

Вставление и выемка трубок, а также их чистка, производятся через особые люки, устроенные в стенках верхних барабанов по типу люков водяных камер. Каждый такой люк обслуживает все трубки крест-на-крест расположенные, лежащие в одном и том же ряду, перпендикулярном фронту котла.

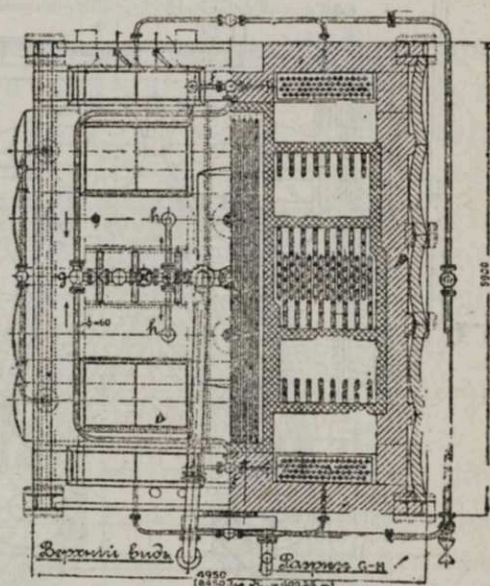
Перегреватель помещается в особой узкой камере, расположенной в средней части котла и занимающей по высоте пространство между верхними и нижними барабанами. Таким образом камера перегревателя

Вода в трубках экономайзера течет параллельно движению газов. Это сделано ради того, чтобы охлажденные уже газы не соприкасались с более холодными стенками трубок и не произошло бы на поверхности этих последних конденсаций. Такая мера предосторожности, даже при введении в экономайзер предварительно подогретой воды, вполне уместна при железных экономайзерах, так как железо легче подвергается ржавлению, нежели чугун, и, следовательно, нужно предупредить всякую случайную возможность конденсации водяных паров на поверхности трубок.

Топки расположены под нижними барабанами, и топочное пространство получается достаточно высоким для развития пламени, что имеет весьма важное значение при сжигании длиннопламенных углей.



Фиг. 132.



Фиг. 133.

Передача теплоты лучеиспусканием в пределах первого дымохода обеспечена, в особенности при длиннопламенных углях, в достаточной степени.

Присутствие же перегородок, расположенных вдоль трубок, обеспечивает высокий коэффициент теплопередачи и в остальных дымоходах.

Потеря теплоты в окружающую среду незначительна (около 4%) благодаря тому, что передняя и задняя стены кладки соприкасаются с холодными дымоходами экономайзеров.

Котел, представленный на фиг. 130—133, построен для давления в 16 атм. при температуре перегрева в 350°C .; поверхность нагрева его составляет 200 кв. м., а пов. нагрева перегревателя и экономайзера—соответственно 94 и 155 кв. м. Площадь колосниковой решетки имеет 8,2 кв. м.

Нормально котел может давать в 1 час 40—50 кгр. пару с 1 кв. м. поверхности нагрева.

Котел Буркардта по своему типу пригоден для получения больших поверхностей нагрева—не менее 200 кв. м.

Судовые водотрубные котлы.

57. Котел Торникрофта (фиг. 134). Весьма интересным по оригинальности своей конструкции является котел Торникрофта, построенный специально для пароходов.

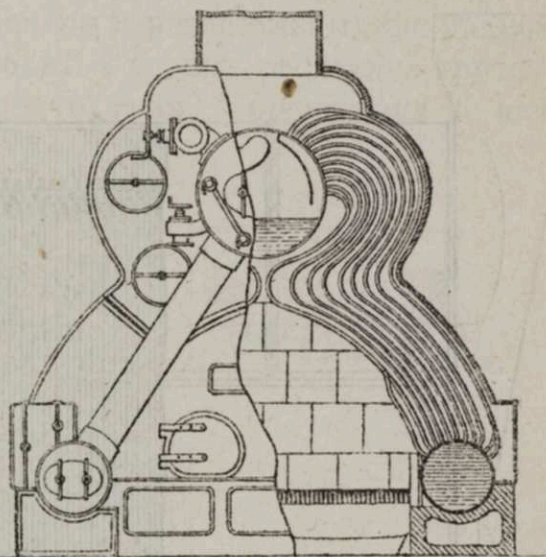
Для быстроходных судов представляется вопросом первостепенной важности иметь котел, который, при небольшом сравнительно весе и размерах, проявлял бы громадную нарообразовательную способность.

Торникрофт в своем котле выводит кипяtilьные трубы прямо в верхний барабан, следовательно, движение пара ничем не затруднено. Кроме того, Торникрофт выводит трубки поверх уровня воды, благодаря чему движение воды в них происходит чрезвычайно энергично.

По наблюдениям Торникрофта ¹⁾ над котлом, в стенку которого было вставлено стекло, оказывается, что при таком расположении трубок циркуляция происходит в два раза сильнее, чем в том случае, когда трубки выведены под воду. Произведя измерение при помощи водослива, Торникрофт нашел, что, при работе его котла, через трубки проходит в 105 раз больше воды сравнительно с тем количеством, которое подается в котел.

Эти цифры приведены здесь для того, чтоб пояснить, почему Торникрофт остановился на подобной конструкции; на самом же деле измерение циркулирующей воды, производившееся внутри парового котла, едва ли могло быть сделано с надлежащей степенью точности, и потому эти цифры особого доверия не заслуживают. Это подтверждается еще тем обстоятельством, что котел Ярроу, который построен с трубками, входящими под воду, работает не хуже котла Торникрофта.

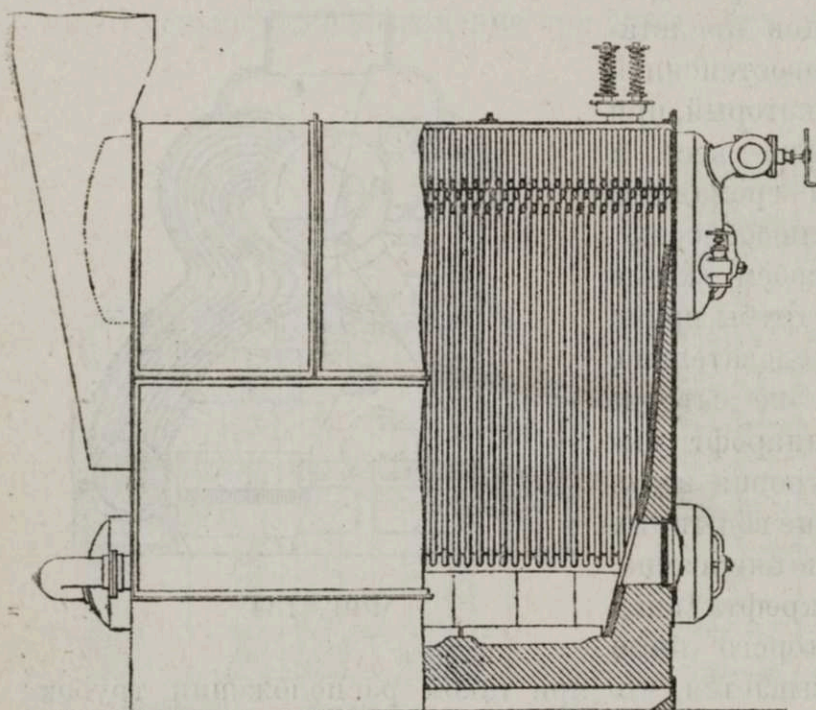
Как видно из чертежа, котел Торникрофта состоит из трех горизонтальных цилиндров, соединенных между собою кипяtilьными трубками. Верхний барабан заполнен водою и паром. Для подведения циркулирующей воды в нижние барабаны, имеются две трубы большего диаметра.



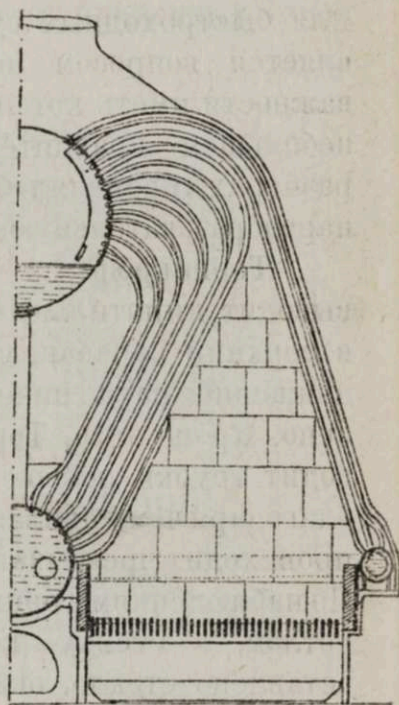
Фиг. 134.

¹⁾ Engineering, March—1894, стр. 399.

расположенные позади котла. Топка помещается между нижними барабанами; продукты горения проходят между кипяtilьными трубками, обогревая верхнюю часть барабана, подсушивая пар, и выходят в трубу. Внешние трубки поставлены плотно друг к другу, образуя сплошную стенку, уменьшающую потерю тепла через лучеиспускание. Весь котел, кроме того, закрыт с внешней стороны кожухом. Для того, чтобы производить лучшее отделение пара от воды в верхнем барабане, перед трубками, поставлен полуцилиндр, на который и выливается из трубок смесь пара и воды; вода стекает вниз, пар же собирается особой трубой, расположенной вдоль барабана и соединенной с паровым вентилем.



Фиг. 135.



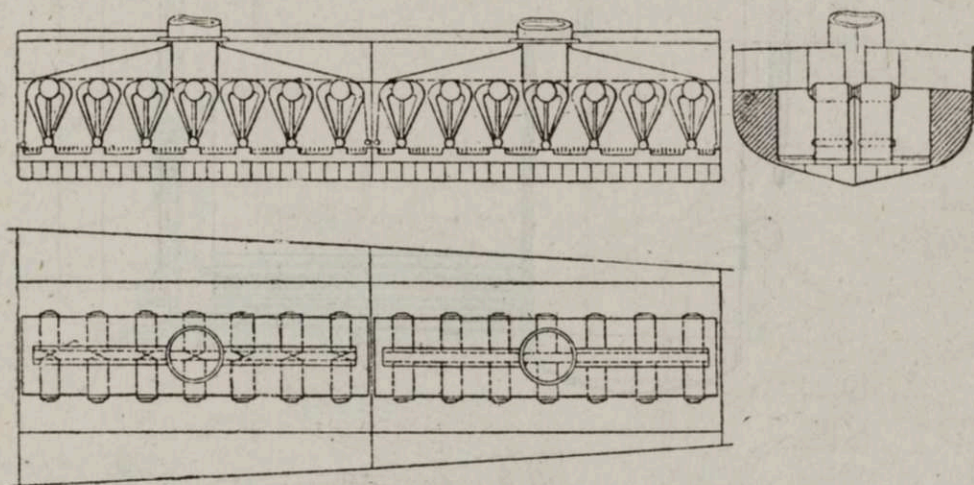
Фиг. 136.

Весьма интересны наблюдения, которые произвел Торникрофт со своим экспериментальным котлом над явлением, сопровождающим парообразование. Если вода грязная, то, пропуская через себя пар, она образует пузыри (подобие мыльных), которые заполняют собою все паровое пространство. При этом, конечно, в паровую трубу вместе с паром увлекается масса пены, состоящей из этих пузырей. При быстром движении по трубе пузыри лопаются и загрязняют как трубу, так и тот аппарат, который питается паром. При чистой воде такого образования пузырей не заметно, и пар отделяется от воды совершенно свободно, незагрязненным.

Если трубки выведены над уровнем воды, то при чистой воде из трубок все время равномерно выбрасывается поочередно пар и вода; при грязной же воде все время выбрасывается смесь пара и воды в виде пены.

Если трубки выведены под воду, то выбрасывание воды из трубок в обоих случаях происходит очень неравномерно: при чистой воде пар и вода выбрасываются вместе, затем наступает пауза, во время которой вода устремляется обратно в трубу. Тоже происходит и при грязной воде, но только в более резкой форме: смесь пара и воды выбрасывается с большой силой, иногда на высоту всего парового пространства. Поэтому-то, по мнению Торникрофта, трубки, выведенные под воду, должны давать более сырой пар и легче разогреваться при форсированной работе, чем трубки, выведенные поверх уровня воды.

Чтобы получить котел, по возможности легкий, желательно уменьшать диаметр всех его составных частей, и тем уменьшить толщину их стенок, а следовательно и вес. Размеры горизонтальных цилиндров определяются возможностью производить в них раскатку трубок. Торникрофт делает нижние цилиндры 10 дюйм. и производит в них



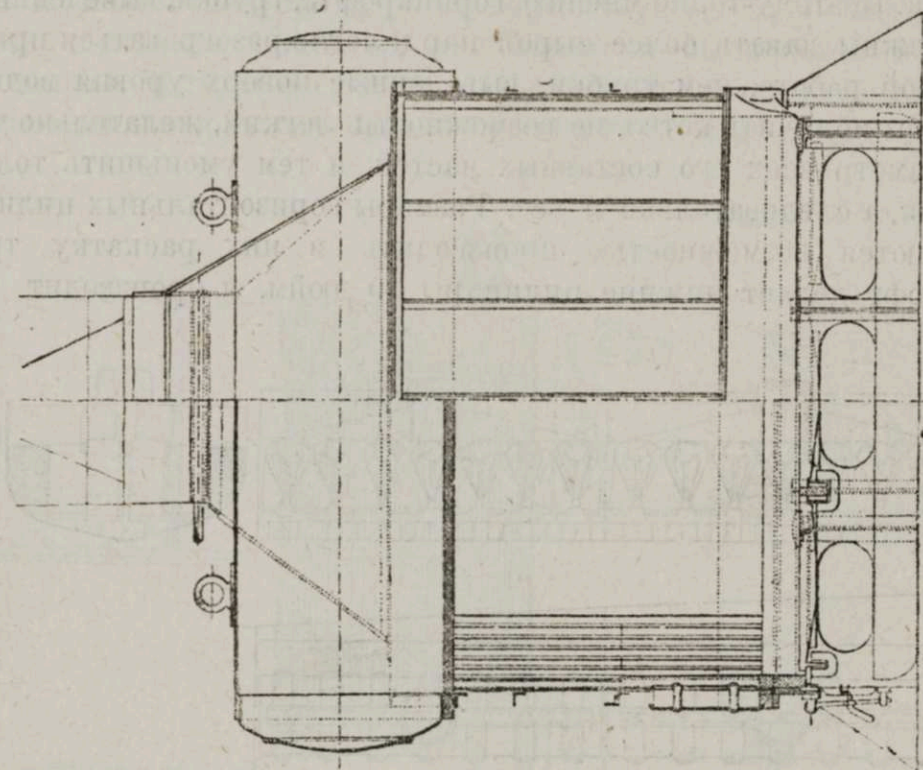
Фиг. 137.

раскатку при помощи специального инструмента. Кипятильные трубки у него имеют диаметр от $\frac{3}{4}$ " до $1\frac{1}{4}$ ".

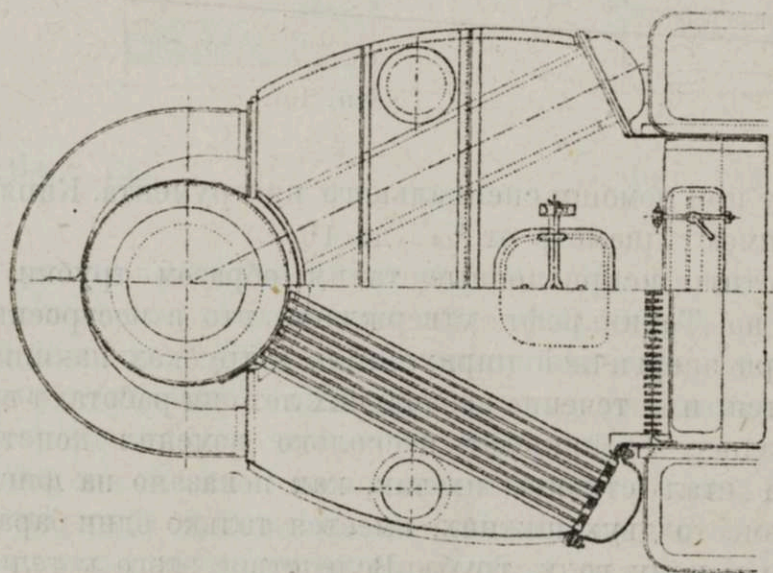
Чистить искривленные таким образом трубки, конечно, невозможно, но Торникрофт утверждает, что в построенных им котлах, благодаря энергичной циркуляции, в трубках накипи совершенно не образуется, и в течение нескольких лет они работают вполне исправно.

Позднее Торникрофт несколько изменил конструкцию своего котла и стал строить их так, как показано на фиг. 135—136. Как видно, вместо двух нижних, имеется только один барабан и одна, подводящая к нему воду, труба. Вследствие этого котел получается несколько легче и вся конструкция его гораздо компактнее. Место для решетки, на которой производится сжигание топлива, гораздо больше, следовательно, топка может вестись более форсированно. Кроме того, если ставится несколько котлов вместе, то их очень удобно примыкать друг к другу и образовать как бы один непрерывный котел с общей топкой (фиг. 137).

58. Котел Ярроу (Varrow). На фиг. 138—139 представлен котел Ярроу, вскоре появившийся за котлом Торникрофта и поставленный на самых быстроходных судах, принадлежащих английскому и русскому флоту. Как видно из чертежа, он напоминает котел Торникрофта. Отличается от него тем, что имеет прямые трубки, выведенные под



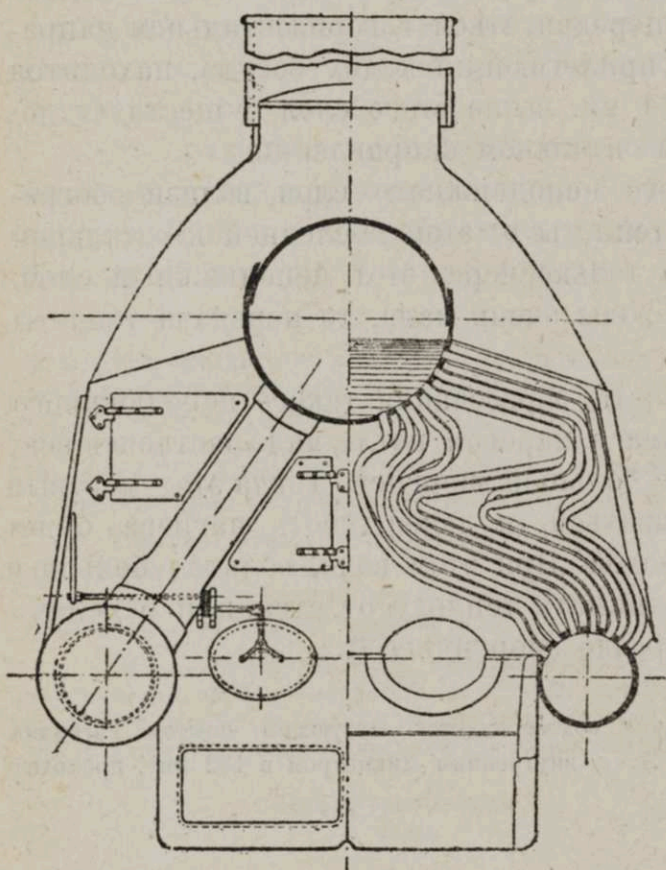
Фиг. 139.



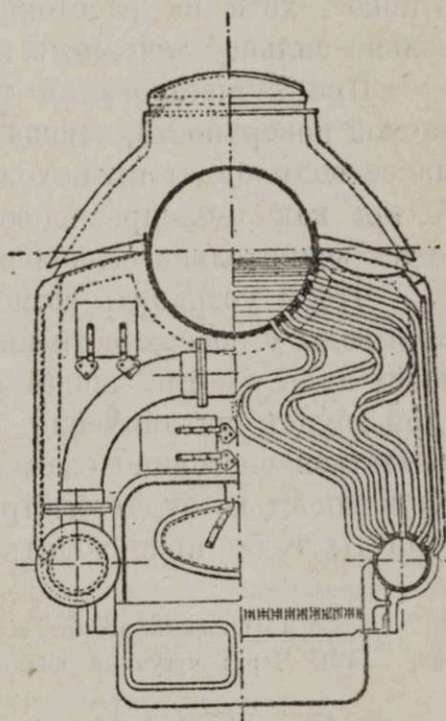
Фиг. 138.

воду, и, кроме того, нижние барабаны составлены из двух частей, свинченных на фланцах, что значительно облегчает очистку котлов и закрепление трубок. Но вес котлов выходит при этом несколько больше. Котлы Торникрофта и Ярроу отличаются, главным образом, по форме кипяtilьных трубок. Какой из этих двух типов дает

наилучшие результаты в смысле циркуляции, остается до сих пор спорным вопросом, но, независимо от этого, та и другая конструкция имеет свои преимущества и свои недостатки. Прямые трубки считаются более удобными в том отношении, что их можно осмотреть насквозь и более легко прочистить; с другой стороны, кривые трубки более упруги и потому, при неравномерном нагреве, не расстраивают плотного соединения трубки с котлом. Кривые трубки в котле Торникрофта являются различных размеров и различной формы, что значительно затрудняет замену одной трубки другою в случае ремонта; но зато кривые трубки дают большую поверхность нагрева при том же весе и объеме котлов.



Фиг. 140. Дю Тампль Норман.



Фиг. 141. Дю Тампль новой конструкции.

В настоящее время появилось много различных типов котлов, как паровых так и заводских, у которых применены прямые или искривленные трубки малого диаметра, от 18 до 30 мм. Всем таким котлам присвоено название „котлов экспрессов“. На фиг. 140—141 приведены некоторые типы таких котлов.

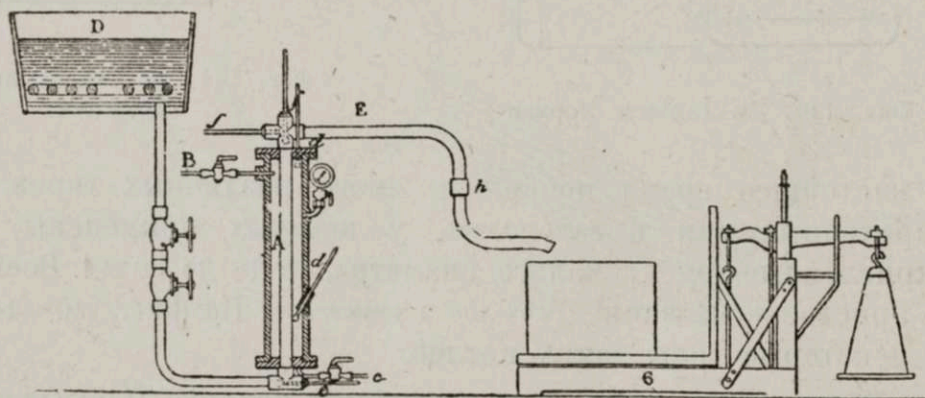
59. Циркуляция воды в водотрубных котлах. Циркуляция воды, т.-е. постоянное подведение свежей воды к поверхности нагрева, необходима в каждом котле для того, чтоб заставить стенку котла передавать более энергично теплоту и чтобы получить более равномерное распределение температуры в котле, а в водотрубных котлах циркуляция необходима также и для отвода пара из трубок.

Если мы будем нагревать воду в стеклянном сосуде, то заметим следующее явление. В сосуде устанавливается ток, направление которого всегда одно и то же для каждого опыта, а именно, жидкость подымается от дна около одной из стенок сосуда, проходит в горизонтальном направлении около поверхности и затем опускается около противоположной стенки. Этот ток в своем движении увлекает все пузырьки пара, большинство которых прорывается на поверхность, но некоторые пузырьки увлекаются током и при нисходящем движении. Тонкий слой воды, прилегающий непосредственно к дну сосуда, которое в данном случае служит поверхностью нагрева, остается в покое, в чем можно легко убедиться, если бросить в сосуд какие-нибудь легкие предметы, например—кусочки бумаги. Если какой-нибудь из этих кусочков попадает на дно сосуда, то он почти не будет передвигаться в горизонтальном направлении. Следовательно, слой прилегающий к дну сосуда, находится в покое, хотя на расстоянии 1 мм. выше этого слоя существует довольно сильное течение в горизонтальном направлении.

При существовании такого неподвижного слоя вблизи обогреваемой поверхности, передача теплоты от этой последней к остальной массе воды будет происходить только через этот неподвижный слой. А так как теплопроводность воды очень мала, то передача теплоты будет значительно ослаблена.

Чтобы устранить возможность образования такого неподвижного слоя воды у поверхности нагрева в паровом котле, надо заставить всю массу воды в котле двигаться с большой энергией. Тогда этот мертвый слой будет механически смываться, и поверхность нагрева будет омываться постоянно свежей водой. При этом вода, обладая большою теплоемкостью, будет быстро отнимать теплоту от стенки, и передача теплоты будет происходить гораздо энергичнее ¹⁾.

¹⁾ Справедливость этого заключения подтверждается следующим опытом Гагемана (фиг. 142). Через чугунный цилиндр А, с внутренним диаметром в 152 мм., проходит



Фиг. 142.

трубка из латуни, диаметром в 49 мм. и толщиной стенок в 2 мм. Длина трубки 941 мм. Внутри ее вставлена другая трубка, диаметром в 38,5 мм., так что между двумя трубками образуется узкое кольцевое пространство.

Независимо от этого, — для *правильной работы водотрубного котла необходимо, чтоб образующийся в трубках пар сейчас же отводился прочь.* — Если такое движение для пара затруднено, то последний, оставаясь, в циркуляционных трубках, значительно ухудшает работу водотрубного котла. Трубки, заполненные паром, сильно перегреваются, дают большой прогиб и скоро перегорают.

Водотрубный котел находился бы в особенно благоприятных условиях работы в том случае, если бы по его трубкам все время циркулировала вода в большом количестве, которая уводила бы пар из трубок и, омывая поверхность нагрева постоянно струей свежей воды, вызывала бы энергичное охлаждение трубок и совершенную передачу теплоты. Следовательно, энергичная циркуляция воды в водотрубном котле является одним из первых условий его правильной работы. Посмотрим же, насколько это требование выполняется в водотрубных котлах.

До сравнительно недавнего времени, относительно того, что происходит в водотрубных котлах, делались только более или менее вероятные предположения и, на основании этих предположений, котлу давали ту или другую конструкцию.

Эта трубка соединяется с резервуаром *D*, наполненным водой, которая может подогреваться до желаемой температуры при помощи пара, проходящего через змеевик. К другому концу кольцевой трубки прикреплена трубка *E*, конец которой выходит в сосуд, поставленный на весы. В верхнюю часть латунной трубки вставлены термометры *ff*. На нижнем конце термометр — *e*. Точно также, вставлены два термометра *d* в цилиндр *A*. Во внутрь цилиндра *A* вводится пар, который в нем конденсируется и отводится прочь через кран *C*.

Если по латунной трубке пропускать воду из сосуда *D*, а в цилиндр *A* впускать пар, замечая при этом разность в показаниях термометров *f* и *e*, и взвешивать воду на весах, то по этим данным легко вычислить количество теплоты, которое будет передано от пара циркулирующей по трубкам воде.

Гагеман заставлял воду циркулировать с различной скоростью и замечал разность температуры пара и выходящей из трубки воды, количество теплоты, поглощенной водой, и затем вычислял то количество теплоты, которое передавалось воде 1 кв. метром поверхности нагрева в единицу времени при разности температуры в 1° Ц. Из опытов оказалось, что:

При скорости воды в метр.	1 кв. метр. поверх. нагрева передавал калорий:
0,092	14,85
0,140	16,05
0,272	21,50
0,792	42,75
1,233	48,80
1,703	53,40
1,726	54,90
1,708	56,40

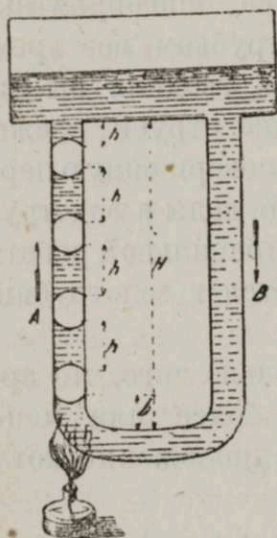
Из этого ясно видно, что чем *энергичнее циркуляция, тем больше передается стенкой теплоты* (Приблизительно пропорционально $\sqrt[3]{V}$ из скорости воды. См. Б. П. О. 300—03) следовательно, *тем больше можно снять пара с единицы поверхности нагрева, не производя при этом перегрева стенки котла*, потому что, чем энергичнее оттает стенка поглощенную ею теплоту, тем менее она сама нагревается.

Аналогичные опыты были произведены Голлидеем.

Аппарат, с которым экспериментировал Голлидей, состоял из вертикальной стеклянной трубки внутри которой помещалась спиральная трубка меньшего диаметра. Вода из бака входила в спиральную трубку снизу и выходила в верхней части, при чем она проходила

К большому выяснению этого вопроса послужили многочисленные специально произведенные различными лицами опыты, между прочим очень интересные опыты Белана (Bellanes. Traité des Chaudières à vapeur¹).

Белан говорит, что если мы будем нагревать воду в сосуде, представленном на фиг. 143, то при медленном нагревании в нем появится и медленная циркуляция. Если нагревание усилить, то пузырьки пара увеличатся в объеме, будут заполнять всю трубку, как показано на фиг. 143 и таким образом уменьшат вес восходящего столба в трубке А, вследствие чего циркуляция будет происходить энергично по направлению стрелок. Но подобное состояние удержать при опыте очень трудно если интенсивность нагревания будет увеличена, то пар уже заполнит сплошь всю трубку. Если при этом в месте соединения трубки с сосудом мы произведем сужение прохода, чтоб уменьшить отношение поверхности нагрева к площади проходного сечения для пара, то в результате у нас получится под этим сужением новый уровень воды. Циркуляция будет ограничена самой



Фиг. 143.

трубкой, поверхность испарения будет крайне ограничена и

около двух термометров, поставленных по концам, спиральной трубки. Пространство, окружающее спираль, было заполнено паром, который перегревался, проходя через медную трубку, нагреваемую Бунзеновской горелкой.

При первых испытаниях выяснилось, что в то время, как источник тепла поддерживался постоянным и равным, и разность входящей в спираль и выходящей из нее воды была около 150° Фар., количество теплоты, поглощенное водой в единицу времени возрастало с возрастанием скорости движения воды. Этот эффект мало изменялся при повышении температуры воды до точки кипения, но степень поглощения теплоты была меньше при кипении, чем при температуре на 10° ниже точки кипения.

Повидимому, существовала критическая скорость, перейдя которую поглощающая способность падала, иногда довольно быстро. Но это скорее следовало приписать ограниченной способности прибора доставлять теплоту.

При следующих опытах вода, предварительно нагретая в баке до точки кипения, пропускалась через медную вертикальную трубку снизу вверх, при чем трубка по всей длине нагревалась горелками Флетчера. Выходящая из этой трубки смесь пара и воды вводилась в сепаратор, откуда отделенная вода отводилась в мерительный бак, а пар отводился в конденсатор, и количество конденсировавшейся воды тоже измерялось. Эти опыты имели целью выяснить поглощательную способность воды, выделяющей пар и двигающейся с различными скоростями; присутствие пара в первых опытах не имело места.

Голлидей утверждает, что существует скорость движения воды, при которой замечается максимальное выделение пара. При чем наилучшие результаты получаются при той скорости, при которой испаряется половина проходящей в известное время через трубку воды. Этот результат не зависел от температур, которая имели место внутри аппарата; кривые опыта при более высоких температурах имели ту же форму, как и при более низких, но только располагались более высоко на диаграмме. Опыты эти, хотя и очень интересные, не могут иметь решающего значения, вследствие недостаточной полноты (Eng. 12 may и 29 des—1899). Перечень других опытов см. статью Молье Z. d. V b. I. 157—1897.

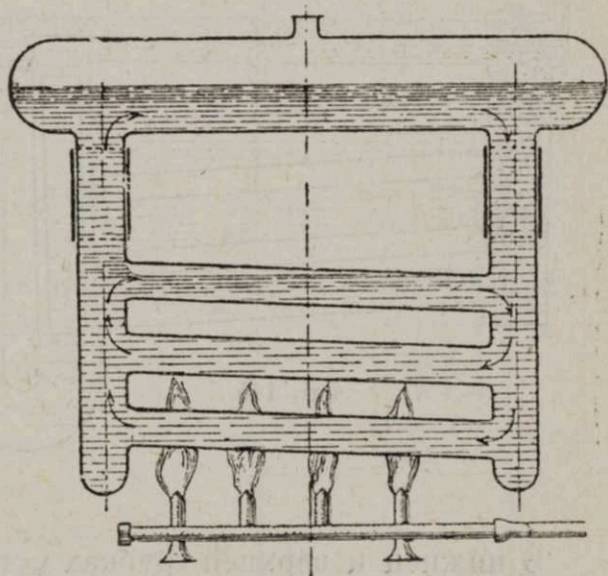
¹) Описание различных опытов, касающихся до циркуляции воды в водотрубных котлах, помещено в Бюллетенях Политехнического Общества, №№ 1, 2, 1899 года.

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 *B*, 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.

Белан 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 снималась 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). Таково действие вертикальных труб,—в горизонтальных или наклонных трубах явление происходит несколько иначе.



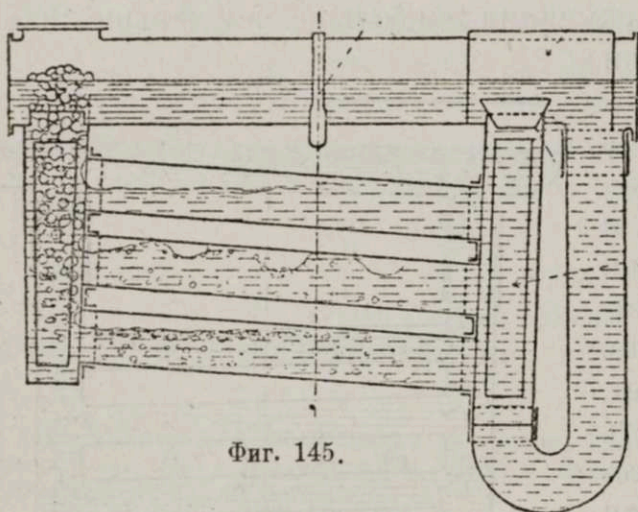
Фиг. 144.

Для опытов с горизонтальными трубами Белан построил из стекла сосуд (фиг. 144), представляющий из себя котел Бабкока. Трубки имели диаметр 25 мм. При наблюдении над циркуляцией оказалось, что она происходит совсем не так, как предполагал Бабкок. Вода цирку-

лирует, как показано стрелками, при чем верхняя трубка оказывается отчасти заполненной паром. Иногда этого пара собирается так много, что он выходит в правую вертикальную трубку, назначенную для нисходящего тока, и по ней подымается вверх.

Затем был построен аппарат с трубками большого диаметра (диаметр 60 мм. и длина 400 мм., фиг. 145). Диаметр вертикальных трубок был тоже 60 мм. Возвратных трубок было сделано две, которые по очереди закупоривались пробкой и позволяли наблюдать действие котла в том случае, когда обратный ток приводится сверху и снизу. Действие этого аппарата оказалось следующее.

Опыт показал, что в верхней наклонной трубке вода движется обратном направлении против того, какое нужно было ожидать.



Фиг. 145.

Выделение пара из передней вертикальной трубки происходит порывами, большими пузырями, вслед затем трубка захлебывается водой.

Движение жидкости вдоль нижней трубки замечается крайне слабое: видно, как пузырьки пара поднимаются почти вертикально и собираются около верхней части трубки.

В нижней и верхней трубках устанавливаются свободные поверхности воды; собравшийся над ними пар не выходит из концов трубки до тех пор, пока стрелка свободной поверхности не достигнет величины $\frac{1}{3}$ диаметра трубки. Пар из нижней трубки отчасти попадает в верхнюю трубку, которая заполняется паром тем больше, чем сильнее идет парообразование в нижней трубке. Что касается до средней трубки, то по ней проходят все время очень крупные пузыри пара. Если закупорить обе обратные трубки, то этим самым вызывается очень сильное круговое движение воды от нижней трубки к верхней и обратно, причем верхняя трубка почти наполовину заполняется паром.

На основании этого, легко можно представить себе, что происходит в действительном водотрубном котле, где 8, 9, а иногда и 12 труб, диаметром от 100 до 125 мм. и длиной до 6 метр., соединены по концам двумя камерами, при чем нижние трубы, находящиеся непосредственно над источником теплоты, испаряют минимум 150 кгр. с кв. метр. поверхности нагрева. В таком котле все вышеприведенные явления будут происходить в еще более резкой форме, и трубы, подверженные

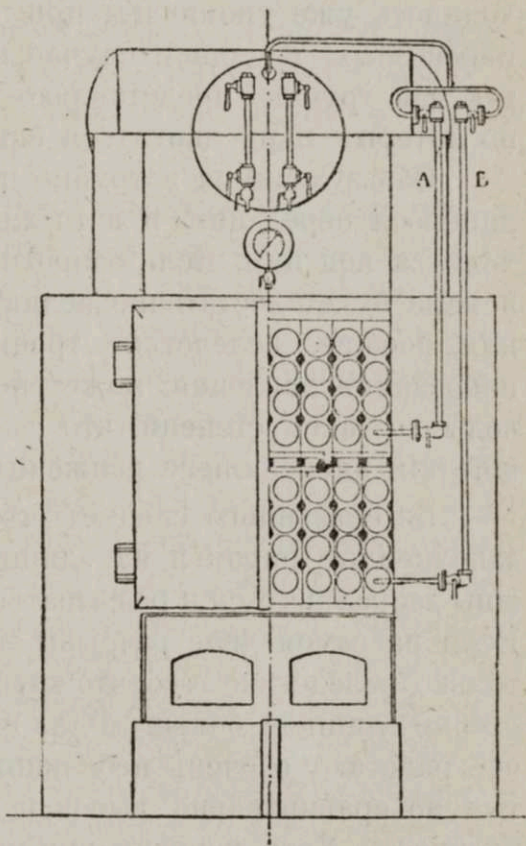
наиболее сильному нагреву, будут почти исключительно заполнены паром и сильно перегреваться.

Тот же самый аппарат позволил наблюдать еще следующее явление, а именно: все твердые примеси, находящиеся в воде, оседали в нижней части переднего коллектора, поэтому казалось бы, *грязевики следовало бы ставить, именно в этом месте, а не сзади, как это обыкновенно делается.*

Таким образом, из этих опытов оказывается, что циркуляция в водотрубных котлах происходит очень незначительная.

Этим объясняется, почему иногда водотрубные котлы продолжают работать, повидимому, исправно, несмотря на то, что трубы, по которым должна притекать циркулирующая вода, почти совершенно затыгиваются грязью. Этим же объясняется и тот факт, что котлы Бельвиля работают не хуже других водотрубных котлов, несмотря на то, что в них циркуляция заведомо отсутствует.

Белан приводит свои опыты над водотрубным котлом, в котором были поставлены водомерные стекла: два на верхнем барабане как обыкновенно, и два соединенные с верхним барабаном и затем с трубкой, расположенной в середине высоты, и с самой нижней трубкой (фиг. 146). Как только котел начинал давать сильное испарение, уровень воды в водомерных стеклах, поставленных на верхнем цилиндре, подымался, а других водомерных стеклах *А* и *В* понижался. Разность в показании уровней была тем больше, чем сильнее шло испарение. Это вполне ясно подтверждало, что трубы были заполнены паром, который, вытесняя из трубок воду в передний конец верхнего барабана, повышал уровень в верхних водомерных стеклах. В нижних же водомерных стеклах уровень должен был понижаться вследствие того, что верх и низ этих стекол оказывались соединенными, оба, с паровыми пространствами, и часть воды из трубок выливалась в котел, пока, при известной высоте столба воды, на высоте его основания не устанавливалось равновесие между давлением сверху и снизу. Нужно при этом заметить, что трубка, соединяющаяся с водомерным стеклом, заходила во внутрь кипяtilьной трубки, следовательно, если в трубках циркулировала вода, то, вследствие



Фиг. 146.

ударного действия потока воды, уровень в водомерном стекле должен бы был повышаться, и если он, напротив, понижался, то это ясно указывало, что в трубке был пар.

Таким образом, пока парообразование в водотрубных котлах идет умеренно, циркуляция воды в них происходит, хотя и слабая, но довольно правильная. При более сильном парообразовании пар уже не успевает уходить из трубок, и вся передняя часть котла заполняется паром; нисходящее движение воды по трубам, предназначенным для этой цели, может прекратиться, и даже может получиться обратный ток. С этого момента начинается опасное состояние котла: при усиливающемся парообразовании трубки переполняются паром и перегреваются.

Здесь мы опять встречаемся с тем же явлением, о котором приходилось уже упоминать при описании котлов с кипяtilьниками и паровозных. В данном случае выход для пара еще более затруднен, так как трубки представляют длинные, мало наклоненные каналы, по которым пару двигаться еще труднее, чем в тех котлах.

Образующийся в трубке пар стремится вытолкнуть воду, находящуюся перед ним, и в то же время он давит на воду, которая находится под ним. Если сопротивление движению верхней массы воды и пара будет достаточно велико, вследствие ли сужившегося прохода или, вообще, вследствие трения, то пар, при увеличивающемся от нагревания давлении, может понизить уровень находящейся под ним воды до такой степени, что сам начнет выходить по трубе, назначенной для нисходящего движения воды.

Из сказанного следует, что трубки водотрубных котлов, вообще заполненные паром и находящиеся непосредственно над толпой, должны раскаливаться и разрываться под действием внутреннего давления. Если на самом деле разрывы трубок замечаются довольно редко, то только вследствие того, что трубки водотрубных котлов имеют толщину стенки слишком большую для их диаметра и давления, вследствие чего они работают с очень небольшим напряжением, и потому, даже нагретые до сравнительно высокой температуры, сохраняют достаточную прочность. Хотя, конечно, при увеличении интенсивности работы, в водотрубном котле всегда наступит предел, при котором трубки нагреваются столь сильно, что потеряют свою прочность и разорвутся.

Все сказанное о циркуляции справедливо по отношению всех „горизонтальных“ водотрубных котлов. Трубы, выводящие смесь пара и воды на поверхность уровня воды (Штейнмюллер), мало помогают делу. Наименее удовлетворительно, в смысле циркуляции, будут работать котлы с внутренними циркуляционными трубками, как например, котел Дюра и ему подобные.

Что касается „вертикальных“ водотрубных котлов, то в котле Стэрлинга и в котле типа Гарбе, если последний состоит из двух элементов, и вода подается в верхний барабан заднего элемента, циркуляция должна происходить правильно, так как нельзя ожидать, чтобы в труб-

ках заднего элемента, обогреваемых уже значительно охлажденными газами, имело место интенсивное парообразование, мешающее движению потока воды из верхнего барабана в нижний.

То же самое можно сказать относительно котлов типа Гарбе одиночных (из одного элемента), если имеется средний ряд циркуляционных трубок, или внешняя циркуляционная труба.

В котлах же Гарбе одиночных, если в них не предусмотрено той или иной специальной циркуляционной системы, а рассчитывается на то, что в задней половине пучка трубок, обогреваемых более холодными газами, вода будет двигаться сверху вниз, возможно нарушение нормальной циркуляции вследствие интенсивного парообразования и в задней половине пучка трубок при повышенном режиме котла.

Котлы „Экспрессы“ типа Торникрофта, Ярроу и др. поставлены в условия, более благоприятные относительно циркуляции, но и в этом случае, как показали опыты Белана, циркуляции в полном смысле этого слова тоже не происходит.

Белан устроил опытный котел Торникрофта, состоящий из одной кипяtilьной трубки. Если после того, как в котле вода нагреется до 100° Ц., начать интенсивно нагревать трубку, то замечается, что в трубке образуется большое количество пара, который заполняет ее всю и через некоторое время выбрасывает вверх воду, находящуюся поверх его, и оттесняет вниз воду, лежащую под ним. Как только вода достигнет до выводного отверстия из трубки, часть ее перельется; сейчас же вследствие уменьшившегося давления, нижние слои воды превращаются в пар, и вся масса воды, находящаяся поверх пара, выбрасывается вон из трубы с большой силой (происходит в малом размере явление гейзера). После этого трубка снова заполняется водой, уровень ее приходит в равновесие с уровнем воды в котле и остается в этом положении до тех пор, пока образовавшийся новый пузырь пара не произведет того же явления. Таким образом, трубка действует с перерывами, выбрасывая воду, за ней сейчас же пар, а затем оставаясь на некоторое время в покое. Следовательно, непрерывной циркуляции в котле Торникрофта не происходит и трубки попеременно оказываются заполненными то водой, то паром, при чем, во время интенсивной работы котла, трубки настолько сильно нагреваются, что вода почти моментально, как только попадает в них, испаряется; но образующейся пар не в состоянии сейчас же выбросить воду находящуюся поверх него, поэтому, вообще период, во время которого пар заполняет трубки, более продолжительный, чем период, во время которого трубки заполнены водой, и в результате трубки должны быть значительно перегреты.

В котле Ярроу пар тоже выделяется из трубок с перерывами, но заполнение трубок происходит как с верхнего, так и с нижнего конца. Если обратной трубы в котле не будет, то заполнение трубок водой будет производится только с верхнего конца. Этим объясняется—почему при опытах Ярроу, несмотря на уничтожение обратной цир-

куляционной трубы ¹⁾, котел продолжал работать без заметных перемен.

60. Преимущества и недостатки водотрубных котлов по сравнению с котлами других систем. Преимущества водотрубных котлов перед другими заключается в том, что: 1)—они могут быть безопасно применены к получению пара с гораздо большим давлением; 2)—удобнее для ухода; 3)—менее подвержены серьезным повреждениям, и если такое повреждение случится, то оно не влечет за собою особенно ужасных последствий как в случае взрыва обыкновенных котлов; 4)—более легки; 5)—быстро растапливаются; 6)—вследствие малого объема воды, происходит сравнительно, малая потеря теплоты при частых остановках.

Водотрубные котлы удобны еще тем, что их можно приготовить состоящими из очень небольших частей, которые легко перевозить или просто переносить на руках в самые неприступные места. Существуют, например, котлы, отдельные части которых весят не более 5 пуд.

Что касается до первого из указанных преимуществ, то оно остается справедливым для всех систем водотрубных котлов, и в этом отношении предел повышения давления пара ставится скорее паровой машиной, чем котлом. Но здесь нужно заметить, что стремление повысить давление пара преследует две цели: 1) получить более легкую паровую машину и 2) достичь большей экономии в горючем материале. Для достижения последней цели необходимо, чтоб котел, доставляющий пар под большим давлением, был бы в то же время, по крайней мере, также экономичен, как и другие хорошие котлы, иначе, то, что мы выиграем в машине будет потеряно в котле. Кроме того, котел должен давать сухой пар. В этом отношении, различные конструкции водотрубных котлов оказывается неодинаковыми. Многие из этих котлов дают очень сырой пар, так что необходимо прибегать к искусственным мерам для отделения воды от пара. Вообще в водотрубных котлах пар получается более сырой, чем в котлах других систем, и потому совместно с такими котлами нужно устанавливать перегреватели пара, а если этого почему-либо нельзя сделать, то во всяком случае необходимо ставить сепараторы для отделения воды.

Для экономичного парообразования необходимо, чтоб в топке происходило полное сгорание и чтобы имела место надлежащая циркуляция продуктов горения между поверхностями нагрева, соприкасаясь с которыми, газы могли бы отдать им всю свою теплоту и выходили бы в боров при надлежащей температуре. Для полного сгорания, при топке углем, необходим известный избыток воздуха и, кроме того, необходим известный объем топки, для того, чтобы газы имели достаточно времени и места перемешаться и соединиться с кислородом воздуха, прежде чем они соприкоснутся со сравнительно холодными стенками трубок, и температура газов понизится до того, что они не будут уже в состоянии

¹⁾ См. опыты Ярроу, Бюллетени Политехнич. О-ва №№ 1 и 2—1899 г.

вступать в химическое соединение. Во многих котлах, с большими топочными камерами, это условие хорошо выполнено, в тех же случаях, где газы до полного их сгорания прямо попадают в пространство между трубок, они тухнут, и в таких случаях всегда замечается неполное сгорание и большое присутствие дыма. На это обстоятельство было обращено особое внимание инженером Д'Але (D'Allet), и во французском флоте были произведены специальные испытания над котлами, совершенно одинаковой конструкции: в одном случае газы, не перемешиваясь, прямо поднимались между трубками—в результате получилось неполное сгорание, уголь дал испарение при 100°Ц. только 7,25; в другом случае газы вводились сначала в особо устроенную камеру для смешения и затем уже направлялись тем же путем между трубок—испарение получилось 10,76, т.-е. почти на 50% больше.

Таким образом, экономичное парообразование и полное сгорание топлива в большой мере зависит от величины топки и размера самого парового котла и до некоторой степени находится в противоречии с малым весом и малыми размерами котла, поэтому в каждом отдельном случае приходится выбирать золотую середину в зависимости от того, какое из этих условий является наиболее важным.

Потери теплоты через кладку в водотрубных котлах несколько больше, чем в котлах с жаровыми трубами. Что касается до *потерь с отходящими газами*, то они в водотрубных котлах могут быть меньше, чем в котлах с жаровыми трубами. Последние элементы поверхности нагрева водотрубных котлов более энергично действуют, чем в котлах с жаровыми трубами. Это объясняется, вероятно, лучшей циркуляцией воды в этих котлах.

В водотрубных котлах очень трудно предупредить *просачивание воздуха через кладку*, которая имеет здесь очень большую поверхность, и в особенности через люки для чистки трубок от сажи. Такое просачивание может очень сильно понизить тепловой эффект топки, и потому на него следует обращать особое внимание.

Не малое влияние на экономичность эксплуатации оказывает *прочность котла и удобство ухода за ним*. В этом отношении различные конструкции водотрубных котлов являются далеко не одинаково благоприятными. Долговечность службы котла зависит от многих причин: от общей конструкции котла, от материала, от конструкции и выполнения деталей. В водотрубных котлах наиболее важным в этом отношении является материал трубок, так как они легче всего подвергаются порче. *Наиболее прочными нужно признать трубки без швов, тянутые из мягкого литого железа и еще лучше из железа с примесью никеля* ¹⁾.

¹⁾ На собрании английских морских инженеров 1899 г. (Naval Architect) Япроу сделал доклад о результатах произведенных им опытов, с целью выяснить сравнительную пригодность для водотрубных котлов труб из мягкой стали и стали с примесью никеля от 20% до 25%. Трубы при этом подвергались действию кислот и окислительному действию горячих газов. Из опытов оказалось, что трубы из стали с примесью никеля несравненно лучше сопротивляются разрушительному действию горячих газов, чем трубки, приготовленные из мягкой стали.

Трубки со сварными швами не желательны не в смысле их меньшей крепости, так как, прочность этих трубок все-таки превосходит во много раз напряжение, вызываемое в материале давлением пара, но в сваренных швах обыкновенно гораздо скорее проявляется разъедающее действие воды, а образовавшееся даже небольшое отверстие в трубе делает ее, конечно, непригодной для дальнейшего употребления. Употребление гальванизированных трубок мало помогает делу, так как достаточно, чтоб тонкий слой цинка сошел в каком-нибудь месте, как разъедающее действие воды быстро распространится по всей трубке. Кроме того, присутствие цинка на трубках, как заметил Торникрофт, производит внутри котла образование взрывчатых газов, могущих воспламениться при осмотре его. Котлы с латунными трубками не могут употребляться для форсированной работы, в особенности в тех случаях, когда в питательной воде находится жир. Торникрофт нарочно брал образцы жира, отложившегося на стенках котла, клал его на латунную пластинку и подвергал нагреванию. Жир стал испаряться при температуре пластинки, при которой уже сильно нарушалась крепость латуни. Из этого опыта вполне понятно вредное действие жира. Не проводя теплоты, слой жира позволяет стенкам трубок нагреваться до температуры его испарения, и это нагревание усиливается еще тем, что образующиеся пары жира устанавливают дурно проводящий теплоту слой, не допускающий прикосновения воды с поверхностью трубки. Поэтому в котлах, работающих форсированно, латунные трубки не годятся. Медные трубки, пожалуй, еще можно допустить, так как температура, при которой нарушается ее крепость, значительно выше.

Что касается до конструкции котла, то для дешевого содержания весьма важно, чтоб каждую испорченную трубку можно было переменить отдельно, во многих же котлах для выемки одной трубки необходимо удалить еще несколько других, что, конечно, значительно удорожает ремонт. Такое же влияние оказывает конструкция котла на удобство осмотра и очистки трубок. В этом отношении прямые трубки имеют всегда большое преимущество перед искривленными. Многие строители утверждают, что в их котлах образование накипи в трубках происходить не может, вследствие энергичной циркуляции. Утверждение это *несправедливо*, и если действительно в некоторых случаях накипи в трубках не осаждается, то это обстоятельство нужно приписать прямо свойствам воды, а не энергичной циркуляции.

Дело в том, что в воде содержится обыкновенно в растворе углекислые и сернокислые соли извести магнезии. Углекислые соли хорошо растворимы в воде только в присутствии углекислоты, и потому, как только такая вода попадает в котел, углекислота из нее выделяется

См. также Corrocion of Boiler Tubes. (Mach. 596—7—04).

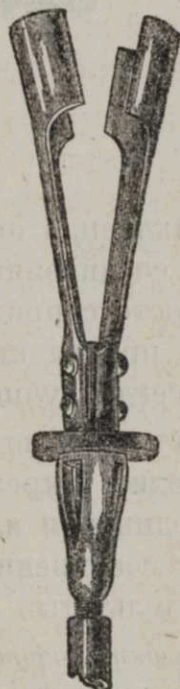
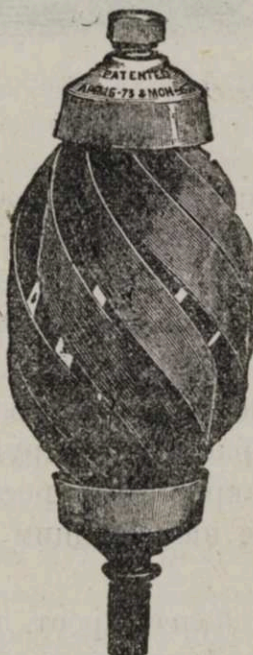
Доклад Albert Eaddy's Coldy. Soc. of nav. Arch. and Marin Egs.--04. abstract. Iron and Steel. Magazine June—04—656.

I. A. 26 Novemb.—03. Стр. 10.

под влиянием высокой температуры, а вместе с тем выделяются из раствора углекислые соли. Если питание производится в верхний барабан, то здесь выделившиеся соли и осаждаются, но часть их уносится и в трубки. Выделившиеся таким образом соли представляют из себя обыкновенно рыхлую массу, которая действительно может быть циркуляцией воды промыта из трубок, хотя во время остановок работы котла эта грязь может осесть в трубках и образовать довольно плотную массу, которая не будет смыта и циркуляцией, поэтому в трубках, по крайней мере у котлов, которые периодически останавливаются, всегда замечается налет в трубках. Этот налет не представляет больших затруднений при чистке, так как легко очищается металлической щеткой (фиг. 147), тем не менее присутствие его вредно



Фиг. 147.



Фиг. 148.

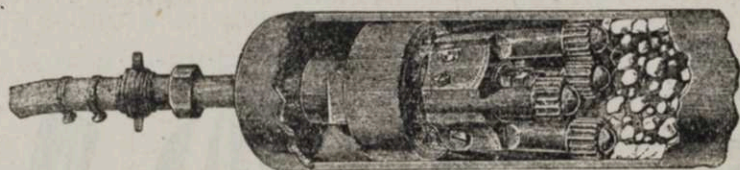
для прочности и экономичной работы котла, и потому допускать больших накоплений этого налета не следует.

Совсем другое происходит в том случае, когда вода содержит сернокислые соли. Растворимость их уменьшается только при очень высокой температуре воды, и поэтому, вообще, выделения сернокислых солей в виде осадка в котле не происходит. Выделяются же сернокислые соли в тех местах, где, вследствие сильного парообразования, происходит концентрация раствора, а это как раз имеет место в кипящих трубках. Здесь соприкасающийся с горячей поверхностью трубки слой воды при испарении выделяет растворенные в нем соли, которые сейчас же и прикипают к стенкам трубки, образуя очень твердую накипь. Эта накипь никакой циркуляцией воды удалена быть

не может и удаляется с большим трудом при помощи специально назначенных для этой цели скребков (фиг. 148) ¹⁾.

В котлах, работающих при очень высоком давлении, а следовательно, и при высокой температуре, часть сернокислых солей выделяется в виде осадка, и потому твердой накипи получается меньше.

Большое влияние на долговечность трубок оказывает возможность производить очистку сажи и мелкой золы с внешней поверхности, так как присутствие золы совместно с сыростью способствует быстрому разрушению трубок. В этом отношении существует большое различие между различными системами водотрубных котлов.



Фиг. 149.

Наконец, в отношении удобства ухода также важную роль играет способ соединения отдельных частей. Соединения эти производятся или просто соприкосновением металлических частей, или употребляя мягкие прокладки; первые хотя и более трудные для исполнения, дают всегда лучшие результаты, чем вторые.

То же нужно сказать и о соединении трубок с камерами и между собой: одни закрепляют трубки раскаткой, другие применяют винтовые соединения или, наконец, закрепляют просто на конусах. Первое из этих соединений, выполненное надлежащим образом, дает наилучшие результаты.

Ремонт водотрубных котлов более прост, так как котел обыкновенно состоит из небольших частей, легко заменяющихся запасными частями, но порча таких частей происходит более часто, чем порча котлов других систем, и потому стоимость ремонта за известный промежуток времени может оказаться для водотрубного котла не меньше, а может быть и больше, чем для котла другой системы.

Водотрубные котлы представляют громадную выгоду своей легкостью; это особенно важно для пароходов: в то время, как обыкновенный цилиндрический котел на одну индикаторную силу, при давлении в 11 атм.,

¹⁾ Для очистки накипи существует прибор „Турбиния“ (фиг. 149), который представляет из себя маленькую турбинку, приводимую в движение водой, проходящей через трубку, к которой прикреплен прибор. К турбинке приделаны на шалнерах пальцы, оканчивающиеся рифлеными роликами. При вращении турбинки, пальцы центробежной силой прижимаются к поверхности трубки и рифлеными роликами счищают накипь. Вода может приводиться от питательного насоса (под давлением в 6—7 атм.) и сообщая движение турбинке, в то же время смывает отделенную от трубки накипь.

Существуют также аппараты, действующие ударом; относительно них нужно сказать то же, что приведено в примечании на стр. 72.

весит 81 кгр., котел Бабкока, при давлении в 13 атм. весит 48 кгр., а котел Бельвиля, при давлении 17 атм.—45 кгр.

При форсированном дутье вес цилиндрических котлов около 42 кгр. на инд. силу, вес котлов Ярроу и Торникрофта около 8,4 кгр., первого при давлении в 10, второго при давлении в 14 атм. При более легких котлах пароход может взять большее количество груза, или заpastись на большое расстояние дешевым углем, и таким образом, получить значительные выгоды. Водотрубные котлы могут быть легко исправлены на море.

Быстрая растопка водотрубных котлов обусловливается не только малым объемом воды, по сравнению с поверхностью нагрева, но и благоприятным распределением температур внутри котла, так как во время растопки циркуляция в водотрубных котлах идет энергично. Трубчатые котлы с внутренней топкой имеют относительный объем воды не больший, чем водотрубные, тем не менее растопка их и уравнивание температур идет значительно медленнее вследствие недостаточной циркуляции.

Что касается до последнего, самого главного преимущества водотрубных котлов—*их сравнительной безопасности*, то таковая увеличивается по мере того, как уменьшаются размеры сосудов, содержащих воду. Поэтому водотрубные котлы с большими барабанами представляют большую опасность, чем, например, котлы Бельвиля, в которых вода содержится только в небольшом количестве в трубках малого диаметра. Тем не менее, вообще водотрубные котлы представляются гораздо менее опасными, чем котлы всех других систем. До сих пор неизвестно ни одного случая, чтобы водотрубный котел взорвало с теми ужасными последствиями, которые сопровождают обыкновенно взрывы котлов других систем.

Но в тоже время нужно заметить, что *незначительных несчастий с водотрубными котлами случается гораздо больше*, чем с котлами других систем. В громадном большинстве случаев эти несчастья заключаются в том, что разрываются кипяtilьные трубки или вырываются крышки, закрывающие люки к этим трубкам, при этом вырывающейся струей пара и воды обваривает стоящих поблизости людей. Таких случаев увечья, часто со смертельным исходом, было очень много в начале распространения водотрубных котлов, но затем были выработаны меры, значительно сократившие число подобных случайностей. Меры эти сводятся к следующему:

Не надо брать трубок диаметром больше 100 мм., так как до этого размера трубки разрушительных взрывов не производят.

Вследствие небольших размеров трубок крепость их настолько превосходит напряжение, получающееся при работе, что случайный разрыв какой-нибудь из труб не в состоянии произвести разрушения других частей, и все дело ограничивается в таких случаях тем, что из разорванной трубы вырывается более или менее сильная струя пара и воды, которая, смотря по величине разрыва, может или только дать

знать о том, что повреждение случилось, или, в крайнем случае, вырвется с такой силой, что обожжет стоящих у котла лиц.

Обсуждение вопроса о рациональности применения самозапирающихся дверей происходило на Висбаденском Собрании Интернационального Союза Обществ по надзору за п. к. 9 сент. 1908. Ни к какому определен. результату не пришли. Z. D. V. G. 85—7—09.

Для ограждения прислуживающих необходимо точные двери устраивать таким образом, чтобы они плотно закрывались и не могли сами открываться, в случае повышения давления внутри топки; крышки и люков перед трубами также следует делать вставляющимися изнутри, так чтобы они прижимались давлением пара; если крышки поставлены снаружи, то ни в каком случае нельзя допускать подтягивания болтов во время работы котла, так как от этой неосторожности произошло наибольшее число несчастных случаев. Двери, открывающие доступ к люкам, нужно делать плотно запирающимися и во время работы котла держать их на запоре. Все эти предосторожности должны быть сделаны с тою целью, чтобы в случае разрыва трубки или отрыва крышки люка пар не мог быть выброшен из топки и не мог обварить стоящего около котла рабочего. Для того же, чтобы вырвавшийся из котла пар мог найти свободный выход, в кладке котла должны быть устроены особые предохранительные люки, автоматически легко открывающиеся и выпускающие пар наружу.

(Более подробно о безопасности водотрубных котлов см. статью инж. Конпера в Б. П. О. 405—01).

На основании вышесказанного нужно признать, что водотрубные котлы являются единственно надежными парообразователями для тех мест, по соседству с которыми бывает постоянно большое скопление людей, так, напр. пароходы, театры и т. д., где взрыв обыкновенного котла может причинить страшные несчастия.

Безопасность водотрубных котлов увеличивается еще тем обстоятельством, что они, вследствие особенности своей конструкции, вполне доступны для внутреннего и внешнего осмотра и чистки, а потому при внимательном уходе всякая опасность может быть заранее предупреждена. Правда внутренность трубок не может быть вполне хорошо осмотрена, и потому даже при внимательном уходе случается, что какая-нибудь трубка проржавеет и потечет, но такое обстоятельство решительно никаких серьезных последствий иметь не может; сплошь и рядом трубки, в которых показалась течь, работают еще сутки, а то и более, пока явится возможность остановить котел.

К недостаткам водотрубных котлов относят:

Малое содержание воды, вследствие чего при неравномерном расходе пара трудно удерживать постоянным давление в котле. Обстоятельство это не особенно важно: в тех случаях, где действительно замечается большая неравномерность в расходе пара, как, напр., в красильных и сахарных заводах и т. п., — там обыкновенно не особенно важно, насколько

равномерным сохраняется давление в котле; в тех же случаях, где равномерное давление желательно, как, напр., при работе паровых машин, там обыкновенно неравномерность расхода не проявляется в столь резких формах, и, благодаря чувствительности водотрубных котлов к интенсивности, с которой ведется топка, всегда можно поддерживать давление пара в надлежащих пределах.

Недостатки водотрубных котлов в смысле большой влажности даваемого ими пара могут быть вполне устранены, применением в самом котле сепаратора и пароперегревателя, что в настоящее время почти всегда и делается в тех случаях, когда пар расходуется в паровых двигателях.

Таким образом водотрубные котлы, при удовлетворении приведенных выше требований, обуславливающих их правильную работу, оказываются наиболее совершенными парообразователями и в громадном большинстве случаев могут быть смело рекомендованы.

С этим, повидимому, согласна и современная практика, по крайней мере водотрубные котлы с каждым годом находят себе все большее и большее распространение в разных отраслях техники.

Обыкновенные вертикальные котлы.

61. Обыкновенные вертикальные котлы применяются в тех случаях, когда не требуется большой паропроизводительности.

Они удобны тем, что занимают мало места в горизонтальной плоскости, и потому во многих случаях могут оказаться очень удобными, если котел не требуется больших размеров, в противном случае вертикальные котлы выходят слишком высокими и неудобными для ухода.

Котлы эти легко могут переноситься с места на место; их первоначальная стоимость не велика и к тому же они не требуют кирпичной обмуровки.

Вертикальные котлы в большинстве случаев употребляются при небольших двигателях, и здесь кстати можно заметить, что, несмотря на большое развитие в наше время газовых и керосиновых двигателей, спрос на вертикальные котлы продолжает расти.

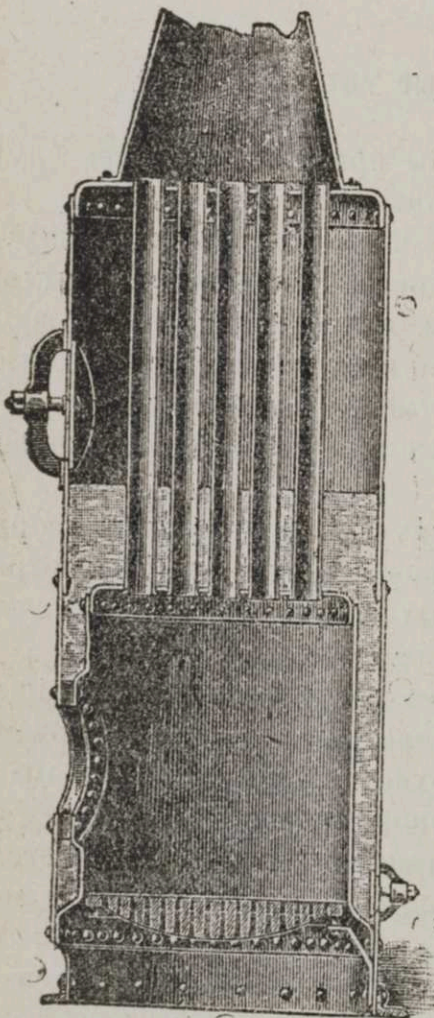
Главные недостатки вертикальных котлов состоят в том, что в них пару приходится проходить через очень толстый слой воды и выделяться на сравнительно небольшой поверхности, при этом пар пробивается через поверхность воды с большой скоростью, увлекает с собой много воды в виде механической примеси, и пар получается очень влажный. Кроме того, в горизонтальных котлах, вследствие кривизны их нагревательных поверхностей, образовавшиеся пузырьки пара сейчас же, отделяются от стенок котла и поднимаются на поверхность, в вертикальных же котлах этого не происходит, а пар, наоборот, прилипает к стенам и, поднимаясь кверху, движется все время вдоль них, поэтому между стенками котла и водой всегда находится тонкий

слоем пара, затрудняющий передачу теплоты. Наконец, в вертикальных котлах не так удобно устраивать топку, как в горизонтальных и потому вертикальные котлы работают всегда менее экономично, чем горизонтальные.

Общий недостаток больших вертикальных котлов заключается еще в том, что заклепочный шов, окружающий устье топки, то подвергается сильному жару, то охлаждается потоком воздуха при забрасывании топлива. Такое попеременное нагревание и охлаждение весьма вредно отзывается на прочности заклепочного шва, вследствие чего вертикальные котлы в этом месте очень часто дают течь. Поэтому при конструировании указанного соединения нужно особенно заботиться о его прочности ¹⁾.

Из существующих вертикальных котлов укажем на следующие наиболее распространенные типы.

62. Трубчатый вертикальный котел с внутренней топкой (фиг. 150). В таких котлах в промежутке между внешней оболочкой котла и внутренним цилиндром собирается всегда много грязи, и для того, чтобы она не особенно пригорала, колосниковую решетку ста-



Фиг. 150.

Табл. 26, (к фиг. 150).

Трубчатые вертикальные котлы, исполняемые заводом Julius Söding und Heyde in Hörde (Westfalen).

Котел.		Топка.		Дымогарные трубки.		Поверхность нагрева кв. метры.
Диам. метры.	Выс. метры.	Диам. метры.	Выс. метры.	Диам. 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 замечание относится и к паровозным котлам.

вят несколько выше места соединения внешнего и внутреннего цилиндров, где именно и оседает грязь. *Внутренний цилиндр должен продолжаться ниже внешнего* для того, чтобы он опирался на кладку и защищал нижний заклепочный шов от действия сырости, которая развивается в золе. Иногда удлиняется внешняя оболочка, как показано на чертеже, но это неправильно, так как при этом во время ремонта очень трудно вытащить внутреннюю часть, и приходится расклепывать весь котел, что очень нежелательно. Если обе части—внешняя и внутренняя—оканчиваются на одном уровне, то их не следует ставить прямо на кирпичную кладку, а следует ставить на фундаментное чугунное кольцо для предохранения нижнего шва от разъедания. Котлы эти быстро образуют пар, но неудобны для очистки. При переменном нагревании и охлаждении трубок, от них отваливается накипь, которая в большом количестве остается на решетке, вследствие чего последняя сильно нагревается и дает трещины в заклепочных швах. При чистой воде котлы действуют лучше.

В описанном трубчатом котле верхняя часть трубок проходит через паровое пространство. Хотя подобное положение трубок является выгодным в том отношении, что производит сушку пара, но, с другой стороны, оно неудобно потому, что трубки обыкновенно скоро ржавеют на высоте уровня воды ¹⁾, да, кроме того, по существующим законам обогреть паровое пространство в некоторых случаях не может быть допущено (см. стр. 2, примечание 1-е).

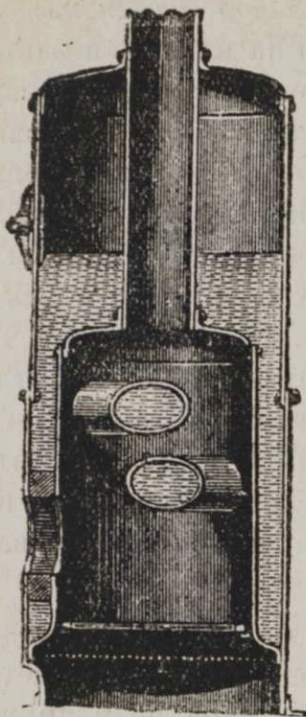
Обыкновенно высота вертикальных трубчатых котлов делается равной 2 или 2,5 диаметра. Высота внутренней топки берется 1,3 внутреннего диаметра.

Внутреннюю топку лучше делать коническую, при этом легче происходит отделение пузырьков пара от стенок топки, а для того, чтобы удобно было производить очистку, расстояние между внешним и внутренним цилиндром снизу должно быть не менее 75 мм., а в верхней части—не менее 150 мм.

В некоторых местах котла должны быть сделаны люки, хотя небольшого размера, чтоб, просунув в них руку, можно было произвести очистку внутренности котла от грязи.

63. Вертикальный котел Лешапеля с внутренней жаровой трубой (фиг. 151). Для увеличения поверхности нагрева в топке сделаны поперечные трубки (род Галловеевских); трубки эти обыкновенно делаются с заварными швами и к котлу или приклепываются, или тоже привариваются. Против каждой трубки на внешней оболочке котла помещается

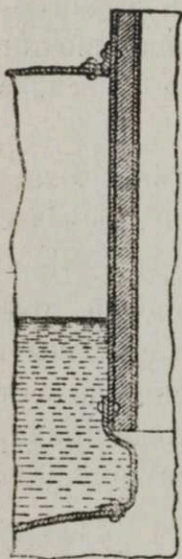
¹⁾ Разъедание труб идет очень быстро около уровня воды. Вследствие колебания уровня, труба периодически то омывается паром, и при этом нагревается более сильно, то омывается водой, снова охлаждаясь; вследствие перемен температуры происходит деформация материала, отчего образовавшаяся на трубе окалина отваливается и окислительному действию воды все время подвергается свежая поверхность железа, которая и разъедается быстро; в других же местах находящаяся на поверхности окалина служит как бы предохранительным средством от дальнейшего разъедания.



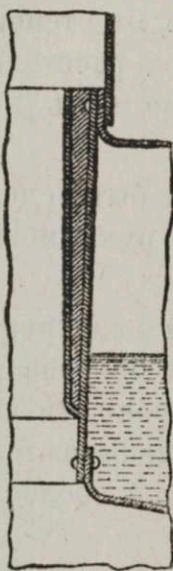
Фиг. 151

люк для прочистки внутренности как трубки, так и вообще всего котла. В этом котле труба проходит через паровое пространство, и потому может легко подвергаться ржавчине на уровне воды и представлять некоторую опасность от накаливания. Для предупреждения этих неудобств, трубу в некоторых случаях ограждают, помещая внутри ее другую железную трубу и заполняя пространство между ними огнеупорной глиной, как показано на фиг. 152, 153 или помещая чугунную трубу (фиг. 154)¹⁾. Дымовая труба служит вместе с тем и креплением верхнего днища с топкой; но если она не защищена, то может накалиться столь сильно, что потеряет свою прочность и разорвется. Трубу лучше делать конической, чтобы ее легче было вынимать при ремонте.

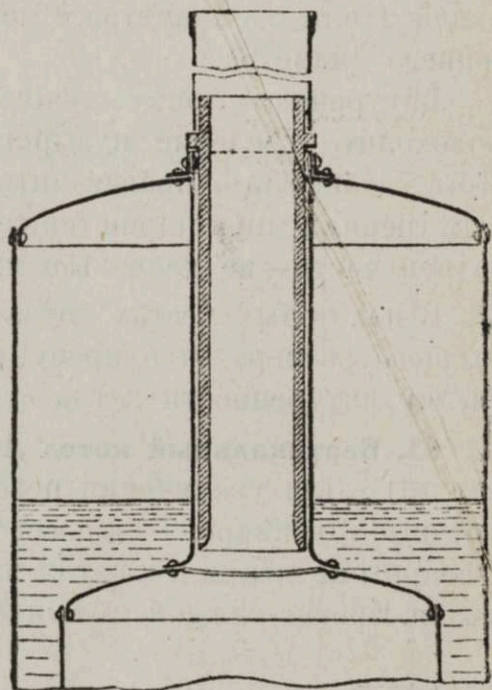
Высота этих котлов, как и трубчатых, делается обыкновенно равной 2—2,5 диаметра. Высота жаровой трубы делается 1,6 внутреннего диаметра. Поперечных трубок ставят от 2 до 5, в большинстве 3; диаметр их в больших котлах берется — $\frac{1}{6}$ диаметра жаровой трубы, в малых — $\frac{1}{4}$ диаметра жаровой трубы.



Фиг. 152.



Фиг. 153.



Фиг. 154.

¹⁾ Присутствие таких предохранительных средств необходимо в вертикальных котлах и в тех случаях, когда газы подходят к паровому пространству.

Трубы лучше ставить слегка наклонно, чтоб облегчить выход из них пара. Иногда их делают коническими. Расстояние между внешним и внутренним цилиндром внизу минимум 75 мм., а сверху 150 мм.

Брияи-Донкин приводит результаты опытов с трубчатыми вертикальными котлами. Для малых котлов коэффициент полезного действия получился очень мал: 44%, но для некоторых котлов он достигал 76%. С квадр. метра поверхн. нагрева этих котлов снималось от 3,5 до 15 кгр. пару в час.

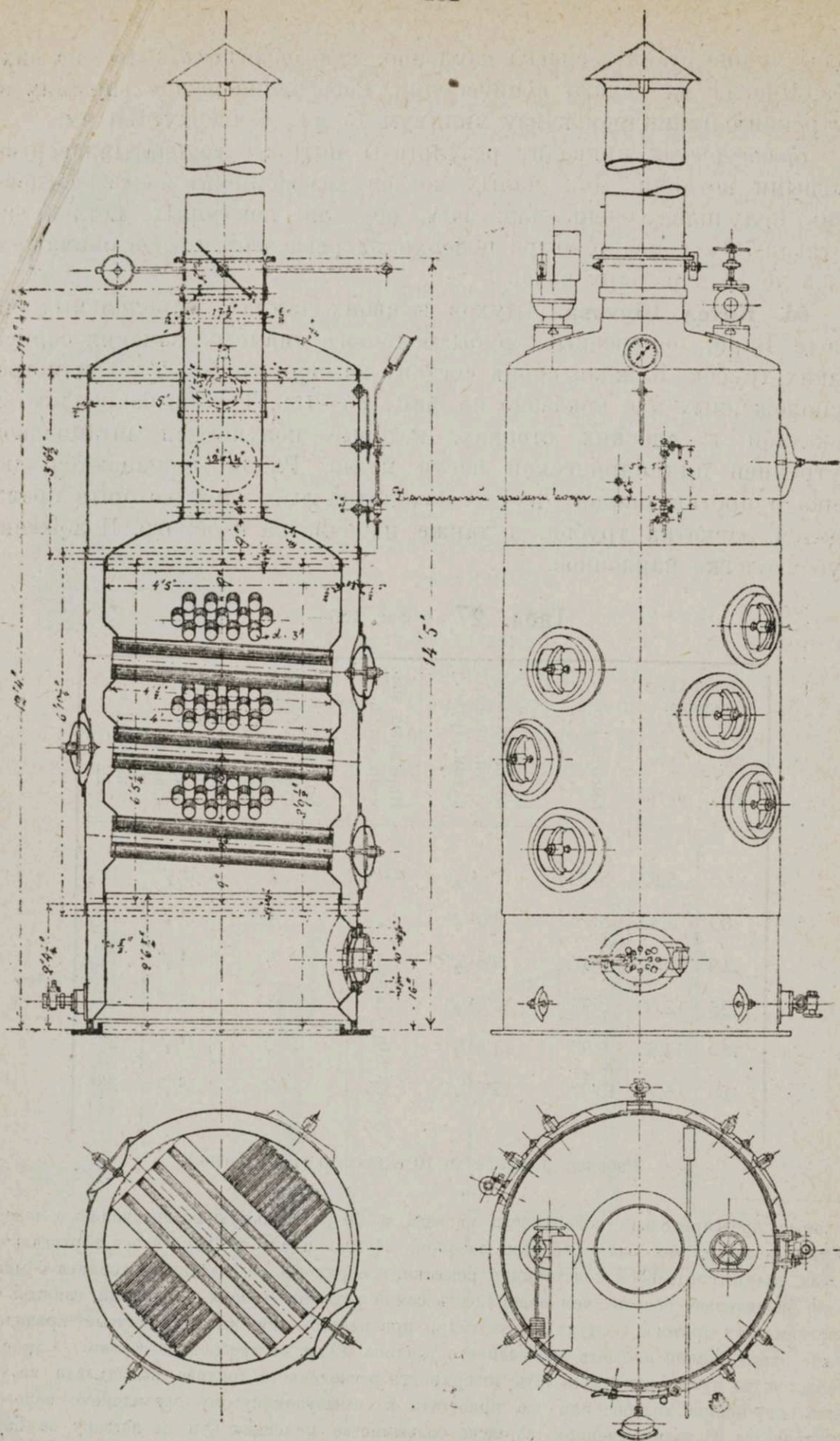
64. Котел Шухова. Шухов в своих котлах, исполняемых на заводе Бари, поперечные трубы большого диаметра заменил серией мелких трубок. Каждая серия состоит из семи трубок 2" в диаметре, расположенных как показано на фиг. 155—158. Трубки закрепляются раскаткой в плоских стенках, которые получают штамповкой внутренней цилиндрической части котла. Рядом помещаются два пучка и против каждого из них находится люк, через который производится раскатка трубок, а также их очистка и осмотр. Положение трубок слегка наклонное.

Табл. 27, к фиг. 155—158.

Поверхн. нагрева.		Высота котла.	Полная высота котла, включая чугун. переход к дым. трубе.	Наружный диаметр котла.	Количество пучк., состоящ. каждый из 7 трубок 2".	1 двойной предохранит. клапан.	1 паровой вентиль.
кв. фут.	кв. метр.						
60	5,57	5'9"	7'6 1/2"	3'4 1/2"	2	1 1/2"	1 1/2"
80	7,43	6'9"	8'6 1/2"	"	4	1 1/2"	1 1/2"
110	10,22	7'9"	9'6 1/2"	3 фут. 5 1/4" дюйма.	6	1 1/2"	1 1/2"
135	12,50	8'9"	10'6 1/2"		8	1 3/4"	2"
160	14,85	9'9"	11'6 1/2"		10	1 3/4"	2"
180	16,70	10'9"	12'6 1/2"		12	1 3/4"	2"

Рабочее давление до 10 атмосфер (150 фунтов).

не омыв предварительно поверхность нагрева в 20 раз большую по сравнению с поверхностью решетки, как это требуется законом. Нужно иметь в виду, что в вертикальных котлах, вследствие особой конструкции решетки, поверхность раскаленного топлива обыкновенно значительно больше, чем поверхность самой решетки (говоря о площади, занятой отверстиями для притока воздуха), и потому, при пользовании вышеупомянутым правилом, нужно брать именно площадь раскаленного топлива. Если же требование закона не удовлетворяется, то нужно или уменьшать поверхность раскаленного топлива, выкладывая внутри котла кирпичное кольцо, или же прибегать к вышеупомянутому ограждению парового пространства. С таким мнением согласно большинство немецких О-в по надзору за паровыми котлами. См. Z. V. R. V.—63—№ 7—06.



Фиг. 155—158.

Таблица 27 (продолжение).

Поверхн. нагрева.		Высота котла.	Полная высота котла, включая чугуи. переход к дым. трубе.	Наружный диаметр котла.	Количество пучк., состоящ. каждый из 13 трубок 3".	1 двойной предохранител. клапан.	1 паровой вентиль.	
кв. фут.	кв. метр.							
210	19,50	11'00"	12'9 1/2"	3'10 1/4"	Пучки по 7 труб. d=2"	2"	2 1/2"	
235	21,80	11'9"	13'6 1/2"	"		14	2"	2 1/2"
280	26,00	10'8"	12'9"	5 фут. 2 дюйма.		4	2"	2 1/2"
330	30,65	11'6"	13'7"			5	2 1/2"	3"
380	35,20	12'6"	14'7"			6	2 1/2"	3"
430	40,00	13'4"	15'5"			7	2 1/2"	3"

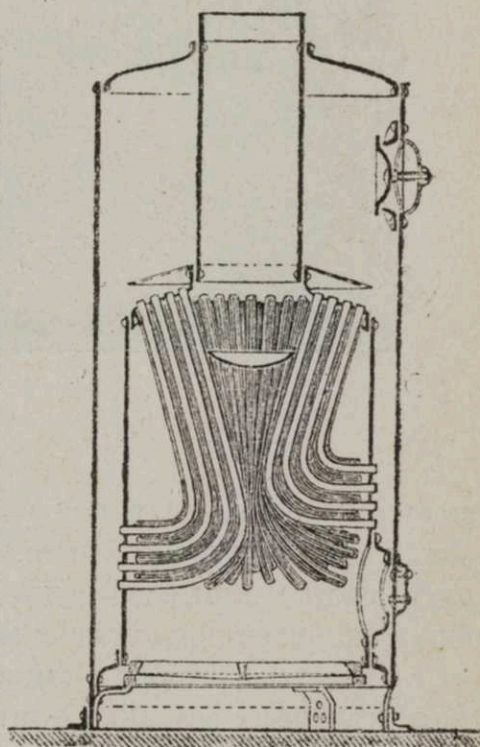
Рабочее давление до 8 атмосфер (120 фунтов).

65. Котел Паксмана. Американская фирма Давей Паксман и К^о кипяtilным трубкам придает форму, показанную на фиг. 159. Такие трубки очень хороши в отношении парообразования, а также вследствие искривленной формы, легко пружинят и не расстраивают прочности

Таблица 28, к фиг. 151.

Котлы Лешапеля, исполняемые заводом Н. Paucksch, Landsberg a/Wathe.

Котел.		Топка.		Поперечные трубы.		Поверхность нагрева кв. метры.
Диам., метры.	Выс., метры.	Диам., метры.	Выс., метры.	Диамет., 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

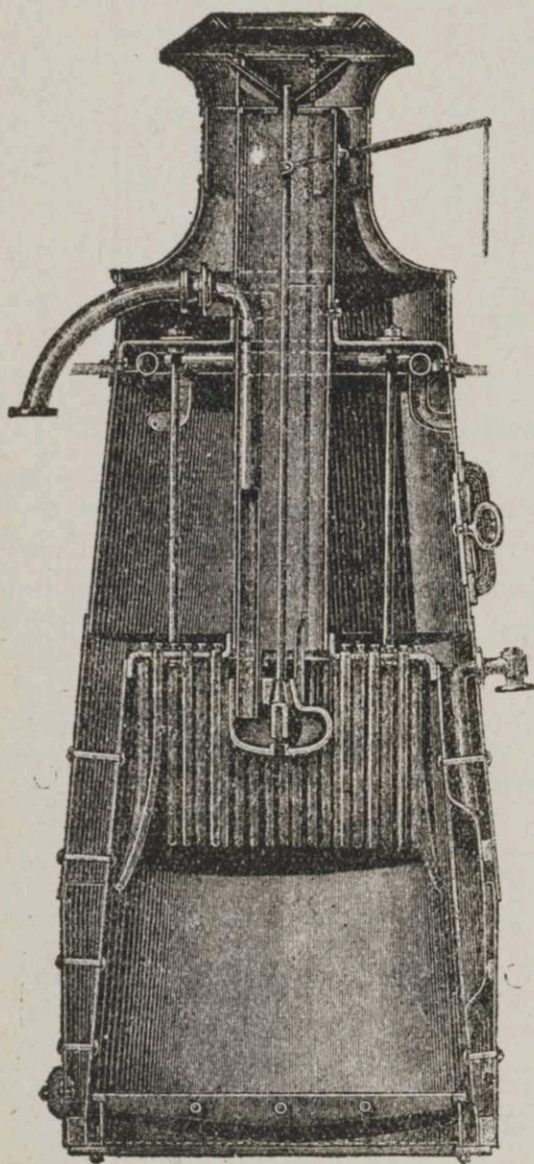


Фиг. 159.

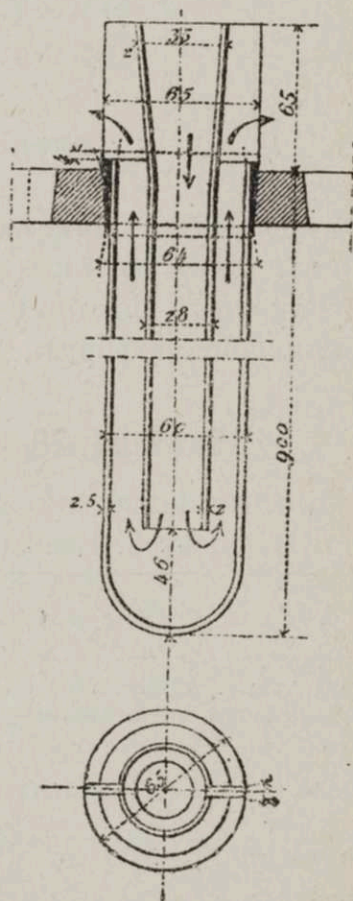
соединения, но неудобны тем, что недоступны для чистки и, если засорятся накипью или перегорят, то для замены их новыми приходится расклепывать весь котел, так как иначе трубок вставить нельзя.

66. Котел Фильда, бывший некогда в большом употреблении. Его особенность в оригинальной конструкции кипятильных трубок (фиг. 160—163), несправедливо называемых Фильдовскими трубками,

так как они были изобретены *Перкинсом* в 1831 г. С нижнего конца трубки вполне закрыты, с верхнего—они имеют коническое расширение. Соответственно этому расширению в толстом днище внутренней трубы котла просверлены кониче-



Фиг. 160.

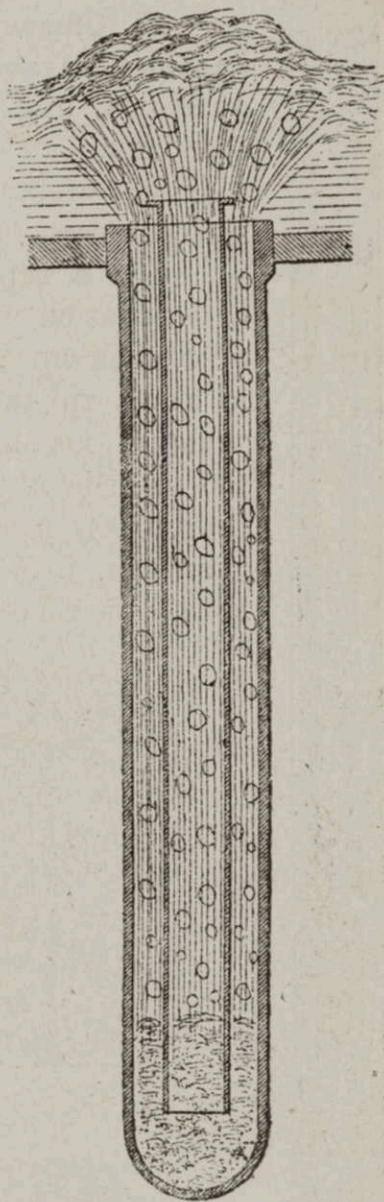


Фиг. 161.

ские отверстия. Если конусы трубок хорошо пригнаны к этим отверстиям, то достаточно вставить трубку и слегка прижать, чтобы получить вполне плотное соединение с решеткой, при чем плотность соединения увеличивается еще больше под давлением пара.

Для того, чтобы в кипятильных трубках происходила циркуляция, внутри их вставляют питательные трубочки, конструкция которых ясна из чертежа (фиг. 161).

Фильд рассчитывал, что вследствие быстрого движения воды, внутри трубок не будет образовываться накипь; на самом деле ожидания Фильда не оправдались. Из того, что было уж сказано о циркуляции воды в водотрубных котлах, понятно, что в трубках Фильда никакой циркуляции происходить не может. Трубки Фильда действуют совершенно так же, как маленькие гейзеры. Пар, образовавшийся в нижней части трубочки, заполняет как внешнюю, так и внутреннюю часть трубки (фиг. 162); когда давление пара достигнет достаточной величины, он приподнимает находящийся над ним столбик воды, при чем, вследствие уменьшения высоты давящего столба, давление на нижние слои воды уменьшается; вся масса воды обращается в пар, который и выбрасывает с большой силой все содержимое трубки в котел, после чего трубочка снова заполняется водой. Вследствие такого действия трубок, нижний конец их сильно перегревается и скоро прогорает. Кроме того, нижний конец заполняется накипью, что еще более ускоряет перегорание трубки. В некоторых случаях трубки оказываются совершенно затянутыми твердой накипью (на фиг. 163 представлена трубка Фильда, затянутая накипью; рисунок снят с натуры, часть трубки представлена в натуральную величину). Хотя переменить прогоревшую трубку очень легко, но все-таки это сопряжено с остановкой котла, а так как трубки прогорают довольно часто, то, следовательно, и с чувствительными расходами; поэтому теперь котлы Фильда выходят из употребления. Котлы эти отличаются тем, что могут быть очень быстро растоплены, и обладая малым весом и объемом, дают в то же время сравнительно большое количество пара, почему они почти исключительно нашли применение для перевозных паровых, пожарных насосов.



Фиг. 162.

Здесь кстати можно заметить, что трубки Фильда ставятся и в других котлах; так, напр., их ставят в жаровые трубы корнуоллийских котлов, но вследствие упомянутых выше неудобств, едва ли могут считаться полезным добавлением для таких котлов.

Обыкновенно думают, что трубки Фильда сильно увеличивают парообразовательную способность котла; но это несправедливо. Та часть

поверхности нагрева, которая лежит непосредственно над тонкой, подвержена, главным образом, действию лучистой теплоты.

Трубки же Фильда, помещенные над колосниковой решеткой почти не увеличивают поверхности нагрева, подверженной действию лучистой теплоты, почему они и не могут оказать значительного увеличения парообразования котла.

67. Общие замечания относительно устройства вертикальных котлов. Верхнее днище обыкновенно делают сферическим, при радиусе сферы, равном диаметру внешней оболочки. Такое днище, если оно имеет толщину, равную толщине стенки котла, считается достаточно прочным, чтоб выдерживать давление без всяких креплений.

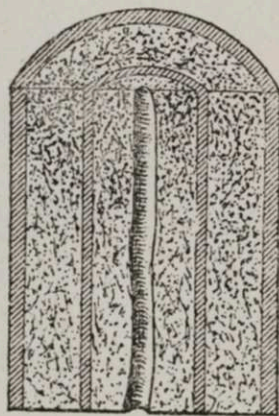
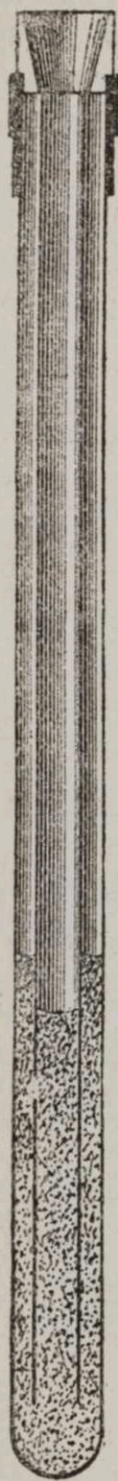
Лаз в вертикальных котлах следует располагать таким образом, чтоб он весь находился или в паровом или в водяном пространстве; если же он находится на границе, то очень трудно поддерживать плотность затвора. В вертикальных котлах лазы не должны быть меньше как 280 на 350 мм., где же можно, там нужно помещать лаз такого размера, чтобы в него можно было пролезть. Если котел малого диаметра, то большой лаз может слишком сильно ослабить лист, и в таком случае будет благоразумнее не делать совсем лаза, а ограничиться только небольшими ручными люками.

Ручные отверстия тоже должны быть укреплены кольцами, так как иначе в них легко появляется течь, и разъедаются опорные поверхности; если можно, то в этих местах следует приклепывать укрепляющие штуцера с обработанными поверхностями.

Иногда в вертикальных котлах, вместо того, чтобы делать люки, закрывающиеся крышками, просверливают большие отверстия, нарезают в них винтовую нарезку и заворачивают пробки; такое устройство ни в каком случае не может быть рекомендовано, так как нарезка ржавеет, приходится ее возобновлять и отверстие увеличивается в размере; кроме того, нарезка

может портиться также при чистке отверстия, а вследствие разъедания нарезки и положение самой пробки не будет надежно.

Топочная дверца ни в каком случае не должна располагаться ниже, чем на 250 мм. над колосниковой решеткой, а если можно, то гораздо



Фиг. 163.

выше, иначе раскаленный слой топлива подходит близко к шву топочного отверстия и сильно его расстраивает. Если размеры золотникового отверстия настолько велики, что через него можно влезть во внутрь топочного пространства, то топочному отверстию можно придавать небольшие размеры—250 на 25 мм., в противном же случае, топочная дверца должна иметь размеры лаза, чтоб в нее можно было пролезть.

Топочная камера вертикальных котлов должна быть возможно правильной формы, поэтому ее делают или со сварными швами или со швами в стык. Присутствие шва в топке крайне нежелательно, и потому, если только есть достаточно искусный рабочий, которому можно доверить сварку, нужно предпочесть сварной шов.

Котлы, построенные на особых принципах сжигания и использования топлива.

I. Котлы с беспламенным сжиганием топлива.

68. Принцип беспламенного сжигания топлива был установлен независимо друг от друга английским профессором Боном (Bone) в Лидсе и германским инженером Шнабелем (Schnabel).

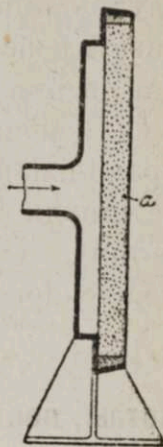
Новый принцип по существу своему с наибольшим удобством применим для сжигания газообразного топлива, но сделаны попытки применить его к сжиганию и жидкого топлива.

Принцип беспламенного сжигания заключается в том, что процесс сгорания протекает в недрах огнеупорной пористой массы. Смесь газа и потребного количества воздуха поступает в поры огнеупорной массы под тем давлением, какое необходимо, чтобы скорость газа, а следовательно и расход его, были требуемой величины. В зависимости от количества газа и давления, под которым он подается, устанавливается в недрах пористой массы зона горения большей или меньшей величины. Масса нагревается постепенно до белого каления, и в порах ее процесс горения смеси протекает без образования пламени, завершаясь чрезвычайно быстро, что обуславливается распределением частиц смеси по огромному количеству мельчайших камер сжигания, каковыми являются поры огнеупорной массы, отсутствием каких-либо причин, могущих вызывать охлаждение, и каталитическим действием самой огнеупорной массы.

Процесс беспламенного горения можно осуществить пропуская смесь газа и воздуха через или диафрагму из пористого материала, или через той или иной формы канал, заполненный кусками огнеупорного вещества. В первом случае, в виду большого сопротивления, какое представляет диафрагма потоку смеси, приходится прибегать к нагнетанию ее; во втором же возможно пользоваться и отсасыванием.

Процесс горения без образования пламени доступен наблюдению с большей наглядностью, во всех стадиях своего развития, если пользо-

ваться для его осуществления диффрагмою (фиг. 164). В этом случае пропускают через диафрагму сначала только один газ и его зажигают. Газ горит желтым пламенем. Затем постепенно прибавляют воздуха. Пламя становится голубым и скоро превращается в легкую вуаль, сквозь которую видны отдельные раскаленные пятна диффрагмы. Через несколько секунд пламя совсем исчезает, а раскаленные пятна сливаются в одну поверхность, светящуюся красным светом. Белое же каление наступает затем постепенно.



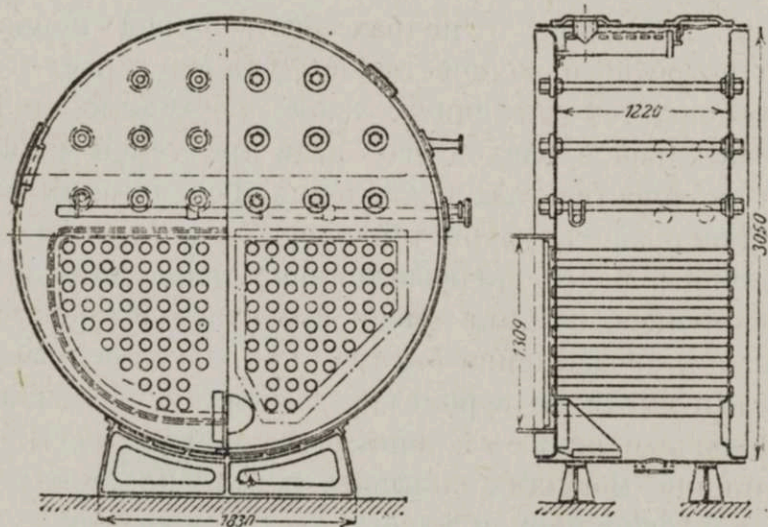
Фиг. 164.

Для отопления паровых котлов, естественно, легче осуществить принцип беспламенного сжигания, применяя другой способ,—сжигая смесь в дымогарных трубках, наполненных кусками огнеупорной массы.

На фиг. 165—166 представлен один из вариантов трубчатых котлов с беспламенным горением. Топливом служит в данном случае газ из коксовальних печей.

Поверхность нагрева котла составляет приблизительно 30 кв. м. при диаметре в 3 метра и длине трубок 1220 мм. Трубок, внутренний диаметр коих равен 75 мм.,—110 штук, при чем некоторые из них играют роль только анкерных связей.

Охлаждение газов, при их движении вдоль трубок, идет столь быстро, что нет смысла делать трубки более длинными. Опыты показали что на протяжении первой трети длины трубок указанного раз-



Фиг. 165—166.

мера образуется 70% всего количества пара, на протяжении второй—22%, наконец—последняя треть дает лишь 8%.

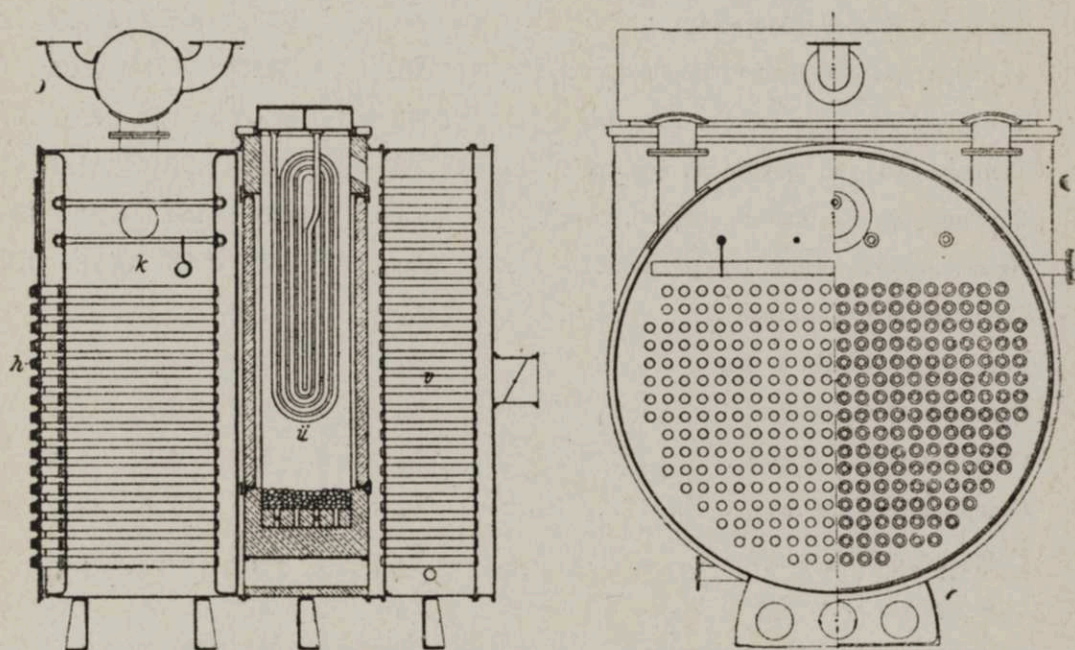
На фиг. 167—168 изображен другой вариант котла с перегревателем (ü) и подогревателем (v). Перегреватель помещается в особой камере, имеющей огнеупорные стенки и отдельный очаг в нижней своей части. Очаг состоит из нескольких каналов, подводящих газ;

Поверх выходных отверстий этих каналов свободно насыпано некоторое количество огнеупорного материала в кусках. Тяга создается вентилятором, расположенным за экономайзером.

Как видно на фиг. 167 подогреватель по своему устройству вполне подобен самому котлу. Трубки его тоже заполнены огнеупорным материалом.

Трубки котла снабжены на концах пробками из огнеупорного материала, имеющими по своей оси отверстие диаметром около $\frac{1}{2}$ ''.

Наблюдения показали, что при указанном диаметре входного отверстия пояс ярко белого каления не простирается далее 100 мм. вдоль оси трубки и ограничивается диаметром 20—25 мм. Температура его доходит до 1600° и более, тогда как у стенок трубки огнеупорная масса находится в состоянии лишь красного каления.



Фиг. 167—168.

Этим должно объяснить тот факт, что, несмотря на чрезвычайно большую напряженность поверхности нагрева, не наблюдалось перегрева трубок.

Температура газов при выходе из котла при такой незначительной длине трубок оказывается упавшей до 200° и ниже, а за подогревателем она доходит до $90-100^{\circ}$.

Такая хорошая теплоотдача, обязана, очевидно, тому обстоятельству, что здесь чрезвычайно развита лучеиспускающая поверхность, и теплота газов идет почти исключительно на создание такой лучеиспускающей поверхности. Передача же теплоты непосредственным соприкосновением играет здесь относительно второстепенную роль.

В таблице ¹⁾ 29 приведены данные четырех испытаний одного из котлов рассматриваемого типа с поверхностью нагрева 32,7 кв. м.

¹⁾ См. Stahl u Eisen № 14, 1915.

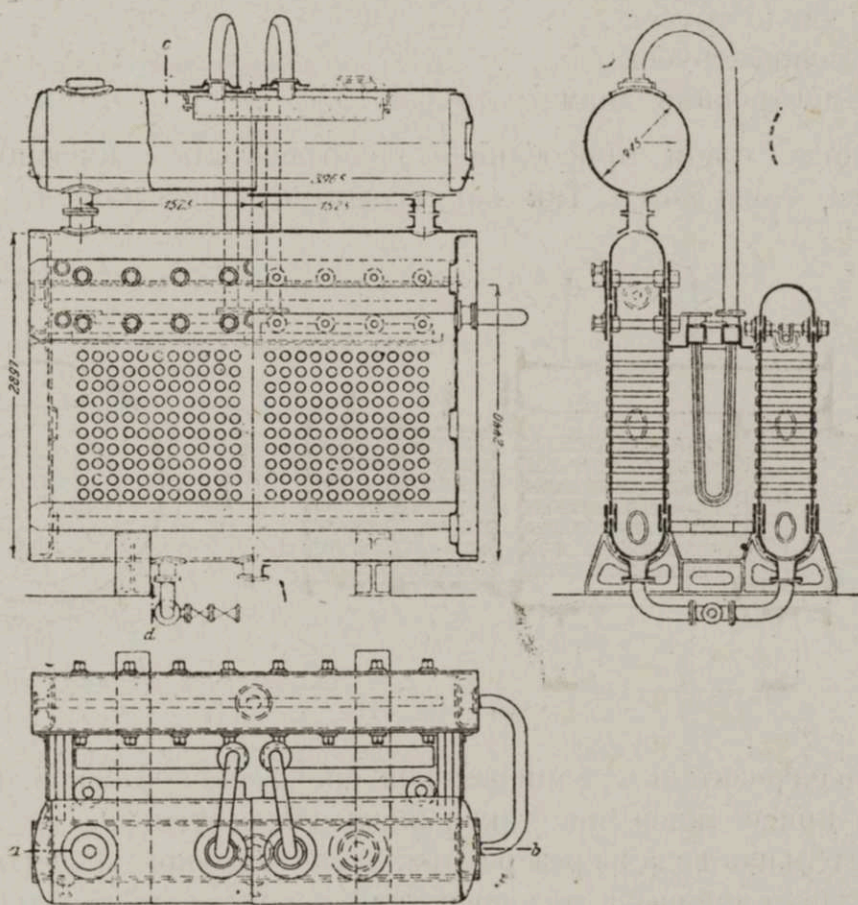
Т а б л и ц а 29.

		1	2	3	4
1	Продолжительность испытания час.	6	8	8	8
2	Рабочее давление кг./см. ²	2,1	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 после подогрева . . . %	69	65	64	63
6	Барометрическое давление дня м.м. рт. ст.	752,0	748,0	750,8	748,8
7	Температура газа в газопроводе °Ц	22,0	21,0	16,5	16,6
8	Давление газа в газопроводе м.м. вод. ст.	109,0	108,0	112,0	121,0
9	Температура котельного помещения . . . °Ц	26,0	23,0	20,0	18,0
10	Температ. газов по выходе из котла . . . °Ц	172,0	178,0	185,0	187,0
11	Темпер. газов по выходе из подогр. . . . °Ц	92,0	92,0	111,0	112,0
12	Верхний предел теплотв. способ. газа . . калор.	4170	4154	4231	4268
13	Нижн. предел теплов. способ. газа . . . калор.	3620	3698	3678	3707
14	Содержание CO ₂ в газе %	1,9	2,1	2,4	2,7
15	Содержание CmHn в газе %	2,2	2,5	2,4	2,2
16	Содержание O ₂ в газе %	0,8	0,7	1,2	0,9
17	Содержание CO в газе %	5,1	5,1	5,2	5,3
18	Содержание H ₂ в газе %	61,0	52,9	44,8	46,4
19	Содержание CH ₄ в газе %	26,1	28,7	28,4	28,0
20	Содержание N ₂ в газе %	2,9	8,0	15,6	14,5
21	Степень разрежения за котлом м.м. вод. ст.	308	291	271	282
22	Степень разрежения перед вентилят. . . . м.м. вод. ст.	—	346	424	453
23	Содержание CO ₂ в продукт. гор. %	8,2	7,1	7,5	7,4
24	Содержание O ₂ в продукт. гор. %	6,0	4,9	5,8	4,6
25	Содержание CO в продукт. гор. %	0,2	0,0	0,0	0,3
26	Коэффициент избытка возд. 21 : [21—79 (0 : N)]	1,36	1,27	1,34	1,25
27	Часов. паропроизв., отнесенн. к норм. пару. . кг.	1710,0	1677,5	1981,2	2098,5
28	Часовой расход газа куб. м.	329,6	333,7	366,3	386,4
29	Парообразоват. способн. 1 куб. м. газа. . . кг.	5,19	5,03	5,49	5,43
30	Парообраз. способн. 1 кв. м. пов. нагр. . . кг.	53,8	55,3	61,7	66,0
31	Расход энергии на вентилятор л. с.	12,3	12,2	15,3	16,1
32	Коэф. полезн. действ. одного котла . . . %	91,3	86,6	93,7	93,3
33	Коэф. полезн. действ. котла с подогр. . . %	95,8	90,8	97,9	97,2
34	Потери теплоты в общей сумме %	4,2	9,2	2,1	2,8

Наивысшая парообразовательная способность одного кв. м. поверхности нагрева — 66 кг. — далеко не достигла в этих опытах тех цифр, какие были получены с подобными котлами в других опытах (100—150 кг.).

Повышение парообразовательной способности одного кв. м. в опытах 3 и 4, по сравнению с 1 и 2, произошло по той причине, что мелкие куски огнеупорного материала были заменены более крупными, размерами до 35—45 мм. При мелких кусках скорее и в большей степени трубки закупоривались.

Это закупоривание трубок обуславливалось отчасти разрушением кусков, вследствие недостаточной их огнестойкости, а отчасти тем



Фиг. 169—171.

обстоятельством, что содержащиеся в продуктах горения сернистые соединения, в присутствии водяных паров делали огнеупорный материал склонным склеиваться и образовывать плотную массу, затрудняющую проход газов и даже делающую проход их местами совершенно невозможным.

Наконец, повышение парообразовательной способности одного кв. м. в 4 опыте, по сравнению с 3-м, объясняется тем, что газу расходовалось в 4-м опыте больше.

Фиг. 169 — 171 представляет ¹⁾ котел, который сконструирован более компактно и приспособлен для установки на пароходе.

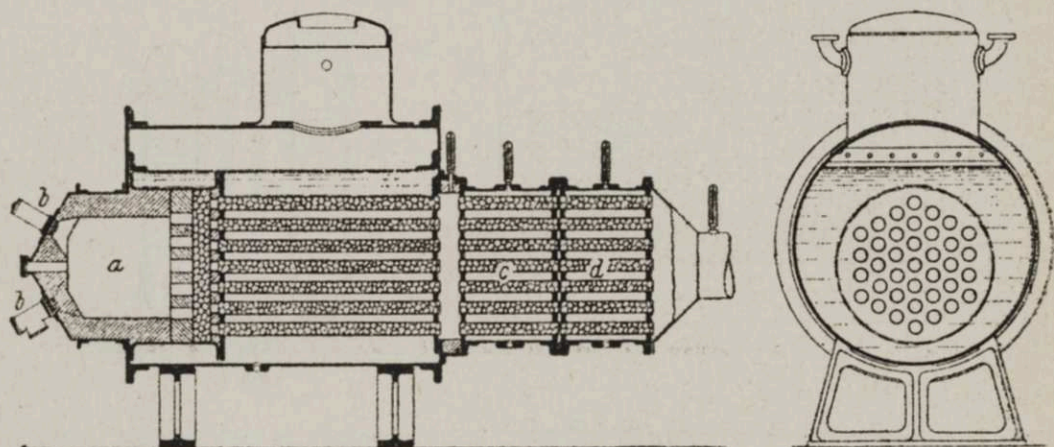
Для отопления котлов Шнабель-Бона сперва применяли только разного рода газ: доменных, коксовых печей и генераторный. Но затем стали делать попытки применить и жидкое топливо. В Англии в качестве такового использовали деготь (Teeröl), при чем применительно к новому способу сжигания был построен даже паровоз.

На фиг. 172 — 173 изображен котел Шнабель-Бона для отопления дегтем, построенный для экспериментальных целей.

Котел построен для рабочего давления 12 атм. и имеет следующие размеры:

поверхность нагрева	12 кв. м.
наружный диаметр	1,3 м.
число трубок	37
длина трубок	1,7
внутренний диаметр трубок	76,5 мм.

К котлу сзади присоединен подогреватель *c*, имеющий то же устройство, что и котел. Так как испытания показали, что газы по-



Фиг. 172—173.

кидают подогреватель с температурой еще весьма высокой, к последнему был присоединен еще такой же подогреватель *d*.

Питательная вода из резервуара, расположенного на некоторой высоте, поступает сперва в подогреватель *d* самотеком; отсюда она забирается насосом и нагнетается в подогреватель *c* и затем далее — в котел.

Деготь прогревается отработавшим паром до 90° С, и поступает в три форсунки *b*, распыляющие его сжатым воздухом. Последний подается вентилятором, который обладает достаточной мощностью, чтобы прогнать продукты горения через трубки котла и подогревателей.

Вход в трубки котла огражден со стороны камеры сжигания *a* слоем из кусков огнеупорного материала и огнеупорной стенкой, в которой оставлены окна для прохода газов.

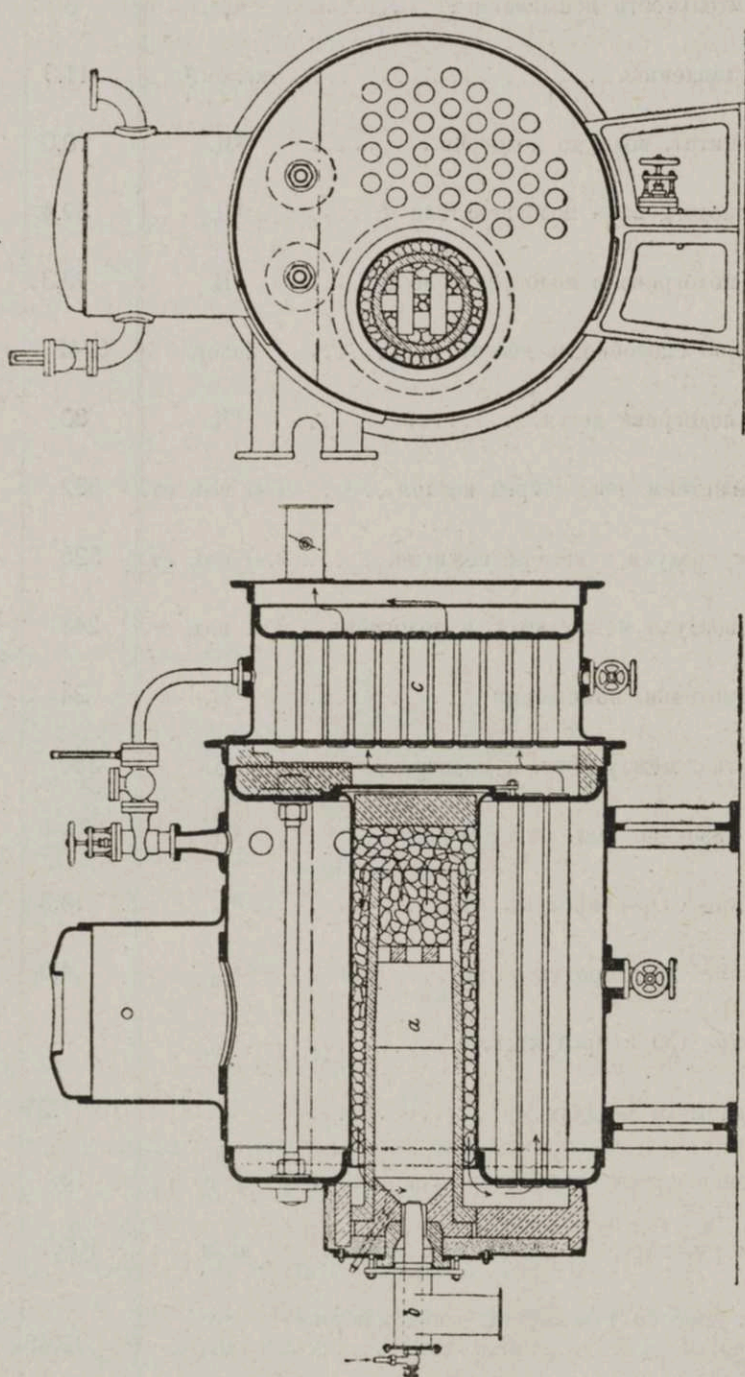
В таблице 30 приведены результаты трех испытаний котла.

¹⁾ См. Z. d. V. d. I., № 8, 1913.

Т а б л и ц а 30. К фиг. 172—173.

			1	2	3
1	Продолжительность испытания.....	час.	8	7	8
2	Рабочее давление.....	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 в подогревателе <i>d.</i>	°Ц.	39,4	38,4	37,1
5	Темпер. подогрева в подогревателе <i>c.</i>	°Ц.	93,3	94,3	82,6
6	Теплотвори. способность дегтя.....	калор.	8742	8775	8866
7	Темпер. подогрева дегтя.....	°Ц.	80	88	90
8	Давл. нагнетаем. возд. перед котлом	м.м. вод. ст.	882	794	768
9	Давление воздуха в камере 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. помещения	°Ц.	24	25	26
12	Темпер. газ. между котл. и подогр.....	°Ц.	380	375	371
13	Темпер. газов по вых. из подогрев.....	°Ц.	196	145	175
14	Содержание CO ₂ в продукт. гор.	%	14,3	15,3	16,0
15	Содержание O ₂ в продукт. гор.	%	4,0	2,7	1,8
16	Содержание CO в продукт гор.	%	—	0,9	0,7
17	Коэфф. избытка воздуха.....		1,23	1,15	1,09
18	Расход энергии на вентилятор	л. с.	13,	11,4	10,5
19	Колич. норм. пара с 1 кв. м. пов. нагр. ..	кг./ч.	109,7	120,0	121,8
20	Испарит. способн. 1 кг. дегтя, отнес. к норм. пару.....	кг.	12,45	12,28	12,6
21	Коэфф. полезн. действ. котла	%	90,6	89,2	90,5
22	Потеря теплоты в общей сумме	%	9,4	10,8	9,5

После первого испытания из трубок подогревателя *d* были удалены наполнявшие их куски и заменены вставками из огнеупорного материала особой формы, заставлявшими поток газов двигаться по трубке зигзагообразно. После этого расход энергии на вентилятор понизился на 12%, а паропроизводительность с 1 кв. м. повысилась со 109,7 до 120 кг. Коэф-



Фиг. 174—175.

фициент полезного действия котла несколько уменьшился, что произошло не вследствие понижения коэффициента теплопередачи, а по причине некоторой неполноты горения, обусловленной повышением форсировки.

После второго опыта безформенные куски огнеупорного материала, были удалены не только из трубок подогревателя *c*, но и из трубок котла на большей части их длины, за исключением начальных участков

длиной в 200 мм., где еще завершался процесс горения. Вынутый материал был заменен тоже вставками особой формы из огнеупорного материала. После этого паропроизводительность 1 кв. м. повысилась с 120 до 121,8; повысился также и коэффициент полезного действия с 89,2 до 90,5%, расход же энергии на вентилятор понизился с 11,4 до 10,5 л. с. т.-е. на 7,6%.

Эти опыты с достаточной ясностью показали: 1) что заполнение бесформенными кусками огнеупорного материала всей длины трубок котла и трубок подогревателя влечет за собой лишь понижение паропроизводительности одного кв. метра и уменьшение коэффициента полезного действия котла, при большой затрате энергии на вентилятор; 2) что присутствие бесформенных кусков является более вредным там, где температура газов ниже; 3) что достаточно заполнять бесформенными кусками огнеупорного материала только ту область, где происходит процесс горения.

Присутствие огнеупорного материала в относительно мелких кусках необходимо для осуществления процесса беспламенного горения лишь там, где этот процесс происходит. В остальных частях, для повышения коэффициента теплопередачи, необходимо лишь создать в трубках интенсивную отдачу теплоты путем лучеиспускания, для чего достаточно ввести в трубки вставки из огнеупорного материала, дающие большую лучеиспускающую поверхность, и не оказывающие в то же время столь большого сопротивления движению газов, как бесформенные куски. Кроме того, вставки той или иной формы могут быть изготовлены более плотными, нежели куски, полученные путем дробления огнеупорного материала, а поэтому и способными дальше служить, не разрушаясь.

На фиг. 174—175 представлен небольшой опытный котел, работающий тоже на жидком топливе.

2. Котлы газопаровые.

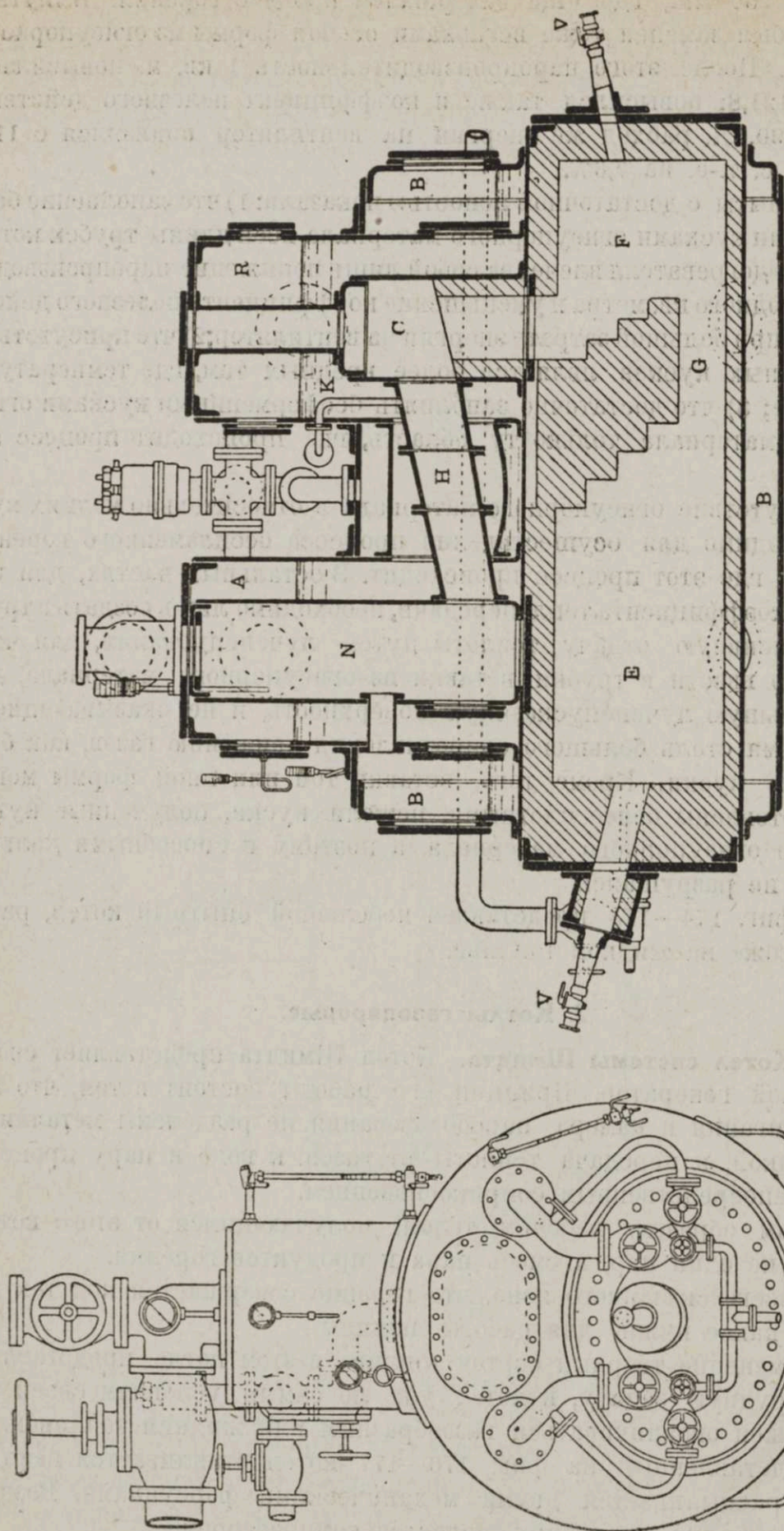
69. Котел системы Шмидта. Котел Шмидта представляет собою газопаровой генератор. Принцип его работы состоит в том, что камера сжигания и камера парообразования не разделены металлической стенкой, и передача теплоты от газов к воде и пару происходит их непосредственным соприкосновением.

Таким образом, рабочим телом, получающимся от этого котла, является не один пар, а смесь пара и продуктов горения.

Из всего сказанного ясно, что горение совершается под тем давлением, какое нужно для работы машины.

Применение твердых сортов топлива в этом котле представляет крайне трудную задачу, и котел уже по самым условиям своей работы должен ограничиваться газообразным или жидким топливом.

Представленный на фиг. 176—177 котел отапливается нефтью, которая распыливается двумя механическими форсунками. Воздух, необходимый для сжигания, подается компрессором.



Фиг 176—177.

Котел состоит из наружного цилиндра В, снабженного двумя колпаками А и Р, и расположенной внутри него камеры сжигания ЕФ. Последняя выложена внутри огнеупорным кирпичем, а наружные стенки ее омываются водой, которая их охлаждает и предохраняет от перегрева.

Обращенным порогом камера сжигания разделяется на две части Е и F. Топливо и воздух подаются в отделение Е и затем образующиеся продукты горения через канал G поступают в часть F, откуда направляются через внутренний колпак С в трубу Н. При входе в последнюю, в поток газов вбрызгивается питательная вода, подводимая трубкой К. Из трубы Н смесь пара и газов переходит в коллектор N, а отсюда в паровую машину, пройдя предварительно через особый фильтр для улавливания твердых частиц.

Стенки колпака С, трубы Н и коллектора N, подобно стенам камеры сжигания, охлаждаются водой, заполняющей до некоторой высоты колпаки А и Р.

Трубки vv, снабженные толстыми стеклами, служат глазками для наблюдения над процессом горения.

Принципиально говоря, к преимуществам котла нужно отнести в первую очередь то, что машине он подает все количество тепловой энергии, развивавшейся в нем, за вычетом лишь потерь путем лучеиспускания и путем соприкосновения, а также небольших потерь вследствие неполноты горения. Потеря теплоты уносимой в обыкновенных котлах в дымовую трубу, в нем не имеет места.

Затем, отсутствие стенок, образующих поверхность нагрева обусловливает собою некоторое уменьшение веса котла. Кроме того, в котле нет места образованию накипи, и следовательно качество питательной воды для него не имеет значения.

Но с другой стороны, то обстоятельство, что процес горения должен протекать под полным котельным давлением, делает крайне затруднительным, если не совершенно невозможным, применение твердых сортов топлива. Введение такого топлива в топочную камеру, очистка колосниковой решетки от золы и шлаков и вообще контроль над топкой представляют для конструктора в высокой степени трудные задачи.

Подача в топку воздуха под давлением делает необходимым применение компрессора, стоящего дорого и поглощающего большое количество энергии (до 50%).

Креме Шмидта, не мало изобретателей работало над той же задачей, но пришли к результатам менее удовлетворительным, нежели Шмидт. Да и котлы Шмидта не завоевали себе сколько-нибудь значительной области применения.

Относительная величина водяного и парового пространств в котлах различных систем.

В заключение описания различных типов паровых котлов нужно указать на то, что многими все эти типы подразделяются на две группы: на котлы с большим содержанием воды и на котлы с малым содержанием воды. Подобное подразделение является довольно неопределенным, так трудно провести резкую границу, отделяющую одну группу от другой. Можно вообще сказать, что чем меньше диаметр отдельных составных частей котла, содержащих воду, тем меньше будет и общее содержание воды по отношению к 1 кв. м. поверхности нагрева. Ниже приведена таблица, дающая приближенно для различных типов котлов количество воды в килограммах, отнесенное к 1 кв. м. поверхности нагрева. Другая таблица дает объем водяного пространства в литрах, приходящийся тоже на 1 кв. м. поверхности нагрева.

В каждом котле желательно, по возможности, поддерживать давление постоянным. Для паровых двигателей такое условие является весьма важным. Между тем, давление пара будет поддерживаться на постоянной высоте в том только случае, если количество притекающей к котлу теплоты будет соответствовать количеству отводимого из котла пара.

Если при постоянном количестве притекающей теплоты пара будет расходоваться мало, то давление пара будет повышаться и наоборот. При очень сильных колебаниях в расходе пара кочегару крайне трудно поддерживать постоянное давление более или менее интенсивным ведением топки, и в этом случае ему значительную услугу может оказать большой объем воды, заключающейся в котле. Вода в большом количестве действует совершенно так же, как маховое колесо паровой машины, накапливая теплоту в то время, когда приток тепла превышает расход пара, и отдавая ее при большом расходе пара.

Считается, что *давление в котле трудно поддерживать постоянным в том случае, когда на куб. метр воды, содержащейся в котле, получается более 150 кгр. пара в час.*

Следовательно, можно дать вообще такое правило, что *в тех случаях, когда ожидаются большие колебания в расходе пара, желательно иметь котел с возможно большим содержанием воды.*

При этом нужно заметить, что *главным регулятором давления в котле является вода, и большое содержание воды в котле в этом отношении несравненно важнее, чем большой объем парового пространства.* В этом можно убедиться путем элементарного подсчета.

На неравномерность давления в котле оказывает также влияние и способ питания. При неравномерном питании котла происходит попеременно то сильное охлаждение котла, то подогревание, при этом замечается также и колебание давления. *Для предупреждения этого котел следует питать равномерно.*

При выборе объема котла нужно также принимать в соображение то, что всякая остановка работы котла вредно отзывается на экономии топлива; *чем менее объем воды и чем менее массивна кладка, тем меньшее влияние оказывают остановки.*

Многими считается необходимым устраивать на котлах так называемые сухопарники, т.-е. резервуары довольно большого размера, помещающиеся в высшей точке парового котла. Такие сухопарники устраиваются с двоякою целью: во-первых, чтобы увеличить паровое пространство и тем уменьшить возможные колебания в давлении пара; во-вторых, чтобы удалить место взятия пара из котла от волнующейся и бурлящей поверхности воды и получать более сухой пар; отсюда и самое название—„сухопарник“. Из сказанного выше видно, что увеличение парового пространства не имеет никакого практического значения, так как для того, чтобы быть сколько-нибудь полезным в смысле регулятора, оно должно быть громадных, совершенно неосуществимых на практике, размеров. Поэтому, *с целью увеличивать паровое пространство устраивать сухопарники не имеет никакого смысла.*

Что касается сушки пара, то считают, что, проходя через сухопарник, пар замедляет скорость, при чем из него успеет осесть увлеченная им в виде механической примеси вода. На самом деле этого произойти не может: примешанную к пару воду отделить очень трудно, и для этой цели должны быть поставлены особые аппараты, так называемые *сепараторы*.

Пар будет получаться тем суше, чем больше будет поверхность, с которой выделяется пар, по сравнению с поверхностью нагрева, и чем менее интенсивно работает котел, так как в обоих случаях пузырьки пара будут с меньшей силой прорываться через поверхность воды, и потому будут менее увлекать с собой воду.

Согласно Вейнлигу, *с одною кв. метра свободной поверхности воды нельзя снимать более 160 кгр. пара в час, иначе пар будет получаться сырой.*

Большая влажность пара может получаться также в том случае, когда паровое пространство слишком мало, тогда замечаемые всегда на поверхности кипящей жидкости брызги, а также и сама жидкость может засасываться в паровую трубу.

Если вода загрязнена или содержит в большом количестве растворенные соли, то она способна вспениваться, при чем эта пена заполняет все паровое пространство и увлекается паром в трубопроводы и в паровые цилиндры, причиняя много неприятностей.

При очень интенсивном парообразовании случается, что вода увлекается в большом количестве в трубопровод и, попадая в цилиндр, может разрушить его.

Все эти явления замечаются тем слабее, чем менее интенсивно работает котел, и чем больше поверхность, с которой выделяется пар, по сравнению с поверхностью нагрева.

На увеличение влажности пара влияет также до некоторой степени то обстоятельство, что в месте, где находится пароотводная труба, при движении пара давление понижается, отчего в этом месте происходит особенно сильное парообразование, поверхность бурлит и дает влажный пар. При помощи сухопарника думают уменьшить это бурление воды, но это также несправедливо, так как пар движется под сухопарником с весьма большой скоростью, а потому и здесь имеет место падение давления. Если желают уничтожить бурление воды под пароотводной трубой и заставить пар отделяться более спокойно, то для этого самое лучшее внутри парового пространства поместить сборную трубу вдоль всего котла, продырявленную в верхней половине, и с ней соединить пароотводную трубу (фиг. 103). Пар будет собираться этой продырявленной трубой равномерно по всей поверхности воды и не будет получаться сильно кипящих отдельных мест. Кроме того, такая труба действует как сепаратор.

Таким образом нужно признать, что *сухопарник вообще является бесполезным придатком на котле и даже, пожалуй, вредным, так как он сильно ослабляет котел.* На некоторых котлах, обмурованных кругом кирпичной кладкой, присутствие сухопаров может быть оправдано тем, что они значительно облегчают установку арматуры на котле.

Табл. 31. Содержание воды в котле в килограммах на один кв. метр поверхности нагрева.

Простые цилиндрические котлы	395
Корнвалийские	150
Ланкаширские	142
Галловеевские	124
Морские (Шотландские)	116
Котлы Гарбе одиночные	65
Вертикальные котлы с поперечными трубами . .	63
Цилиндрические трубчатые котлы	52
Котлы Гарбе двойные	51
Котлы вертикальные	42
Водотрубные котлы типа Шухова и Бабкока . .	39
Паровозные котлы	31
Заводские котлы паровозного типа	26
Котлы паровых пожарных насосов	16

Табл. 32. Объем парового пространства в литрах на один кв. метр поверхности нагрева.

Котлы ланкаширские с давлением менее 8 атм. .	79,0
Котлы корнвал.	68,4
Котлы цилиндрические с дымогарн. трубками .	66,0

Котлы корнвалийские с давлением выше 8 атм.	63,1
Котлы ланкаширские „ „ „ „	55,3
Водотрубные котлы Шухова и Бабкока	24,0
Котлы Гарбе двойные	23
Заводские котлы паровозного типа.	22
Котлы Гарбе одиночные	19
Котлы паровозные	14

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.		Стр.
Введение	1	Котел Бернингауза	94
Общие сведения о парообразовании.		Котел Пьеббфа	94.
Испарение	11	Сравнительные достоинства и недостатки котлов с внешней и внутренней топкой.	98
Кипение	12	Циркуляционная помпа Дюбио	100
Температура кипения воды	12	Водотрубные котлы	102
Скрытая теплота испарения	13	Первый водотрубный котел Вильяма Баклея	103
Влажный и сухой пар	15	I. Котлы без циркуляции воды.	
Перегретый пар	15	A) Водотрубные котлы, в которых вода находится исключительно в кипящих трубах.	
Образование пузырьков пара	17	Котел Бельвиля	103
Теория кипения, особые виды выпаривания	17	B) Котлы без содержания воды.	
Форма и путь пузырьков пара	18	Котел Серполе	109
Влияние размера свободной поверхности	19	II. Водотрубные котлы с циркуляцией воды	112
Сфероидальное состояние	19	Горизонтальные водотрубные котлы.	
Передача теплоты через котельную стенку.		Котел Штейнмюллера	114
Поглощение тепла поверхностью стенки	21	Котел Бютнера	116
Полный коэффициент теплопередачи чистой стенки	22	Котел Фицнера и Гампера	118
Общий коэффициент теплопередачи котельной стенки K	23	Котел Дюрра	122
Температура котельной стенки	26	Котел Вильмана	126
Передача тепла через стенку, омываемую жидкостями с переменной температурой	32	Котел Шухова	127
I.		Котел Бобкока и Вилькокса	135
Историческое развитие паровых котлов	34	Вертикальные водотрубные котлы	141
Типы котлов.		Котел Стерлинга	141
Цилиндрический котел	36	Котел Гарбе	143
Котлы с подогревателями	38	Котел Борзига	154
Котлы с кипятилниками	41	Котел Петроградского Металлического завода	154
Котлы с жаровыми трубами.		Котел Буркардта	154
Коривалийский котел	47	Судовые водотрубные котлы.	
Ланкаширские котлы	54	Котел Торникрофта	157
Котлы с тремя жаровыми трубами.	58	Котел Ярроу	160
Котлы Галлоуэя	61	Циркуляция воды в водотрубных котлах.	161
Котлы Паукша	62	Преимущества и недостатки водотрубных котлов по сравнению с котлами других систем	170
Сравнительные достоинства и недостатки котлов с жаровыми трубами	64	Обыкновенные вертикальные котлы	177
Трубчатые котлы	67	Трубчатый вертикальный котел с внутренней топкой	178
Котел Паукша	69	Вертикальный котел Лешапеля	179
Трубчатый котел с внутренней топкой.	71	Котел Шухова	181
Локомобильный котел	71	Котел Паксмана	183
Паровозный котел	72	Котел Фильда	184
Главные недостатки трубчатых котлов	77	Общие замечания относительно устройства вертикальных котлов	186
Котел Ферберна	81	Котлы построены на особых принципах сжигания и использования топлива.	
Котел с обратными дымогарными трубами	82	1. Котлы с беспламенным сжиганием топлива	187
Котлы для морских пароходов (Шотландские)	82	Котлы системы Бона-Шнабеля	187
Комбинированные котлы.		2. Котлы газопаровые	195
Комбинационный котел Тишбейна	87	Котел системы Шмидта	195
Комбинационный котел Вейнлига	89	Относительная величина водяного и парового пространства в котлах различных систем	198

Инж. В. Д. Ермаков.—Электрические Измерения.

Вып. I-ый. Ц. 1 р. 50 к.

Вып. II-ой. Ц. 1 р. 50 к.

А. Штрайхман.—Сборник задач по Аналитической Геометрии. Ц. 1 р.

А. Штрайхман.—Сборник задач по Дифференциальному и Интегральному исчислению.

Ц. 2 р. 25 к.

А. Штрайхман.—Сборник задач по Интегральному исчислению. Ч. I. Ц. 1 р. 75 к.

Свод формул по Дифференциальному и Интегральному исчислению и приложение их к геометрии. Ц. 25 к.

А. Г. Бауэр.—Конспект Дифференциального и Интегрального исчислений (распродано).

„Макиз“—Сборник задач по статике. I-е издание с решениями (распродано).

„Макиз“—Сборник задач по Аналитической Механике, с решениями (распродано).

„Макиз“—Сборник задач по Аналитической Геометрии на плоскости с решениями (распродано).

ПЕЧАТАЮТСЯ:

Проф. А. П. Гавриленко.—Паровые котлы. Выпуск II-ой. 4-е исправленное издание.

Проф. А. П. Гавриленко.—Механическая Технология Металлов.

Том III. Горячая обработка металлов.

Вып. I. Нагревание и прокатка.

Вып. II. Ковка, Штамповка, Клепка.

Проф. А. А. Надежин.—Тепловой расчет котельной установки. 4-ое вновь переработанное издание.

Проф. Б. М. Ошурков.—Тепловые Двигатели. (Паровые машины, Паровые турбины, Двигатели Внутреннего сгорания).

Инж.-мех. Н. И. Иванов.—Сопротивление Материалов.

Проф. С. И. Курбатов.—Лекции по курсу Электрических Машин постоянного тока.

Вып. III. Коммутация Электрических Машин постоянного тока.

Вып. IV. Общие свойства и характеристики электрических генераторов и моторов постоянного тока. Потери и коэффициент полезного действия. Нагревание машин. Испытание машин постоянного тока.

Вып. V. Основания для расчета электрических машин постоянного тока.

Инж. Н. Ф. Буров.—Аппретура и отделка хлопчато-бумажных тканей.

Инж. Н. Ф. Буров.—Калькуляция и отделка хлопчато-бумажных тканей и ткацкого производства.

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ:

Проф. А. А. Надежин.—Топливо.

Н. Ф. Буров.—Кубовое гладкое и вапное крашение. Черно-кампечное крашение в сравнении с черным сернистым и черным анилином.

Проф. С. И. Подольский.—Железобетон.

Проф. Н. И. Мерцалов.—Термодинамика.

Инж.-мех. Б. С. Стечкин.—Авиационные двигатели.

Сборник задач по Деталям Машин.

Сборник задач по Гидравлике.

Инженерный Календарь на 1924—25 уч. год.

Под ред. И. Н. Веселовского.—Сборник задач по Теоретической Механике. Ч. I. Статика. С подробными решениями 3-е издание.

Под ред. И. Н. Веселовского.—Сборник задач по Теоретической Механике. Ч. II. Кинематика. С подробными решениями.

Под ред. И. Н. Веселовского.—Сборник задач по Теоретической Механике. Ч. III. Динамика. С подробными решениями.

Инж.-мех. Н. И. Иванов.—Сборник задач и примеров по Сопротивлению Материалов. С подробными решениями.

Книги по Естественным наукам.

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ.

Е. Е. Флинт.—Практикум по Кристаллографии. Под редакцией проф. Г. В. Вульф. Ц. 1 р. 25 к.

В. Н. Терновский.—Происхождение человека. Ц. 60 к.

Проф. С. Н. Боголюбский.—О происхождении животных. Ц. 1 р.

ПЕЧАТАЮТСЯ:

Проф. Г. Н. Сахаров.—Биологические методы и перспективы современной медицины.

Э. М. Ляйман.—Краткое руководство к практическим занятиям по Гельминтологии. С предисловием проф. К. И. Скрябина.

Книги по Счетоводству и Отчетности.

ПЕЧАТАЮТСЯ:

- А. П. Рудановский.* — Руководящие начала (принципы) по счетоводству и отчетности в Государственных Объединениях. Ц. 1 р. 50 к.
Леотей и Гильбо. — Общие руководящие начала счетоведения. Перевод *Н. В. Богородского*, под ред. и с предисловием *А. П. Рудановского*.
А. Э. Попов. — Счетное искусство. Издание 4-е и дополненное.

ГОТОВИТСЯ К ПЕЧАТИ:

- А. П. Рудановский.* — Дебет и Кредит, как метод учета баланса. Издание 2-е, исправленное и значительно дополненное.
Д. Никольсон (*I. Lee Nicholson*). — Основы калькуляции. Перевод с английского *Л. Ш. Гордонова*.

Книги по Театру.

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

- Проф. *В. К. Серезников.* — Техника речи. Пособие для чтецов, рассказчиков, актеров, поэтов, лекторов, композиторов и ораторов. Ц. 1 р. 75 к.
Под ред. *В. Н. Ладухина.* — Гримировка. Необходимое руководство к театральному гриму. Издание 3-е. Ц. 1 р. 50 к.
Под ред. *В. Н. Ладухина.* — Первое знакомство со сценой. Азбука драматического искусства. 4-ое издание. Ц. 50 к.

Книги по Беллетристике.

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

- Василий Каменский.* — 27 Приключений Хорта Джойс. Роман. Ц. 1 р. 25 к.
Сборник 1-й Авиационных рассказов под ред. *Вл. А. Попова*. Ц. 45 к.
1. *Девы Райс.* — Рекорд высоты. Авио-роман.
2. *Эдвин Хелл.* — Летающие охотники.
3. *Жан Жабер.* — Синяя птица.

Требуйте подробный каталог издательства.

СКЛАД ИЗДАНИЙ:

Москва, Тверская, д. 37.

МОСКОВСКОЕ АКАДЕМИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

„МАКИЗ“.

Тел. 4.82-49.