

МАШИНЫ 1950



Д. А. МАТРИЦЕВ

ИСТОРИЯ  
ОТЧУЖДЕННОГО  
КОЛЛОКВИИ



ИЗ ИСТОРИИ  
ОТЕЧЕСТВЕННОГО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ



МОСКВА  
1950

Т. А. МАТВЕЕВ

Коллекция 15.10.50

621.1

М33

# ИСТОРИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КОТЛОСТРОЕНИЯ

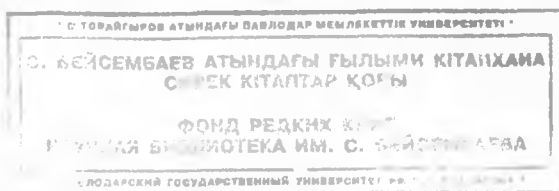


ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

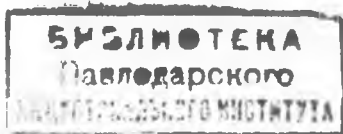
621.182 (09)  
М 33

Книга доктора технических наук Г. А. Матвеева «История отечественного котлостроения» исследует историю развития конкретной области техники — отечественного котлостроения. В работе дан общий обзор развития отечественной паротехники и котлостроения. Кроме того, подробно исследуется история развития различных типов котлов: с большим водяным объемом, паровозных, судовых, горизонтально- и вертикально-водотрубных и других.

Книга предназначена для широкого круга инженерно-технических и научных работников.



330074



Рецензенты:

акад. С. П. Сыромятников, канд. ист. наук В. С. Виргилеский

Редактор инж. А. Б. Маркин

Редакция истории техники  
Зав. редакцией Г. И. КОНОНЕНКО

## ПРЕДИСЛОВИЕ

**О**дной из блестящих страниц развития социалистической экономики являются успехи электрификации и энергетического хозяйства нашей Родины.

Большевистская партия, советский народ создали и развили могучую энергетическую промышленность — важнейший элемент материально-технической базы коммунизма. Великий Ленин еще в первые годы советской власти начертал гениальный план ГОЭЛРО.

После победного завершения Великой Отечественной войны советское энергетическое хозяйство развивается в огромных масштабах. По плану послевоенной пятилетки производство электроэнергии увеличивается в 1950 г. до 82 млрд. *квт-ч* против 48 млрд. в 1940 г. и 2 млрд. в 1913 г. Мощность электростанций возрастает соответственно до 22,4 млн. *квт* против 11 млн. в 1940 г. и 1 млн. в 1913 г. Приращение мощности в каждом году новой пятилетки превышает более чем в 1,5 раза всю программу плана ГОЭЛРО, рассчитанную на 10—15 лет.

Вместе с широкой электрификацией по существу было заново создано на более высокой технической основе и все энергетическое хозяйство промышленности, транспорта, сельского и коммунального хозяйства (теплофикация, газификация, вооружение двигателями внутреннего сгорания).

Советская энергетика в целом достигла огромного подъема по сравнению с дореволюционной Россией.

Колоссально вырос парк стационарных и транспортных котлов и паросиловых установок исключительно советского производства.

Основной идеей послевоенного развития советской энергетики является дальнейший научно-технический прогресс как условие мощного подъема производительности труда.

По темпам электрификации СССР опережает любую из капиталистических стран. По масштабам производства электрической энергии наша Родина выдвинулась с одиннадцатого на первое место в Европе и 2-е место в мире.

Величественные предначертания товарища Сталина в генеральном плане развития нашей страны воодушевляют советский народ к новым трудовым подвигам.

Подсчеты показывают, что сталинским цифрам основной промышленной продукции в генеральном плане развития народного хозяйства должна соответствовать выработка электроэнергии, пре-

вышающая более чем в 50 раз оптимальную программу ГОЭЛРО и в 480 раз выработку электроэнергии в начале осуществления плана ГОЭЛРО.

Враги социализма постоянно пытались «доказать» неподготовленность России к социалистической революции и настойчиво отрицали возможность создания материальной базы социализма без помощи Запада. Маскируясь под социалистов, они утверждали, что только революция на Западе может направить Россию по социалистическому пути. Против этого решительно выступали товарищи Ленин и Сталин.

«Не исключена возможность, — говорил товарищ Сталин, — что именно Россия явится страной, пролагающей путь к социализму . . . Надо откинуть отжившее представление о том, что только Европа может указать нам путь. Существует марксизм догматический и марксизм творческий. Я стою на почве последнего»<sup>1</sup>.

Эти слова товарища Сталина блестяще подтверждены всем историческим опытом развития нашей страны, уверенно идущей к коммунистическому обществу.

Проведенные в последние годы исследования в области развития русской науки и техники воочию показали творческий гений великого русского народа, занявшего, несмотря на сковывающие условия царской России, почетное место в авангарде мировой науки и техники.

Наибольшего расцвета творческая мысль советского народа достигла в эпоху социалистического строительства.

Заботами Партии и Правительства все больше и больше раскрываются возможности великого советского народа.

Теплотехника и котлостроение представляют одну из областей, где наиболее ярко сказалась передовая роль творчества нашего народа.

Изучение истории развития конкретных отраслей промышленности, в частности, котлостроения, является задачей новой и представляет собой не только исторический интерес, но и имеет практическое значение при разработке новых конструктивных форм парового котла.

Имея в виду наличие достаточно полно освещающих вопрос монографий Н. И. Карташова «История паровоза» (1937 г.) и П. А. Бараш «Развитие судовых котлов» (1937 г.), автор уделил этим областям котлостроения значительно меньшее место, чем стационарному котлостроению.

Автор будет удовлетворен, если его труд в какой-либо мере послужит делу дальнейшего развития теплотехники. В то же время автор будет признателен за все критические замечания и указания по существу предлагаемой книги, имея в виду, что такого рода исследование является лишь началом для более глубокого изучения богатейшего материала конкретных областей техники нашей страны.

<sup>1</sup> Протоколы VI съезда РСДРП, стр. 233—234, Партиздат, 1934.

## Глава I

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОТЕХНИКИ И КОТЛОСТРОЕНИЯ

**В** АПРЕЛЕ 1763 г. солдатский сын Иван Иванович Ползунов подал начальнику Колывано-Воскресенских заводов на Алтае А. И. Порошину проект паровой машины для приведения в действие мехов на горнометаллургическом заводе (фиг. 1, см. вклейку). Это был проект первой паровой машины, предназначенной для производственных нужд.

Машина имела передаточный механизм в виде больших и малых передаточных шкивов, цепей и брусьев.

Проект безбалансирной паровой машины И. И. Ползунова коренным образом отличался от всех до того известных устройств не только назначением машины, но и тем, что стоял значительно выше в конструктивном отношении, не имея в своей схеме массивных и громоздких балансирных устройств<sup>1</sup>. Это было блестяще разработанное, совершенно новое, технически оригинальное устройство.

Построенная к концу 1765 г. и пущенная в работу в мае 1766 г. паровая машина И. И. Ползунова, к сожалению, была изготовлена с балансирным устройством. Однако даже и в этом случае при постройке балансирного устройства И. И. Ползунов внес в него ряд оригинальных усовершенствований, создав первый в истории передаточный механизм для двухцилиндровой машины (фиг. 2 и 3).

Появление в России этой выдающейся по устройству паровой машины является фактом огромного значения. Переход от мануфактуры к фабрично-заводскому производству требовал двигателя нового типа. Двигатель, работавший на старом принципе, когда на поршень поочередно действовали давление пара и давление окружающего воздуха, уже не мог удовлетворить требованиям промышленности. Предстоял переход к универсальным паровым машинам, где поршень в обоих направлениях движения работал бы под действием пара.

Великий русский изобретатель Иван Иванович Ползунов совершил решающий революционный шаг в создании паровой машины заводского назначения.

Создавая оригинальную конструкцию паровой машины, И. И. Ползунов производил самостоятельно теоретические исследования и

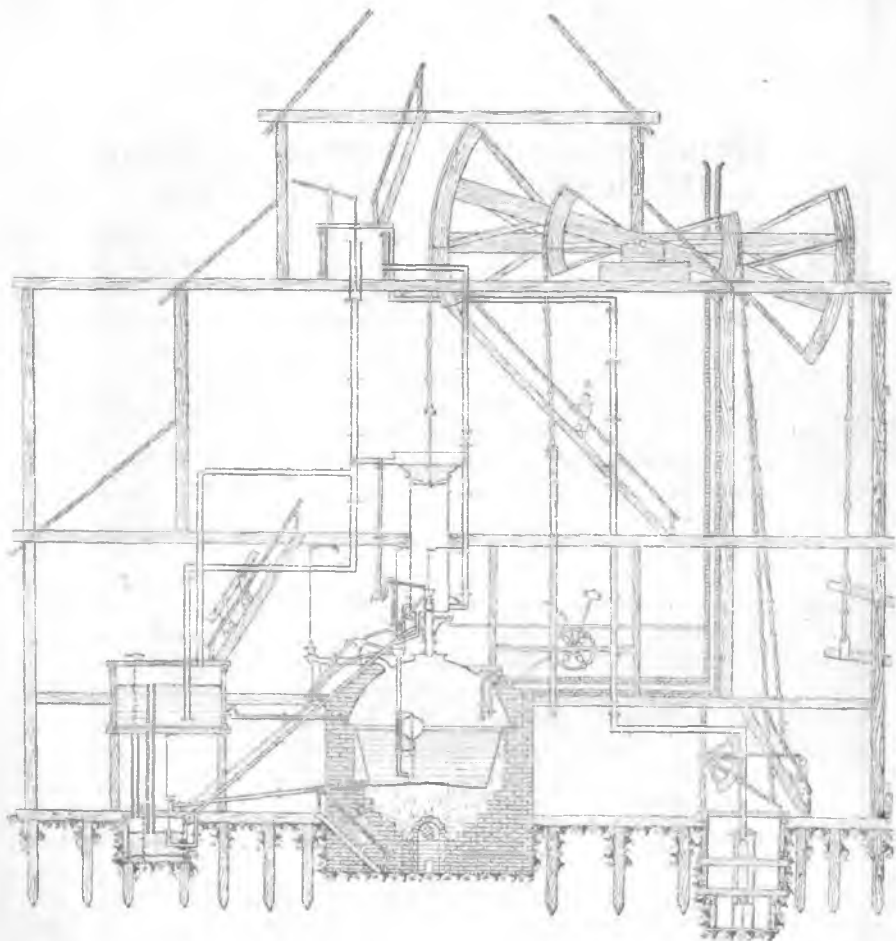
<sup>1</sup> В. В. Данилевский, И. И. Ползунов, труды и жизнь, АН СССР 1940, стр. 184—199, 268—296.



экспериментальные работы в области теплотехники, безусловно опираясь при этом на опыт предшественников.

Паровая машина Ньюкомена (1706 г.) — машина одностороннего действия (фиг. 4). Она служила для откачки воды.

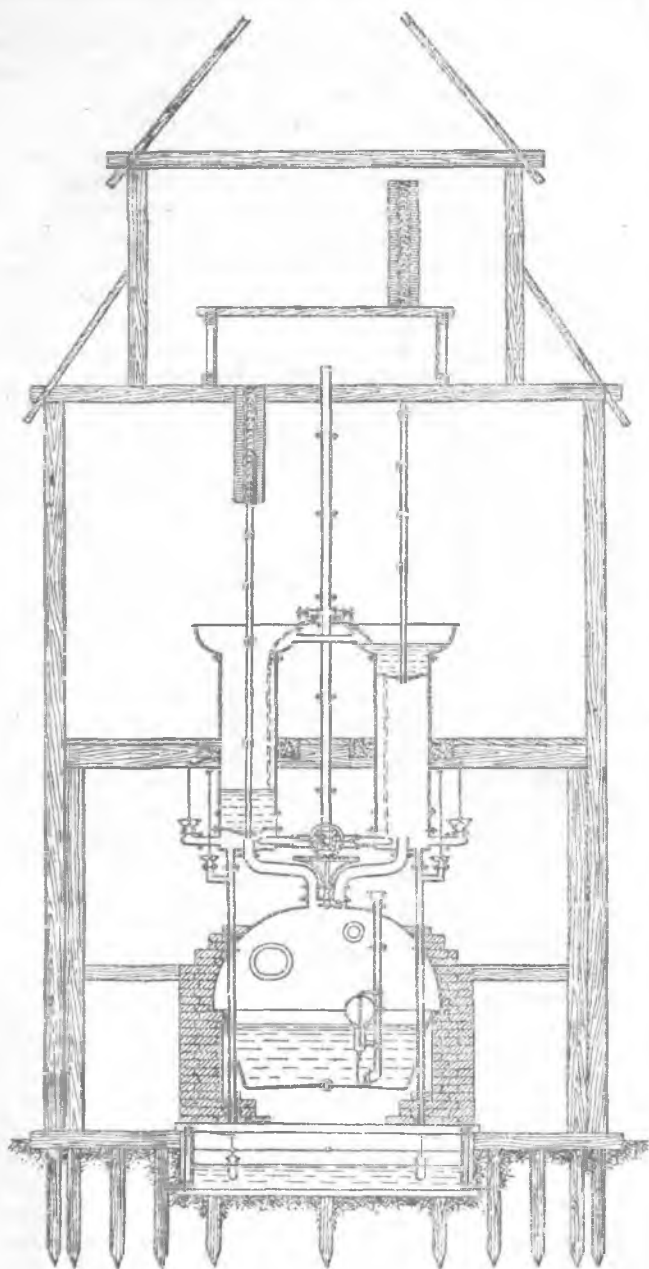
В поршневой водоподъемной машине Ньюкомена движение поршня вверх происходило под давлением пара, равным 0,5 ат, а движение



Фиг. 2. Балансирная, построенная в 1765 г.. паровая машина И. И. Ползунов.

его вниз происходило под давлением окружающей атмосферы. Мощность машины была около 1 л. с. Такие «атмосферные» машины, вернее атмосферные паровые насосы, несмотря на ряд существенных недостатков, получили под влиянием большого спроса распространение повсюду, где требовался подъем и откачка воды (угольные шахты, шлюзы и др.).

Котел паровой машины Ньюкомена был коробчатой формы и имел днище, сделанное в виде свода, выпуклым внутрь для боль-

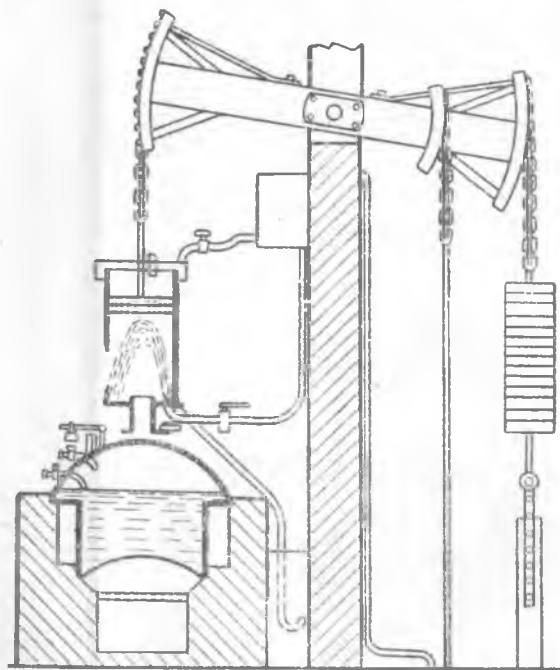


Фиг. 3. Балансирная машина И. И. Ползунова 1765 г.  
(поперечный разрез).



шей его прочности. Обогрев котла горячими газами производится снизу и с боков.

В 1769 г. появилась паровая „атмосферная“ водоотливная машина Д. Уатта, которая почти не отличалась устройством от паровых машин Ньюксмена и была лишь экономичнее последних; в 1776 г. начала работать машина Д. Уатта с использованием расширения пара (фиг. 5) и, наконец лишь в 1782 г. Уатт создал универсальный двигатель — балансирную одноцилиндровую паровую машину двойного действия, построенную значительно позже универсальной паровой машины Ползунова. Таким образом и И. И. Ползунов и Д. Уатт создали каж-



Фиг. 4. Паровая — атмосферная — машина Ньюксмена (1706 г.).

дый по собственной схеме паросилового агрегат, в котором котел и цилиндр стали обособлены друг от друга. Это имело важное значение для дальнейшего развития конструктивных форм парового котла.

Для одной из своих машин Уатт построил паровой котел нового типа, вытянутый в горизонтальном направлении (фиг. 6). В этом котле использование теплоты газов является более полным благодаря удлинению пути их контакта с поверхностями нагрева.

Необходимо отметить, что в первой половине XVIII в. развитие паротехники слабо обосновано — металлургии и машиностроения. Для изготовления котлов пользовались кусками ковкого листового железа, часто неодинакового по размерам листов и по равномерности их толщины. Паровые котлы, изготовлявшиеся из такого несортного материала и посредством примитивной технологии, нередко давали течь всей массе швов. Поэтому мысль котлостроителей обратилась к более податливому и удобному для обработки примитивными орудиями материалу — красной меди.

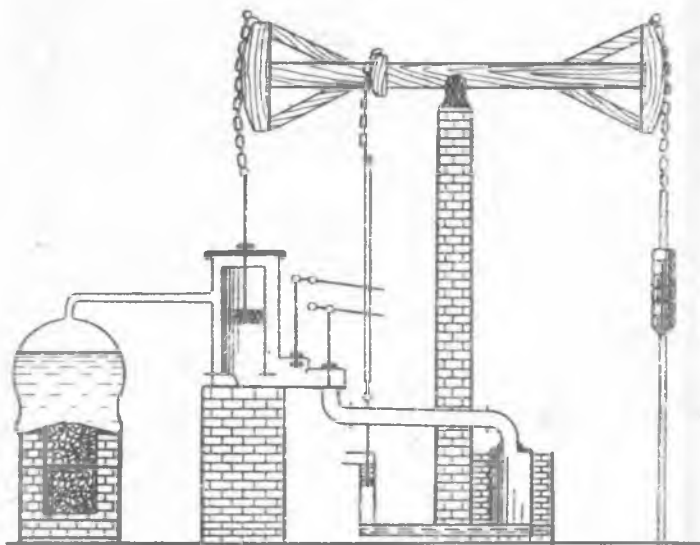
В погоне за дешевизной и легкостью обработки приходили к курьезам и техническим нелепостям: изготовляли котлы из дерева и даже из камня<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> В. Карелин, О русских паровых машинах и сибирских мельницах. 1848.

И. И. Ползунов первый применил для строительства котла железо вместо чугуна. За ним последовал в этом отношении и Уатт.

Во второй половине XVIII в. (1766 г.) появился простейший водотрубный котел, а в конце столетия — прообраз современных камерных водотрубных котлов (1793 г.). Практическое применение котлы этого типа получили лишь в конце 70-х гг. XIX в.

Обзор развития паротехники XVIII в. следует дополнить сведениями о попытках применения силы пара на транспорте. Так, известно, что Ньютон предлагал приводить в движение повозки, пользуясь реактивной энергией пара, вытекающего в атмосферу. Первая трехколесная паровая повозка (для перевозки тяжелых орудий) была построена Кюньо в 1769 г. Эта признанная опасной ма-



Фиг. 5. Паровая машина Уатта одинарного действия (1776 г.) с использованием расширения пара.

шина могла работать только в течение 15 мин. В 1784 г. ученик Уатта Мердок построил повозку, двигающуюся в 2 раза быстрее пешехода.

Тяжелые, громоздкие и неэкономичные паросиловые установки XVIII в. не удовлетворяли потребности развивавшегося фабрично-заводского производства и особенно появившегося железнодорожного и быстро растущего водного транспорта. Вот почему многие ученые и инженеры того времени усиленно работали над созданием более совершенных и экономичных паровых котлов и двигателей. Однако решение этой задачи могло быть осуществлено лишь на базе соответствующего уровня развития металлургии и машиностроения. Между тем состояние этих отраслей задерживало дальнейший прогресс паротехники. Колоссальный рост производства чугуна не решал проблемы. Нужны были более высокое качество металла и

лучшая технология, требовались более современные орудия производства.

В первой четверти XIX в. было положено начало паровозостроению. В 1802 г. был построен первый безрельсовый паровоз, а в 1803 г. — первый паровоз, двигавшийся по гладким рельсам.

Паровоз имел котел цилиндрической формы с жаровой трубой. Это была наиболее рациональная форма котла, отвечающая по условиям прочности все более возрастающему давлению пара, и в то же время более простая по технологии изготовления.



Фиг. 6. Вытянутый по горизонтальной оси «сундучный» паровой котел Уатта (80-е годы XVIII в.).

Наряду с внедрением жаротрубных котлов широкое, а в некоторых отраслях промышленности преобладающее распространение получили цилиндрические котлы с подогревателями и с кипятилниками. Это была вторая линия развития, отображавшая стремление создать так называемые внешние поверхности нагрева.

Продолжалась также разработка и водотрубных котлов, одной из наиболее удачных конструкций которых оказался двухкамерный горизонтально-водотрубный котел (1847 г.).

Вторая половина XIX в. была ознаменована чрезвычайно быстрым техническим прогрессом основных отраслей промышленности:

была наиболее удачной с точки зрения габаритов железнодорожного транспорта. Г. Стефенсон в 1829 г. построил паровоз «Ракету», трубчатый котел которого имел вместо одной жаровой трубы 25 дымогарных трубок, что позволило сильно увеличить поверхность нагрева котла. Через несколько лет (1833 г.) знаменитые русские изобретатели Е. А. и М. Е. Черепановы самостоятельно пришли к устройству трубчатого котла, имевшего 80 дымогарных трубок.

Вследствие общей тенденции развития так называемых внутренних поверхностей

металлургии, машиностроения, энергетики, химии и т. д. Это относится в особенности к 70—90-м годам XIX в. Возникли большие задачи по расширению энергетической базы производства и более полному охвату природных источников энергии. Жизнь потребовала создания и развития новых типов двигателей, способных удовлетворить производственно-технические требования новых форм организации производства и предопределяющих возможность концентрации больших мощностей в одной энергетической единице. Особенное значение имело разрешение вопроса о промышленном применении новой «универсальной» электрической энергии, что привело, как говорит Ф. Энгельс, «к колоссальной революции».

Для удовлетворения усиленного спроса на металл были изобретены новые способы переработки чугуна в сталь: бессемеровский (1855 г.) и мареновский (1864 г.) — более совершенные, чем старое пудлингование, которое к 70-м годам уже тормозило дальнейшее развитие металлургии и машиностроения.

Стремительный рост промышленности, увеличение парового флота, рост сети железных дорог, паровозостроения и т. д. поставили в огромных масштабах задачу развития теплоэнергетики.

До появления первичного двигателя новой, лучшей в техническом и экономическом отношениях конструкции силовые установки имели в основе своей паровые машины, однако вскоре выявилась необходимость заменить их более совершенными двигателями.

Рост установленной мощности паровых машин шел не только за счет количества их, но также и за счет увеличения мощности отдельных единиц. Так, в 90-х годах появились машины мощностью свыше 1000 л. с. Были построены машины мощностью также 2500 л. с. Последние стали основным агрегатом крупных электростанций конца XIX в. Однако мощные паровые машины обладали весьма существенным недостатком — тихоходностью. Необходимо было устранить это противоречие между мощностью и тихоходностью (малым числом оборотов), так как развитие электрического генератора настойчиво требовало одновременного роста мощности и быстроходности первичного двигателя. В связи с этим появились новые типы первичных двигателей: двигатели внутреннего сгорания и паровые турбины.

Быстрое развитие двигателей внутреннего сгорания, их экономическая эффективность и массовое внедрение во все отрасли промышленности, в том числе на электростанциях, было принято многими за окончание века паровой техники. Но это было заблуждением, так как на смену двигателю внутреннего сгорания во многих отраслях промышленности пришел электромотор — двигатель универсальных качеств, оставивший первому определенные области применения, и в основном транспорт: сухопутный, водный, а впоследствии — воздушный. Электростанции же и крупные энергетические установки получили вскоре новый тип двигателя — паровую турбину, в которой весьма удачно сочетались два необходимых, бывших в противоречии в паровых машинах качества: мощность и быстроходность.

В свое время К. Маркс в связи с новыми открытиями в области электротехники указал, что на место пара скоро станет неизмеримо более революционной силой — электрическая искра.

Электроэнергия действительно становилась основой основ новой техники и промышленного производства, революционной силой во всех областях жизни.

Однако пар, уступив электричеству свое первое место, вовсе не исчез с исторической сцены.

Диалектика технического развития привела к тому, что электроэнергетика подняла теплотехнику на качественно новый уровень.

Только благодаря электротехнике стала возможной постройка крупнейших тепловых электростанций в непосредственной близости от топливных месторождений и создание тепловых, в том числе и котельных агрегатов с высоким к. п. д. и т. д.

В котлостроении второй половины XIX в. господствующими были типы котлов с большим водосодержанием: цилиндрические, жаро- и газотрубные и некоторые сочетания этих типов.

Технология изготовления паровых котлов к концу XIX в. далеко шагнула вперед. При этом число конструкций котлов (батареиных, жаротрубных, котлов с дымогарными трубками, локомотивных, пролетных, комбинированных и т. п.) было очень велико. В транспортном котлостроении лишь железнодорожный транспорт держался в силу известных причин стабильной конструктивной формы. На водном же транспорте количество типов котлов было наибольшим.

Судовое котлостроение за вторую половину XIX в. прошло весьма значительный путь развития при смене большого числа различных конструкций. От ведущего в первой половине столетия котла галерейного типа был совершен переход вначале к коробчатым и оборотным цилиндрическим, а затем, к концу столетия, к водотрубным котлам.

На первых пароходах ставились обычно котлы стационарного типа с небольшими изменениями, чтобы уменьшить их габариты.

Успехи применения водотрубных котлов в стационарной практике обусловили применение их в судостроении. Однако переход к этим котлам во флоте осуществлялся очень осторожно и при сопротивлении сторонников старых форм. На судах широкое применение нашли обычные камерные водотрубные котлы, еще большее распространение имели секционные морские котлы и в дальнейшем — бескамерные, так называемые шатровые котлы трехугольного типа.

В судостроительной практике, начиная с 80-х годов, зафиксированы сотни различных предложений конструкций котлов. Более 50 конструкций получили практическое применение на судах.

Техника котлостроения этого периода характерна настойчивыми усилиями повысить коэффициент полезного действия котла, увеличить производительность и параметры пара, обеспечить безопасность и надежность его работы, а также уменьшить его вес и габаритные размеры.

К концу XIX в. много паросиловых установок работало уже на перегретом (иногда даже до 300° С) паре. В значительной мере



этому способствовало появление в практике эксплуатации минерального смазочного масла, которое лучше проигрывает влиянию высоких температур, нежели масло органического происхождения. В целях форсирования работы котлов и увеличения их производительности была выдвинута идея искусственной тяги и подвода в слой топлива сжатого вентилятором воздуха. Нагнетание воздуха, получившее в судовых котельных установках широкое применение, позволило поднять весовое напряжение решетки с 60 (при естественной тяге) до  $200 \text{ кг/м}^2$  и значительно повысить паронапряжение поверхности нагрева. Следует отметить, однако, что интенсификация работы топки таким способом привела к заметному снижению коэффициента полезного действия котла вследствие повышения температуры уходящих газов.

В борьбе за повышение коэффициента полезного действия котлов в конструкции последних было введено много усовершенствований. Так например, настойчиво стремились к удлинению пути дымовых газов в котлах и увеличению поверхности нагрева последних при сохранении их габаритов. Появились конструкции, в которых осуществлялось разделение газового потока в дымогарных трубках с последовательным прохождением газов по отдельным пучкам; для других конструкций было характерно увеличение числа дымогарных трубок, комбинирование котлов с жаровыми и дымогарными трубками, увеличение числа батарей в батарейных котлах, изменение формы поверхности нагрева (волнистость ее, ребристые поверхности), изменение самого типа котла (переход к водотрубным) и др. Вместе с этим была практически реализована идея подогрева воды. Весьма широкое распространение в стационарных установках получил водяной экономайзер (1845 г.). Как велико было значение этого устройства, видно хотя бы из того факта, что к концу XIX в. водяными экономайзерами было оборудовано около 150 000 паровых котлов. Несколько иначе обстояло дело с внедрением воздухоподогрева, по идее не менее старого, чем водоподогрев. Внедрение воздухоподогрева в котельных шло очень медленно и даже при известном сопротивлении. Так, например, У. Уильямс (Англия) в 1856 г. называл воздухоподогрев непростительным заблуждением, не имеющим ни практического, ни теоретического смысла. В германских котельных даже в 1910 г. работал лишь один экземпляр воздухоподогревателя. Только в дальнейшем при переходе к сжиганию низкосортных топлив в пылевидном состоянии идея воздухоподогрева получила широкое практическое применение.

Освоение низкосортного топлива и появление нового метода сжигания угля в виде пыли сыграло большую роль в развитии стационарного котлостроения и привело к значительному конструктивному совершенствованию паровых котлов.

Первоначальное предложение этого способа сжигания угля относится к 1818 г. Однако теоретически и практически новый метод сжигания угля был разработан профессором С.-Петербургского Технологического института Г. Ф. Делп, который показал его большую перспективность.

Пылеугольные топки создали условия для расширения гаммы энергетического топлива, использования влажных и зольных местных углей. Это изобретение русского проф. Г. Ф. Денпа было вывано к жизни огромным все возрастающим потреблением топлива энергетическим хозяйством.

Новый метод сжигания углей давал возможность исключить из баланса энергетического топлива лучшие его сорта для таких развивающихся отраслей хозяйства как транспорт, металлургия, химическая промышленность и т. д. Естественно, наибольшие перспективы пылевидного сжигания открывались перед советской энергетикой, в основе развития которой лежит научный принцип широкого использования местных энергоресурсов.

Начиная с 1918 г. сжигание пылевидного топлива в энергетических установках было практически освоено. В Советском Союзе этот способ начал широко внедряться, начиная с 1925 г. Развитие нового способа сжигания топлива позволило перейти к созданию новых оригинальных конструкций мощных котлов.

В топках котлов появились грануляторы (1921 г.)—незначительная, но важная для дальнейшего прогресса котлостроения деталь конструктивной схемы котла. Грануляторы быстро переросли в экранные поверхности нагрева котла, оказавшие в конечном счете решающее воздействие на конструкцию котла и ее дальнейшее развитие.

В период первой четверти текущего столетия получили широкое развитие работы по увеличению удельной и абсолютной мощности котлов; котел, экономайзер и дымосос стали выполняться как органически единый агрегат. Мощность паровых котлов достигла весьма больших величин. Появились агрегаты производительностью до 150 т в час и выше. Давление пара возросло до 25 ат, температура перегрева до 380° С. Коэффициент полезного действия котлоагрегатов достиг 85%.

Стремление к концентрации мощностей и укрупнению энергетических установок обусловило появление вертикально-водотрубного котла, который радикально разрешил задачу высокой производительности. Первый котел такого типа был с прямыми кипятельными трубками (1904 г.). Следующим за ним, получившим более широкое распространение в силу известных преимуществ (возможность развития поверхности нагрева, способ крепления труб и т.п.), был котел с изогнутыми кипятельными трубками (1906 г.). Однако и горизонтально-водотрубные котлы — камерные и секционные — также получили в этот период широкое распространение в промышленности, на водном транспорте и на электрических станциях. Наибольшее распространение получили секционные котлы, эксплуатационные показатели которых, особенно так называемых «морских», не уступали показателям лучших вертикально-водотрубных котлов.

Вертикально-водотрубные котлы в силу известных достоинств (высокая удельная паропроизводительность, большие единичные мощности агрегатов, удобное сочетание с пароперегревателем и экономайзером, надежная и интенсивная циркуляция, более удобное сочетание котла с топкой любых размеров при всех способах сжигания топлива, лучшее использование площади котельной) полу-

чили в крупной энергетике, судостроении, а также и в промышленной энергетике широкое распространение.

Вертикально-водотрубные котлы вначале строились главным образом в виде многобарабанных — пяти- и даже шестибарабанных конструкций, причем ошибочно считалось, что при этом, якобы, достигается более спокойная и надежная циркуляция воды, лучший отвод тепла от поверхностей нагрева и более рациональная утилизация тепла газового потока. Однако практика показала несостоятельность этого мнения, и скоро был совершен переход к трех- и двухбарабанным и даже к однобарабанным конструкциям.

Характерной чертой развития начала текущего столетия является переход к технике высоких потенциалов: высоким скоростям, высоким давлениям и температурам, к интенсификации технологических, химических и других процессов.

Дальнейшее развитие энергетического хозяйства сопровождается усилением его оперативности, маневренности, экономичности, надежности работы всех основных агрегатов.

Бешеная подготовка капиталистических стран ко второй мировой войне подгоняла развитие техники, заставляя ее стремительно приспособляться к запросам будущих военных нужд.

Электростанции стали важными звеньями военной подготовки. Военные предприятия ориентировались на получение энергии из разных, удаленных один от другого источников. Созданы были специальные резервные электростанции. Предприятия строили свои собственные электростанции. Происходило некоторое снижение концентрации энергохозяйства. Получили развитие новые принципы в теплотехнике, новые рабочие тела, новые рабочие машины, новые циклы и т. п., интенсифицирующие процесс производства энергии.

Научная и инженерная деятельность во всех областях паросилового хозяйства способствовала развитию теплотехники и выдвинула ее на видное место среди других отраслей техники. Последовательное развитие технологии котлостроения, укрепление и улучшение его производственно-технической базы, изучение данных эксплуатации энергооборудования, а также все более развивавшиеся на фундаментальной научной базе теоретические исследования рабочих тел и процессов в паротехнике подготовили переход к современному периоду котлостроения. Исключительное развитие металлургии, машиностроения и химии имело большое значение в дальнейшем прогрессе котлостроения и техники высоких потенциалов.

Таким образом, паротехника после 1925 г. была уже достаточно подготовлена к созданию мощных паровых котлов, использующих новые принципы генерации пара, и паровых турбин специальных конструкций, к большему развитию интенсификации работы паросилового оборудования при одновременном обеспечении максимальной надежности работы и упрощении обслуживания.

Все более широкое применение на электростанциях находит автоматика и дистанционное управление.

Наиболее яркое выражение новые технические принципы и идеи получили в условиях могучего индустриального роста СССР, стре-

нительно развивавшегося все эти годы на основе сталинских пятилеток и поражавшего мир своими успехами.

Современные паровые котлы обладают значительной поверхностью нагрева и возросшей удельной паропроизводительностью. До перехода к радиационным типам котлов распределение поверхности нагрева в котлоагрегатах не вызывало специальной заботы и внимания конструкторов. Размеры поверхности нагрева и паропроизводительность котельного агрегата систематически изменялись. Однако при широком распространении радиационных котлов возникли важные вопросы распределения поверхности нагрева в котлоагрегате и расхода металла при их изготовлении. Решение этих вопросов определило собой дальнейшее развитие конструкции парового котла, также стандартизации размеров и производительности последнего. В первоначальных конструкциях мощных современных котлов было характерным возрастание размеров котельной конвективной поверхности нагрева, постепенное увеличение радиационной поверхности нагрева и все более увеличивающееся значение пароперегревательных и экономайзерных поверхностей нагрева. В дальнейшем, когда большое развитие получили экранные типы котлов, соотношения поверхностей нагрева стали резко изменяться в пользу радиационных поверхностей.

Таким образом, возрастание единичной мощности котлов обусловило появление и внедрение новых принципов топливосжигания и потребовало создания мощных топочных устройств. В свою очередь переход от ручных толков к механическому обеспечил большие возможности для увеличения мощности и производительности котлов. Еще более решающее влияние на развитие конструктивных форм котлоагрегата, его мощности и производительности оказало освоение пылевидного сжигания топлива и систематическое изучение топочного процесса.

Строительство мощных котлов было связано также с развитием исследований в области металла, водоподготовки, внутрикотловых процессов и т. п.

Научная разработка вопросов циркуляции приобрела в СССР большой размах в исследованиях М. А. Стыриковича, Д. Ф. Петерсона и др. (ЦКТИ), С. И. Костерина, С. Г. Телетова (ЭНИН АН СССР), К. Ф. Родатиса и Локшина (ВТИ), значительно опередивших работы Зайделя, О. Шмидта, Сольберга, Поттера и других иностранных исследователей.

Работы по теплообмену (ранее эмпирические с противоречивыми результатами) приобрели теперь строго научный характер. Они получили широкое развитие в СССР в работах академика М. В. Кирпичева и его сотрудников (М. А. Михеев, Г. Л. Поляк, С. Н. Шерин и др.), а также в работах ЦКТИ (В. М. Антуфьев, Л. С. Казаченко, Г. Н. Кружилин, С. Кутателадзе и др.) и ВТИ (В. Н. Тимофеев, Д. Ф. Тимрот и др.) и легли в основу научного расчета паровых котлов, топочных устройств и вспомогательного оборудования.

Благодаря работам советских ученых и инженеров современное котлостроение вышло в ряд ведущих отраслей промышленности и характеризуется значительной эволюцией типов и появлением совершенно новых конструкций. Можно отметить два направления

в его развитии: первое — эволюционное усовершенствование котлов, вызванное, в основном, возрастанием единичной мощности; второе — стремительное развитие на базе накопленных количественных изменений и создание новых конструкций на основе главным образом применения пара высоких параметров.

В связи с началом применения высоких параметров пара возникла тенденция к созданию новых особых конструкций котлов. Однако в настоящее время это стремление к особым конструкциям оказалось совершенно несостоятельным. Нормальные барабанные котлы так же, как и прямоточные, являются теперь ведущим типом агрегатов при широком внедрении высокого и сверхвысокого давления.

В настоящее время в крупной энергетике имеют преимущественное применение вертикально-водотрубные (трех-, двух- и главным образом однобарабанные) и частично секционные котлы. Как те, так и другие обладают развитой радиационной поверхностью нагрева, оборудованы пылеугольными топками или высокопроизводительными цепными решетками, или механическими топками. Их отличие от первоначальных конструкций заключается в значительном развитии радиационных поверхностей нагрева, в снижении размера конвективных поверхностей, в наличии мощных топочных устройств, пароперегревателей и развитых экономайзерных поверхностей нагрева. Для промышленной энергетики и небольших станций сохранены в известной части горизонтально-водотрубные котлы, а также созданы производительные и компактные вертикально-водотрубные котлы.

Наряду с разработкой проблемы пара высоких параметров и широким внедрением его в энергетическое хозяйство в последнее время идет усиленная работа по интенсификации рабочих процессов в котлоагрегатах (процесса горения, теплообмена), по внедрению в энергетику новых рабочих тел (ртуть и различные высококипящие вещества) и новых двигателей (газовая турбина).

Паровозостроение за последние 25 лет также прошло значительный путь развития. Настойчивое стремление увеличить пропускную способность железных дорог привело к появлению мощных (до 9000 л. с. в единице) паровозов и к внедрению высокоскоростных (до 200 км/час) поездов. Однако современные требования заставляют изыскивать новые средства увеличения мощности паровозов при сохранении их размеров и веса, чтобы избежать коренной реконструкции проложенных уже путей и других капитальных работ.

В целях увеличения мощности в современном паровозостроении широко используются возможности, которые несет в себе перегретый пар. Намечаются пути использования высокоперегретого пара. Широко внедряется подогрев питательной воды и воздуха.

Под влиянием чрезвычайно больших расходов паровозами всевозможного топлива значительная часть паровозного парка перешла на потребление местных низкосортных топлив, что, естественно, вызвало переустройство и увеличение размеров паровозных топков, намечился переход к сжиганию топлива под повышенным давлением подогретого воздуха, вдуваемого в топку.

В связи с применением пара высоких параметров в паровозостроении намечилось три направления:

Во-первых, применение пара давлением до 25 ат, позволяющее сохранить, в основном, старый тип паровозного котла при использовании, однако, материалов специального качества.

Во-вторых, применение пара давлением до 60 ат, требующее коренного изменения типа котла, т. е. перехода к водотрубным котлам.

Наконец, в-третьих, применение пара высоких (выше 60 ат) параметров привело к появлению на паровозах котлов специальных конструкций. Количество паровозов, работающих на паре таких высоких параметров, измеряется пока единицами.

В области судостроения, где энергетика корабля приобретает все большее значение, за последние 25 лет достигнуты значительные успехи. Развитие судового котлостроения в целом характерно весьма настойчивыми работами по созданию наилучших по своим техническим и экономическим показателям конструкций котлов. Стремление уменьшить вес котла привело к отказу от кипяtilьных труб большого диаметра и к широкому внедрению мелкотрубных котлов. Это наряду со снижением веса создало предпосылки к значительной интенсификации теплообмена, что, естественно, позволило, в свою очередь, улучшить рабочий процесс и поднять производительность котла. Тепловое напряжение объема топки в некоторых судовых котлах доведено до  $3 \cdot 10^6$  ккал/м<sup>3</sup>час. Средняя удельная производительность их около 90 кг/м<sup>2</sup>час. Одной из главных черт развития современного судового котлостроения является стремление к стандартизации и к резкому сокращению количества типов котлов.

\* \* \*

Уже в первоначальный период развития отечественной паротехники, несмотря на замедленный рост промышленности и энергетического хозяйства, в России появляются совершенно оригинальные конструкции паросиловых агрегатов (машина И. И. Ползунова, паровозы отца и сына Черепановых).

В дальнейшем в период победы и утверждения капитализма в передовых в экономическом отношении странах (до 70-х годов XIX в.) и позже (в конце XIX и начале XX вв.) на последнем этапе развития капитализма имело место значительное по масштабам проникновение в Россию иностранного капитала и его техники. В это время наряду с созданием своих отечественных конструкций русская промышленность ввозила и иностранное оборудование.

Материалов по истории развития котлостроения в дореволюционной России, к сожалению, очень мало. Они сосредоточены в небольшом ряде книг и рукописей<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> А. Брандт, Очерк истории паровой машины и примечания паровых двигателей в России (1892 г.); Божерянов, Описание изобретения и усовершенствования паровых машин (1842 г.); В. Карелин, О русских паровых машинах и сельских мельницах (1848 г.); Хотинский, История паровых машин, пароходов и паровозов (1853 г.); И. Мордовин, Русское военное судостроение («Морской сборник» № 8—10, 1880); Я. В. Шотлендер, История паровоза за 100 лет (1903 г.); И. Евреинов, Введение паровых

Естественно, что этот исторический материал недостаточен в количественном отношении, однако его содержание и, в основном, содержание многочисленных научных статей по теплотехнике, напечатанных русскими инженерами и учеными в конце XIX в. и начале XX в. дает достаточно ясную картину развития нашего котлостроения и передовой роли отечественных теоретических работ<sup>1</sup>.

История развития отечественной науки и техники является теперь после проведенных в последнее время замечательных исследований широко известной. В частности, перед нашей страной по-новому предстала история развития отечественной техники, изложенная в известном труде В. В. Данилевского «Русская техника» (изд. АН СССР, 1948).

Теперь является исторически достоверным и неоспоримым тот факт, что впервые в мире основы теоретической теплотехники были заложены великим русским ученым М. В. Ломоносовым. На основе его теории работал и создал первую в мире универсальную паровую машину для нужд производства основоположник отечественной паротехники И. И. Ползунов.

Дальнейшее развитие теоретических основ котлостроения принадлежит И. А. Вышнеградскому, разработавшему механическую теорию теплоты, И. П. Алымову, продолжившему разработку наследства Ломоносова по аэродинамике газового тракта котла, В. Сазонову и В. Погдину, положившим начало изучению внутрикотловой гидродинамики и первыми в мире исследовавшим вопрос циркуляции в паровых котлах. Большую роль сыграли исследования Д. И. Менделеева, И. А. Курякова и Г. Ф. Деппа, которые разработали научные основы процесса горения и рационального сжигания топлива; К. В. Кириша, А. И. Гриневецкого, А. И. Предтеченского и А. П. Гавриленко, заложивших основы теоретического расчета паровых котлов и разработавших общие основы котлостроения.

В отечественном паровозостроении первооснователями являются Е. А. и И. Е. Черепановы, наметившие правильные пути развития паровозного котла и паровоза в целом и создавшие первые

---

двигателей по внутренним водным путям России (1878 г.) и некоторые другие. Эти материалы имеются также в курсах лекций, читавшихся в основных высших технических учебных заведениях России (С.-Петербургский технологический институт, С.-Петербургский политехнический институт, Московское Высшее техническое училище, Харьковский технологический институт, Киевский политехнический институт) в конце прошлого и в начале настоящего века русскими передовыми учеными, которые боролись за развитие отечественной высшей школы и промышленности. Число этих курсов ограничено. Можно назвать курсы: проф. Г. Ф. Деппа, проф. А. П. Гавриленко, проф. А. И. Предтеченского, проф. К. В. Кириша и труды Н. И. Петрова, А. П. Бородина, Н. Л. Щукина, Е. Е. Нольтейна, В. Г. Шухова и др. Встречались также довольно редкие статьи по истории паротехники (Р. Тойкова, П. Богуславского, Н. Лабзина и др.) и статьи, посвященные отдельным техническим событиям.

<sup>1</sup> См., например, статью Р. В. Цукермана и С. С. Кутателадзе в журнале «Советское Котлотурбостроение» № 3, 1949 и Р. Цукермана, У истоков современной паротехники, журнал «Природа» № 8, 1949, а также книгу С. С. Кутателадзе и Р. В. Цукермана, Развитие теории теплоты в работе русских ученых, Госэнергоиздат, 1949.

отечественные паровозы. Дальнейший прогресс нашего паровозостроения обязан работам выдающихся инженеров: Н. П. Петрова, А. П. Бородина, Е. Е. Нольтейна, Н. П. Куськова, Н. П. Щукина, В. И. Лопушинского, А. С. Раевского, М. Е. Правосудовича и др., значительно опередивших теорию и практику развития этой отрасли паротехники за границей.

Однако работы и исследования названных инженеров и ученых не всегда приводили к должным практическим результатам, вследствие социальной сущности самодержавного строя дореволюционной России с его тупым недоверием к своим ученым и слепым раболепием и преклонением перед Западом.

Появление первых паросиловых установок в России относится ко времени царствования Петра I. По его указу была выпущена для нужд водоотлива в связи с сооружением каналов в Петербурге паровая машина Дегаюлье. Вследствие недостаточной мощности эта первая машина недолго проработала на водоотливе и была в дальнейшем использована в качестве насоса для фонтанов в Летнем Саду.

А. Брандт сообщает<sup>1</sup>, что в дальнейшем в России были установлены в банях Трусова еще две машины (Т. Савери).

В 1765 г. в России произошло знаменательное событие. Гениальным механиком барнаульского завода И. П. Ползуновым была построена паровая машина оригинальной конструкции, которая приводила в работу дутьевые устройства при выплавке серебра (см. фиг. 2 и 3). Это событие, происшедшее более 180 лет назад, имеет большую важность, так как появлением машины Ползунова были заложены основы отечественной паротехники. Оно тем более знаменательно, что созданная И. П. Ползуновым паросиловая установка была не только оригинальной, совершенно самостоятельно выполненной, но она обладала к тому же лучшими показателями и стояла на более высоком уровне техники, чем современные ей иностранные машины.

По поводу этого события в журнале «Русская Старина» (XI—XII, 1883) в статье А. Н. Воейкова «Первая паровая машина в свете» сказано: «Сто двадцать лет тому назад совершенно в сибирской глуши величайшее открытие человеческого разума, не ученый, посвятивший себя изучению сил природы, но простым рабочим...» Давая такое название и содержание своей статье, автор, очевидно, хотел подчеркнуть, что машина И. П. Ползунова выделялась своим замечательным устройством из всех известных до этого времени и была первой отечественной установкой, созданной гением простого русского человека. И действительно, все ранее созданные паровые машины (Т. Савери, Ньюкомен, Смитон), так же как и первая паровая машина Уатта, построенная в 1769 г., по своему устройству и техническому совершенству значительно уступали паровой машине Ползунова. Это были машины одностороннего действия, т. е. с впуском пара лишь с одной стороны поршня и возвратным движением поршня под действием атмосферного давления («атмосферические машины») и плевшие назначением своим подъем воды из шахт, рудников и каналов. Машина же И. П. Ползунова

<sup>1</sup> А. Брандт. Очерк истории паровой машины и применения паровых двигателей в России, СПб., 1892.



была весьма совершенной для своего времени конструкцией. Она опередила устройством своим западноевропейские машины почти на четверть века, а по своему назначению и работе эта машина была образцом универсального двигателя, который был так необходимым для быстрого развития промышленности.

По поводу устройства и работы паровой машины И. И. Ползунова было много критических замечаний и разнообразных статей. Были даже попытки считать его изобретение неоригинальным, а идею ее — заимствованной. «Однако, машина Ползунова, — писал А. А. Брандт, — действительно была первая, построенная в России, а не выписанная из-за границы, а применение в 1765 г. паровой машины не для подъема воды, а для другой промышленной цели, следует считать самостоятельным изобретением»<sup>1</sup>.

История изобретения И. И. Ползуновым паровой машины очень поучительна. Она показывает, как далеко даже в условиях тяжелого произвола творческая мысль русского человека опережала европейские умы и создавала замечательные творения<sup>2</sup>.

И. И. Ползунов родился в 1730 г. и умер в возрасте 36 лет «от жестокого горганного кровотечения» 16 мая 1766 г. В 17 лет он работал на Колывано-Воскресенских рудниках Барнаульского горного управления и получал 2 руб. в месяц. В 1759 г. И. И. Ползунов был произведен в унтершхтмейстеры, так как он «что касается геометрии, тригонометрии искусен и, сверх того, часть механики знает». Ползунов отдавал очень много времени устройству различных механизмов и «имел много метеорологических инструментов». В 1763 г. он обратился к начальнику горного управления ген. А. И. Порошину с заявлением о том, что составил проект машины, которая может действовать «через посредство воздуха и паров, происходящих от варенья воды в котле». Изобретение было встречено вначале неодобрительно. Дело дошло до царского двора, и Екатерина II «яко щедрая наук и художеств покровительница» 19 ноября 1763 г. велела отпустить деньги на создание машины и наградила 400 руб. самого изобретателя, который, однако, этих денег не получил, что послужило в известной мере причиной его тяжелой жизни и скорой смерти. Машина была закончена постройкой в 1765 г. и стояла в здании высотой около 16 м и площадью 15 м × 9 м. Вследствие порчи котла первой машины пришлось делать вторую, которая 23 мая 1766 г., через неделю после смерти И. И. Ползунова, начала действовать. При этом было установлено, что «движение меха имели нарочитое, из укрепленного к меховым трубам ларя, во все двенадцать трубочек воздух идет довольный и примечено, что того воздуху на 10 или все 12 печей будет»<sup>1</sup>. Машина под наблюдением учеников И. И. Ползунова — механиков Черпицына и Левзина, работала около 2 мес. и при ее помощи было расплавлено 9300 пудов руды. Такова вкратце история первой в мире универсальной паровой машины непрерывного действия, которую И. И. Ползунов «достойным похвалы искус-

<sup>1</sup> А. А. Брандт. Очерк истории паровой машины и применения паровых двигателей в России. 1892.

<sup>2</sup> См. книгу В. В. Данилевского, Русская техника, изд. АН СССР, 1948.

ством так успел изменить . . . , что машину его должно почесть новым изобретением»<sup>1</sup>.

Следует подчеркнуть, что наш великий соотечественник первым в мире сумел «огонь слугою к машинам склонить». Положивши в основу теоретические исследования М. В. Ломоносова и небольшой еще мировой технический опыт паротехники, он изобрел двухцилиндровую поршневую огнедействующую машину непрерывного действия для привода любого заводского механизма. И. И. Ползунов открыл перспективы для развития и использования в промышленности паровой универсальной машины во всех странах.

В 1777 г., т. е. спустя 11 лет после краткой, но успешной работы машины Ползунова, по распоряжению Екатерины II была куплена и появилась в России машина Ньюкомена, построенная по чертежам Смитона. Она была установлена в Кронштадте для выкачивания воды из сухих доков. До установки этой машины вода удалялась из каналов насосами, приводимыми в действие ветряными мельницами. Интересно отметить, что эта машина стоила много дороже машины Ползунова и имела три котла диаметром 2,4—3,0 м. Диаметр цилиндров машин достигал 1,7 м. Подъем поршня производился 10 раз в 1 мин. За каждый подъем поршень выкачивал около 0,16 м<sup>3</sup> воды. Машина расходовала при этом около 10 т угля в сутки.

Затем в России появилась и первая машина Уатта, по образцу которой было вскоре построено несколько паровых машин. Первая машина по типу уаттовской, т. е. одинарного действия, была построена на Олонецком железодельательном заводе и в 1791 г. была установлена для водоотлива на одной из шахт Воицкого рудника (Архангельская губерния). На том же Олонецком заводе в 1797 г. была построена вторая такая же паровая машина (для Монетного двора).

Творческий подвиг И. И. Ползунова не был забыт. В России появились многочисленные продолжатели его дела. Например, известен факт постройки и установки машины отечественной конструкции для Гумешевского рудника на Урале (1799 г.). В конце XVIII в. Р. Дмитриевым (Кронштадт) был создан проект огнедействующей машины. В это же время работали по созданию машин Ф. Борзой, Е. Кокушкин, А. Андреев, П. Михеев и др. В 1810 г. была построена неизвестным механиком хорошо работавшая машина на Златоустовском заводе. В начале XIX в. (1815 г.) в этой области много работал Вяткин, создавший оригинальную машину для Верх-Исетского завода.

Большое значение для развития судовой паротехники и машиностроения имели работы Г. Шестакова, П. Чистякова, А. Вешнякова, П. и И. Казанцевых и других, работавших над созданием речного парового (Волжско-Камского) флота России и построивших оригинальные пароходные машины.

Строительство паровых машин в России получило развитие в первую четверть XIX в. на Олонецком и на Петербургском литейно-механическом (впоследствии Путиловском) заводе, а также на за-

<sup>1</sup> Р. Тонков, К истории паровой машины в России, Горный журнал, май, 1902.

воде Ч. Берда (позже Франко-Русский судостроительный), на Ижевском и Нижне-Тагильском заводах, где работами русских техников паровой машине придавались новые, лучшие качества.

В 1810 г. были поставлены дополнительные паровые котлы на Монетном дворе, а в 1811 г. построены паровые машины для Тульского оружейного завода. В 1827 г. были построены паровые машины для Варшавского арсенала и т. д. Один лишь завод Ч. Берда до 1825 г. выпустил 11 паровых и более 130 стационарных заводских паровых машин.

Первая паровая машина двойного действия по типу машины Уатта (1782 г.) была построена на Олонцком заводе в 1820 г., т. е. через 54 года после появления машины И. И. Ползунова — ее мощность не превышала 60 л. с. Установлена была эта машина на Монетном дворе в С.-Петербурге. В 20-х годах такие же машины двойного действия начали работать на старом Александровском (в Петрозаводске) заводе и Александровском чугунолитейном заводе (бывш. Петербургский литейно-механический). Паровая машина двойного действия, установленная в 1824 г. на Александровском заводе, работала до конца 80-х годов прошлого века.

Изготовление паровых машин в России производилось не только на упомянутых заводах, но также и на других, особенно на уральских, издавна ставших машиностроительной базой страны. Так, например, на Демидовских заводах отец и сын Черепановы в 1824 г. построили паровую машину мощностью 4 л. с. для привода на мукомольной мельнице. В дальнейшем они построили ряд крупных машин для заводов и рудников. Мощность этих машин была 30—45 л. с. Работали они вполне исправно до 70-х годов XIX в. Созданное Черепановыми механическое заведение поставляло машины ряду уральских заводов.

Весьма интересным и важным событием является проект машины двойного действия С. Литвинова, создавшего передовую по идее поршневую машину. Такие машины носят теперь название монокомпаунд-машин двойного действия. В 1833 г. на Пожевском заводе русским новатором М. Назукиным была построена машина мощностью 47 л. с. с давлением пара большим, чем во всех известных и построенных до этого времени паросиловых установках всех стран.

Строительство паровых машин стационарного типа, а также и судовых машин с каждым годом приобретало в России все больший размах. Появлялись новые оригинальные конструкции их. Так, например, в 1832 г. впервые в мире была построена в России для парохода «Геркулес» паровая безбалансирная машина, продолжительная эксплуатация которой показала отличное качество конструкции. Такого типа машины за границей появились лишь через несколько лет — в конце 30-х годов.

Конструктивная форма первых появившихся в России паровых котлов была весьма примитивна. Так, например, котел водоподъемной установки Дезагюлье представлял собой два чугунных сосуда эллипсоидальной формы, обогревавшиеся газами извне в нижней своей части. Размер поверхности нагрева такого котла был весьма

ограничен и его паропроизводительность ничтожна. Водоподъемная установка с котлом такого же типа (Г. Савери) работала в России недолгое время, однако проявила она себя буквально как «пожиратель» дров и приводила в изумление обслуживающий ее персонал чудовищным расходом топлива при явно малой от нее пользе.

В целях увеличения поверхности нагрева котла, а следовательно, подъема его производительности и увеличения коэффициента полезного действия, для последующих установок строились котлы несколько иной, а именно коробчатой формы. Днище такого коробчатого котла в целях достижения большей прочности и для лучшей сопротивляемости внутреннему котловому давлению имело форму свода с выпуклостью внутрь котла. Таков, например, котел универсальной машины, созданной в 1765 г. И. И. Ползуновым (см. фиг. 2, 3). Обращает на себя внимание приданная этому котлу его изобретателем полушаровая форма с развитым паровым пространством. Такая конструкция, помимо того, что она давала возможность получить котел с увеличенным паровым объемом, что обуславливало производство более сухого пара, являлась более правильной формой с точки зрения механической прочности и стойкости по отношению к внутреннему давлению. Трудно предположить, чтобы изобретатель придал такую форму котлу, исходя из условий прочности, так как рабочее давление пара было пока весьма небольшим. Скорее всего это было сделано для того, чтобы удобно разместить котел в обмуровке. Влияли, очевидно, технологические условия изготовления котла и размещения над ним паровой машины. Котлы такой формы обогревались горячими газами уже не только с нижней стороны, но и с боков. В дальнейшем, как известно, паровой котел был видоизменен. В нем была помещена внутренняя топка.

Наконец, в целях еще большего увеличения поверхности нагрева котла, его размеров и производительности ему была придана вытянутая по горизонтальной оси форма. Таким образом, был получен первый горизонтальный котел сундучной формы (см. фиг. 6). В таком котле вначале была сохранена старая вогнутая внутрь форма днища. Дополнением явилось придание такой же вогнутой внутрь формы и боковым стенкам.

Такая форма стенок и днища котла могла существовать, естественно, лишь до определенной величины давления пара в котле. Необходимость увеличения давления пара в котле в дальнейшем вызвала к жизни наиболее рациональную цилиндрическую форму котла.

Эта рациональная конструкция барабана парового котла, как показывают исторические исследования<sup>1</sup>, была создана русскими техниками на уральских и алтайских заводах горно-металлургической промышленности. Первая конструкция указанных паровых котлов имела барабаны бочкообразной формы, которая в дальнейшем переросла в обычную цилиндрическую. Таким образом, существующее

<sup>1</sup> А. А. Брандт, Очерк истории паровой машины и применения паровых двигателей в России, СПб. 1892 и Я. В. Шотлендер, История паровоза за 100 лет, М. 1903.

мнение о том, что первый цилиндрический котел был построен в Англии Вульфом, является недостоверным, так как Вульф создал свой котел позже.

В судучных котлах типа Уатта впервые нашли применение жаровые трубы, которые устанавливались с целью увеличения поверхности нагрева котла. Первые жаровые трубы имели квадратное сечение. Однако под влиянием эксплуатационных факторов, показавших несостоятельность избранной формы сечения, эти трубы вскоре приобрели эллиптическое, а затем и круглое сечение.

Характеристикой дальнейшего подъема промышленности России в XIX в. и развития ее энергетической базы может служить увеличение и улучшение производства металла и рост строительства железных дорог.

Известно, что первые железоделательные заводы в России появились еще в XVII в., к концу которого насчитывалось уже около 40 заводов такого типа. Первые и серьезные успехи производство металла начало делать при Петре Великом, когда русское железо даже вывозилось за границу, например в Англию, где выплавка железа в это время сильно упала вследствие истребления лесов. Плавка металла на камешугольном коксе тогда еще не была известна. К концу XVIII в. выплавка чугуна в России составляла около 8 млн. пудов. Производство железа и чугуна было сосредоточено (более 80% всей выплавки) на Урале. Помимо уральских заводов, чугун и железо вырабатывались Людиновским заводом, построенным в 1755 г., Радицким заводом (1765 г.) около города Брянска, Выксунским заводом, построенным также в 1765 г., и Кулебакским заводом (80-е годы XVIII в.).

Южная русская промышленность возникла гораздо позже.

За столетие (1800—1900 гг.) производство чугуна в России возросло почти в 23 раза и в то же время к началу текущего столетия оно в основном переместилось на юг России, где были обнаружены ресурсы топлива и железной руды.

Наряду с развитием металлургической промышленности развивалось также и отечественное машиностроение.

Первоначальное развитие машиностроения в России относится к началу XVIII в., когда на Олонецких заводах впервые приступили к изготовлению примитивных механизмов для горнозаводских производств. Это был период постройки единичных машин. Дальнейшее развитие машиностроения шло крайне медленно. Отметим, что и в Западной Европе в это время, т. е. в первую половину XVIII в., машиностроение не могло еще занять устойчивого положения.

К концу XVIII в. в России вблизи Петербурга были основаны казенные адмиралтейские Ижорские, Кронштадтский и С.-Петербургский литейные заводы и Александровский завод в Петрозаводске. Эти заводы работали главным образом для удовлетворения нужд флота и военного ведомства. В 1790 г. был основан частный завод Ч. Берда и в 1824 г. — второй частный механический завод в Петербурге. Во второй четверти XIX в. в русском машиностроении занимал ведущее положение Александровский чугунолитей-

ный и механический завод Горного ведомства в Петербурге (впоследствии общества Путиловских заводов). Начиная с 1828 г., он строил паровые машины и разнообразные станки для многих заводов и фабрик России. Этот завод одновременно готовил кадры для ремонта и эксплуатации своих машин и механизмов. В 1842 г. завод был передан в Главное управление путей сообщения, причислен к б. Николаевской железной дороге и начал строить паровозы. Здесь была произведена первая попытка развернуть отечественное паровозостроение. Александровский завод в 1844 г. попал в руки американцев Гаррисона и Уайненса, которые за 25 лет (1844—1868 гг., когда был расторгнут с ними контракт) сумели обеспечить постройку лишь 200 паровозов, 253 пассажирских и около 2700 товарных вагонов.

Машиностроение на Александровском заводе и заводе Ч. Берда не могло получить большого развития, так как спрос на паровые машины на первых порах был недостаточным. Широкое применение имел гидравлический, а в некоторых случаях даже и кованный привод. Вместе с этим разрешение ввозить из-за границы в Россию паровые машины без оплаты пошлины при запрете ввоза чугуна и железа, оказавшихся в недостатке при начавшемся подъеме промышленности, оказало серьезное влияние на задержку развития собственного энергетического машиностроения. Например, на 1157 фабриках и заводах Москвы и губернии в 1842 г. работало лишь 67 машин. Общая мощность стационарных паросиловых установок росла довольно медленно. Так, к 1870 г. в России было установлено около 3200 стационарных паровых машин общей мощностью 145 300 л. с. К 1890 г. число их увеличилось до 7550, а мощность до 200 000 л. с. Кроме того, в народном хозяйстве имелось около 2500 локомотивов мощностью до 30 000 л. с.

В 1830—1840 гг. были основаны несколько частных литейных заведений в Петербурге, в Риге, котельный завод Винокурова в Москве, в Екатеринбурге и т. д.

Значительную роль в развитии машиностроения сыграли Невский и Балтийский заводы, основанные в 50-х годах.

В Центральном промышленном районе были известны Мальцевские заводы в Людиново, Выксунский завод, на котором в 1836 г. начали строиться паровые машины типа Уатта одностороннего действия. Впоследствии на этом заводе начали строиться речные пароходы для Оки и Волги. В 1849 г. был основан Сормовский паромостный и машиностроительный завод.

Довольно большое число машиностроительных заводов России принадлежало иностранцам, которые преследовали исключительно цели наживы, капиталистического хищничества. Показательным примером является случай с заводом герцога Лейхтенбергского, производившим различные машины и в небольшом количестве паровозы. Главное общество российских железных дорог, в котором преобладал иностранный капитал, сочло более выгодным выписывать паровозы и вагоны из-за границы и поэтому купило указанный завод и уничтожило его. «Так был стерт с лица русской земли — пишет современник этого события Н. Лабзин — самый лучший машинострои-

тельный завод, владевший самыми усовершенствованными станками и обставленный хорошими техническими силами. Уничтожение завода . . . представляет собой только один из примеров той системы, которой вообще держатся иностранцы для всевозможного воспрепятствования развитию национальных сил, могущих впоследствии сделать ненужными их услуги»<sup>1</sup>.

Так, например, по морскому ведомству по условиям контрактов иностранцы обязаны были в частности готовить себе преемников из русских техников. Однако «умеющие ценить себя, иностранцы охотно давали упомянутые обязательства и, получая большие оклады жалования, не подготовили себе ни одного конкурента»<sup>2</sup>.

Отрицательные последствия недостаточного развития собственного машиностроения в России сказались незамедлительно. Особенно это показала Крымская война. Правительству в этот период под давлением серьезных военных событий уже пришлось не жалеть средств. Строительством военных судов и судовых паросиловых устройств (котлов и машин) занимались завод Ч. Берда, Невский и Балтийский заводы.

Война и общий прогресс паротехники заставили усиливать не только военно-морской паровой флот, но также развивать строительство морских и речных судов коммерческого флота.

После Крымской войны общее машиностроение в России получило довольно значительное развитие. Появился ряд новых заводов, в том числе С.-Петербургский металлический завод, на котором строились отопительные приборы, котлы и т. п. Сильно увеличил объем своего производства Путиловский завод. В Москве и на юге России за этот период было построено много новых заводов (например Голпера, Листа, Бромлея и др. в Москве), строивших насосы, станки, паровые машины, котлы и т. д. В 1862—1863 гг. был основан Коломенский завод (ранее завод Струве), на котором в 1869 г. началось строительство паровозов.

В период 1840—1850 гг. открылись заводы в Киеве, Одессе, Ростове-на-Дону, в Севастополе, в Астрахани и других городах России. Эти заводы выпускали различные машины, в том числе паровые машины и паровые котлы.

В целом картина развития русского машиностроения после Крымской войны выглядит следующим образом. В 1854 г. в России было всего 29 механических заводов, в 1861 г. их стало уже 106, в 1865 г. — 126 и, наконец, в 1870 г. число заводов возросло до 198, а число рабочих в них увеличилось в 10 раз. Следует отметить при этом, что специализированных машиностроительных заводов тогда не было: заводы изготовляли паровые машины, станки, насосы, пушки и т. д.

В 70-х годах в истории развития русского машиностроения наступил важный период. Появилась и стала развиваться южная металлургическая и каменноугольная промышленность.

<sup>1</sup> Н. Л а б з и н. Машины и аппараты. Историко-Статистический обзор промышленности России, ч. II, изд. 1886 г.

<sup>2</sup> Там же.

В дальнейшем железодобывающая промышленность на юге России значительно расширилась. Так, если до 1887 г. на юге работал только один крупный завод, то в 1899 г. их стало 17 с 29 действующими доменными печами и 12 строящимися. Интересно при этом отметить, что южнорусская железодобывающая промышленность работала в основном на удовлетворение потребностей быстро развивавшейся железнодорожной сети.

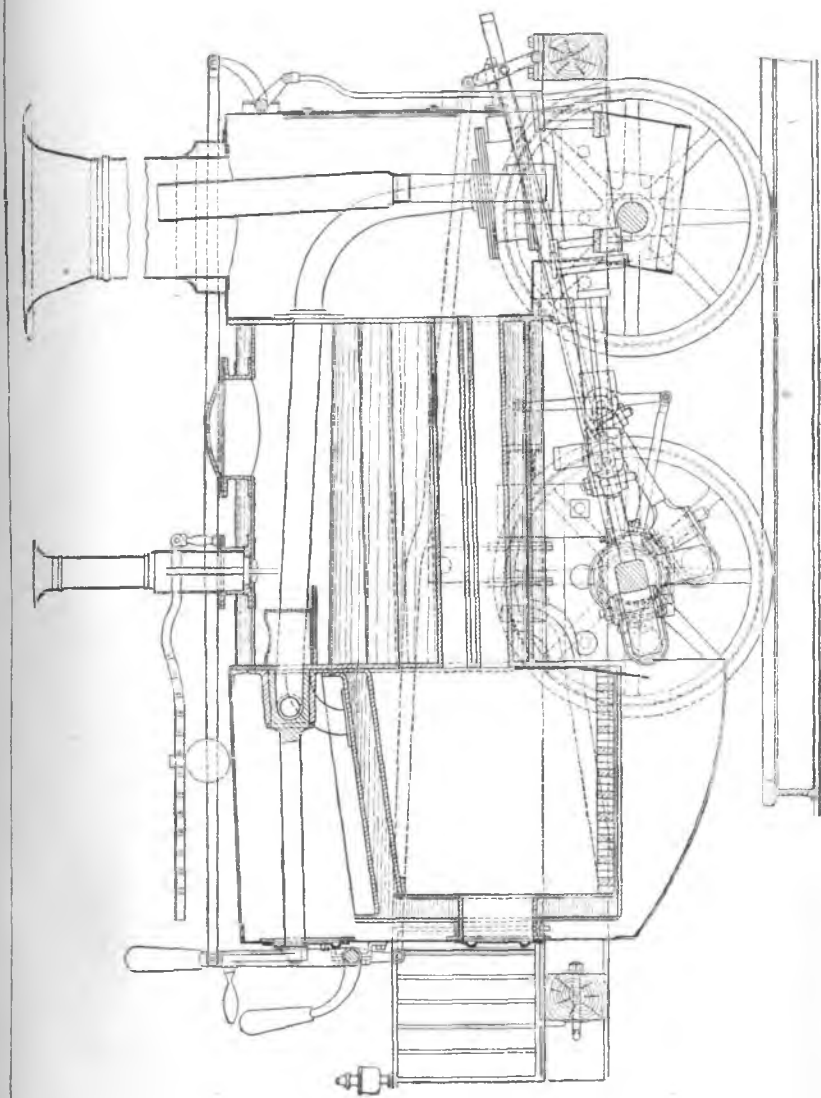
Широкое железнодорожное строительство и рост парового флота вызвали развитие паровозостроительных и судостроительных предприятий, а также строительство новых крупных уже более или менее специализированных заводов. Так, на новой более совершенной в техническом отношении базе в 90-х годах расширили производство паровозов Невский и Камско-Воткинский заводы. Один за другим возникли пять новых паровозостроительных заводов, из которых Брянский, Путиловский и Сормовский были реорганизованы из старых железодобывающих заводов в паровозостроительные, а два других завода — Харьковский и Луганский — были построены специально для паровозостроения. Эти заводы долгое время служили базой паровозостроения и котлостроения в России. Котлостроением для стационарных установок занимались наряду с указанными заводами также машиностроительные и котлостроительные заводы быв. Бари в Москве (1881 г.), быв. Нев и Вильде (1896 г.), быв. Наваль (1895 г.), Сумской машиностроительный (1895 г.), С.-Петербургский металлический и другие.

Первой русской железной дорогой является дорога, построенная на демидовских рудниках около Перми (ныне Молотов). Честь постройки этой дороги и первого паровоза в России принадлежит Е. А. и М. Е. Черепановым, которые построили паровоз или «сухопутный пароход», как его называли (фиг. 7, 8,), и железную дорогу длиной в 400 саженей.

Черепановы построили первый русский паровоз в 1833 г. — 117 лет назад по собственному проекту. В «Горном журнале» № 5 за 1835 г. помещено первое описание этого замечательного творения русской технической мысли. Строили паровоз отец и сын Черепановы в трудных условиях. «Принеобычайной сметливости Черепановых и при данных им способностях, они, однако же, скоро достигли цели своей: сухопутный пароход, ими устроенный, ходит ныне в обе стороны по нарочно приготовленным на длину 400 саженей чугунным колесопроводам. Пароход их неоднократно был в действии и показал на деле, что может возить 200 пудов тяжести со скоростью от 12 до 18 верст в час. Самый пароход состоит из цилиндрического котла длиной 5½ футов, диаметром 3 фута и из двух лежащих цилиндров длиной 9 дюймов, в диаметре 7 дюймов». Черепановым, таким образом, удалось создать паровоз, который находился в систематической работе длительное время. Им был создан впервые в мире механизм перемены хода, «чтобы паровоз мог ходить взад и вперед, без поворачивания, как то делают обыкновенные телеги»<sup>1</sup>. Это удалось

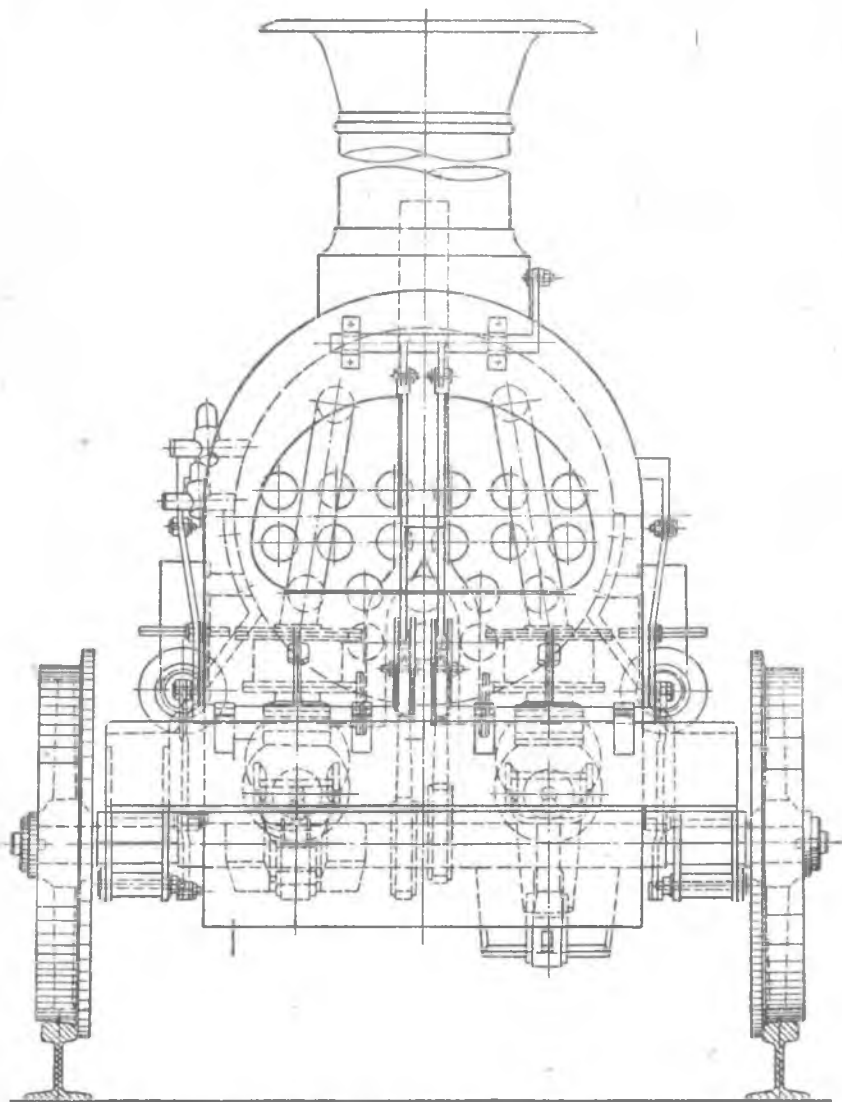
<sup>1</sup> Р. Тонков, К истории паровой машины в России, «Горный журнал» № 5, 1902.





Фиг. 7. Паровоз Е. А. и М. Е. Черепановых (1833 г.) — продольный разрез.

«сделать «переменной впуска паров в другую сторону, действием эксцентрического колеса, приводящего в движение паровой золотник». На паровозе Черепановых были установлены предохранительный клапан, запорный клапан собственной их конструкции и пита-



Фиг. 8. Паровоз Е. А. и М. Е. Черепановых — поперечный разрез.

тельные насосы с приводом от колеса. Вместе с этим на паровозе Черепановых был впервые в мире осуществлен выхлоп пара в трубу через конус. Таким образом, это была совершенная машина, далеко опередившая по устройству современные европейские и американские паровозы.

В первом паровозном котле Черепановых было установлено 35 трубок, затем «после первых опытов, для усиления жара, прибавлено в котел некоторое число парообразовательных медных трубок и число их во втором парходе было доведено до 80 шт. По испытании сего пархода, Черепановы приступили к устройению другого подобного пархода несколько более прежнего. Он находится уже в сборке».

К сожалению, паровозная тяга на уральских и других заводах дальнейшего развития не получила. Паровоз Черепановых был так же забыт, как и машина И. Ползунова.

В 1836 г. между Петербургом и Царским селом была построена первая железная дорога общего пользования. Поезд из 8 вагонов впервые пошел по этой дороге 30/X 1837 г. Двигался он со скоростью до 60 км/час. Первые паровозы и вагоны для Царскосельской железной дороги были закуплены за границей, хотя Россия уже имела положительный опыт Черепановых, построивших два оригинальных паровоза и ряд других машин.

Развитие железных дорог в России шло довольно быстрыми темпами и оказывало при этом, так же как и в других странах большое влияние на развитие металлургии и на строительство паровозостроительных и котлостроительных заводов.

В период с 1850 по 1914 гг. протяженность русских железных дорог увеличилась с 601 до 72 900 км.

Интересно отметить, что постройка железных дорог в России на первых порах встретила очень серьезное сопротивление со стороны группы государственных деятелей и некоторых промышленников. Эта группа боялась усиления конкуренции со стороны иностранного капитала, которому по их мнению железные дороги облегчили бы доступ на русские рынки. Она имела сильную поддержку со стороны министра финансов Канкрин, утверждавшего, в частности, что «железные дороги — часто более предмет роскоши, представляют собой по существу скорее зло, чем благодеяние». Один из французов, состоявших на русской службе, некий Дестрем, сделал в Институте инженеров путей сообщения в 30-х годах XIX в., где он читал лекции по «умозрительной» (теоретической) механике, такое сообщение, как «О причинах неприменимости железных дорог к средствам и потребностям России»<sup>1</sup>.

Несмотря на жестокую конкурентную борьбу, злоупотребления, обманы и взяточничество, строительство железных дорог в России шло, однако, довольно быстрыми темпами.

По мере развития железных дорог зависимость от иностранного капитала и его техники чувствовалась все острее. Однако рост железнодорожных перевозок и сети дорог, а также иные, чем на Западе, условия работы (климат, расстояния и т. д.) потребовали создания отечественных типов паровозов на своих заводах. К 1850—1860 гг. на первых русских паровозостроительных заводах: Александровском чугунолитейном и герцога Лейхтенбергского машиностроительном стали строиться паровозы отечественной кон-

<sup>1</sup> Журн. «Русская старина», март, 1899.

струкции. На Александровском заводе за время его существования было построено более 300 товарных и 45 пассажирских паровозов. Заводом герцога Лейхтенбергского выпущено лишь 17 паровозов. За время деятельности первого завода заграничного ввоза паровозов почти не было. Александровский завод создал оригинальный отечественный тип товарного паровоза.

Начало крупного русского паровозостроения относится к 60—70-м годам XIX в. Этот период характеризовался современниками как «железнодорожная горячка». Резко стала увеличиваться сеть дорог. Увеличился выпуск паровозов на Брянском (Мальповеком), Невском, Путиловском, Коломенском, Балтийском и Камско-Воткинском заводах.

В 90-х годах XIX в., как сказано выше, были построены Харьковский и Луганский заводы, которые стали выпускать паровозы своих конструкций, не только не уступавшие ни в чем иностранным, но и превосходившие их во многих отношениях. В России впервые в мире инж. А. П. Бородиным был введен в это время принцип работы паровых машин по системе компаунд, дававший до 20% экономии топлива на паровозах. Позднее этот принцип был предложен Маллетом во Франции. А. П. Бородин ввел также «паровые рубашки» в цилиндрах паровозных машин, которые обеспечивали 15—18% экономии пара. В 1899 г. в России Е. Е. Нольтейн впервые в мире создал сочлененный паровоз, идея которого была впоследствии присвоена американцами.

Паровозный парк России отличался большим разнообразием, так как каждая дорога заказывала паровозы по своему усмотрению.

Разнообразие типов локомотивов осталось и в дальнейшем как наследство от первого периода русского паровозостроения. Так, к 1875 г. в России существовало 58 серий паровозов. В конструкции паровозов произошли, однако, большие качественные изменения: от паровозов мощностью 16—18 л. с., имевших скорость до 20 км/час, был произведен почти повсеместный переход к паровозам мощностью 600 л. с., обладавшим скоростью 50—55 км/час. Качественные и количественные изменения в паровозном парке вызывали необходимость перехода к унифицированным типам, к созданию стандартных конструкций и к развитию исследовательской и экспериментальной работы в области паровозостроения. В конце XIX и в начале XX вв. выдвинулись имена А. П. Бородина, Н. П. Петрова, Е. Е. Нольтейна и др., а позже Н. А. Щукина, А. С. Раевского, В. И. Допушинского, С. П. Сыромятникова, завоевавших славу русскому паровозостроению и науке о паровозах.

Рост производства паровозов после 1865 г. характеризуют следующие сравнительные данные.

Если в 1870—1874 гг. было произведено 502 паровоза, то уже в 1910—1914 гг. выпуск составил 2672 паровоза.

Начало XX в. ознаменовалось важным явлением на русских дорогах — широким внедрением перегретого пара на паровозах, усиленным развитием сети железных дорог, появлением и внедрением новых, улучшенных типов пассажирских и товарных паровозов, например, паровоза серии Э (одного из лучших в мировом

паровозостроении). а также резким повышением скорости движения поездов и увеличением их веса.

К 1917 г. мощность паровозного парка России достигла 10 000 000 л. с., в то время, как в 1875 г. она составляла около 1 000 000, а в 1890 г. около 2 000 000 л. с.

Настоящий расцвет отечественного паровозостроения наступил в годы сталинских пятилеток, когда на наших дорогах появились в большом количестве современные мощные паровозы, технические показатели которых превышают показатели иностранных локомотивов.

Выше были приведены некоторые факты и цифры о развитии отечественного парового флота. Первый пароход в России был построен на заводе Чарльза Берда (1815 г.). Этот пароход «Елизавета» совершил свой первый рейс из С.-Петербурга в Кронштадт в конце 1815 г.

Описание парохода и плавания на нем в России помещено впервые в журнале «Сын Отечества» за 1815 г. в статье «Первая поездка на пароходе из С.-Петербурга в Кронштадт и обратно».

В 1816 г. Вешняковым и Казанцевыми был построен пароход, который работал исправно в течение нескольких месяцев, перевозя грузы и пассажиров. Этот пароход, будучи поставлен осенью на прикол, весной следующего, 1817 г., под напором льдов затонул. Несмотря на эту неудачу, постройка пароходов продолжалась. Пожевский завод в 20-х годах выпустил еще несколько пароходов, плававших по Каме и Волге.

Вскоре был построен первый русский военный пароход «Скорый» с мощностью машин 32 л. с. Этот пароход работал более 18 лет.

В 1817—1821 гг. русские механики, среди которых особенно известны имена П. и И. Казанцевых, Истомина, Д. Вешнякова, Г. Шестакова и др., строили пароходы и пароходные машины для речного волжско-камского флота.

В 1820 г. между С.-Петербургом и Кронштадтом курсировали уже 4 парохода, которые имели машины мощностью от 12 до 32 л. с.

В 1823 г. появился пароход на Днепре, а несколько позже на Оке.

В дальнейшем по распоряжению Морского ведомства, оценившего прогрессивную роль парового флота, было построено в период 1818—1829 гг. 12 пароходов, в основном военных, с машинами небольшой мощности. Строились пароходы на адмиралтейских Ижорских заводах.

Первый колесный пароход Балтийского флота, вооруженный пушками, имел машину мощностью 100 л. с. Это была «Ижора» (1826 г.). В дальнейшем мощность машин пароходов и пароходо-фрегат Балтийского военного флота непрерывно возрастает. Так в 1832 г. начал свою работу пароход «Геркулес», имевший мощность машин 240 л. с., а в 1838 г. был спущен на воду пароход «Богатырь» с машинами 290 л. с. На пароходе «Геркулес», как выше отмечалось, была установлена первая в истории парового судостроения безбалансирная машина прямого действия. Она до сих пор считается старейшей из паровых машин прямого действия.

На Черном море также вскоре появились пароходы. Первым был «Метеор», построенный в Николаеве в 1825 г. В этом же, 1825 г., появился и первый пароход на Белом море — «Легкий», построенный в Архангельске. Его мощность была около 60 л. с. И, наконец, в 1828 г. появились впервые два парохода на Каспийском море. Мощность их машин была не более 40 л. с. у каждого.

В 1853 г., перед Крымской кампанией, в Русском военном флоте на всех морях было из 446 военных судов только 63 парохода с общей мощностью установленных на них машин около 9200 л. с. и строилось 8 пароходов (около 2700 л. с.). Из сопоставления приведенных цифр видно, что средняя мощность машин кораблей наличного флота составляла около 140 л. с., в то время как мощность машин строящегося флота составляла около 350 л. с. Эта тенденция особенно сильно возросла после Крымской войны, когда сила и значение парового флота были доказаны разыгравшимися событиями. За короткое время (14 мес.) для военных флотов России было построено 103 паровых машины общей мощностью 15 000 л. с.

Черноморский военный флот после Крымской войны стал одним из ведущих флотов страны и передовым среди причерноморских стран.

Необходимость укрепления военных сил заставила правительственные и военно-морские круги России перейти к быстрому развитию парового флота. В период 1845—1856 гг. было построено 75 паровых судов на общую мощность около 4900 л. с. Среди новых судов было много винтовых.

В 1866 г. русский паровой военно-морской флот имел уже в своем составе 252 корабля с паровыми машинами, общая мощность которых равна была 28 900 л. с.

К 1890 г. в составе военно-морских флотов в России было уже более 450 кораблей с паросиловыми установками, мощность которых превышала 350 000 л. с.

Интересно отметить, что первое паровое винтовое судно в России «Архимед» с машинами мощностью около 300 л. с. было спущено на воду в 1848 г. Есть некоторые основания предполагать, что они появились в более ранний период, однако это еще не подтверждено документально. Второй винтовой пароход «Полкан» был спущен на воду в 1858 г. Его мощность была 360 л. с. И, наконец, третий винтовой пароход мощностью 450 л. с., положивший начало систематическому строительству таких кораблей, был «Выборг» (1858 г.).

Паровые суда в торговом морском флоте на Каспийском море появились позже — в 1848 г. В этом же году на Каспии было учреждено почтовое пароходство с 4 пароходами.

Первые отечественные пароходы были тяжелы, с большой осадкой и медленным ходом. Во многом это зависело от недостатков конструирования кораблестроения и от качества паровых машин и котлов. Например, на пароходе Евреинова (1820 г.) были установлены две машины весом около 3000 пудов каждая при мощности 30 л. с., что составляет около 100 пудов (1,6 т) на 1 л. с.

Общее число пароходов, плававших на всех реках и озерах России в 1852 г., составляло 83; мощность их машин равнялась 7230 л. с.

В 1855 г. на одной лишь Волге и ее притоках плавало уже до 100 пароходов, в 1862 г. число их возросло до 280. В 1863 г. число пароходов в России увеличилось до 451, в 1886 г. — до 1507 и в 1890 г. — до 1829; мощность машин в последнем случае в общей сложности составляла 103 145 л. с. В 1895 г. число речных и озерных пароходов возросло до 2539, мощность их машины до 130 000 л. с. Из числа этих пароходов по одной лишь Волге плавало 1392 парохода (87 000 л. с.).

Выдающаяся роль в морском паровом судостроении принадлежит корабельному инженеру-самоучке П. А. Титову, который создал первые боевые корабли из стали и соорудал подводные лодки. Он получил первые премии на конкурсе проектов русских броненосцев в начале 90-х годов XIX в. Такая же роль в речном судостроении принадлежит В. И. Калашникову.

Еще большая заслуга в создании военного морского флота принадлежит творцу корабельной науки академику А. Н. Крылову, мировая слава которого является ярким подтверждением мощи русской творческой мысли.

В начале XX в. в России наметился переход к новому типу парового двигателя — паровой турбине. Переход этот совершался крайне медленно.

Турбостроение в России началось в 1904 г. (на Металлическом заводе в Петербурге). Выпуск турбин был очень незначителен. За 12 лет, до 1917 г., было выпущено всего лишь 26 турбин с наибольшей мощностью в единице 1700 л. с. Для сравнения приведем лишь одну цифру. В 1936 г. в СССР работали 1356 турбин мощностью около 7 150 000 л. с.

Первые городские электростанции в России были построены в С.-Петербурге (1887 г.) и в Москве (1888 г.); обе они были небольшой сравнительно мощности и служили для осветительных целей.

Несколько раньше были построены две электростанции на железнодорожных узлах. В 1882 г. была построена станция в депо Кзыл-Арват Средне-Азиатской железной дороги и в 1886 г. — в Новороссииске Владикавказской железной дороги. Причем, последняя является первой в России станцией, генерировавшей переменный ток.

Дореволюционный период развития энергетики характерен весьма слабым развитием строительства электростанций. Так, мощность всех станций России в 1913 г. составляла всего 1 096 000 квт. К 1917 г. было всего 289 электростанций городского типа общей мощностью 416 000 квт, а вся фабрично-заводская сеть электростанций (сюда не входят станции узлов и депо железных дорог — в основном дизельные) обладала мощностью немногим больше 730 000 квт. Оборудование большинства электростанций стояло на низком техническом уровне. В основе их технического вооружения были поршневые паровые машины и громоздкие динамомашины постоянного тока. Только в предвоенные годы на электростанциях стали внедряться паровые турбины и генераторы переменного тока. Станции пользовались дальнепривозным высококачественным топливом, в основном нефтью и донецким каменным углем. Так,

например, в 1912 г. электростанции потребляли 60% нефти и 40% угля (в том числе импортного кардифского).

На торфе работала лишь одна, построенная в 1914 г. под Москвой первая районная электростанция на 12 000 *квт* («Электропередача» — будущая ГРЭС имени Классона).

Общий низкий уровень развития энергетики в России естественно наложил свой отпечаток и на состояние котельной техники. Котлостроения, как отрасли промышленности, в дореволюционной России не существовало; оно было разбросано на 21 заводе, из которых специализированными котельными были лишь два (Таганрогский и Невский). Заводы в Петербурге: Металлический и Невский, представлявшие собой крупнейшие машиностроительные заводы, строили также и паровые котлы.

Большое число неспециализированных заводов России производило котлы разнообразных типов. Каждый завод вносил в общую конструкцию свои элементы, создавал новые конструкции, меняя по своим соображениям параметры, размеры и т. д.

Парк выпускавшихся перед революцией стационарных котлов был довольно разнообразен. Жаротрубные котлы выпускались с поверхностью нагрева от 13 до 125  $m^2$  и давлением в 4, 6, 8, 13 *ат*; батарейные котлы — с поверхностью нагрева от 13 до 182  $m^2$  при давлении от 4 до 10 *ат*; комбинированные (тип Менье, Ферберна, Тишбейна и др.) — с поверхностью нагрева от 100 до 300  $m^2$  и рабочим давлением от 4 до 10 *ат*; горизонтально-водотрубные камерные котлы конструкции инж. А. Лукина, выпускавшиеся заводом Фицнера и Гампера с поверхностью нагрева от 150 до 250 и двоянные от 300 до 500  $m^2$  и давлением 8—15 *ат*; котлы типа Приемского с поверхностью нагрева от 100 до 200  $m^2$  при давлении до 12 *ат*; котлы Днепровского завода (с продольным грязевиком и поперечным верхним барабаном) до 300  $m^2$  и с рабочим давлением до 15 *ат*; котлы Луганского завода с поверхностью нагрева до 550  $m^2$  и рабочим давлением до 15 *ат*. Котлы Шухова выпускались в трех модификациях с размером поверхности нагрева от 20 до 760  $m^2$  и давлением до 15 *ат*; секционные горизонтально-водотрубные котлы, производство которых было начато на Петербургском металлическом заводе в 1891 г.; изготавливались с поверхностью нагрева до 500  $m^2$  и давлением до 15 *ат*;

В первом десятилетии XX в. в России стали изготавливаться вертикально-водотрубные котлы. В дореволюционное время строились котлы в основном типа Гарбе с прямыми трубками, а также Гарбе—Юмт, Гарбе—Кестнер и другие двух- и четырехбарабанные (двоянные) с поверхностью нагрева до 890  $m^2$  и давлением до 15—17 *ат*. Выпускались также вертикально-водотрубные котлы с изогнутыми трубками двух- и трехбарабанные Невского завода и Металлического завода в Петербурге двух- и четырехбарабанные с поверхностью нагрева до 300—400  $m^2$  и давлением до 15—17 *ат*.

Судовые котлы строились главным образом цилиндрические оборотные и пролетные; первые от одно- до шестипоперечных (двухсторонние) с поверхностью нагрева от 7 до 300  $m^2$  и вторые — одно- и двухпоперечные с поверхностью нагрева от 7 до 150  $m^2$  с рабочим давлением от 6 до 16 *ат*.



Интересно отметить, что в области постройки судовых котлов, в частности для речного флота, существовала исключительная бессистемность. Например известно, что за 6 лет (с 1906 по 1911 гг.) был построен 941 котел различных систем. Эти котлы изготовлялись на 74 русских крупных и мелких заводах, 44 иностранных заводах, в 34 мелких мастерских и в 24 артелях.

Общей характерной чертой котлостроения в России в дореволюционный период является чрезвычайное обилие типов и систем котлов, производство их на неспециализированных заводах, а также малый средний размер поверхности нагрева единичного котла. Выпускавшиеся котлы обладали большими габаритами и большой металлоемкостью.

Производственная мощность котлостроения в России до 1917 г. в целом была ничтожно малой и составляла до 30 000 м<sup>2</sup> в год. Метраж отдельных котлов был незначителен. Наиболее мощные из выпускавшихся в период 1900—1917 гг. котлов имели производительность до 10 т/час пара при давлении последнего 10—12 и до 15 ат и при температуре перегрева до 325—350° С.

Наиболее прогрессивными предреволюционными типами котлов были двух- и четырехбарабанные котлы типа Гарбе (Гарбе—Юмт, Луганского завода и др.), трех-, пятибарабанные котлы Невского завода, горизонтально-водотрубные секционные котлы и получившие в промышленной энергетике преобладающее распространение оригинальные русские горизонтально-водотрубные котлы инженера В. Г. Шухова.

Военный период, несмотря на относительный рост энергетической базы России, вызванный военным развитием производства, не внес существенных изменений в паросиловое хозяйство России, Лишь после Великой Октябрьской социалистической революции наступил период нового и значительного развития отечественной энергетике и котлостроительной промышленности.

Отправной точкой этого развития явился Государственный план развития электрификации России (ГОЭЛРО), в котором великие корифеи нашего народа Ленин и Сталин предназначали пути мощного экономического подъема страны. В основу названного плана были положены задачи перевода всего хозяйства на новую техническую базу, внедрения электричества в технологию всех отраслей промышленности и коренной реконструкции технологии промышленного производства. Из решений Январского пленума ЦК ВКП(б) в 1933 г. известно, что план был выполнен досрочно к 1931 г., а к концу первой пятилетки значительно перевыполнен.

Советское котлостроение с момента выполнения плана ГОЭЛРО стало возрождаться и в ближайшие годы быстро пошло вперед по пути социалистического прогресса.

В первые послереволюционные годы центральной задачей было восстановление котлостроительной промышленности. Наши основные заводы приступили к выпуску освоенных типов котлов и к разработке новых.

Так, один из крупнейших котлостроительных заводов — Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) возобновил производство

горизонтально-водотрубных секционных котлов и приступил к изготовлению вертикально-водотрубных котлов собственной конструкции, созданной и освоенной еще до революции. Это были двух-, трех-, а в дальнейшем и четырехбарабанные котлы. Двух- и трехбарабанные котлы ЛМЗ выпуска первых лет имели давление 15 ат, затем оно было повышено до 20 ат. Четырехбарабанные котлы выпускались на давление до 25 ат при температуре перегрева пара до 425°. Удельная паропроизводительность котлов ЛМЗ была на уровне 25—27 кг/м<sup>2</sup>час.

На южных заводах было восстановлено и получило развитие производство жаротрубных, горизонтально-водотрубных камерных котлов конструкции инж. А. Лукина и вертикально-водотрубных котлов с прямыми трубками типа Гарбе с поверхностью нагрева до 500 м<sup>2</sup> и рабочим давлением до 15 ат. На Таганрогском заводе (быв. Нев и Вильде) ТКЗ начато было производство горизонтально-водотрубных секционных котлов морского типа. Московский завод «Парострой» (быв. Бари) развернул производство отечественных котлов В. Г. Шухова для промышленных предприятий и железнодорожного транспорта. И, наконец, Невский завод имени Ленина (НЗЛ) в эти годы начал выпуск вначале пятибарабанных, а затем трехбарабанных отечественных вертикально-водотрубных котлов.

Таким образом, первый этап советского котлостроения начался с производства котлов на ЛМЗ в 1922—1923 гг.

К 1925 г. относятся первые выпуски в СССР цепных механических решеток, воздухоподогревателей, водяных экономайзеров, дымососов и вентиляторов, чем было положено начало развитию собственного производства вспомогательного котельного оборудования.

В связи с развитием техники котлостроения развивалась и созревала котлостроительная база и развернулась работа научно-исследовательских институтов: ЛОТИ (позднее ВИТГЭО) и ВТИ им. Дзержинского.

Очень большое влияние на развитие котлостроения оказало внесение планового начала, приведшее к объединению разрозненного котлостроения и к концентрации его на определенных предприятиях, а также к стандартизации и типизации оборудования, что в целом привело к резким сдвигам в производстве котлов. Так, если в 1925 г. было выпущено котлов с суммарной поверхностью нагрева 32 700 м<sup>2</sup>, в 1926 г. 32 850 м<sup>2</sup>, то уже в 1927 г. было выпущено 78 600 м<sup>2</sup>, а в 1932 г. 182 800 м<sup>2</sup>. При этом начали внедряться повышенные параметры пара и увеличиваться единичные мощности котлоагрегатов.

Решающим этапом в развитии советского котлостроения явилось успешное перевыполнение плана первой сталинской пятилетки и грандиозные задачи второго пятилетнего плана. В годы второй пятилетки наша котлостроительная промышленность создала серию мощных котлоагрегатов, стоявших на уровне передовой техники; уже в первые годы пятилетки полностью освободила страну от импорта энергооборудования, выпустила конструкции котлов средней мощности с прекрасными весовыми и конструктивными харак-

тепловыми котлами и разработала новые топочные устройства для мощных котлов, базировавшихся на потреблении малоценного энергетического топлива; был разработан и установлен на одной из станций первый мощный советский прямоточный котел высокого давления (140 ат, 500°).

Разработанная Центральным котельно-конструкторским бюро (ЦККБ) в этот период серия мощных одноходовых секционных и двухбарабанных котлов (на 160, 140 и 120 т/час пара при давлении 34 ат) характерна как переход от многобарабанных тяжелых конструкций к двух- и однобарабанным с сильно экранированными топками. Эти котлы были установлены на первых советских электростанциях, пущенных целиком на отечественном оборудовании.

В строительстве котлов средней мощности также произошел переход к двухбарабанным конструкциям (котлы НЗЛ Невского завода), обладавшим лучшими весовыми и теплотехническими характеристиками. Была принята новая (II-образная) компоновка котлов с осуществлением в трубчатых поверхностях нагрева поперечного потока газов.

При проектировании котлов был широко применен разработанный в СССР метод теплового моделирования, посредством которого были найдены оптимальные условия теплообмена и пути интенсификации последнего в газоходах котлоагрегата.

К началу третьей пятилетки общий уровень советского котлостроения по своим качественным и количественным показателям стал выше уровня стран Западной Европы.

На новом этапе развития в СССР были созданы новые типы котлов для промышленной энергетики и станций средней мощности (котлы НЗЛ 60/С-35, НЗЛ 60/ф-35, СЛ 25/22 и др.). Особенно большие успехи были достигнуты в создании котлов для крупной энергетики. Серия котлов Ленинградского металлического завода имени Сталина—ЛМЗ (КО-I-200, КО-III-200, КО-IV-200, КО-VI-200 и др.) и Таганрогского завода (ТКП-1, ТКП-2 и т. д.) является образцом по своим весовым, габаритным и теплотехническим показателям. В этих котлах удалось добиться при меньших удельных расходах металла значительного развития поверхности нагрева и увеличения коэффициента полезного действия.

Исключительные успехи советского котлостроения на новом этапе объясняются неослабным вниманием к вопросам энергетики со стороны Партии и Правительства. Важно отметить, что XVIII съезд ВКП(б) принял решение о скоростном строительстве электростанций. На основе этих решений были приняты стандартные параметры пара (35 ат, 420° для повышенного давления и 100 ат, 500° для высокого), а также разработана типовая станция (ТЭС) мощностью 25 000 квт с котлом производительностью 90/110 т/час. К 1941 г. был (в ЦКТИ им. И. И. Ползунова совместно с ЛМЗ имени Сталина) спроектирован первый отечественный барабанный котел высокого давления с полностью экранированной топкой и холодной воронкой. Наконец, были спроектированы и установлены оригинальные прямоточные котлы (СПП 200/35 и СППН 200/35 и СПИ 200/140).

Последующий, в основном, послевоенный этап советского котлостроения проходит под знаком качественного превосходства над всей мировой котлостроительной промышленностью и быстро нарастающих количественных показателей. Основным при этом является создание совершенных конструкций котлов высокого давления и подготовка перехода к применению пара сверхвысоких (до 180 ат) параметров. Начата разработка ртутных бинарных парогенераторов и котлов высокого давления с принудительной циркуляцией. При рассмотрении общей характеристики советского котлостроения весьма важно иметь в виду огромную работу советской теплотехники по использованию местного топлива.

Использование местного топлива в СССР приобрело широкое развитие. Так в 1927 г. на местном топливе производилось электроэнергия 49,6% от всей выработки, в 1932 г. — 57,2%, в 1934 г. — 60,5% при возрастании доли гидроэнергии до 15—17%. К 1947 г. производство электроэнергии на местном топливе достигло 80% от всего вырабатываемого количества, в том числе на торфе вырабатывается 13%, на подмосковном угле 12%, на уральских углях 27%.

Рост потребления местных топлив выражает собой советскую политику рационального топливоиспользования. Вместе с тем потребление местных топлив было важным фактором развития котельных конструкций.

Характерной чертой угледобычи в России до 1917 г. была, как известно, резко выраженная ее централизация на юге России (Донбасс). Добыча угля в центре и на востоке только начиналась и не могла удовлетворить спроса промышленности, транспорта и других потребителей центральных и восточных районов страны. Все это приводило часто к крайне тяжелым транспортным осложнениям. В 1913 г. местные виды топлива: угли (кроме донецкого) и торф составляли в балансе топливоудобычи всего лишь 8,3%, на долю же донецких углей, антрацитов и кавказской нефти приходилось 78,3% или 92,2% баланса добычи по минеральному топливу.

Задача, поставленная В. И. Лениным об использовании «...первоклассных сортов топлива (торф, уголь худших сортов) для получения электрической энергии с наименьшими затратами на добычу и перевоз горючего»<sup>1</sup>, была решена выполнением плана ГОЭЛРО. Районные электрические станции, построенные в соответствии с этим планом на местном топливе, явились своеобразной лабораторией, введшей в обиход страны широкую гамму разнообразных топлив не только на электростанциях, но и в промышленности и на транспорте.

Если в том же, 1913 г., электростанции работали только на высокосортном дальнепривозном топливе (нефть — 60%, каменный уголь включая и импортный кардифский, — 40%), то в результате реализации плана ГОЭЛРО структура топливного баланса электростанций резко изменилась. Так, в 1939 г. в топливном балансе электростанций донецкие каменные угли составили 13%, донецкий штыб (АШ), ранее не сжигавшийся и шедший в отвалы, — 22,8%, мест-

<sup>1</sup> В. И. Ленин, т. XXII, 3-е изд, стр. 434.

ные угли (подмосковный, уральские, сибирские, среднеазиатские) — 26,3%, торф — 23,1%, нефтетопливо — 9,4%, природный газ — 3,7%, прочие — 1,9%. В топливный баланс энергетики к настоящему времени вовлечены десятки новых видов топлива, ранее совсем не добывавшихся; на станциях сжигаются в подавляющем количестве местные и притом наиболее низкосортные топлива. Высококачественные угли оставляются в основном для нужд металлургии и коксохимии; нефть стала основой моторного топлива и химической промышленности.

Технические и научные проблемы, возникшие в связи с развитием потребления у нас местных топлив, а именно, хранение самовозгорающихся углей в высоких штабелях, борьба со смерзанием влажных топлив в топливоподающих устройствах, борьба со взрывами угольной пыли, сушка во взвешенном состоянии, сжигание пылевидного топлива и сжигание во взвешенном состоянии, жидкое шлакоудаление, механизированное золоудаление, очистка дымовых газов от золы и серы и т. д. в данное время могут считаться в основном разрешенными.

Сжигание кускового торфа в крупном масштабе впервые было освоено на Шатурской ГРЭС в шахтоценных топках системы Макарьева, которые являются непревзойденными даже по сравнению с топочными устройствами, работающими на высокоценных твердых топливах. Эта топка разрешила задачу полной механизации сжигания кускового торфа с высоким к. п. д. котлоагрегатов (86—87%) при тепловых нагрузках решетки до 2—2,3 млн. *кал./м<sup>3</sup> час* и при возможности применения ее для котлов производительностью до 300 *т/час*.

Фрезерный торф, резко отличающийся физико-технической характеристикой от кускового, вначале был применен как временная мера, но достоинство комбинированного сжигания его с кусковым, выразившееся в еще большей гибкости работы (в особенности при необходимости быстрого изменения производительности котла или при наличии слишком влажного кускового торфа), привело к прочному и широкому внедрению фрезерного торфа и комбинированного метода сжигания. Фрезерный торф сжигается на станциях и в чистом виде в оригинальных топочных устройствах (топка ВТИ — Мосэнерго, Шершнева). Фрезерный торф нигде в мире не используется, и его внедрение у нас является крупнейшей заслугой советской энергетики.

Интересно отметить, что уже к 1934 г. в СССР работало 15 мощных электростанций на торфе с общей установленной мощностью свыше 1 000 000 *квт*.

Внедрение подмосковного бурого угля явилось одной из сложных и труднейших задач. Характерное для него высокое содержание золы, влаги и серы, склонность к смерзанию, самовозгоранию и взрывам пыли предъявили ряд трудно разрешимых проблем. Однако в данное время этот уголь сжигается в мощных котлах весьма экономично с практически нулевой потерей от механического недожога.

Антрацитовый штыб, чрезвычайно бедный летучими и потому слабо загорающийся и плохо выгорающий, был всесторонне испы-

тан на Штеровской ГРЭС, явившейся своеобразной лабораторией. Работы в этой области позволили решить ряд существенных вопросов (конструкция топки, степень экранирования, пылеприготовление и т. д.), и в данное время многие станции работают на этом топливе с к. п. д. не хуже, чем на топливе с большим выходом летучих (82—84%). Темпы внедрения этого топлива видны хотя бы из того, что лишь за годы первой пятилетки введены в работу 8 крупных станций на общую мощность около 600 000 *квт*, а к 1939 г. антрацитовый штыб занимал в топливном балансе электростанций 23%.

Применение челябинских, богословских, кизеловских и егоршинских углей, являющихся базой энергетики Урала, также встретило ряд трудностей. Практика предвоенных лет привела к прочному внедрению этих углей, сжигаемых в основном в пылевидном состоянии, с к. п. д. котлоагрегата 85—87%. В данное время одна из мощных энергосистем СССР (Уралэнерго, около 1 500 000 *квт* установленной мощности) целиком работает на местном топливе.

Угольно-металлургическая база Востока, созданная по инициативе товарища И. В. Сталина, потребовала в предвоенные годы мощного развития энергетики. В основе этого развития лежали местные угли: аралычевские, осиновские, кемеровские, киселевские, прокопьевские, ленинские, анжеросудженские и других месторождений, входящих в гамму кузнечных углей. Их высокие теплотехнические качества и применение пылевидного способа их сжигания обеспечивали хорошие показатели работающих на них электростанций. Кстати следует указать, что на базе кузнечных углей (Т и Г) впервые в СССР осуществлено (Казанская ТЭЦ) жидкое шлакоудаление, которое дает следующие преимущества: повышение коэффициента полезного действия на 2—3% (до 84—85% при оптимальных нагрузках), устойчивость топочного режима вледствие благоприятного воздействия на заживание пыли раскаленного шлака, находящегося на ходу топки, и отсутствия по этой же причине присоса холодного воздуха через шлаковый бункер и, наконец, практическое отсутствие шлакования первого пучка и экранных поверхностей.

Характеристикой темпов внедрения пылевидного сжигания углей в СССР, хотя бы за одно десятилетие, могут служить следующие данные:

Годы	Установленная мощность в <i>квт</i> (на пыли)	Годы	Установленная мощность в <i>квт</i> (на пыли)
1926	10 000	1933	853 000
1930	80 000	1934	1 002 000
1931	283 000	1935	1 165 000
1932	789 000	1936	1 460 000

Такой масштаб внедрения пылесжигания вполне понятен, так как пылеугольные топки представляют собой универсальные топки для всех топлив СССР, они более экономичны по сравнению с другими топочными устройствами при сжигании низкосортных топлив,

дают возможность резко увеличить единичную мощность паровых котлов. Кроме того, пылеугольные топки предопределяют широкое применение топочных экранов, повышающих надежную работу топочных устройств. Наконец, применение пылесжигания оказывает положительное влияние на усовершенствование котельного агрегата. Последнее особенно важно в связи с тем, что при пылесжигании значительный процент тепла топлива, сжигаемого в больших количествах в топке, поглощается экранными поверхностями нагрева, расположенными в ней. Следует отметить здесь также и тот факт, что развитие пылесжигания предопределило развитие топочных объемов, что оказало свое влияние на резкое уменьшение потерь от химической и механической неполноты сгорания.

Советская энергетика имеет также уже значительный экспериментальный опыт по сжиганию сланцев в шахтно-мельничных топках (с к. п. д. до 84% — опыты ВТИ), а также отходов обогащения конкующихся углей.

В нашей энергетике широкое применение нашло газообразное топливо как в виде отходящих газов доменных и коксовых печей, на которые базируются станции, тяготеющие к металлургическим заводам (газ на них сжигается и в чистом виде и в смеси с пылевидным углем), так и в виде природных газов.

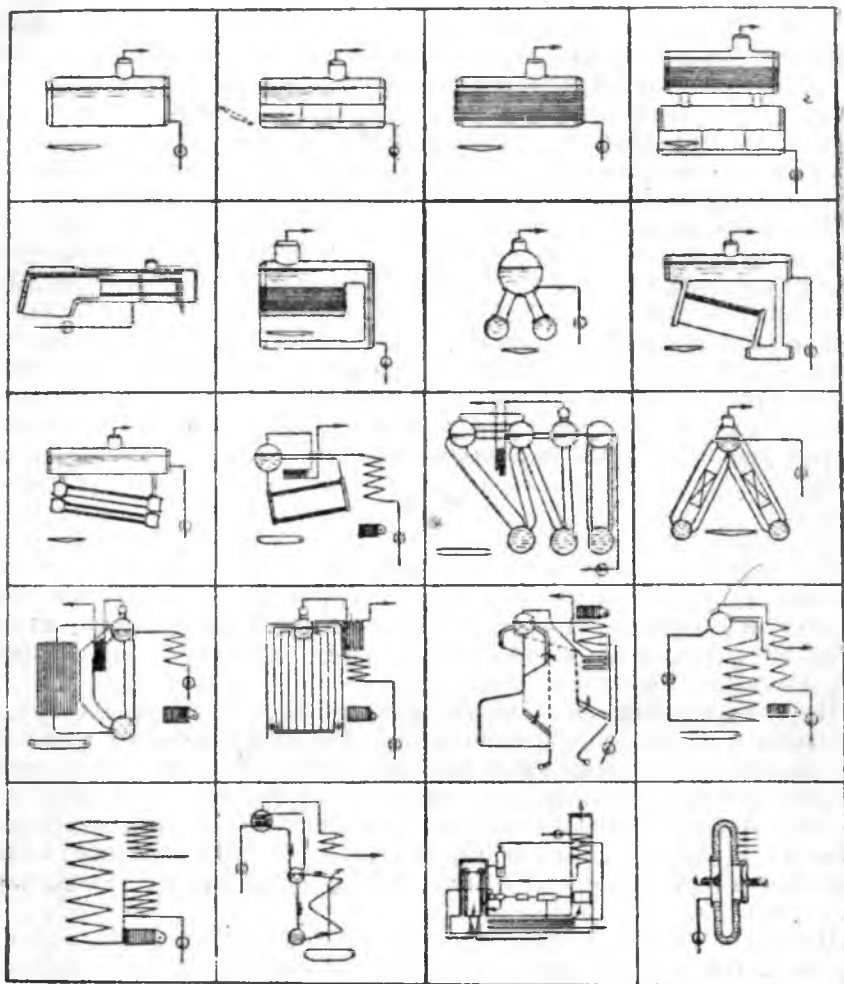
\* \*

Рассматривая техническое развитие паровых котлов от первоначальных их конструктивных форм и принимая за исходный тип простой цилиндрический котел с большим водяным объемом, легко установить две совершенно определенные, отличные одна от другой, линии развития.

Простой цилиндрический котел представляет собой клепаный железный барабан, сочетающий в себе одновременно всю металлическую систему котла со всеми его основными органами: поверхности нагрева, паросборник, водяное и паровое пространство (фиг. 10). От этой формы элементарной конструкции котла в дальнейшем развитии конструктивных форм во всем их многообразии четко выделяются две указанные линии преобразовательного эволюционного процесса.

Первая линия — движение от цилиндрического котла к газотрубным. Принцип большого водяного объема в данном направлении развития остался почти незатронутым. Сохранилось также конструктивное оформление котла при доминирующем положении основного его элемента — цилиндра больших размеров с большим водяным объемом. Развитие поверхности нагрева в данном случае шло как по линии увеличения размеров самого котла, так и по линии устройства и развития так называемых «внутренних» поверхностей нагрева. Таким образом, появились жаротрубные котлы с жаровыми трубами квадратного сечения, затем с жаровыми трубами овального и круглого сечения (с одной-двумя и большим количеством труб), наконец, с трубками типа Галловей, встроенными в жаровые трубы по вертикальной или наклонной оси.

Естественным следствием этого развития явились котлы с дымогарными трубами со значительным увеличением поверхности нагрева. И, наконец, завершением развития в этом направлении явились различные «комбинированные» котлы, состоявшие из того или



Фиг. 9. Общая схема развития конструктивных форм парового котла.

иного сочетания и размещения жаротрубных дымогарных и батарейных котлов.

Технические и технологические возможности изготовления цилиндрических элементов и их различных конструктивных вариаций предопределили довольно большие достижения по первой линии развития паровых котлов.

Вторая линия в своем последовательном движении вскоре резко отошла от привычных форм парового котла.



Стремление увеличить так называемые «высшие» поверхности нагрева привело к созданию нового типа «водотрубного» котла.

В данном случае от принципа большого водяного объема, имеющего свои несомненные преимущества, пришлось отказаться и перейти к так называемым «быстродействующим», «безопасным» и не ограничивающим свободу в выборе производительности котлам.

В этом развитии переходным типом явились барабанные котлы с особыми внешними поверхностями нагрева в виде кипятильников и подогревателей. В котлах с кипятильниками и подогревателями сказалось своеобразное развитие внешних поверхностей в виде появления различных типов батарейных котлов: тройки, шестерки, девятки, где так же, как и у первых, т. е. котлов с кипятильниками, верхнему барабану отводилась, в основном, вспомогательная роль паросборника. Логическим продолжением развития в этом направлении были водотрубные котлы.

В котлах с кипятильниками, подогревателями, а также и в котлах водотрубных, которые по существу представляют собой котлы с весьма большим числом кипятильников, поверхность нагрева которых развита за счет уменьшения диаметра кипятильников и увеличения их количества, в отличие от котлов с жаровыми и дымогарными трубами, вода и горячие газы обменялись местами. Если в первом случае горячие газы омывают внутреннюю поверхность трубок, пронизывающих толщу воды, т. е. внутреннюю поверхность нагрева, то во втором случае вода заключена внутри системы труб, и горячие газы омывают внешнюю поверхность последних.

Появление первых водотрубных котлов, происшедшее под влиянием все возрастающих требований развивавшейся промышленности, сыграло большую революционизирующую роль в развитии паротехники.

Первые горизонтально-водотрубные котлы имели камеры с плоскими стенками и были переходным типом. Под влиянием систематического роста давления пара в дальнейшем появились горизонтально-водотрубные котлы секционного типа, конструкция которых технически уже более совершенна и технологически более продумана. Наибольшую роль в развитии котлостроения сыграли вертикально-водотрубные котлы, претерпевшие быструю трансформацию своих конструктивных форм от прямотрубных котлов к котлам с изогнутыми трубками и от многобарабанных к трех-, двух- и однобарабанным системам.

Наконец, формальным завершением этого направления явились экранные, радиационные, а также прямоточные и другие котлы современного типа.

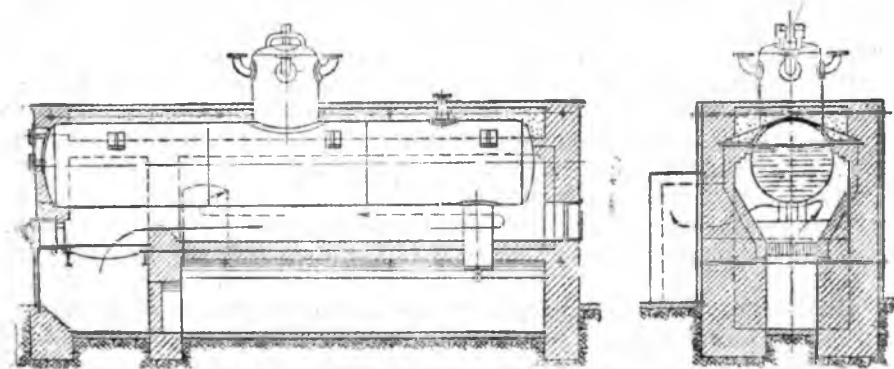
Общая схема развития паровых котлов, составленная исходя из изложенных выше положений, показана на фиг. 9.



## Глава II

### КОТЛЫ С БОЛЬШИМ ВОДЯНЫМ ОБЪЕМОМ

**П**ЕРВОНАЧАЛЬНЫМ типом этого большого класса котлов является указанный выше самый простой по своей форме цилиндрический котел, игравший основную роль в снабжении паром и энергией различных предприятий в течение многих десятилетий вплоть до второй половины XIX в. Этот котел представляет собой (фиг. 10) простейший генератор пара,



Фиг. 10. Простой цилиндрический котел.

который обогревается горячими газами извне в нижней своей половине. Использование теплоты газов в цилиндрическом котле самое примитивное: газы омывают поверхность обмуровки более значительную по размерам, чем котельная поверхность нагрева. Таким образом тепло используется нерационально и теряется в больших количествах в окружающую среду. Газы, пройдя весьма короткий путь под котлом, покидают установку, имея еще высокую температуру, что предопределяет большие потери тепла с ними и, следовательно, низкий к. п. д. котла.

Конструктивно котел состоит из ряда склепанных между собой обечаек с двумя полусферическими или слегка выпуклыми или даже просто плоскими днищами. Отличаясь простотой устройства, дешевизной изготовления, удобством для осмотра, очистки и ремонта, этот котел позволял устроить большую нижнюю топку, в которой можно было сжигать разнообразные даже низкокалорий

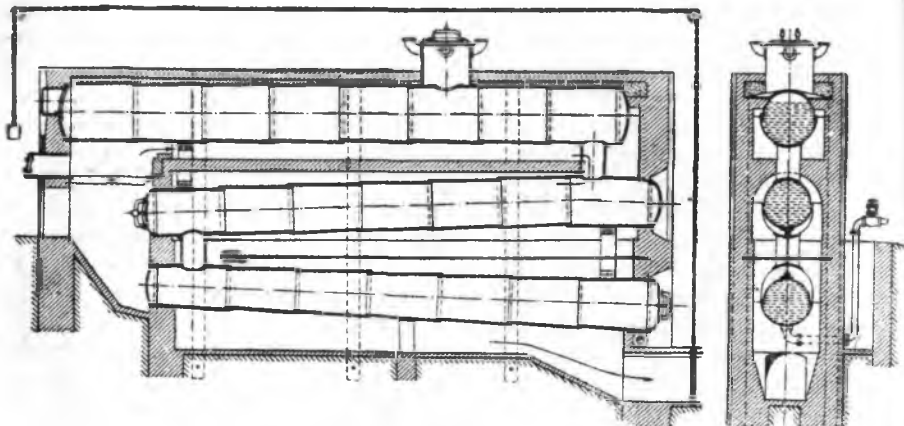
ные топлива. Цилиндрические котлы имели большое распространение потому, что обладали большим водосодержанием, определяющим и обеспечивающим равномерность работы при переменном режиме, и имели большую поверхность зеркала испарения. Этому распространению в значительной мере способствовала простота эксплуатации котла и его нетребовательность к воде, а также простота технологического процесса изготовления котла. Однако при наличии этих достоинств котел обладал весьма существенными недостатками: значительные расходы металла на его изготовление, очень массивная и дорогая кирпичная кладка с большими охлаждающими поверхностями. Массивность кладки и большой объем воды, предопределяя большую аккумуляцию тепла, что является в рабочем состоянии существенным преимуществом, в моменты остановок котла вызывали большие потери тепла, а при пуске — большие затраты топлива и времени. Таким образом, это преимущество обращалось в свою противоположность не меньшего значения. Наконец, котел не мог по своим конструктивным особенностям иметь больших поверхностей нагрева. Максимальная стандартная поверхность нагрева ограничивалась размерами не выше  $20 \text{ м}^2$ . Однако были случаи изготовления более крупных котлов. Так, например, в Англии в середине XIX в. был изготовлен цилиндрический котел, имевший длину около 30 м при диаметре около 1 м. Поверхность нагрева этого котла составляла, таким образом, около  $50 \text{ м}^2$ . Этот уникальный цилиндрический котел, дававший всего около  $800\text{--}900 \text{ кг/час}$  пара, представлял собой весьма неуклюжее сооружение — техническую нелепость. При эксплуатации котел имел постоянные течи швов вследствие неравномерных по длине и довольно значительных тепловых деформаций. Другим серьезным недостатком этого котла была исключительная массивность обмуровки, требовавшей такого количества кирпича, которого с успехом хватило бы для обмуровки современного котла с 8—10-кратной паропроизводительностью.

Помимо упомянутых выше недостатков, эти котлы имели еще такие, как осаждение в нижней наиболее интенсивно обогреваемой части котла накипеобразующих веществ и шлама.

Так как цилиндрические котлы обладали малой удельной и общей паропроизводительностью, низким коэффициентом полезного действия, весьма большим расходом металла и занимали слишком большую площадь котельной при малой своей поверхности нагрева, было естественным желание увеличить паропроизводительность и уменьшить площадь, занимаемую паровым котлом с обмуровкой. Это стремление уменьшить площадь и увеличить поглощение тепла котлом, т. е. увеличить его коэффициент полезного действия, привело к созданию нового типа котлов, получивших название батарейных, котлов с подогревателями и с кипятильниками (фиг. 11, 12).

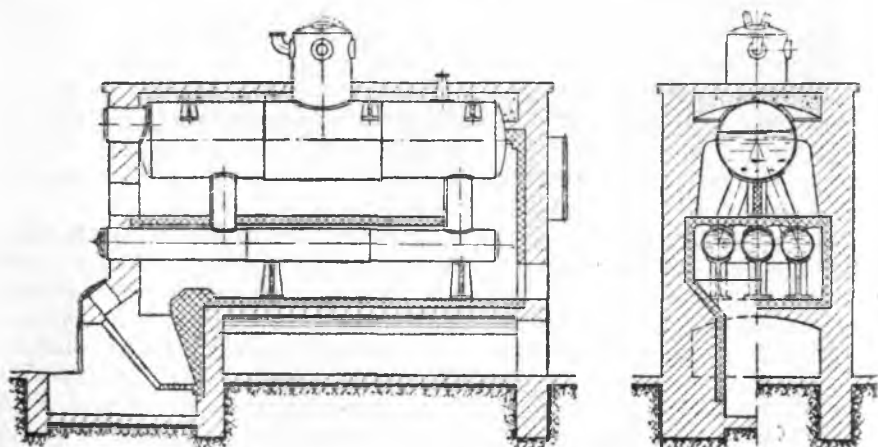
Уменьшение диаметра котла при сохранении его длины и установка таких котлов в одной обмуровке по два, по три (батареи) дали возможность в тех же габаритах обмуровки получить большую поверхность нагрева. Добавление же к простому цилиндрическому котлу кипятильника или подогревателя способствовало лучшему использованию тепла сжигаемого под котлом топлива.

Батарейные котлы (фиг. 13), строившиеся в России и устанавливавшиеся на многочисленных мелких и средних предприятиях в течение более полувека, вплоть до первого десятилетия нашего столетия, представляют собой конструкцию, состоящую из цилиндри-



Фиг. 11. Котел с подогревателями.

ческих барабанов, соединенных между собой патрубками (диаметром от 350 до 450 мм). Количество батарей в системе определяет название котла: двойка, четверка, тройка, шестерка, девятка. Это означает, что, например, в первом случае котел состоит из верх-



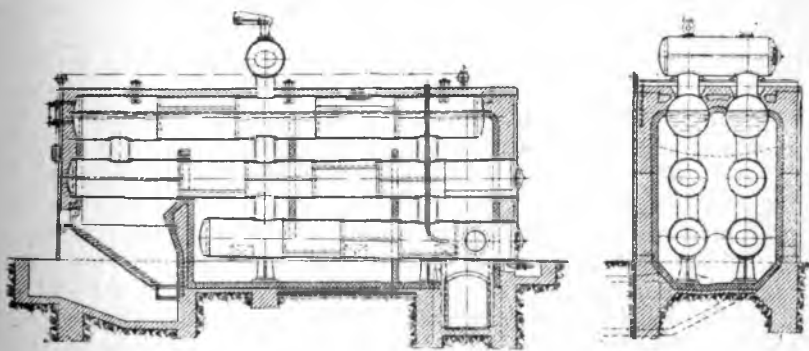
Фиг. 12. Котел с кипятыльниками.

него барабана и одного нижнего; во втором случае рядом с первой группой расположена в той же обмуровке аналогичная ей вторая группа; в третьем случае группа состоит из верхнего барабана и двух расположенных под ним барабанов меньшего диаметра и т. д.

В зависимости от расположения топки в котле нижние барабаны могут играть либо роль подогревателей, либо роль кипятильников. В первом случае котел носит название котла с подогревателем (фиг. 11). Топка здесь расположена под верхним барабаном. Горячие газы омывают верхний барабан по всей длине, а затем, опускаясь вниз, обогревают последовательно нижние барабаны. Таким образом, путь газов здесь удлинен, примерно, вдвое или втрое против обычного цилиндрического котла, и они охлаждаются более глубоко.

В котлах же с кипятильниками (фиг. 12) топка расположена под нижними барабанами, которые, следовательно, обогреваются более интенсивно, чем верхний барабан. К последнему газы поступают в значительной мере охлажденными.

Из сказанного очевидно, что в той или другой конструктивной форме имеются налицо зачатки развития так называемой внешней поверхности нагрева. Появление этой поверхности нагрева в котлах



Фиг. 13. Батарейный котел.

не давало на первых порах возможности предполагать последовательного перерождения батарейных котлов в водотрубные котлы. Более того, считалось, что водотрубные котлы не являются той наиболее рациональной формой конструкции, к которой следует стремиться. Существовало, например, твердое убеждение, что водотрубные котлы есть техническая ошибка, следовать которой неразумно. Тем более это подкреплялось известным уже опытом появившихся первых водотрубных прямоточных котлов, которые показали себя с отрицательной стороны. Однако каково бы ни было отношение к водотрубным котлам и как бы ни оценивался их первый опыт, практика настойчиво подчеркивала необходимость создания таких конструктивных форм, в которых обеспечивалась бы наилучшая утилизация тепла сжигаемого в топке топлива и были бы сохранены лучшие качества уже известных конструкций котлов с большим водосодержанием.

Произведенное в батарейных котлах развитие поверхности нагрева и размещение ее в обмуровке показало, что батарейные котлы дают лучшие эксплуатационные показатели, чем цилиндрические котлы. Поэтому в короткое время появилось много конструкций с развитой внешней поверхностью нагрева.

Таким образом, была создана предпосылка для дальнейшего развития цилиндрического котла в водотрубный, имевший в основе раздробление нижних цилиндров батарейных котлов на более мелкие кипяtilьные элементы, устанавливаемые в котле в значительно большем количестве.

Дробление нижних цилиндров батарейных котлов (подогревателей или кипяtilьников) на более мелкие элементы и установка последних в большем, чем ранее, количестве, показало значительное преимущество вновь образуемых конструкций с теплотехнической стороны.

Батарейные котлы строились в России с поверхностью нагрева от 10—12 до 180 м<sup>2</sup>. В практике котлостроения за границей встречались, однако, экземпляры таких котлов с поверхностью нагрева до 250—300 м<sup>2</sup>. Верхние барабаны обыкновенно выполнялись) с размером диаметра от 900 до 1400 мм; диаметры кипяtilьников и подогревателей имели размеры от 650 до 900 мм и, как исключение, 550 мм.

Давление пара в батарейных котлах составляло 4—10 ат и, как правило, не превышало 10—12 ат. Сравнительно небольшие размеры диаметров барабанов в батарейных котлах и давление пара в них определили умеренную толщину стенок барабанов, что, естественно, влияло на снижение удельного расхода металла против цилиндрических котлов.

Благодаря лучшему использованию тепла топлива производительность батарейных котлов была увеличена против производительности цилиндрических котлов, примерно, на 50—60% и составляла при форсированной работе 16—18 кг/м<sup>2</sup>час. При нормальной работе она составляла 12—13 кг/м<sup>2</sup>час. Таким образом, максимальная паропроизводительность батарейных котлов достигала 4,5—5 т/час, что примерно в 5—7 раз выше максимальной производительности цилиндрических котлов. Коэффициент полезного действия батарейных котлов колебался в пределах 55—65%. В некоторых случаях при испытаниях на хорошем угле к. п. д. поднимался до 70—72%.

Циркуляционная схема батарейных котлов с подогревателями и котлов с кипяtilьниками очень примитивна. В первых котлах (в двойках и четверках) мог быть устойчивый контур циркуляции, однако импульс ее был бы чрезвычайно слаб. В котлах с кипяtilьниками контур циркуляции с довольно энергичным импульсом мог быть обеспечен выключением заднего патрубка и части котла из потока газов, но при этом была бы выключена довольно большая (около 20—25%) часть поверхности нагрева, что привело бы к сокращению производительности котла.

Недостатки, присущие цилиндрическим котлам, оказались неизбежными и для батарейных котлов. Особенно сильно сказывались на конструкции неравномерные термические деформации в барабанах отдельных групп или батарей и всей системы.

В котлах с кипяtilьниками вследствие довольно энергичного парообразования в кипяtilьниках и скопления пара в их верхней части зачастую происходил перегрев и пережог этой части поверх-

ности нагрева котла. Кроме того, весьма существенным недостатком являлось также весьма интенсивное отложение накипи в сильно обогреваемых, следовательно, опасных с этой точки зрения, местах, а именно, в нижней части кипяtilьников, и неизбежное получение довольно сырого пара. Это объясняется тем, что основное и бурное парообразование происходило в кипяtilьниках. Свободная поверхность, или зеркало испарения в котле было относительно небольшим, а размеры парового пространства были малы и не обеспечивали условий сепарации влаги. Наконец, в котле отсутствовали какие-либо, даже самые примитивные, паросепарационные устройства. Говоря о последних, заметим, что эти устройства вообще впервые появились в России в виде дырчатых (перфорированных) железных листов, которые устанавливались вначале в нижней части сужающего колпака паровозных котлов.

Конструкций батарейных котлов было большое количество. В частности, имели довольно большое распространение котлы с поперечными кипяtilьниками, с топкой, расположенной внутри кипяtilьника, и просто с поперечным кипяtilьником, расположенным против наклонной решетки. И та и другая конструкция, как это очевидно, преследовали цель наиболее энергичного тепловосприятия в системе кипяtilьников.

Поперечный кипяtilьник с расположенной внутри него топкой представляет собой комбинацию двух направлений развития. В этой комбинации совмещено развитие внешней и внутренней поверхностей нагрева. Однако такая конструкция весьма неудачна ввиду невозможности иметь давление пара выше 8—10 ат.

Появление котла с пламенной или жаровой трубой относится к началу XIX в. Первоначально в жаротрубных котлах топка устраивалась под котлом и газы обогревали вначале нижнюю часть котла, а затем попадали в жаровую трубу. Это оказалось нерациональным. Поэтому в дальнейшем топка была помещена внутри котла, в начале жаровой трубы.

Выше мы отмечали, что жаротрубные котлы так же, как и котлы с дымогарными трубками, или, иначе говоря, газотрубные котлы, представляют собой ту ветвь котлостроения, в которой конструктивные формы развивались за счет появления и последовательного количественного и качественного развития внутренних поверхностей нагрева, т. е. поверхностей, расположенных внутри котла и пронизывающих его водяной объем.

Если проследить за каждым этапом развития этих конструктивных форм паровых котлов, то вырисовывается вполне определенная картина, тождественная перерождению батарейных котлов в водотрубные. Здесь в качестве первого этапа дальнейшего развития следует считать появление жаротрубных котлов, т. е. тех же цилиндрических котлов, но с дополнительными встроенными в них жаровыми трубами большого диаметра. Встраивание жаровых труб внутрь котла преобразовывало последний в своеобразный батарейный котел, но такой, в котором один или несколько цилиндров находятся не под другим, а внутри большего. Таким образом, появившаяся дополнительная поверхность нагрева располагалась в котле

исходя из нового принципа организации теплового потока. В первом случае подвешенный под котлом подогреватель или кипятильник подвергается воздействию теплового потока с внешней стороны. Также обогревался и верхний барабан, являвшийся паросборником. В) втором же случае обогрев цилиндра меньшего диаметра, т. е. жаровой трубы, происходит уже с внутренней стороны, и лишь часть теплового потока используется для обогрева котла извне (с боков и днища).

На первых порах, когда топку располагали под жаротрубным котлом, организация теплового потока была такой же, что и для цилиндрических котлов, с тем лишь отличием, что поток газов не покидал обмуровку после обогрева барабана котла, а проходил дополнительный путь по жаровой трубе. Этот способ расположения топки оказался неприемлемым.

Новая организация работы теплового газового потока принесла в соответствии с принятой конструктивной формой ряд выгод: в первую очередь, значительное сокращение расхода материалов на устройство обмуровки котла. Так например, при том же развитии поверхности нагрева батарейного котла расход обмуровочных материалов в нем был на 50—70% больше, чем в жаротрубном котле. Помимо прямой экономии материалов, это приносило также существенное уменьшение потерь тепла в среду.

Вторым свойством жаротрубных котлов, отличающим их от батарейных, является иное расположение активной в смысле теплообмена поверхности нагрева, которая находится внутри котла в его водяном объеме. Такое расположение поверхностей нагрева обуславливает меньшие тепловые потери, происходящие за счет теплового излучения. Эти потери здесь благодаря самому устройству котла сведены к минимуму. Кроме того, такое расположение дополнительной и одновременно активно действующей поверхности нагрева позволяет вести двухсторонний обогрев массы воды в котле и, следовательно, обеспечивает более высокую его паропроизводительность.

Дальнейшее количественное развитие нового типа поверхности нагрева, шедшее наряду с развитием батарейных котлов (т. е. второго типа поверхности нагрева) и в некоторой аналогии с последним, привело к появлению двух-, а затем и трехжаротрубных котлов. Стремление установить в котле более двух жаровых труб, а число их, как известно, было доведено в некоторых конструкциях до пяти, было однако уже технически нецелесообразным и технологически весьма трудным делом. Техническая нецелесообразность заключалась в том, что увеличение числа жаровых труб требовало непомерно большого увеличения диаметра самого котла и усложняло крепление. Такое увеличение поверхности нагрева не решало главной задачи по увеличению удельной производительности котла, уменьшению металлозатрат и улучшению к. п. д. Поэтому основными агрегатами этой линии развития котлостроения являются одно- и двухжаротрубные паровые котлы.

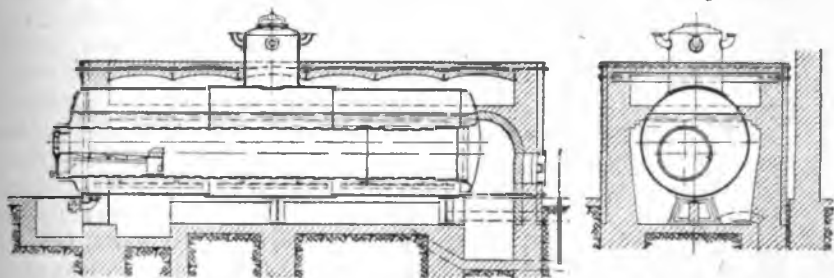
Следует, наконец, заметить, что жаротрубные котлы получили некоторое преимущество перед батарейными. Заключается оно в том,



что в жаротрубных котлах совершенно отсутствуют соединительные патрубки большого диаметра, в то время, как в батарейных котлах их минимум два.

Жаротрубные котлы благодаря отсутствию патрубков оказались более надежными в смысле появления нарушений прочности и плотности котла под влиянием термических деформаций, которые в данном случае более удачно погашаются всей конструкцией котла. Правда, наиболее деформируемая в тепловом отношении жаровая труба часто приводила к появлению течей и надрывов, но, будучи заменена качественно новой волнистой поверхностью, лучше поглощающей деформацию, она перестала быть узким местом конструкции.

Жаротрубные котлы (фиг. 14, 15), начиная со второй половины прошлого века, приобрели у нас в стране весьма широкое распространение и до сих пор еще не потеряли своего значения для простых мелких установок, поскольку они обладают рядом поло-



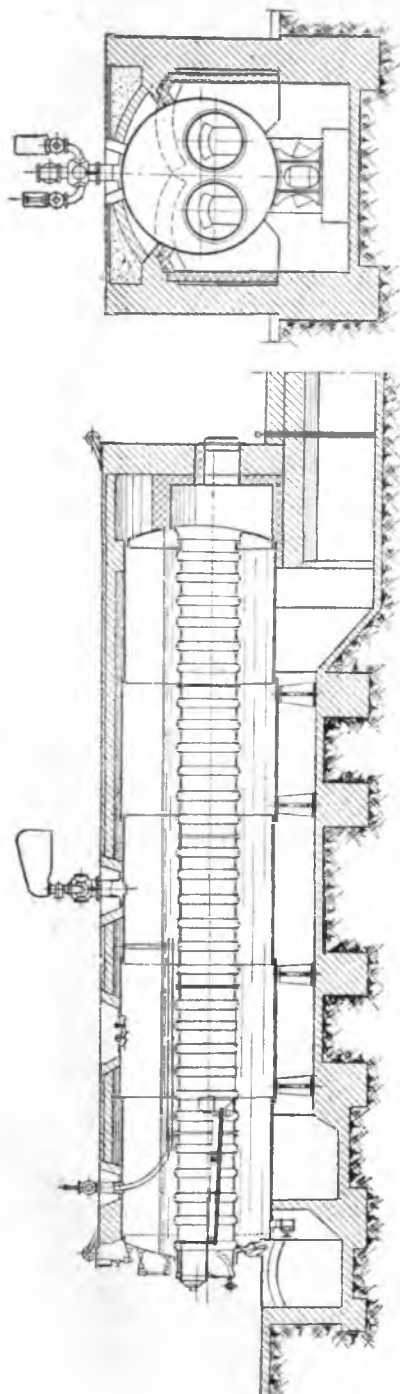
Фиг. 14. Одножаротрубный котел.

жительных свойств: довольно высокая удельная паропроизводительность, достигающая до  $30 \text{ кг/м}^2\text{час}$  при форсированной работе; большой водяной объем котла ( $220\text{--}230 \text{ л/м}^2$ ), обеспечивающий устойчивую работу его при переменном режиме потребления пара, ручной топке и неравномерном питании водой.

Водяной объем цилиндрических котлов меньше водяного объема жаротрубных котлов и составляет от 80 до  $140 \text{ л/м}^2$  поверхности нагрева. Возрастание водяного объема в жаротрубных котлах объясняется значительным увеличением их диаметра. Возможность питания жаротрубных котлов водой различной жесткости, допускаемая небольшими удельными тепловыми нагрузками поверхности нагрева и большим водяным объемом, является также положительным качеством котла.

Путь газов в жаротрубных котлах значительно увеличился. Он составляет до четырех длин котла при трехходовой обмуровке и это, естественно, обуславливает увеличение использования теплоты газов и, следовательно, увеличение коэффициента полезного действия котла до 70%, а с экономайзером — даже до 80%.

Размеры современных отечественных жаротрубных котлов стандартизованы. Так, поверхность нагрева одножаротрубного котла составляет от 15 до  $70 \text{ м}^2$  при длине цилиндрической части его от 4150 до 11 000 мм и двухжаротрубного — от 50 до  $120 \text{ м}^2$  при длине цилиндрической части от 7000 до 11 800 мм.



Фиг. 15. Двухжаротрубный котел.

Известны котлы и больших размеров. Например, трехжаротрубные котлы имели поверхность нагрева до  $250 \text{ м}^2$ .

Развитие работ по увеличению экономичности генерирования пара обусловило появление водяных экономайзеров и пароперегревателей. Жаротрубные котлы широко оснащались этими элементами котельной установки, так как их общее устройство дает хорошие возможности для присоединения к котлу как экономайзера, так и перегревателя. При установке последних боковые поверхности нагрева котла (3-й ход газов) обычно выключают из газового потока, так как они заменяются более активными поверхностями нагрева.

Жаротрубные котлы часто устанавливают без обмуровки цилиндрической части барабана. Она заменяется изоляцией, что приводит к большой экономии обмуровочных материалов и не ухудшает теплового баланса котла, так как изоляция весьма надежно предохраняет котел от потерь тепла. Таким образом, в котле остаются два хода: жаровые трубы и низ котла, после чего газы направляются в перегреватель и экономайзер.

В старых конструкциях обмуровок иногда делали и 4-й ход по верху котла, но вскоре было найдено, что экономическое значение верхнего хода, т. е. обогрева парового пространства, невелико.

В целях еще большего количества развития поверхности нагрева в одном и том же габарите было предложено встраивать в жаровые трубы особые конически расширяющиеся круглые или эллиптического сечения трубки. Этими трубками жаровая труба

производится почти по всей длине. Встраиваются они обычно под большим углом ( $70-80^\circ$ ) к горизонту. Они увеличивают поверхность нагрева жаровой трубы и являются своеобразными побудителями циркуляции воды. Таким образом, был одновременно внесен и новый качественный элемент. Как показал опыт, роль побудителей циркуляции эти трубки выполняли совершенно неудовлетворительно. Одновременно указанные трубки являлись также средством укрепления жаровой трубы от сплющивания под влиянием котлового давления. В целом, однако, эти трубки назначения не оправдали и поэтому сколько-нибудь значительного распространения не получили.

В жаротрубных котлах довольно часто прибегали к созданию различного рода устройств, которые способствовали настройке и развитию циркуляции в котле. Так, например, при создании трехжаротрубного котла со ступенчатым расположением жаровых труб в нем имелось в виду не только увеличение поверхности нагрева котла, которое само по себе было важным обстоятельством, но и возможность создания, помимо круговой, также и продольной циркуляции в котле.

Влияние третьей жаровой трубы на паропроизводительность и надежность работы котла была очень значительна. Так при исследовании работы такого котла и сравнении его с двухжаротрубным было найдено, что трехжаротрубный котел выдавал пар в 1,6 раза быстрее, температура воды в нем выравнивалась почти в 2 раза быстрее и времени на приведение котла в рабочее состояние требовалось на 2 часа меньше. Однако конструктивное усложнение котла в значительной мере уменьшало указанные достоинства.

Довольно широкое применение около 40—45 лет назад нашли в жаротрубных котлах циркуляционные трубки или эмульсоры. Эмульсор работает по принципу насоса, в котором под влиянием тянущей силы восходящих потоков горячей воды, смешанной с паром, возбуждается круговое движение водяного потока. Несмотря на кажущуюся простоту устройства, эмульсоры усложняли конструкцию котла, и ожидаемого эффекта не принесли.

Выше упоминалось о волнистых жаровых трубах, хорошо поглощающих тепловые деформации. Эти трубы послужили известным этапом в развитии активной поверхности нагрева, увеличивая ее на 8—15% против гладкой. Наряду с этим, обладая большей эластичностью при термических деформациях, они лучше сопротивлялись внешнему (котловому) давлению. Эти трубы нашли свое широкое распространение и применяются до сих пор, несмотря на некоторые присущие им недостатки.

Жаротрубным котлам присуще довольно много недостатков. Так, давление пара в них может быть поднято не выше 18 ат, да и то при заметном увеличении толщины стенок, а следовательно, при значительном утяжелении котла. Известно, что вес металла на 1 м<sup>2</sup> поверхности нагрева в этих котлах при нормальном давлении 12 ат составляет, примерно, 250 кг. При увеличении давления до 18 ат этот вес возрастает, примерно, вдвое. Для установки котла требуется здание значительной площади. Растопка котла очень длительна и дорога. Потери тепла при остановках вследствие большой аккумуля-

муляции очень велики. Сжигание низкосортных топлив под этими котлами требует строительства выносных топок, что еще более увеличивает габариты здания котельной. Сжигание таких топлив на внутренних решетках связано с большими трудностями, так как топка интенсивно охлаждается поверхностью трубы, зеркало горения ограничено по размерам и слой топлива имеет небольшую высоту.

Жаротрубные котлы представляют собой конструктивную форму, в которой котел и топка органически соединены в одно целое. Они явились поэтому весьма жизненной конструкцией и послужили прототипом для ряда новых типов котлов, о которых будет сказано ниже. Следует указать, однако, что жаротрубные котлы уже исчерпали все свои возможности как с тепловой, так и с конструктивной точек зрения, особенно в связи с переходом к более высоким параметрам пара, к сжиганию низкосортных трудносжигаемых топлив, к все возрастающей удельной и абсолютной паропроизводительности.

Дальнейшим и необходимым с теплотехнической точки зрения этапом развития котлов с большим водосодержанием явился переход к трубчатым котлам, в которых поверхность нагрева значительно увеличилась за счет резкого (в несколько десятков раз) увеличения числа труб и значительного уменьшения их диаметра.

Трубчатые котлы или котлы с дымогарными трубами появились впервые в 30-х годах XIX в. в паровозах Е. А. и М. Е. Черепановых. Свое классическое развитие и широкое применение они нашли в условиях железнодорожного транспорта.

Котлы с дымогарными трубами приобрели весьма широкое распространение. Они и до сих пор еще строятся для стационарных условий размером от 25 до 150 м<sup>2</sup>, для судовых — до 600 м<sup>2</sup> (двойные оборотные котлы) и как паровозные котлы — до 550 м<sup>2</sup>. В России строились котлы с дымогарными трубками и больших размеров, однако это были лишь единичные экземпляры. Наиболее употребительными были дымогарные трубы диаметром 50—60—75 и 89 мм с длиной, обычно достигающей 5—6 м. Дальнейшее увеличение длины труб нецелесообразно из чисто конструктивных соображений, так как трубы провисают под влиянием собственного веса, что при тепловых деформациях сильно влияет на прочность закрепления их в решетках. Кроме того, и с теплотехнической точки зрения увеличение длины труб не является целесообразным, так как уменьшается интенсивность теплопередачи к концу трубы при возрастании ее длины.

В котлах с дымогарными трубами можно разместить значительно большую поверхность нагрева, чем в жаротрубных котлах тех же габаритных размеров. Кроме того, развитая трубчатая поверхность нагрева работает с точки зрения теплопередачи, особенно в условиях искусственной тяги в паровозных или судовых котлах, весьма активно. Этому в известной степени способствует разделение потока горячих газов в трубчатой системе котла на мелкие турбулизованные в начальном участке струи, а также увеличение скорости газового потока, определяемое усилением тяги. Понятно, что в трубах большого диаметра картина теплопередачи иная. В этом случае при

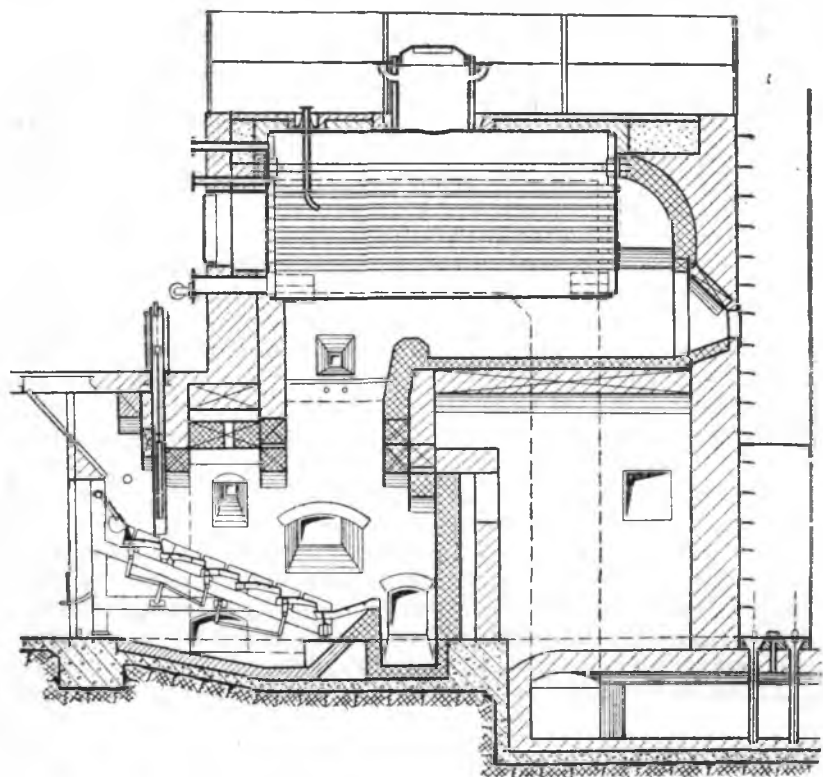
отсутствии турбулизации потока интенсивность теплообмена к концу трубы сильно снижается, так как периферийная часть потока газов, соприкасающаяся с холодными стенками и потому более охлажденная, является своеобразным экраном, «защищающим» стенки от воздействия теплового потока.

Развитие дымогарных котлов шло в тесной связи с развитием трубчатой системы котла, с изучением влияния размера диаметра на теплообмен и т. д. В этой связи интересно отметить, что опытами ряда исследователей (конец XIX в.) была установлена зависимость производительности поверхности нагрева трубы от ее диаметра. Эти опыты показали, например, что при увеличении диаметра дымогарной трубки от 50 до 75 мм производительность ее падает на 13%. Отсюда был сделан правильный вывод о необходимости дальнейшего, лежащего, конечно, в пределах рационального по условиям сопротивления движению потока газов, уменьшения диаметров труб. Такая же тенденция уменьшения диаметра трубок имела место и сохранилась до сих пор в водотрубных котлах.

Развитие котлов с дымогарными трубками, работавшими более интенсивно и с лучшим, чем в жаротрубных котлах, использованием металла, а также одновременное развитие исследований по теоретической теплотехнике сопровождалось большим количеством наблюдений и экспериментов. Было, например, найдено, что при естественной тяге в котлах с дымогарными трубками наиболее благоприятное отношение длины трубы к диаметру находится в пределах 50—60, а при искусственной тяге, например, в паровозах и судовых установках оно может быть увеличено до 80—100. Интересно отметить, что это положение в основном сохранилось еще до сих пор. То же касается и отношения размера поверхности нагрева трубок к площади колосниковой решетки. Было установлено также еще на первом этапе развития паровозных котлов принципиально правильное разделение поверхности нагрева котла на конвективную и радиационную и показано, что радиационная (топочная) поверхность нагрева работает в 3—5 раз интенсивнее, чем конвективная.

В целях еще большего развития поверхности нагрева котлов с дымогарными трубками без увеличения при этом строительных габаритов самого котла были предложены впервые для паровозных котлов ребристые трубы с продольными внутренними ребрами, увеличивавшими поверхность нагрева отдельной трубки, примерно, на 75% и ее производительность на 30%. Число ребер в трубке обычно было до 10, их высота равнялась 0,2 диаметра. При испытаниях было замечено, что движение газов при наличии ребер почти не затрудняется. Ребристые дымогарные трубки были применены довольно удачно в России Е. Нольтейном в паровозных котлах в конце XIX в. Ребристые дымогарные трубы получили, однако, слабое распространение, так как преимущества «ребрения» (увеличение поверхности нагрева, улучшение теплоотдачи газов к чистой не занесенной золой ребристой поверхности) резко снижались эксплуатационными недостатками (быстрый занос труб золой, увеличение аэродинамических сопротивлений и т. д.).

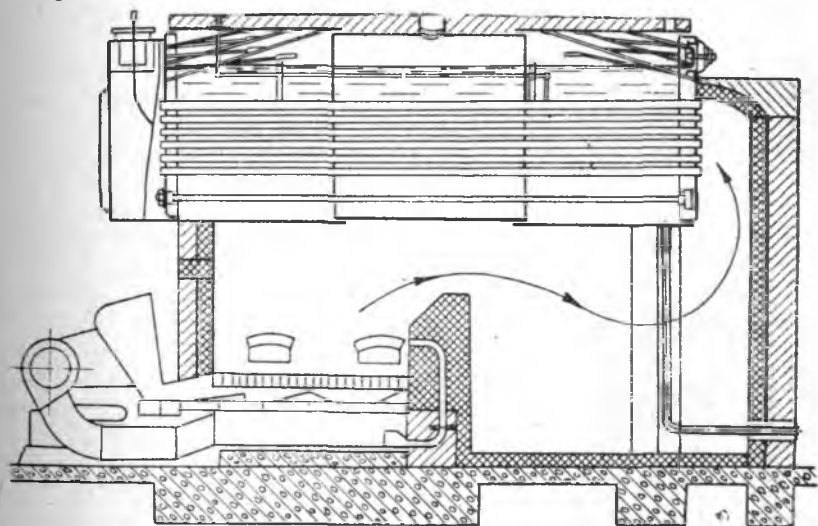
Один из наиболее характерных в конструктивном отношении для последней четверти прошлого века и распространенных в России цилиндрических газотрубных котлов был котел типа Паукша (фиг. 16). Такие котлы строились на наших заводах в большом количестве и сохранились еще и до сих пор на некоторых небольших предприятиях и в коммунальных учреждениях. Котел состоит из 2—3 (иногда больше) обечаек диаметром до 1700—1800 мм. Корпус котла с обоих концов закрыт приклепанными плоскими днищами — трубными



Фиг. 16. Газотрубный цилиндрический котел (тип Паукша).

досками, в которые ввальцованы своими концами дымогарные трубы. Отвод пара из котла производится либо через фланец и вентиль, установленные непосредственно на корпусе котла, либо из сухопарника, обычно установленного на корпусе котла и имеющего диаметр до 750—800 мм при высоте до 900 мм. Котел обычно устанавливался на кирпичную обмуровку и опирался концами на металлические ступья, либо чаще подвешивался к несущим балкам каркаса. Так поступали при необходимости построить топочное пространство с развитым объемом, например, при сжигании дров, нефти или угля с большим содержанием летучих. Часто строились еще более простые котлы с дымогарными трубами — без сухопарника, с простой нижней топкой и упрощенной обмуровкой (фиг. 17).

Паровозные котлы, относящиеся к описываемому нами типу котлов с дымогарными трубками, являются по существу логическим завершением развития цилиндрических котлов. Паровозные котлы обладают компактной экранированной со всех сторон топкой довольно больших размеров, которая работает при большой, вернее, преобладающей доле участия радиационного теплообмена. Это обстоятельство обуславливает такое распределение паропроизводительности между котлом и топкой, при котором на долю последней, несмотря на то, что ее поверхность составляет 7—10% от полной испаряющей поверхности нагрева паровоза, падает около 40—50% паропроизводительности котла. Иначе говоря, поверхность нагрева топки работает в 6—10 раз более производительнее, чем трубчатая

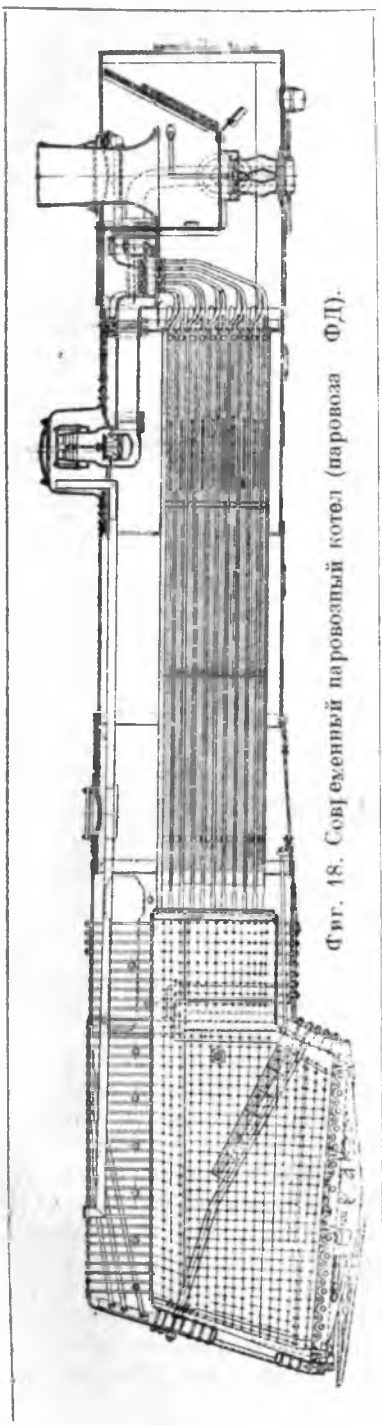


Фиг. 17. Простой котел с дымогарными трубками.

поверхность нагрева. Таким образом, коэффициент использования металла в топке паровоза в 6—10 раз выше, чем в трубчатой цилиндрической части.

Указанные выше достоинства паровозного котла и наличие в нем искусственной весьма сильной тяги (разрежение в дымовой коробке достигает 350—400 мм вод. ст.) дают возможность получать средний паросъем с 1 м<sup>2</sup> от 30—35 до 70—80 и даже до 90 кг/час.

Однако следует подчеркнуть, что, будучи поставленным в стационарные условия, этот же котел дает при естественной тяге 30—45% своей прежней паропроизводительности. Такое резкое снижение паропроизводительности паровозного котла в стационарных условиях объясняется рядом обстоятельств и, в частности, тем, что при естественной тяге в трубном пучке паровозного котла имеет место значительно меньшая, чем в условиях паровоза, скорость газового потока, движущегося по трубкам, и это, конечно, сильно снижает интенсивность теплообмена.



Фиг. 18. Современный паровозный котел (паровоза ФД).

Паровозный котел (фиг. 18) как наиболее энергичный из описанной нами группы парогенераторов представляет большой интерес. Приданная ему более 120 лет тому назад конструктивная форма, несмотря на систематическую работу над ней, до сих пор в основном еще сохранилась. Внесенные усовершенствования улучшили конструктивные и технологические качества котла. Вместе с этим паровозный котел является удачной конструкцией с теплотехнической точки зрения.

Цилиндрическая часть паровозного котла по существу представляет собой цилиндрический газотрубный котел, в котором лишь задняя (находящаяся ближе к тендеру) трубная решетка является не простой круглой плоскостью, как в котле стационарного типа, а более сложной. В этой форме совмещены круг и прямоугольник. Причем, последний иногда изогнут для сопряжения топки и котла в соответствии с конфигурацией топочного пространства. К цилиндрической части котла с заднего ее торца пристроена топка почти кубической формы, сделанная в виде ящика с двойными стенками. Эта кубическая или очень близкая к ней призматическая (с четырехугольником в основании) форма топки представляет собой одну из наиболее совершенных с точки зрения теплоотдачи радиацией форм. Высокие теплотехнические достоинства обуславливают высокую удельную и общую производительность топки, дающей до 50% производительности всего котла.

Паровозные котлы нашли довольно широкое применение в стационарных установках, особенно на железнодорожном транспорте, где они используются после длительной их работы в локомотивных условиях.

Паровозный котел, однако, обладает существенными недостатками.



которые в значительной мере снижают его достоинства. К этим недостаткам относятся: подверженность котла усиленному накипеобразованию, затруднительность чистки котельной поверхности нагрева от накипи вследствие специфичности конструкции: усложненность ремонта; жесткая конструкция котла, приводящая к перенапряжениям в трубчатой решетке и часто вызывающая течь труб; большой расход металла и др. Следует отметить также, что паровозные котлы, так же как и все другие дымогарные котлы, не приспособлены вследствие наличия в них плоских стенок и трубчатых решеток, а также вследствие большого диаметра барабана к повышенным и тем более к высоким давлениям.

Более подробное описание конструкций паровозных котлов отечественных железных дорог приводится в специальном разделе (гл. III).

С возрастанием мощности паровых двигателей на фабриках и заводах потребность в постройке больших и высокопроизводительных котлов все более увеличивалась. Вследствие отсутствия таких конструкций котлов, которые позволили бы разместить в них при небольших габаритах большие поверхности нагрева, возник вопрос о возможности комбинаций из наличных известных конструкций котлов с использованием особенностей и лучших качеств каждой из них.

Следует иметь в виду, что в период, которому соответствует появление конструкций комбинированных котлов, производство в силу своих технологических особенностей требовало главным образом котлов с большим водяным объемом. Эти котлы обеспечивали получение пара в достаточных количествах при спокойном парообразовании и непрерывно за счет большой аккумуляции тепла в больших массах воды внутри котлов. Дальнейшее увеличение производительности котлов было возможно лишь за счет наращивания поверхности нагрева путем «надстраивания». Оказалось возможным создать комбинированные котлы в основном из жаротрубных котлов и котлов с дымогарными трубками путем их сдваивания, помещая их друг над другом.

Комбинированные котлы до сих пор еще не утратили своего значения для ряда областей народного хозяйства. Идея комбинирования сохранялась долгое время, получив в последние годы новое качественное развитие в виде встройки в старую теплотехническую схему комбинированного с большим водосодержанием котла, экранных поверхностей нагрева, которые способствуют увеличению производительности котельного агрегата в целом.

Основная идея комбинирования жаротрубных и трубчатых котлов заключалась, как сказано, в возможном использовании особенностей того и другого котла, что приносило несомненные выгоды хотя бы уже в том отношении, что жаротрубный котел является спокойным парогенератором с мощным водосодержанием, позволяющим легко выравнивать пики графика нагрузки. Это явилось весьма важным обстоятельством, так как известно, что котлы других конструкций, обладающие малым водосодержанием, не в состоянии выполнить такую задачу, особенно, если они обслуживают одного или небольшое коли-

чество потребителей, работающих с неравномерным потреблением пара.

Кроме того, известно, что котлы с дымогарными трубами, обладающие большой поверхностью нагрева, развитой за счет значительного числа дымогарных труб, являются котлами с конвективной поверхностью нагрева, где имеются хорошие условия для теплообмена конвекцией. В жаротрубных котлах, наоборот, весьма интенсивен радиационный теплообмен, особенно по длине жаровой трубы, достигающей 3,5 м, т. е. на том участке ее, который заполнен светящимся потоком раскаленных топочных газов. Остальная часть жаровой трубы, как показали опыты проф. К. В. Кириш, работает с точки зрения теплообмена недостаточно активно. Совмещение жаровой трубы и дымогарных трубок при различных комбинациях устраняет этот недостаток жаротрубного котла и позволяет увеличить утилизацию тепла газов.

Комбинирование котлов шло, однако, не только по указанному выше направлению, но и по другим. Так, встречались комбинации двух жаротрубных котлов, расположенных один над другим. Но это, конечно, не соответствует указанной выше правильной идее использования тепла и явилось по существу бессмысленной комбинацией.

Встречались также комбинации жаротрубных котлов с подогревателями, газотрубных котлов с кипятилниками; комбинирование котла с дымогарными трубками с различного рода приставками к нему; комбинация цилиндрического и газотрубного котлов и т. д.

Конструктивные формы комбинированных паровых котлов, таким образом, объединяются в следующие группы:

- 1) котлы с дымогарными трубами и кипятилниками;
- 2) котлы жаротрубные и с дымогарными трубами (газо-жаротрубные);
- 3) газо-жаротрубные котлы с последовательным их расположением;
- 4) двойные жаротрубные котлы;
- 5) жаротрубные котлы с подогревателями.

Встречались также и другие единичные комбинации.

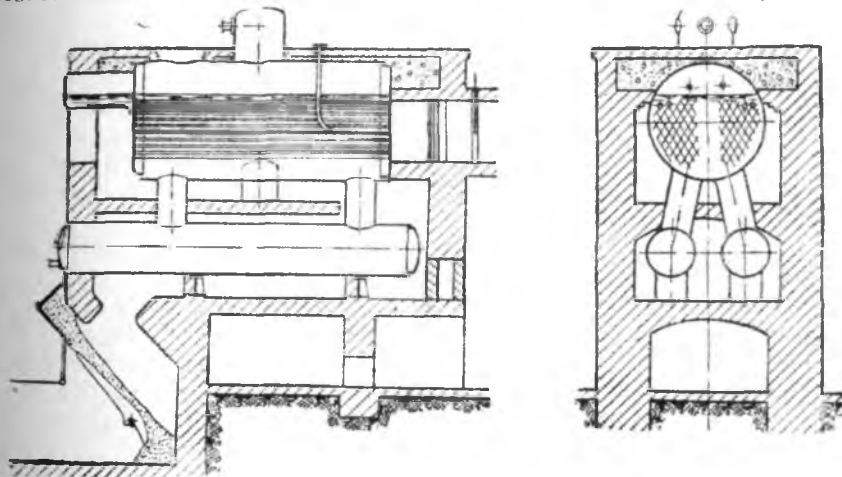
К первой группе котлов относится старейшая конструкция комбинированного котла типа Менье (фиг. 19), получившая, начиная с 70-х годов XIX в. довольно широкое распространение в южных районах России.

Комбинированные котлы этой группы представляют собой комбинацию газотрубного котла с двумя кипятилниками, наклонно расположенными внизу под газотрубной частью. Они отличаются от описанных выше котлов с кипятилниками прежде всего наличием верхнего котла с дымогарными трубками и вместе с этим меньшей длиной нижних кипятилников. Однако в котлах типа Менье длина кипятилников зачастую превосходит длину верхнего барабана. Диаметр кипятилников этих котлов колебался в пределах 800—950 мм. Диаметр верхнего барабана обычно имел размер от 1900 до 2300 мм, а его длина равнялась от 3690 до 5750 мм. Диаметр дымогарных труб был стандартизован и равнялся 89/82,5 мм (89 мм — внешний, 82,5 мм — внутренний).

Нормальная паропроизводительность комбинированных котлов типа Менье и им подобных составляет 12—14 кг/м<sup>2</sup>час.

При форсированной работе удельная паропроизводительность этих котлов может быть повышена на 25—30%, т. е. до 16 кг/м<sup>2</sup>час.

Котлы указанного типа выпускались с размером общей испаряющей поверхности нагрева от 150 до 300 м<sup>2</sup>, причем последняя составлялась главным образом из поверхности нагрева трубчатого котла, т. е. дымогарных трубок. Общая паропроизводительность котла достигала до 3—5 т/час. Нормальное рабочее давление пара для этих котлов было 10 ат, но доводилось в некоторых из них до 12 ат. Дальнейшее повышение давления было опасным вследствие появления течей в швах и соединениях котлов. Большой удельный



Фиг. 19. Комбинированный газотрубный котел с кипяtilьниками (тип Менье).

водяной объем котла, равный около 70 м<sup>3</sup>, обеспечивал спокойное парообразование, а большой паровой объем котла обуславливал получение довольно сухого пара.

Несмотря на преимущества совмещения в одном агрегате двух принципов построения теплотехнической схемы, один из которых служил дополнением для другого и способствовал более полной утилизации тепла потока газов, комбинированные котлы указанного типа при первых же шагах намечившегося перехода к высокопроизводительным водотрубным агрегатам стали анахронизмом. Эти котлы пока еще используются иногда с пристройкой к ним дополнительных экранных поверхностей нагрева, однако они давно уже сняты с производства как совершенно устаревшие.

К первой группе комбинированных котлов относятся также дымогарные котлы с пристроенными поперечными и продольными кипяtilьниками. В этих котлах против поперечного кипяtilьника расположена наклонная колосниковая решетка, так что основная часть радиационного тепла передается на его поверхность нагрева. С точки зрения утилизации тепла это имело свои преимущества,

так как при этом возрастала производительность кипятильников. Однако бурное парообразование в этой части котла и плохой отвод пара приводили к перегреву стенок кипятильников и патрубков и их пережогу. Кроме того, отложение накипи в нижних сильно обогреваемых точках нижнего поперечного кипятильника являлось причиной частых аварий котла.

Наиболее крупной и довольно широко распространенной в до-революционной России группой комбинированных котлов являлись вторая и третья группы, представлявшие комбинирование жаротрубных котлов и котлов с дымогарными трубами при различном их расположении один относительно другого. При разработке этих конструкций стремились совместить в одном агрегате преимущества жаротрубного и газотрубного котлов. Такое развитие конструкции привело к размещению внутренней топки с активным радиационным теплообменом в начале агрегата и использованию уже достаточно охлажденных газов в конвективной трубчатой зоне. При этом организация работы газового потока в комбинированном котле оказалась удачно связанной с решением важной конструктивной задачи — «уплотненным» размещением агрегата на относительно меньшей площади котельной.

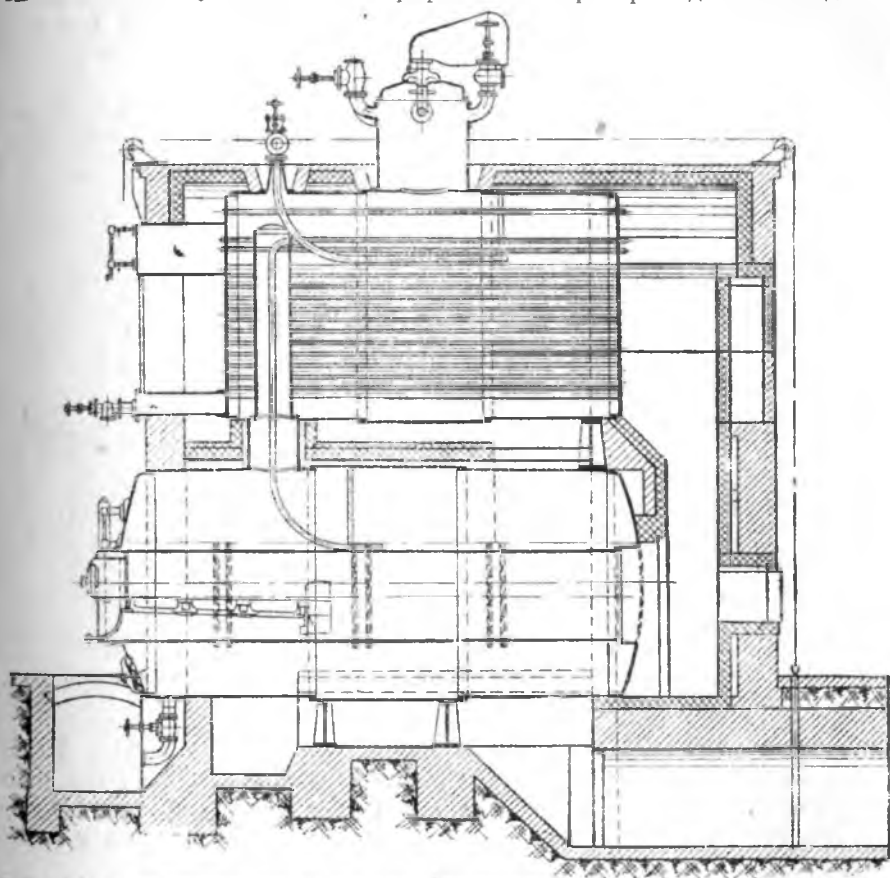
В практике русского котлостроения в 60—80 гг. XIX в. были созданы три типа котлов. Среди них особенно часто встречались комбинированные двойные котлы с общим водяным и паровым пространством, например, котел типа Тишбеина и реже — котлы с разобщенными водяными и паровыми пространствами, т. е. агрегаты, в которых каждый котел имел обособленные объемы воды и пара.

Котлы типа Тишбеина (фиг. 20) представляют собой комбинацию трубчатого котла с жаротрубным. Последний находится внизу. Верхние барабаны таких котлов имели диаметр от 1750 до 2300 мм; длина барабана — до 4400 мм. Число дымогарных трубок в верхнем котле от 70 до 160 шт., диаметр их равнялся 89/82,5 мм. Нижние барабаны жаротрубного котла имели тот же диаметр (до 2300 мм); длина же их была обычно больше (до 5450 мм); диаметр жаровых труб — до 950 мм.

Котлы типа Тишбеина строились русскими заводами: Фицнер и Гампер в Сосновицах и Луганским на давление до 12 ат. Величина поверхности нагрева котлов находилась в пределах 100—250 м<sup>2</sup>. Общая производительность достигала 4,5 т/час.

Комбинированные котлы, имеющие общие паровые пространства, обладали существенным недостатком. Пар в данных котлах получался очень сырым. Этот большой недостаток мог быть устранен лишь разделением паровых и водяных пространств обречавшихся, кстати, у нас очень редко. В этих конструкциях верхний и нижний барабаны разобщены друг от друга, и их паровые и водяные пространства соединяются одно с другим (паровое с паровым, водяное с водяным) посредством специальных труб. В том случае, когда питание водой производится в верхний барабан, вода, наполняя последний, переливается по сливной трубке в нижний барабан. Однако во избежание аварийных случаев, связанных с перерывом

питания котла водой, нижний барабан часто имел отдельное пита-  
тельное устройство. Паровые пространства верхнего и нижнего кот-  
лов обычно соединялись между собой трубой большого диа-  
метра, и пар систематически отводился из нижнего котла в паровое  
пространство верхнего котла. В комбинированных котлах описанного  
типа основная работа по генерированию пара приходилась на долю

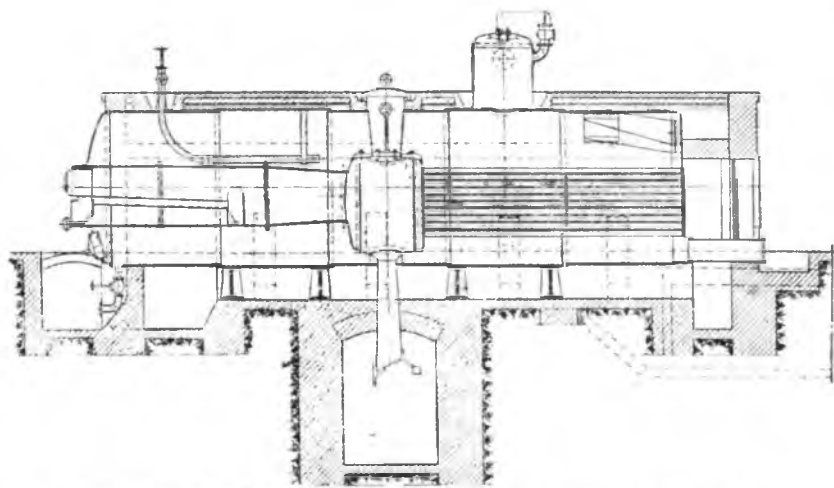


Фиг. 20. Комбинированный жаротрубно-дымогарный котел (тип Тишбейна).

нижнего котла, производившего 70—80% пара. При этом верхний котел, несмотря на значительно большую поверхность нагрева, да-  
вал обычно 20—30% производительности котла. Это в частности под-  
тверждается опытами проф. Ломшакова на Путиловском заводе, со-  
гласно которым производительность верхнего котла примерно в 2 раза  
меньше, чем нижнего. Здесь, собственно, имеет место такое же поло-  
жение, как и в паровозных котлах, где на долю топки, являющейся  
радиационной поверхностью нагрева, приходится до 50% произ-  
водительности котла. В паровозном котле лишь иное — последо-  
вательное одно за другим, а не одно над другим, расположение  
радиационной и конвективной поверхностей нагрева.

Комбинаций с последовательным расположением трубчатых котлов за жаротрубными было вообще довольно много; основными и наиболее распространенными из них являются, например, судовые пролетные и локомотивные котлы с жаротрубной топкой. Такого типа газо-жаротрубные котлы могут быть подразделены на две основные группы: котлы с прямым ходом газов, т. е. такие, в которых поток газов без поворота прямо следует из жаровых труб в дымогарные, и котлы, в которых газы перед поступлением в дымогарные трубы делают поворот на  $180^\circ$ .

Одним из наиболее распространенных у нас в стране, в период с 70-х годов XIX в. и до первого десятилетия нашего века, типов



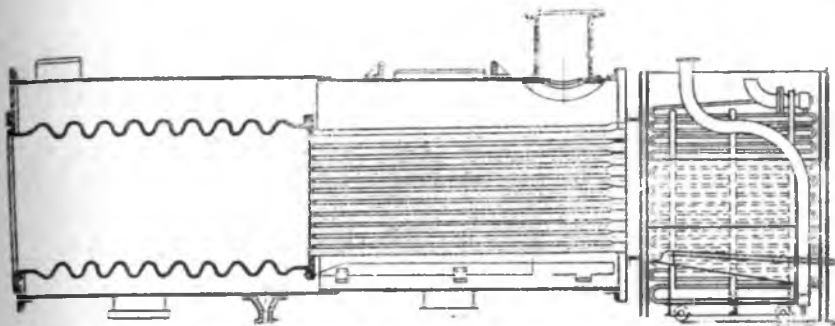
Фиг. 21. Комбинированный жаротрубно-дымогарный котел типа Ферберна.

котлов первой группы был котел типа Ферберна (фиг. 21). В конструктивном отношении он прост: в двух соединенных между собой широким патрубком обечайках расположены две части котла. В первой части — жаротрубный котел, во второй — газотрубный (котел с дымогарными трубами).

Водяное и паровое пространства у обоих котлов — общие. Барабан выполнялся диаметром до 2300 мм; длина барабана до 9000 мм. Диаметр дымогарных труб — 89/83,5 мм. Между жаротрубным и газотрубным котлами расположена камера догорания газов овальной формы. В этой камере, или, иначе, в огневой коробке, газы перед поступлением их в дымогарные трубки весьма интенсивно перемешиваются. Такие котлы строились на рабочее давление до 10 ат. Более высокое давление не допускалось конструкцией огневой коробки. Поверхность нагрева котлов составляла от 150 до 200 м<sup>2</sup>. Паропроизводительность этих котлов в среднем 18—20 кг/м<sup>2</sup>час; при форсировке она возрастала на 20—25%, однако при этом резко возрастали потери тепла с уходящими газами (так же, как и в локомотивном или в паровозном котлах) и усиливалась опасность

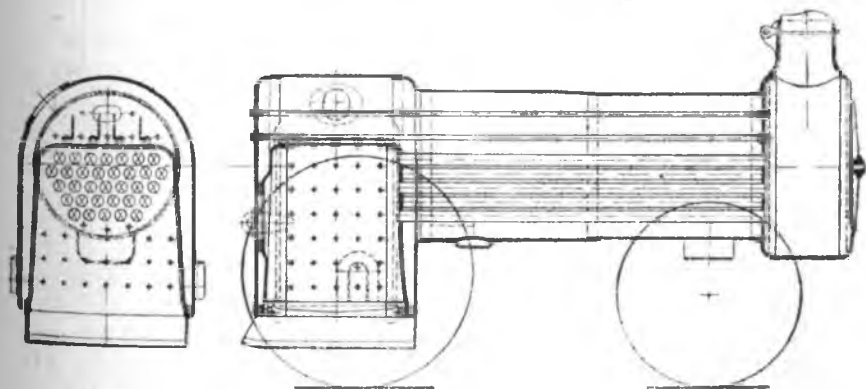
появления течи в соединениях огневой коробки. Использование площади пола котельной при данной конструкции котла значительно хуже, чем в предыдущем случае.

Локомотивный котел с жаротрубной топкой (фиг. 22) является классическим образцом комбинирования. Он отличается от предыдущих котлов тем, что у него нет переходной конструкции, соеди-



Фиг. 22. Локомотивный котел с жаротрубной топкой.

няющей жаротрубный котел с газотрубным. В данном случае жаровая труба заканчивается трубной доской, от которой, собственно, и берет начало вторая часть котла (газотрубная). Отсутствие камеры догорания, естественно, несколько сказывается на теплотех-



Фиг. 23. Локомотивный котел с плоскостенной (коробчатой) топкой паровозного типа.

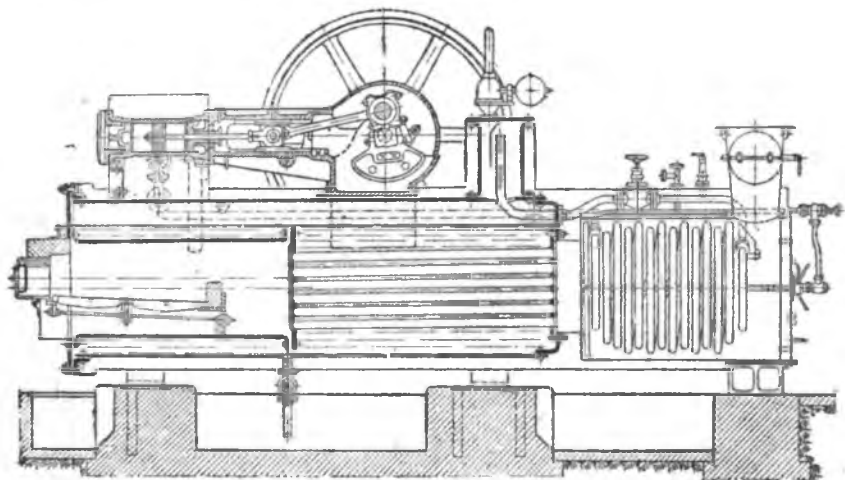
нических качествах этого котла, однако конструктивные преимущества в нем неизмеримо возрастают в настоящее время.

Это одна из немногих конструкций комбинированных котлов, которая сохранилась в производстве и имеет широкое распространение во многих отраслях народного хозяйства в настоящее время.

Наряду с локомотивными котлами указанного типа имеются конструкции, у которых топка плоскостенная, паровозного типа (фиг. 23).

Давление пара в локомотивных котлах обычно разнится 8—10 ат и в некоторых случаях достигает 15 ат. Удельная паропроизводительность котла равна 20—25 и 30 кг/м<sup>2</sup>час при форсировке. Поверхность нагрева локомотивных котлов сельскохозяйственного назначения и для мелких небольших установок составляет от 11,6 до 22,6 м<sup>2</sup> (по новому отечественному стандарту), что соответственно обеспечивает мощность 30 и 60 л. с. Для более крупных, в частности, железнодорожных установок и мелких коммунальных электростанций поверхности нагрева этих котлов составляют от 72 до 97,6 м<sup>2</sup>, что дает мощность 290 и 420 л. с. Коэффициент полезного действия локомотивных котлов достигает 65—70%.

Комбинированные котлы локомотивного типа строились также и с выдвижным пучком труб. В таком котле (фиг. 24) вся трубча-



Фиг. 24. Локомотивный котел с выдвижным трубчатым пучком (Люденовского завода).

тая система, т. е. жаротрубная толка и конвективный дымогарный пучок с двумя трубными досками, может быть вынута (выдвинута) из котла для очистки, ремонта и т. д. Такое устройство имеет довольно большое преимущество. Котлы такого типа строятся Люденовским заводом как для сельскохозяйственных локомотивов, так и для стационарных установок. Иногда они снабжаются отдельной приставкой, в которой собран пакет пароперегревателя.

К числу названных котлов можно отнести и судовые пролетные котлы, имеющие также последовательное расположение жаротрубной и газотрубной частей, которые строились в большом количестве для речных и озерных пароходов русского торгового флота в период 1870—1910 гг.

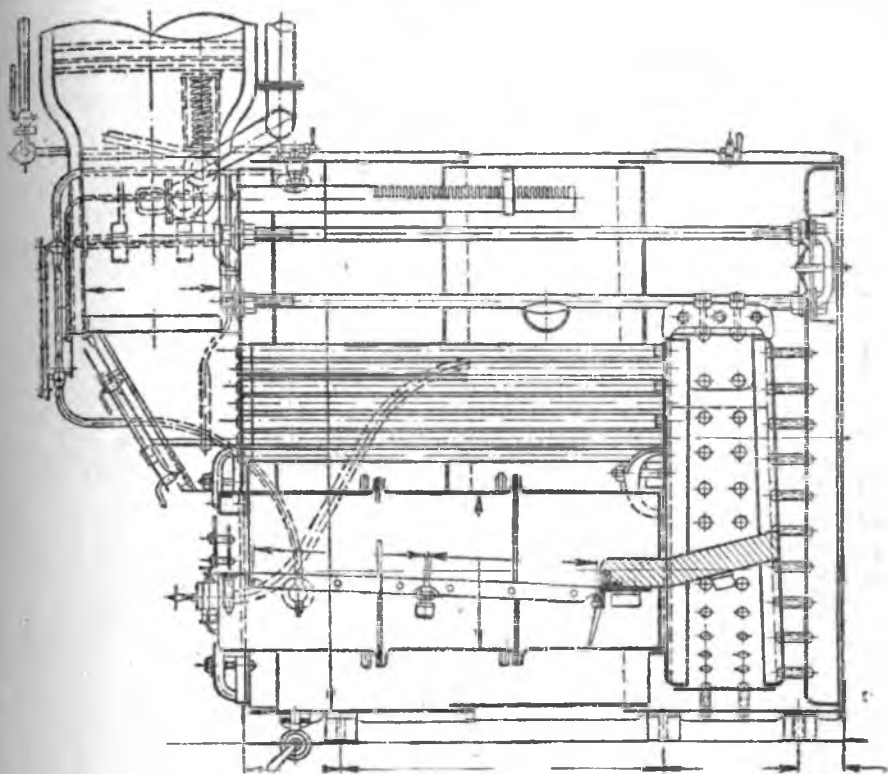
Судовые оборотные котлы, получившие широкое применение, начиная с 70-х годов XIX в., также являются весьма распространенным типом комбинированных котлов, где входит в сочетание жаротрубный котел и пучок дымогарных труб. Причем газовый



поток в них перед входом в дымогарные трубки делает поворот на 180°.

Оборотные судовые котлы строятся одинарными и двойными, или односторонними и двухсторонними. Во втором случае один из котлов является полным зеркальным отображением второго.

Оборотные котлы (фиг. 25) являются оригинальной и очень удачной конструкцией. В этой конструкции газотрубный пучок



Фиг. 25. Судовой оборотный (одинарный) котел.

размещен над жаротрубным котлом, но только лишь с той разницей, что в данном случае оба котла (жаротрубный и газотрубный) находятся в одном корпусе и в одном водяном пространстве. Такое конструктивное соизмерение, естественно, дает еще большее с теплотехнической точки зрения преимущество перед первой из описанных нами групп комбинированных котлов. Да и сама конструкция здесь более удачна, так как меньше содержит переходных, наиболее подверженных разрушениям соединений.

Жаровые трубы в судовых оборотных котлах имеют обычно большие диаметры: от 900 до 1200 мм. В зависимости от размеров поверхности нагрева котла и его диаметра в нем может быть до четырех жаровых труб — каждая со своей топкой. Жаровые трубы входят в общую дымовую камеру. Иногда для удобства ремонта послед-

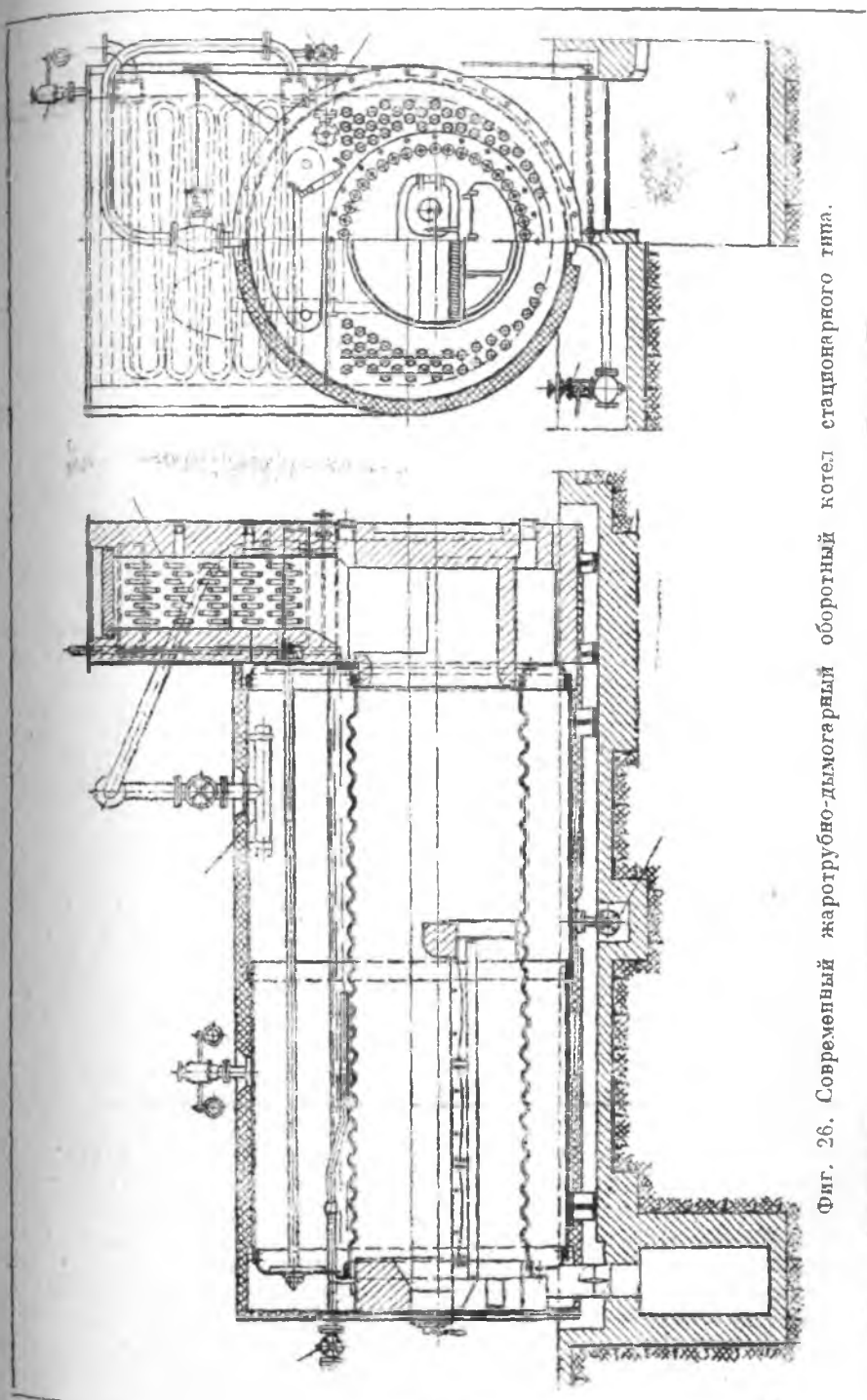
няя разделена перегородками по числу жаровых труб. Поверхность нагрева в оборотных котлах достигает  $300 \text{ м}^2$  для одностороннего и до  $600 \text{ м}^2$  для двухстороннего котла. Водосодержание их составляет  $100\text{--}130 \text{ л/м}^2$ , что обеспечивает большую аккумулирующую способность и малую чувствительность к качеству питательной воды. В оборотных котлах осуществлен довольно большой объем парового пространства.

В паровых котлах под влиянием требований эксплуатации возникла острая необходимость получения более сухого пара. Естественно, что для этого необходимо было развивать объем парового пространства, но это вело к значительному увеличению диаметра цилиндрической части котла. Например, на одном пароходе оборотный котел вследствие отмеченного стремления имел диаметр цилиндрической части  $5486 \text{ мм}$  при длине ее  $5182 \text{ мм}$ . Борьба с влажностью пара привела к созданию большого количества разнообразных паросепарационных устройств в судовых котлах. Однако радикальное решение этой задачи было получено в дальнейшем лишь при введении пароперегрева.

Судовые оборотные котлы имеют удельную паропроизводительность до  $40$  при искусственной тяге и до  $25 \text{ кг/м}^2\text{час}$  при естественной. Коэффициент полезного действия их достигает  $70\%$ .

Оборотные котлы имеют жесткие конструктивные узлы и соединения и значительное количество плоских стен, которые для лучшего сопротивления котловому давлению стянуты связями, анкерными болтами и закреплены косынками. Жесткость конструкции и наличие плоских стен обуславливает ее непригодность для повышенного давления пара. Котлы эти весьма металлоемки, тяжелы и очень громоздки.

К комбинированным котлам, в которых осуществлен поворот газов и такое же, как и в судовых оборотных котлах расположение в одном корпусе двух типов поверхностей нагрева, относится жаротрубно-дымогарный котел (Фиг. 26), выпускаемый в настоящее время советскими заводами. В нем жаровая труба заканчивается так же, как и в котле типа Ферберна, огневой коробкой. Но в отличие от последнего эта огневая коробка является глухой, т. е. противоположная жаровой трубе ее часть закрыта крышкой. Из верхней части коробки выходит пучок дымогарных труб, лучеобразно направленных к фронтальной стенке котла. Этот котел в известной мере напоминает конструкцию судового оборотного котла, но со слабо развитым пучком дымогарных труб. Поток горячих газов, покидающий топку, попадает вначале в зону пароперегревателя, а из нее в пучок дымогарных труб, которые расположены по бокам жаровой трубы. Таким образом, отвод газов из котла происходит с фронта через особый газосборник. Такого рода котлы выпускаются для небольших паросиловых установок. Их производительность не превышает  $2 \text{ т/час}$  при давлении  $10 \text{ ат}$ . Удельная паропроизводительность этих котлов равна  $20\text{--}30 \text{ кг/м}^2\text{час}$  при коэффициенте полезного действия  $70\text{--}75\%$ . Габариты их относительно невелики. Так, котел производительностью  $2 \text{ т/час}$  имеет длину барабана  $3500 \text{ мм}$ , диаметр барабана  $2200 \text{ мм}$ , диаметр жаровой трубы  $900/1000 \text{ мм}$ . Бла-



Фиг. 26. Современный жаротрубно-дымогарный оборотный котел стационарного типа.

годаря большому водяному аккумулярующему объему котел работает спокойно и надежно.

Количество разнообразнейших комбинаций котлов, как мы уже отмечали, исключительно велико. Эти комбинации то чрезвычайно удобны и полезны, то плохо продуманы и сделаны лишь в угоду заводским интересам или интересам конструктора.

Некоторые из описанных комбинаций трубчатых и жаротрубных котлов сохранили свое значение и до наших дней. К ним относятся локомобильные, паровозные и судовые оборотные котлы.

Наконец, к группе комбинированных котлов, в которых осуществлена комбинация жаротрубного котла с водотрубным и зачастую с газотрубным типом котла, относятся вертикальные или так называемые стоячие котлы. Они и в настоящее время имеют весьма широкое распространение в мелких силовых установках (железнодорожные и другие водокачки, экскаваторы, строительные работы, отопление пассажирских вагонов и т. д.).

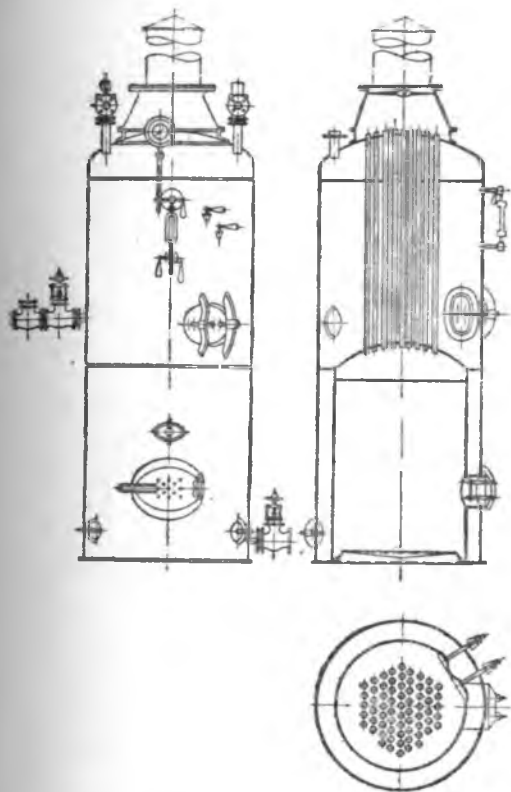
Такие достоинства стоячих вертикальных котлов, как компактность, транспортабельность, конструктивная простота, нетребовательность к воде и т. д. объясняют широкое их распространение и в настоящее время.

Вертикальные котлы применяются главным образом в тех случаях, когда для их установки предоставляется ограниченная площадь, а также для получения сравнительно небольших количеств пара. Конструкция их очень проста. По существу она состоит из цилиндрического вертикально стоящего корпуса диаметром до 1500 мм и высотой до 4700 мм, составленного из двух-трех цилиндрических обечаек толщиной стенки 10—12 мм. В корпусе котла расположена также вертикально стоящая огневая коробка (жаровая труба), конструкция которой имеет различную форму в зависимости от типа котла.

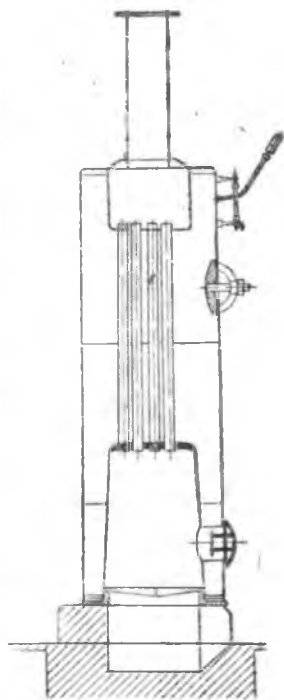
Вертикальные котлы могут быть подразделены на два класса. К первому классу относятся котлы, представляющие комбинацию котла с дымогарными трубками и жаротрубной топкой. В отличие от описанных выше аналогичных котлов, где топка и трубки расположены по горизонтали, здесь оба элемента расположены по вертикали. К другому классу можно отнести котлы, в которых осуществлена комбинация жаротрубной топки с кипяtilьными трубками (элементы водотрубного котла).

К первому классу котлов относятся довольно распространенные ранее (до 1927 г.) котлы системы Васильева, экскаваторные котлы Январского завода и целый ряд других конструкций, имевших зачастую местное значение, как, например, котлы для отопления вагонов. В этом типе котлов огневая коробка имеет обычно небольшие размеры. Она занимает около  $\frac{1}{4}$  объема котла. Высота ее также незначительна — около  $\frac{1}{3}$  высоты котла. Поэтому создаются неблагоприятные условия для образования и развития пламени и неудовлетворительного развития процесса горения в целом, протекающего в связи с этим при наличии больших потерь от химической неполноты горения. Высота дымогарных трубок, исходящих из огневой коробки, составляет до 2000 мм. Диаметр их в основном берется

равным 60/54 мм или 70/64 мм. Число трубок — от 20 до 35 шт. Небольшая высота трубок обуславливает плохое использование теплоты газов в этих котлах, т. е. значительные, порой превосходящие 30% от теплопроизводительности топлива потери с уходящими газами. Эта потеря вместе с потерей от химического недожога топлива приводит к очень низкому коэффициенту полезного действия



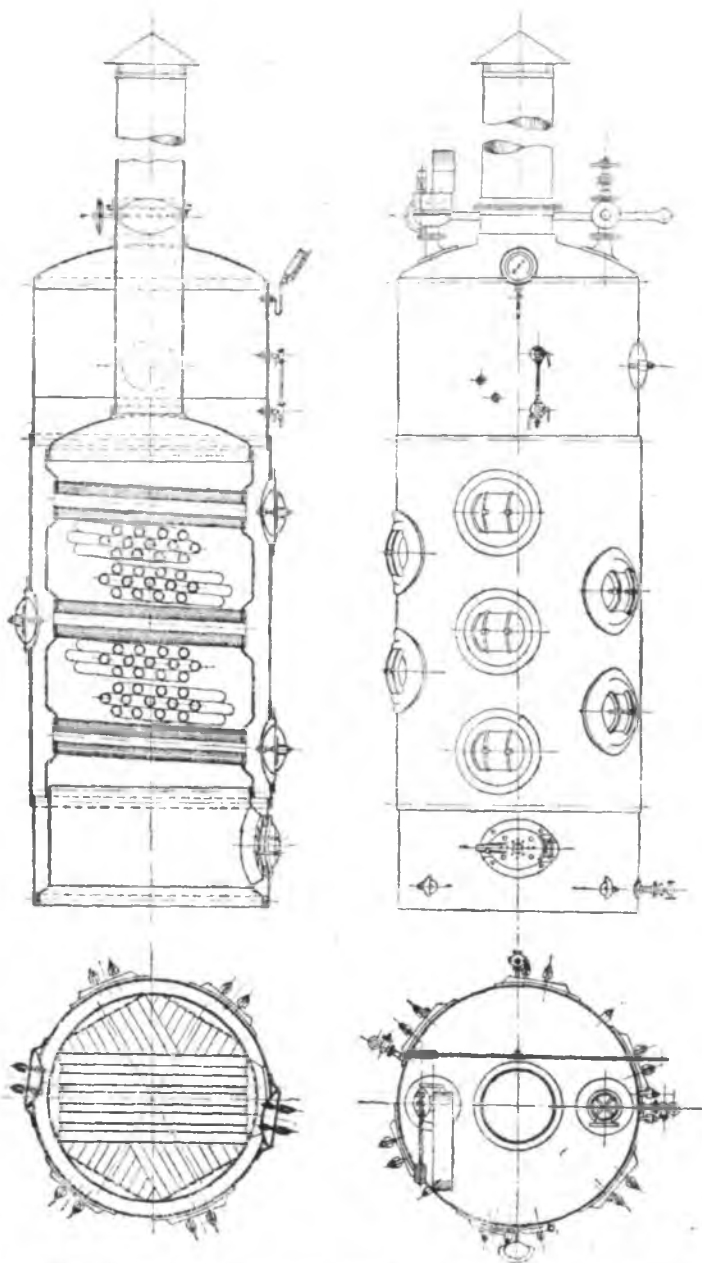
Фиг. 27. Вертикальный цилиндрический котел КШ-1 (Бийского завода).



Фиг. 28. Вертикальный цилиндрический котел типа ВК-1 (Бийского завода).

котла, т. е. очень плохому использованию топлива. Кроме того, в этих котлах происходит значительное отложение накипи на трубной решетке и нижней части труб, что опять-таки ухудшает тепловую работу котла и его коэффициент полезного действия и, кроме того, часто приводит к появлению течи труб в месте их вальцовки. Попытка увеличить коэффициент полезного действия котла и связанной с ним машины посредством установки пароперегревателя в дымовой коробке (над дымогарными трубами) к успеху не привела.

В настоящее время некоторыми нашими заводами, а также некоторыми мастерскими выпускаются стоячие жаротрубно-газотрубинные комбинированные котлы малой производительности. На фиг. 27

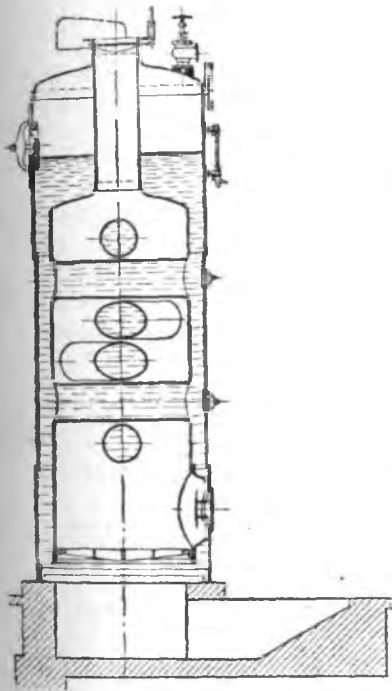


Фиг. 29. Вертикальный стоячий котел системы В. Г. Шухова.

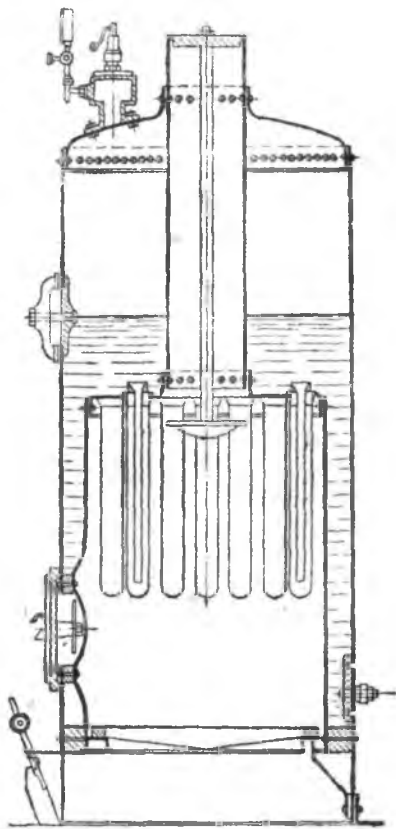
показан котел системы КП-1 производительностью 0,2 т/час, а на фиг. 28 — котел системы ВК-1.

Названные выше котлы первого класса (жаро-газотрубные вертикальные) очень неудачны в конструктивном отношении и имеют плохие эксплуатационные показатели.

Наиболее распространенными вертикальными котлами являются котлы второго класса (жаротрубная топка с водотрубным пучком) и прежде всего котлы системы В. Г. Шухова (фиг. 29), выпускаемые промышленностью и в настоящее время. Большое рас-



Фиг. 30. Вертикальный котел типа Лешапеля (с овальными кипятельными трубками).



Фиг. 31. Вертикальный котел с кипятельными трубками типа Фильда.

пространение имели также котлы типа Лешапеля (фиг. 30). Меньшее распространение имели котлы с кипятельными трубками типа Фильда (фиг. 31).

Котлы системы Шухова появились впервые в конце прошлого века. Они строились на заводе быв. Бари в Москве (впоследствии «Парострой») и быстро приобрели широкое распространение повсюду, где требовался котел небольшой производительности, компактный по устройству, удобный и неприхотливый в эксплуатации (отопление вагонов, кофры, экскаваторы, вспомогательные котлы на пароходах, шахтах и т. п.). В котле Шухова, имеющем обычно

высоту от 1700 до 4700 мм, в цилиндрическом корпусе встроена такая же цилиндрическая огневая коробка высотой до  $\frac{2}{3}$  высоты внешнего корпуса. Огневую коробку в перекрестных направлениях пересекают от 2 до 14 пучков кипяtilьных труб диаметром от 51/46 мм до 75/70 мм. Наибольшее количество пучков труб устанавливалось в котлах с поверхностью нагрева от 12,5 до 22,0 м<sup>2</sup>. В целях лучшего крепления трубок в корпусе огневой коробки сделаны плоские участки стенок. Это позволяет иметь более надежную вальцовку труб. Кипяtilьные трубы в целях недопущения образования паровых пузырей по верхней их образующей несколько наклонены к горизонту (5—7°). Топка имеет высоту до первого ряда трубок, равную, примерно,  $\frac{1}{3}$  высоты котла. Поэтому и в этом котле, как и в вышеуказанных, образование пламени и протекание процесса горения, особенно при сжигании топлив с большим содержанием летучих, проходит неудовлетворительно, с большими потерями. Иногда и в этих котлах, особенно в котлах большого размера, устанавливается пароперегреватель в специально для этого пристроенной дымовой коробке, располагающейся в верхней части котла над основным корпусом.

Котел системы Лешапеля отличается от котла Шухова устройством кипяtilьных труб. Вместо пучка кипяtilьных труб небольшого диаметра в этом котле устанавливалось от 2 до 6 труб круглого или овального сечения диаметром от 160 до 320 мм. Трубы устанавливаются также перекрестно. Размеры котла и огневой коробки близки к размерам котла Шухова. Диаметр цилиндрической части котла обычно брался равным от 1050 до 1500 мм и высота от 2100 до 4500 мм. Однако котлы Шухова имели поверхность нагрева от 5,5 до 40 м<sup>2</sup>, а котлы Лешапеля — лишь от 4 до 20 м<sup>2</sup>. Котлы эти строились Днепровским заводом до 1925 г. Первый их выпуск на этом заводе относится к 90-м годам XIX в.

Стоячие котлы с кипяtilьными трубками типа Фильда имели ограниченное распространение, причиной чего явились главным образом эксплуатационные неудобства (быстрое зарастание внутреннего кольцевого пространства трубок накипью и вследствие этого быстрый пережог их стенок, получение более сырого пара и т. д.), более сложное устройство и очень низкий к. п. д.

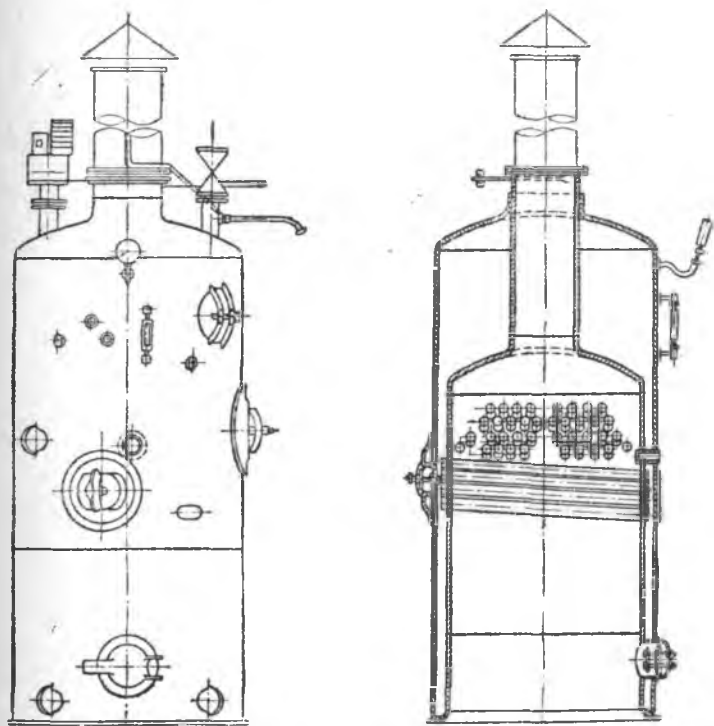
При разработке в СССР стандартов на котлы все вертикальные котлы, кроме котлов системы Шухова, были сняты с производства. Сохранились лишь некоторые из вновь разработанных конструктивной и упомянутые выше экскаваторные котлы. Котлы Шухова были сохранены благодаря удобству их обслуживания, меньшей по сравнению с другими вертикальными котлами металлоемкости и достаточно высокой (до 25 кг/м<sup>2</sup>час) производительности. Котлы Шухова могут работать на более высоком, до 15 ат давлении. На заводе «Парострой» эти котлы после 1927 г. строились размером от 8 до 35 м<sup>2</sup> с общим количеством кипяtilьных трубок от 28 до 78 шт. при диаметре 51/46 и 76/70 мм.

Котлы Шухова в начале третьей пятилетки заводом «Парострой» были удачно модернизированы. При этом в новом котле системы ШС (фиг. 32) получено значительное снижение (до 40%) расхода ме-



талла. Это снижение достигнуто за счет применения метода сварки и несколько иного размещения кипятильного пучка. Котлы системы ШС производительностью от 0,4 до 1,0 *т/час* при давлении пара до 8 *ат* выпускаются в большом количестве и в данное время.

В заключение необходимо отметить, что, несмотря на ряд конструктивных и теплотехнических недостатков, присущих комбинированным котлам, часть из них оказалась настолько пригодной и приспособленной к ряду производств, что до сих пор еще продолжает строиться в больших количествах (например, локомобильные



Фиг. 32. Модернизированный заводом «Парострой» вертикальный котел В. Г. Шухова системы «ШС».

котлы, котлы жаро-газотрубные с обратными дымогарными трубами, вертикальные котлы системы Шухова и т. д.). Однако подавляющее большинство комбинированных котлов еще с конца прошлого столетия перестали строить.

Комбинированные котлы в процессе развития теплотехнической схемы и конструктивной формы котла сыграли положительную роль, так как были найдены пути более эффективного теплоиспользования, возможного развития поверхностей нагрева, увеличения средней удельной и единичной паропроводительности и улучшения габаритных строительных размеров.

Создание новых конструкций, сочетание различных известных конструкций в самых разнообразных связях и положениях, стре-

мление улучшить использование теплоты газов, как главная задача развития, поиски форм, облегчающих строительные габаритные и весовые условия, стремление к созданию надежно работающей и безопасной формы котла, появление и развитие исследовательских работ в связи с большим многообразием новых форм — все это явилось, в сумме своей, одной из главных черт эволюции, подготовившей переход к новым водотрубным и другим котлам. Следует отметить, что последовательное развитие котлов с большим водяным объемом и внутренними топками, характерными для этого типа котлов, возможно было лишь на базе преобладающего использования в котлах лучших сортов угля. Как только баланс энергетических топлив стал расти за счет многозольных и влажных топлив, вопрос об отходе от старых типов топок стал весьма остро, а это повлекло за собой ускорение развития водотрубных котлов.



### Глава III

#### ПАРОВОЗНЫЕ КОТЛЫ

**О**ДНИМ из первых паровозов, производивших работу и двигавшихся по рельсам, был паровоз, построенный в 1803 г. Он работал на насыщенном паре при давлении пара в котле около 3 ат и с коэффициентом полезного действия не более 1½ %.

Котел этого паровоза был жаротрубный с прямой жаровой трубой и внутренней топкой. Паровоз оказался весьма тяжелым (вес паровоза 5 т) и, работая на чугунных рельсах, непрерывно ломал и разрушал путь. Поэтому в дальнейшем паровоз был поставлен на стационарную службу для откачки воды из рудника. У последующих паровозов также были жаротрубные котлы. Жаровые трубы при этом были либо прямые, либо изогнутые с поворотом внутри котла таким образом, что колосниковая решетка находилась рядом с дымовой трубой на одной и той же стороне котла.

Первые паровозы Г. Стефенсона, появившиеся в период 1814—1822 гг., имели такие же жаротрубные котлы. Лишь в паровозе «Ракета» (1829 г.) котел имел небольшое число (25 шт.) дымогарных труб. Диаметр труб равнялся 78 мм и длина 1800 мм.

Появление на паровозах котлов с дымогарными трубками, так же как почти одновременное появление огнетрубных котлов в судостроении, явилось очень важным моментом в развитии котлостроения в целом. Очевидные преимущества котлов с дымогарными трубками, заключающиеся в максимально возможном, в тех же габаритах, развитии поверхности нагрева и в интенсификации ее тепловой работы за счет ускорения движения газового потока, обусловили быстрое развитие и широкое применение этого типа котлов в транспортном машиностроении (для железных дорог и водных путей сообщения).

Развитие поверхности нагрева в этом направлении, как сказано выше, исторически представляется, как ряд попыток заменить одну или две жаровых трубы большого диаметра целым рядом труб малого диаметра, размещающихся в тех же габаритах. Увеличение поверхности нагрева явилось решающим в деле последующего развития поверхности нагрева котла за счет значительного увеличения количества дымогарных трубок в котле и размещения их за пределами тех габаритов, которые ранее при крупнокалиберных жаровых трубах определялись величиной диаметра последних. Дымогарные трубки в дальнейшем стали размещаться в цилиндрической

части котла с учетом конструктивных возможностей, тепловой работы котла, сохранения водосодержания на необходимом уровне и взаимной увязки пучка труб с топочной камерой.

Развитие котлов с дымогарными трубками улучшало их тепловую работу и привело к тому, что в паровозо- и судостроении отказались от котлов с жаровыми трубами.

Чрезвычайно важно подчеркнуть, что первые русские паровозостроители Е. А. и М. Е. Черепановы (1833 г.) правильно оценили эти обстоятельства и в первых же конструкциях своих паровозов установили наиболее прогрессивный для паровозостроения XIX в. тип котла с дымогарными трубами.

Замечательным в данном случае является факт блестящего предвидения русских паровозостроителей, сумевших самостоятельно на основе еще очень небольшого мирового опыта паровозостроения усмотреть прогрессивные технические пути дальнейшего развития котлостроения и правильно оценить существенные конструктивные и тепловые факторы в этом развитии. Если паровоз «Ракета» (1829 г.) имел лишь 25 дымогарных трубок, то во втором паровозе Е. А. и М. Е. Черепановых число их было доведено до 80 шт.

Изучая развитие паровозного котла и все многообразие его модификаций, можно со всей определенностью установить, что с момента появления у нас первых паровозов Е. А. и М. Е. Черепановых, а за рубежом — паровоза «Ракета», конструктивная форма паровозных котлов по существу почти не изменилась до сих пор. Поэтому можно считать, что паровозом Е. А. и М. Е. Черепановых было положено начало формирования и развития паровоза и его котла.

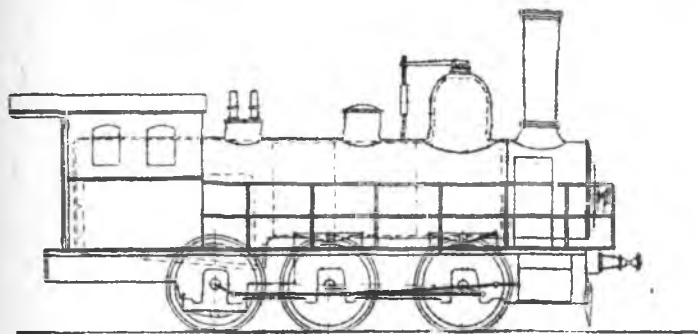
Паровозный котел в последовательном развитии конструктивной формы прошел ряд своеобразных этапов. Интересно, например, отметить конструкцию паровозного котла с вертикально стоящими дымогарными трубами, появившуюся в Америке в 1835 г. Эти паровозы вследствие отличительного внешнего их вида и работы балансиров паровых машин, напоминающей движение ног кузнеца, назывались «кузнечиками». Кстати необходимо подчеркнуть, что вертикальные котлы приведенного типа устанавливались на паровозах США вплоть до 1844 г., когда на американских дорогах стали внедряться нормальные паровозные котлы. Таким образом, в США позже, чем в России, пришли к правильной, оправдавшей себя в эксплуатации и надежно работающей конструкции паровозного котла.

Развернулось паровозостроение на русских заводах началось в 1846 г. на Александровском заводе (ныне Пролетарский), и имеет, следовательно, более, чем столетнюю историю. Александровский завод — колыбель русского паровозостроения — сыграл крупную роль в подготовке технического прогресса нашей страны. На этом заводе было построено около 320 паровозов для русских железных дорог, главным образом для бывшей Николаевской железной дороги, среди них 121 локомотив товарного типа. Товарные паровозы названного завода после некоторой их реконструкции были основным типом товарного локомотива

русских дорог (тип 0-3-0 серии Т. т. е. паровоз, имевший три оси, из которых одна ось ведущая, или соединенная с поршнем паровой машины через кривошип, шатун и кресткопф).

Наряду с Александровским заводом паровозы строились также, правда, в меньшем масштабе, на машиностроительном заводе герцога Лейхтенбергского. Этот завод, как сказано выше, в 1857 г. был разрушен иностранцами, засевшими в Главном Обществе Российских железных дорог. За короткий период работы этот завод дал стране всего лишь 17 паровозов. В некоторых источниках<sup>1</sup> отмечают, что на этом заводе было выпущено более 50 паровозов, однако фактическое положение вещей установить трудно.

Уже в первых паровозах Александровского завода обращает на себя внимание вполне определенная внешняя форма конструкции. Эта



Фиг. 33. Котел паровоза серии Т (1876 г.).

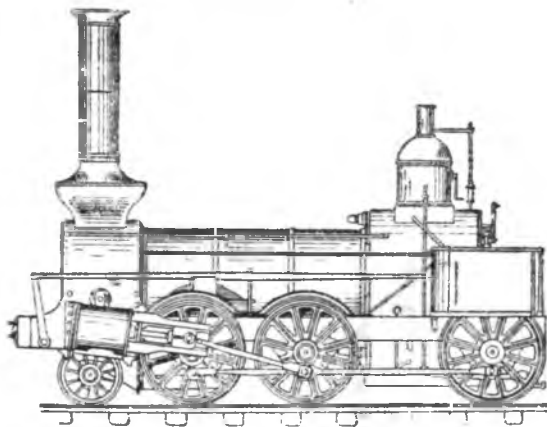
конструкция существовала десятки лет. Паровозный котел выпуска Александровского завода был небольших размеров: 4,2—4,5 м длины, диаметр его был равен 1,2—1,3 м. Цилиндрическая часть котла состояла из 3—4 обечаек. Топка паровоза была такой конфигурации, что верхняя ее часть — так называемый шинельный лист кожуха топки — удобно (ввахлестку, без переходных соединений) соединялась с цилиндрической частью котла. Топка была сильно углублена, свешивалась у задней оси паровоза почти до самой головки рельс. Число дымогарных трубок было около 80—100 в первых и более 100—160 шт. в последующих паровозах, выпущенных после 1850 г.

На фиг. 33 показан общий вид трехосного паровоза серии Т выпуска 1876 г. с удлиненной и менее глубокой, чем в ранних паровозах, топкой для дров. Общая поверхность нагрева в этом паровозе составляла 114,4 м<sup>2</sup>, из них на поверхность нагрева труб приходилось 103 м<sup>2</sup>, а 11,4 м<sup>2</sup> на поверхность нагрева топки. Топка — радиальная. Ее длина 2632 мм, ширина в среднем 1100 мм, высота впереди 1470 мм и сзади 1100 мм. Интересно отметить, что отдельные паровозы этой серии и указанного года выпуска до настоящего времени несут вспомогательную службу на некоторых дорогах.

<sup>1</sup> Н. И. Карташев, История паровоза, Трансжелдориздат, 1937.

Первые паровозы Александровского завода близко напоминали и конструктивно и по внешнему виду паровоз Е. А. и М. Е. Черепановых. Цилиндры паровой машины в них зачастую устанавливались наклонно, так что ось цилиндров составляла с горизонтом угол иногда довольно большого размера.

В более ранних конструкциях топка размещалась между несколькими раздвинутыми второй и третьей осями паровоза. Паровозный котел, естественно, был несколько короче котла паровоза указанного выше типа (серии Т). Топка была приподнята над цилиндрической частью котла, но иногда делалась и свешивающейся. Один из паровозных котлов такого типа можно видеть на фиг. 34. В этом котле в отличие от более поздних сухопарник расположен непосредственно над топкой, что приближает ее конфигурацию к известной и довольно широко распространенной в свое время колоколообразной топке, которая довольно долго сохранялась на германских и особенно на американских дорогах.



Фиг. 34. Внешний вид паровозного котла одной из ранних конструкций отечественного паровоза.

До 70-х годов XIX в. русское паровозостроение приобрело уже довольно широкое развитие. Это было вызвано значительным увеличением сети казенных (государственных) и частных железных дорог,

протяженность которых возросла в сотни раз. Однако следует отметить, что в период 1858—1868 гг. в России собственное паровозостроение на ряде заводов было почти полностью прекращено и работал только Александровский завод, который занимался в основном ремонтом. За 7 лет (1862—1869 гг.) он выпустил всего лишь 13 паровозов<sup>1</sup>. Это были уже модернизированные четырехосные паровозы.

Первые паровозы этого типа (0-4-0 серии Ч, четырехосные) были построены еще в 1858 г. В этих паровозах поверхность нагрева (общая) возросла до 120—130 м<sup>2</sup> и давление пара в котле повысилось до 9,5 ат, что было выше давления в котлах европейских и американских паровозов того периода. Однако ведущим этот тип паровоза стал значительно позже — к 1890 г., когда трехосные паровозы строить вообще перестали.

Первые паровозы этого типа (0-4-0 серии Ч, четырехосные) были построены еще в 1858 г. В этих паровозах поверхность нагрева (общая) возросла до 120—130 м<sup>2</sup> и давление пара в котле повысилось до 9,5 ат, что было выше давления в котлах европейских и американских паровозов того периода. Однако ведущим этот тип паровоза стал значительно позже — к 1890 г., когда трехосные паровозы строить вообще перестали.

<sup>1</sup> Д. Ильинский, В. Иванцкый, Очерк истории русской паровозостроительной и вагоностроительной промышленности, Трансжелдориздат, М. 1939.

В связи с острой потребностью в паровозах, вызванной ростом перевозок и сети дорог, было разрешено приобретение их за границей. Число паровозов, приобретенных в других странах, вначале было велико, однако вскоре отечественные заводы начали строить паровозы в достаточном количестве и не хуже зарубежных. Интересно, что вскоре наши заводы выполняли уже заказы других стран.

Заметим, что, начиная с 1844 г. по 1868 г., т. е. за 23 года, на отечественных заводах было выпущено 222 паровоза.

6 октября 1866 г. история русского паровозостроения начала свой важный этап. В этом году были совершенно прекращены заказы паровозов за границей «с целью сокращения перевода денег за границу, несмотря ни на какие затруднения или неудобства, которые это могло бы представить на первых порах»<sup>1</sup>. В 1867 и 1868 гг. отечественное паровозостроение, как выше уже отмечалось, концентрировалось на известных Мальцевских заводах, Путиловском, Камско-Воткинском, Балтийском, Невском заводах и в Коломенских мастерских, ставших впоследствии крупным паровозостроительным заводом.

На этих паровозостроительных заводах в довольно широких масштабах изготовлялись также и стационарные котлы, так как специализированных котельных заводов в стране тогда еще не было. На некоторых из них производились также и судовые котлы.

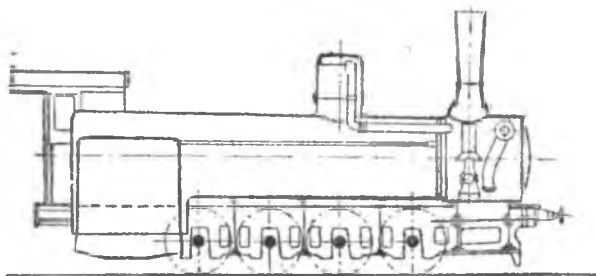
К 1900 г. вошли в строй такие крупнейшие паровозостроительные заводы, как Харьковский, Сормовский, Луганский.

Сеть железных дорог возросла с 1695 км в 1860 г. до 33 026 км в 1890 г. и до 48 700 км в 1900 г. Период с 1860 по 1890 гг. является периодом наиболее интенсивного железнодорожного строительства России прошлого столетия. К 1 января 1875 г. на дорогах России работало 3652 паровоза, из них 768 паровозов, выпущенных отечественными паровозостроительными заводами (Александровский — 246, Коломенский — 204, Невский или завод Русского Общества механических и горных заводов — 179 и т. д.). Таким образом, за 7 лет, начиная с 1868 г., отечественными заводами было выпущено более 500 паровозов. В дальнейшем количество выпускаемых отечественными заводами паровозов резко возросло. В целом за весь период дореволюционного паровозостроения, т. е., начиная с 1844 г. по день Великой Октябрьской социалистической революции, русскими заводами было выпущено около 21 300 паровозов. Некоторые паровозостроительные заводы, например, Харьковский, Луганский, Путиловский, Коломенский, Сормовский, Брянский довели максимальный выпуск до 200 паровозов в год.

Как уже говорилось, в 60-е годы появились четырехосные товарные паровозы (серии Ч) и пассажирские двухосные (серии Д), которые к 80—90-м годам уже не могли удовлетворять потребностям движения поездов. Необходимо было обеспечить требования, связан-

<sup>1</sup> См. Д. Ильинский и В. Иванецкий. Очерк истории русской паровозостроительной и вагоностроительной промышленности, Трансжелдориздат, 1939.

ные с ростом скорости движения и тяжеловесностью поездов, т. е. увеличить мощность паровозов. Попытки улучшить товарный тип паровоза привели к созданию в 1890 г. на Владикавказской железной дороге инж. В. И. Лопушинским четырехосного локомотива (серии О, фиг. 35). В дальнейшем над этим типом локомотива, ставшим „нормальным“ и обязательным для государственных железных дорог, была проделана большая работа. Так, в этой области вели работу в 1893 г. (С. Смирнов), в 1897 г. и в 1901 г. (Коломенский завод) и, наконец, в 1908 г. мастерские Николаевской железной дороги, введшие пароперегрев и однократное расширение пара в машинах. Однако все эти попытки оказались не совсем удачными. Этих паровозов построено всего около 8000 шт., и они до сих пор еще работают на дорогах СССР, в основном, на маневровой службе. Котел этого типа паровоза мало отличается от предыдущих типов трехосных паровозов. Топка той же



Фиг. 35. Котел паровоза серии О нормального типа (1897 г.).

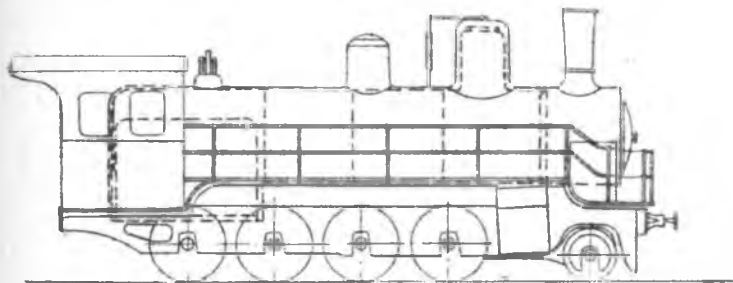
конструкции несколько приподнятая. Длина топки 1770 мм, высота 1650 мм и ширина по середине 1050 мм. Размеры топки паровозов серии Ч мало отличаются от вышеприведенных: длина топки 1770 мм, высота 1650 мм, ширина 1110 мм. Таким образом, топки в обоих

случаях одинаковы и имели почти тождественные размеры. Количество дымогарных труб в котле паровоза серии О меньше, поэтому и поверхность нагрева также меньше, чем у первых. Например, если паровоз серии Ч (1881 г.) имел более 200 дымогарных труб и полную поверхность нагрева, равную 175—180 м<sup>2</sup>, то в паровозах серии О (1897 г.) трубок было 190 и поверхность нагрева котла составляла 153 м<sup>2</sup>. Следует заметить, что в ряде паровозов серии О, снабженных пароперегревателем (например, Оп — 1915 г.), распределение поверхности нагрева было следующим: число дымогарных труб — 116 шт., поверхность нагрева их — 86,4 м<sup>2</sup>, число жаровых труб — 18 шт., поверхность нагрева их — 35,6 м<sup>2</sup>, поверхность нагрева перегревателя — 27 м<sup>2</sup> и топки — 10,5 м<sup>2</sup>. Таким образом, полная испаряющая поверхность нагрева была всего 132,5 м<sup>2</sup>.

В паровозах серии О рабочее давление было доведено до 11,5—12 ат.

Все возрастающий размер перевозок по сети железных дорог, проникновение дорог в самые отдаленные углы страны, а также внешние обстоятельства, обуславливаемые нарастающей конкуренцией капиталистических групп России и Запада, подготовка и захват рынков сбыта и новых богатых природными богатствами террито-

рий заставляли постоянно изыскивать пути укрепления железнодорожного транспорта и создания его мощной технической базы. Несмотря на то, что в области железнодорожного хозяйства, так же, как в области большинства общегосударственных вопросов, в России руководящую роль играли капиталистические законы развития и взгляды отдельных лиц, имевших в данный момент власть, все же развитие транспортной техники упрямо пло вперед. Крупнейшие представители русской транспортной техники В. И. Допушинский, Н. Петров, А. П. Бородин, Е. Е. Нольтейн, Н. Л. Щукин и другие упорно работали над совершенствованием локомотивов и железных дорог. В 1895 г. на дорогах России появились паровозы типа 1-4-0 серий Ш и Ц (фиг. 36) более тяжелые, с большей нагрузкой на ось, следовательно, более мощные, с машиной компаунд. Котлы указанных паровозов имели небольшие отличия один от другого. Так, цилиндрическая



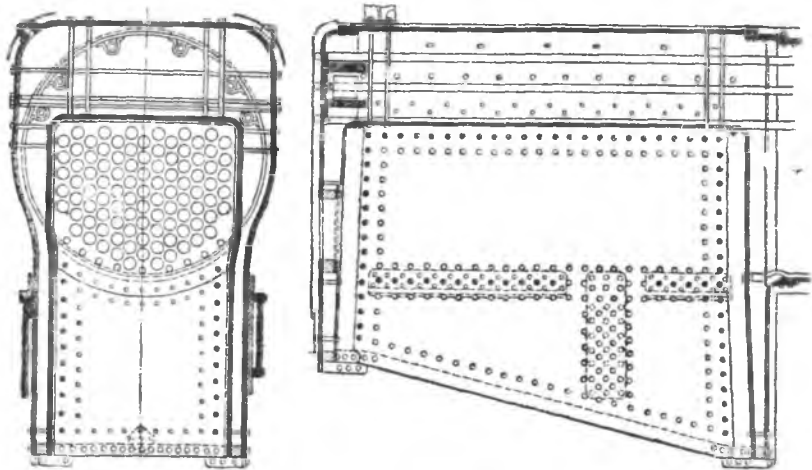
Фиг. 36. Котел паровоза серии Ц (1895 г.).

часть котла паровоза Ц имела длину 4660 мм (соответственно длине дымогарных трубок), диаметр средней обечайки 1600 мм, а двух крайних — 1568 мм. Число дымогарных труб достигало 224 шт. при диаметре их 51/46 мм (установившийся стандарт). Жаровых труб и пароперегревательных в котле не было; они появились в этих паровозах позже лет через 10—15, при перестройке их на пароперегревательные. В отличие от паровозов предыдущих серий, на паровозах серий Ц и Ш были поставлены топки типа Бельпера (фиг. 37), которые имели такую конфигурацию внешней части, т. е. кожуха топки, которая позволяла, с одной стороны, увеличить их объем и поверхность нагрева и, с другой — разместить их между колесами над осями. Таким образом, получилась суженная в нижней части топочная часть котла и расширенная в верхней. Сама же огневая коробка имела небольшое уширение вверх. Размеры ее: длина 2400 мм, ширина (для паровоза Ц) 1120 мм и высота 1750 мм, что позволяло иметь поверхность нагрева топки 13,3 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева котла, состоящая из поверхности нагрева дымогарных труб, равнялась 167 м<sup>2</sup> при 224 трубах. В паровозах серии Ш (1901 г.) число труб было 272, однако длина их не превышала 4375 мм, т. е. была на 285 мм меньше, чем у паровоза серии Ц. Котел состоял из двух длинных, более двухметровых обечайек диаметром 1600 мм, соединенных встык. Трубчатая поверхность нагрева — 191 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева топки — 15,2 м<sup>2</sup>. Топка в этом паровозе в верхней своей



части была несколько шире, чем в нижней, т. е. 1380 мм против 1020 мм; длина 2675 мм и высота 1826 мм впереди и 1631 мм сзади.

Кроме указанных паровозов, в этот период на русских дорогах появились сочлененные паровозы, построенные по проекту Е. Нольтейна в 1897 г. Их часто ошибочно называют паровозами типа Маллета. Это были первые в мире, работавшие на железных дорогах, сочлененные паровозы. Начали они работать в 1897 г. на Московско-Казанской железной дороге, а затем на Сибирской железной дороге. Шестиосные локомотивы Е. Е. Нольтейна имели характеристику 0-3-0+0-3-0. В 1900 г. их строил Путиловский завод. На Коломенском заводе строились также и пассажирские локомо-

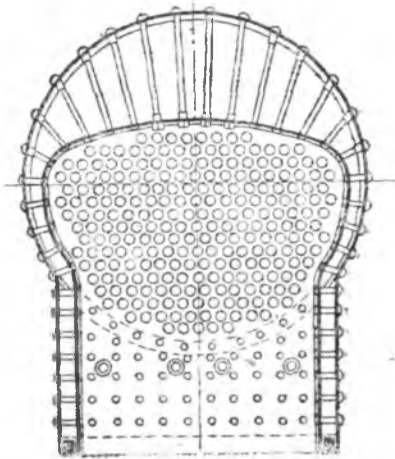


Фиг. 37. Паровозная топка типа Бельпера.

тивы такого же типа (их формула 1-2-0+0-2-0). Размеры топки и котла сочлененного паровоза выпуска 1905 г. почти не отличаются от размеров топки и котла у паровозов серии Ш. В отличие от паровоза серии Ш в сочлененных паровозах топка была радиальная (фиг. 38). Число труб в котле — 265. Их поверхность нагрева — 205,6 м<sup>2</sup>, поверхность нагрева топки — 14,5 м<sup>2</sup>. Давление пара в котле такое же, как и в паровозах выпуска предыдущих лет, т. е. 12 ат.

И, наконец, в этот же период для горных дорог (Закавказская) были построены (в 1872 г.) на Коломенском заводе паровозы с сочлененными котлами (тип Ферли). На одной раме устанавливалось два котла, которые обслуживались с одного и того же места в будке машиниста. Котлы этих паровозов невелики по размерам: длина их 3360 мм, число дымогарных труб 284, поверхность нагрева их 156 м<sup>2</sup>, поверхность нагрева топки паровоза 14,3 м<sup>2</sup>, давление пара 10,5 ат. Работая на горных дорогах, эти паровозы должны были давать достаточное количество пара. Паровозы работали до 1925 г., т. е. более 50 лет, вплоть до замены их электровозами.

Что касается пассажирских (быстроходных) паровозов, то в 90-х годах прошлого века на русских дорогах эксплуатировались паровозы типа 2-2-0 (Коломенского и Путиловского заводов и Одесских главных мастерских). Эти паровозы совершенно не могли удовлетворять растущие потребности железных дорог и поэтому в 1901 г. был создан паровоз нового типа 1-3-0 (серии Н), развивавший скорость до 100 км/час и получивший широкое распространение. Их к началу второго десятилетия на дорогах было около  $\frac{1}{3}$  всего парка пассажирских паровозов России, т. е. более 1000 шт. Вначале паровозы этих серий не имели пароперегревателей. Машина была с плоскими золотниками. Впоследствии в 1910—1911 гг. паровозы были переделаны для работы на перегретом паре. Размеры котла определялись следующими величинами: длина котла от 4200 до 4500 мм, поверхность нагрева дымогарных труб 152,5—161,5 м<sup>2</sup> при числе их от 198 до 226. При наличии пароперегревателя число дымогарных труб снижалось до 102 (или 137 в серии Н<sup>ч</sup>). При этом поверхность нагрева их составляла 73,5—87,5 м<sup>2</sup>. Число жаровых труб 21, их диаметр 133/125 мм, поверхность нагрева их 39,5 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева радиальной топки от 12,6 до 14,2 м<sup>2</sup>. Размеры топки в длину 2200—2400 мм, в высоту — 1580 мм сзади и 1830 мм впереди, ширина топки в среднем 1000—1050 мм. Рабочее давление пара — 12 ат. Температура перегрева, примерно, на 100—150° С выше температуры насыщенного пара, т. е. порядка 250—275° С.



Фиг. 38. Паровозная топка радиальная.

Первый в России паровоз на перегретом паре появился в 1902 г. Сделан он был на Коломенском заводе (серии З, тип 2-3-0) по проекту Е. Нольтейна. Появление и внедрение пароперегрева на паровозах в России опередило Европу и США на несколько лет, где лишь после многолетних изысканий перегрев пара медленно начал входить в практику железных дорог.

Таким образом, в описываемый период русское паровозостроение развивалось неуклонно и успешно. Этому способствовали выдающиеся корифеи русского паровозостроения, обеспечившие приоритет России во многих случаях, например, в создании новых мощных паровозов, во внедрении пароперегрева, в развитии экспериментальных исследований и теоретических работ и т. д. Следует, однако, отметить, что Министерство путей сообщения и его инженерный совет были серьезным тормозом в деле развития паровозостроения. Шла непрерывавшаяся борьба между передовыми русскими инженерами и Министерством путей сообщения, работавшим в ущерб указаниям Запада.

Говоря о развитии паровозостроения, необходимо иметь в виду особенности развития паровозных топков, сочлененных непосредственно с котлом, имеющим свою специфику, и влияющих на конструктивные формы последнего. Органическая связь топки с котлом и их взаимовлияние нигде так не заметны, как в конструкциях паровозов.

В связи с большим ростом потребления топлива промышленностью и транспортом конструкции паровозных топков приспособлялись для работы на более худших сортах энергетического топлива.

Как известно, до 1838 г. русские паровозы отапливались дровами, а европейские, в основном, коксом, так как отопление углем вследствие большого количества дыма, выделяющегося при этом, запрещалось законом. Применение каменного угля стало возможным лишь после решения вопроса о полном сжигании топлива, что можно было сделать при наличии развитых топочных объемов.

Над этим вопросом работали многие конструкторы, так как отопление каменным углем сулило крупные эксплуатационные выгоды и значительное улучшение экономики работы паровозов. Вынужденный переход с кокса на каменный уголь вызвал появление многочисленных предложений по усовершенствованию топки и котла паровоза. Так появились круглые, куполообразные топки. Они, однако, были неудобны в изготовлении и к тому же давали меньшую, чем коробчатые топки, поверхность нагрева. Все же они имели широкое распространение, особенно в Германии и в Америке. В Америке они изготовлялись до 50-х годов XIX в., когда появились нормальные конструкции топков. В России этот переход был сделан раньше, т. е. и в данном случае США отставали от России.

В 1852 г. была сконструирована двойная топка с камерой догорания, в которой сжигание газов было более полным. Вскоре (1857 г.) появилась оригинальная топка с сильно наклоненной вперед колосниковой решеткой. В этой топке газы, образовавшиеся в нижней части решетки, при восходящем движении к пучку дымогарных труб почти полностью догорали, подвигаясь воздействию сильной радиации раскаленного слоя топлива.

Появилась также топка с газосожигательной камерой, в которой происходило полное дымосожигание. Опыт работы этой топки позволил окончательно решить вопрос о переходе на каменный уголь. Топка была сложна, но принесла с собой элементы многих крупных усовершенствований: кирпичный свод, дымосожигательная камера или камера догорания, кипятивники, дополнительный подвод воздуха для горения. Интересно отметить, что при строительстве паровозов с глубокими топками, которые имели существенное значение для организации процесса горения, например влажных топков, иногда появлялись необычайные формы топков со сложной конфигурацией, как например, в случае размещения колесной оси внутри топки. Однако это были редкие конструкции, возникшие впервые в процессе борьбы за увеличение скорости движения паровоза. В последнем случае играл большое значение факт расположения котла на раме (низко или высоко поднятый котел), что сказывалось на размере диаметра колес паровоза и на конструктивном

оформлении паровозного котла и его топки. Заметим, однако, что увлечение большими диаметрами ведущих колес паровоза было довольно скоро оставлено, так как пришли к убеждению, что лучше сохранить большую силу тяги, чем иметь очень большие скорости при уменьшенной силе тяги, которая, как известно, обратно пропорциональна диаметру колеса.

На железных дорогах получили большое применение антрациты. Созданные антрацитовые топки придали конструктивной форме паровозов особый вид. Так, например, в 1850 г. появились топки, имевшие длину до 2 м. Поголок кожуха и топки был плоским и наклоненным к задней части последней. Такое очертание было принято, очевидно, исходя из учета увеличения объема газов по длине топки. Расширение поперечного сечения топки было сделано для более полного и интенсивного перемешивания газов перед входом их в трубчатый пучок.

Переход на новые виды каменных углей, на антрациты и другие угли привел к появлению широких топок, приспособленных для отопления мелким антрацитом, каменноугольной мелочью или низкосортными углями. Широкие антрацитовые топки открыли новые возможности для паровозостроения, позволив значительно увеличить площадь колосниковой решетки, а следовательно, и мощность паровозов. Уширение топок заставило поднять центр тяжести паровозов и вынести топку из габаритов, ограниченных расстоянием между колесами (по их оси), наверх в пространство над колесами при учете, конечно, габаритов подвижного состава.

Производительность топки, оказавшая влияние на увеличение паропроизводительности котла, заставила заняться решением вопроса о паровом пространстве котла, особенно, имея в виду возрастающую при форсировках влажность пара. Вначале для этих целей ставились два сухопарника на котел. Однако это не давало сколько-нибудь заметного увеличения парового пространства. Поэтому одним из решений явилось увеличение пространства над наиболее активной в смысле производительности частью паровозного котла — над топкой. В этих целях был принят, например, конический (от большого к меньшему диаметру) переход от топки к цилиндрической части котла. Такое решение позволило в некоторых случаях увеличить паровое пространство котла на 60—70%. Таким образом паровозный котел приобрел новые формы, которые позволили лучше решать основную задачу: увеличение производительности при сохранении габаритов и при улучшении качества пара.

Идея дымосожигания, которая имела существенное влияние на развитие конструкции паровозного котла, в своем развитии привела к совершенно новой конструктивной форме.

Так, в некоторых конструкциях топок вместо свода был поставлен кирпичный порог, разделявший топку на собственно топку и на камеру догорания. Такого рода устройства, совершенствующие процесс горения и работу топки, значительно увеличивали коэффициент полезного действия паровозного котла.

В целях дальнейшего усовершенствования топки и увеличения ее коэффициента полезного действия были сделаны попытки заменить

кирпичные своды металлическими — «водяными сводами», которые служили тем же целям, что и первые, т. е. для перемешивания газов, для направления потока газов и для отражения радиационных тепловых потоков в слой в целях интенсификации процесса горения топлива.

Однако, если в кирпичном своде при сохранении им его функций дополнительно имелось еще одно важное свойство: аккумуляция тепла, способствовавшая сохранению температурного уровня топки, то при установке металлических сводов обычным являлось снижение температуры топки.

Увеличение диаметра цилиндрической части паровозных котлов, связанное с непрерывно возрастающей мощностью паровозного котла, привело к появлению уширяющихся кверху топок с плоскими или несколько выпуклыми потолками. Нижняя часть этих топок по ширине входила в пространство между колесами осей. Примером такой топки могут служить радиальная топка (фиг. 38) и топка типа Бельпера (фиг. 37), которая применима для паровозных котлов большого и малого диаметров.

Наряду с «водяными сводами» производились неоднократные попытки поместить в топку кипятильники, но довольно широкое распространение получили лишь кипятильные трубы, служившие одновременно «холодной» опорой для кирпичного свода, и современные термосифоны (или «карманы»).

Одновременно принимались всевозможные меры, направленные к упрощению конструкции паровозной топки путем уменьшения количества или даже полного удаления связей. Однако до настоящего времени они успехом не увенчались.

Большие работы в последнее время в области создания бес-связевых котлов провел проф. Волский (г. Горький). Ряд его конструкций работает в условиях судовых установок. Им была предложена также конструкция паровозного котла с жаротрубной топкой (сальниковая топка). Однако она была настолько несовершенна, что к постройке не была принята. Ее основными недостатками, как и других подобных конструкций, были быстрый износ, дорогой ремонт, невозможность увеличения площади колосниковой решетки, как и в обычных стационарных жаротрубных котлах с внутренней топкой, термические перенапряжения благодаря разности температур в нижней и верхней части топки и т. д.

Развитие паровозостроения во второй половине XIX в. предопределило появление многочисленных типов паровозов и разнообразных предложений, касающихся как конструктивной, так и теплотехнической стороны. Именно в это время появилось впервые предложение о частичной или полной замене трубчатой части котла новой схемой — водотрубной. Предложения подобного рода исторически совпадают с появлением и внедрением в практику стационарной энергетики и судостроения нового типа котлов — котлов водотрубных, в которых произведена принципиальная реконструкция теплотехнической схемы при новом размещении в ней материальных и тепловых потоков и существенном изменении внутрикотловых процессов.

Новые принципы тотчас же многие конструкторы предложили использовать в условиях быстро и широко развивающегося железнодорожного транспорта.

Однако, как известно, попытки создать новый локомотив с водотрубным котлом, позволяющим расширить пределы параметров пара, пока успехом не увенчались.

К этому же периоду относятся первые попытки создания турбовозов.

Наибольшую интенсивность эволюция паровозного котла приобрела в период с 1900 г. и до наших дней. Это объясняется все тем же непрерывным стремлением к увеличению пропускной способности железных дорог. Это стремление явилось причиной неуклонного увеличения мощности паровозов и размеров их силовой установки, т. е. размеров котлов и машин.

Условия развития в этот период настолько разнообразны и темпы развития так стремительны, что эволюция в паровозо- и котлостроении приобрела исключительный размах и поэтому построенные типы паровозов быстро становились маломощными, непригодными и быстро заменялись другими.

Применение в этот период автоматических сцепных приборов оказало огромное влияние на паровозостроение, так как они устраняли препятствия к повышению силы тяги и, следовательно, мощности паровозов. Введение на магистралях рельс тяжелого типа также сказалось на широком внедрении мощных паровозов. Вместе с тем был поставлен вопрос об увеличении скоростей движения поездов. Скорости переброски большого количества грузов на дальние расстояния в тяжеловесных поездах резко возросли и вновь выдвинули еще более жесткие требования к экономичности работы паровозов. Это было и является особенно важным в связи с тем, что железнодорожный транспорт, например в СССР, потребляет около  $\frac{1}{3}$  добываемого в стране топлива.

Вопросы экономики заставили развернуть большую работу по внедрению местных низкосортных топлив, поставить вопрос о замене методов отопления паровозов, перейти на широкое применение стокерного отопления, вызванного, конечно, в первую очередь увеличением мощности паровозов, а не переходом на низкосортные топлива; заняться разрешением вопроса сжигания угля в пылевидном состоянии. Эти же экономические соображения предъявили целый ряд требований по улучшению рабочих процессов силовой установки локомотива и после приобретенного многолетнего и весьма показательного опыта применения перегретого пара позволили перейти к высокому пароперегреву, к подогреву питательной воды, а также и воздуха, подаваемого в топку.

Наконец были также развернуты работы и по применению на паровозах пара более высоких параметров, что, конечно, явилось важнейшей причиной пересмотра конструктивных форм паровозного котла.

Особенно большой сдвиг в паровозостроении был вызван началом широкого внедрения перегретого пара.

Выше уже было указано, что в России он введен раньше, чем во всех других странах (1902 г., Е. Нольтейн).

Первоначальный тип пароперегревателя предлагалось разместить в дымовой коробке паровоза таким образом, чтобы он своей конструкцией составил камеру, через которую проходили бы горячие газы. Температурный напор при этом оказался недостаточным для перегрева пара и обеспечивал лишь его осушку. Эта идея практически оказалась неосуществленной. Практически на первых порах был осуществлен пароперегреватель, расположенный в жаровой трубе. Последняя устанавливалась над цилиндрической частью котла. Газы в нее попадали непосредственно из топki через особую трубу, выходящую из потолка топki. Таким образом был обеспечен высокий температурный напор в области перегревателя. В дальнейшем жаровая труба была перенесена в цилиндрическую часть котла. Паровая трубка в жаровой трубе делала несколько оборотов. В более поздних конструкциях перегреватель размещался уже в 4—6 жаровых трубах меньшего диаметра, расположенных в трубчатой системе. Этот последний пароперегреватель, конструкция которого принадлежит Моншейлю (Франция), через 50 лет был точно скопирован В. Шмидтом (Германия) и установлен на паровозе. Таким образом, имя Шмидта неправильно присвоено этому важному изобретению. Отличие шмидтовского перегревателя заключается лишь в качестве материала. В. Шмидт применил вместо чугуна железо.

Особо следует подчеркнуть выдающиеся в мировой практике паровозостроения заслуги в этой области русских инженеров Е. Нольтейна, В. И. Лопушинского, Покрживницкого, а в наше время — Чусова и И. В. Пирина, которыми впервые разработаны новые оригинальные конструкции пароперегревателей и их элементов и проделана огромная работа по внедрению перегрева пара на паровозах.

Внешняя форма современного паровозного котла сохранилась неизменной, но размеры котла, размеры его топчного пространства, призванного обеспечить высокую производительность даже при работе на низкосортных топливах, сильно возросли. В систему трубчатого пучка паровозного котла в этот период включен комплекс так называемых жаровых труб диаметром от 89/83 до 133/125 мм, с размещением в них пароперегревательных труб диаметром от 24/18 до 30/24 мм. Длина дымогарных и жаровых труб увеличилась до 6 м. Поверхность нагрева котла некоторых паровозов достигла 640 м<sup>2</sup>; поверхность нагрева перегревателя также резко выросла, достигая в некоторых паровозах 300—350 м<sup>2</sup>; площадь колосниковой решетки составляет 10—12 м<sup>2</sup> и даже более.

Введено стокерное отопление. Камеры сгорания в современных мощных паровозах являются необходимым устройством, способствующим более полному сгоранию топлива. Широкое применение получили карманы или термосифоны, увеличивающие активную поверхность нагрева в топке, улучшающие циркуляцию воды в паровозном котле и предохраняющие котлы от взрыва. Давление пара в паровозном котле обычной конструкции доведено в опытным порядке до 25 ат. Мощность паровозов необычайно возросла. Особо следует подчеркнуть общепризнанный успех нашего отечественного паровозостроения, создавшего такие могучие локомотивы, как ФД

и ИС, обладающие общей (котел + пароперегреватель) поверхностью нагрева около  $450 \text{ м}^2$ .

В последние два десятилетия в паровозостроении наметился переход к повышенному и высокому давлению пара на паровозах и развитию топочных устройств для сжигания низксортового угля, в частности, в пылевидном состоянии.

Переход на более высокие давления пара в паровозных котлах, понятно, выдвинул вопрос о более высоком перегреве пара и о переустройстве паровозного жаротрубного пароперегревателя, так как в последнем перегрев пара может быть достигнут только лишь в пределах  $360\text{—}380^\circ \text{С}$  и немногим более. Предложенные широкотрубные пароперегреватели, имеющие увеличенный диаметр пароперегревательных трубок и расположенные в жаровых трубах также увеличенного диаметра, дают возможность поднять температуру перегрева до  $420^\circ \text{С}$ . При необходимости дальнейшего более высокого перегрева, очевидно, нужно будет перегреватель вынести из котла, как это сделано, например, Покрживницким (1916 г.) и Пириным (1934 г.). Такое конструктивное мероприятие является необходимым для устранения основного недостатка жаротрубных перегревателей, заключающегося в том, что в жаровых трубах паровозного котла происходит одновременно два процесса: перегрев пара и испарение воды. Таким образом не все тепло потока газов, поступающего в жаровые трубы, тратится на перегрев пара; часть его отдается через стенки жаровой трубы воде, и поэтому необходимую степень перегрева пара не всегда удается достигнуть.

Конечно, и широкотрубные перегреватели, например, Чусова, дают удовлетворительные решения задачи, обеспечивая температуру перегрева до  $420^\circ \text{С}$ , однако указанный новый тип советского перегревателя И. В. Пирина более удачно решает основную задачу поднятия одного из параметров пара, так как в них процесс парообразования совершенно отделен от процесса перегрева пара. Таким образом получена, с одной стороны, широкая возможность интенсификации и регулирования работы пароперегревателя, и, с другой стороны, созданы предпосылки более эффективной работы парообразующей поверхности нагрева. Некоторые конструктивные трудности, связанные с расположением пароперегревателя, могут быть опытным порядком устранены.

В связи с применением в стационарной энергетике пара высоких параметров переход паровозов на высокое давление стал одной из главных задач современного паровозостроения.

Известно, что более чем за 100 лет своей службы паровоз подвергся немногим принципиальным изменениям и основным улучшениям. Так, например, с чисто конструктивной точки зрения паровозный котел подвергся коренной переделке, превратившись из котла с одной или двумя жаровыми трубами в котел с большим количеством дымогарных труб. Причем, эта коренная реконструкция, имевшая чрезвычайно большое значение для развития паровозостроения, произошла в начальный его период. С тех пор конструктивная форма паровозного котла сохранилась и не подвергалась изменениям в силу специфических условий службы паровоза. Изменения, вноси-

звшиеся с целью усовершенствования теплотехнических качеств паровоза и интенсификации его тепловой работы, а именно: перегрев пара, подогрев воды и воздуха, кирпичные своды в топках, усовершенствование паровой машины, механическая подача топлива и т. д. не оказывали заметного влияния на конструкцию паровоза и не нарушали принципов, лежащих в ее основе. Однако общее течение в энергетике, связанное с повышением начальных параметров пара, не могло не коснуться и паровозостроения. С особенной силой это обстоятельство должно было и стало проявляться в условиях быстро развивающейся техники, растущих запросов народного хозяйства и успехов, достигнутых в указанной области. Проблема повышения параметров пара в первую очередь была и остается связанной с проблемой рационального использования топлива. Более того, она непосредственно вытекает из нее. В условиях железнодорожного транспорта вопрос рационального топливоиспользования является коренным и решающим во многих случаях. Как известно, в последнее время на железных дорогах СССР благодаря инициативе выдающихся машинистов-новаторов и проведению ряда технических мероприятий удалось понизить потребление угля паровозами.

Общая характеристика развития за длительный период и сдвигов, происшедших в последние десятилетия, в этой части дана в таблице:

Показатель	1825 г.	1835 г.	1850 г.	1875 г.	1900 г.	1925 г.
Расход топлива в кг на 1 л. с. ч. . . . .	8—9	5	1,9—2,1	До 1,5	1,2	0,8—0,9
Давление пара в котле в ат . . .	3,5	3,5—5	5—6	7—8	12	19
К. п. д. паровоза в % . . . . .	До 2,0	2—4	3—5	4—6	До 7	7—8

К мероприятиям, способствовавшим снижению расхода топлива, относятся как чисто эксплуатационные, связанные с условиями наиболее полного использования локомотивов, так и конструктивные мероприятия, направленные на создание высокоэкономичных паровозных котлов и паровой машины.

Применение высокоперегретого пара, имеющего температуру 380—400° С, применение подогрева воды и воздуха, сокращение вредных пространств в паровых цилиндрах, более точные расчеты и распределение поверхностей нагрева котла и пароперегревателя и т. д. — все это позволило снизить потребление угля современными паровозами на 10—12% по сравнению с паровозами старых типов (начала XX в.). В некоторых случаях удалось найти наиболее благоприятную разность давлений между свежим и отработавшим паром, позволяющую поднять экономичность рабочего процесса паровой машины паровоза. Дальнейшее движение в этом направлении воз-



можно, как известно, лишь при изменении границ перепада давлений, т. е. либо путем подъема верхней границы давления, либо значительного снижения нижней границы или, наконец, при одновременном действии в том и другом направлениях. Увеличение верхних пределов давления может идти только за счет повышения давления пара в котле; значительное снижение нижней границы осуществимо лишь при наличии конденсатора. Однако установка конденсатора, легко осуществляемая в стационарных и полустационарных (на паровозах) условиях, на паровозе связана с многими трудностями. Основными являются, с одной стороны, конструктивная трудность размещения конденсационного устройства на тендере и, с другой стороны, так сказать, теплотехническая трудность и экономическая незрелость такого устройства. Теплотехническая трудность заключается в том, что конденсационное устройство, размещенное на тендере паровоза, работает в крайне неравномерных тепловых условиях, зависящих от непостоянства режима работы самого паровоза. Причем, эта неравномерность не может быть устранена какими-либо способами и остается постоянной. Неравномерность эта еще более сказывается в различных климатических условиях в разные времена года и даже при суточных сменах температурного режима. Наряду с этим довольно большая часть тепла, которая могла бы быть возвращена конденсацией, расходуется в вентиляторах воздушного охлаждения и тяги, так как эта тяга вследствие отвода всего пара в конденсатор вынужденно должна осуществляться механическими устройствами. Таким образом, конструирование паровоза с конденсацией пара и тем более турбовоза является трудной конструкторской задачей. Создание советских паровозов с конденсацией пара серии СО (тип 1-5-0), работающих достаточно удовлетворительно, является поэтому, в свете сказанного, весьма большим успехом.

Период развития, начавшийся с 1900 г., был для русского паровозостроения весьма важным и плодотворным временем. Выше было уже сказано, что крупнейшим событием этого периода является широкое внедрение перегретого пара. В 1902 г. в России раньше, чем в Англии, Америке, Франции, получил практическое применение в паровозостроении перегретый пар. Наибольшее применение нашли жаротрубные (размещенные внутри жаровых труб) пароперегреватели Ноткина, Неймайера, Шестакова, Чусова и других русских инженеров.

Паровозы серий Ц, Ш и Щ не в состоянии были удовлетворительно обслужить быстро растущее товарное движение. И хотя последний тип паровоза был реконструирован на Харьковском заводе в 1905 г. проф. А. С. Раевским и в 1910 г. снабжен пароперегревателем, он также быстро устарел. Котел этого паровоза имел такие же примерно размеры, как и котел паровоза серии Ц. Его длина была 4375 мм; диаметр 1600—1634 мм. Сухопарник сдвинут ближе к центру котла. Число дымогарных труб 252, их диаметр 51/46 мм, поверхность нагрева 191 м<sup>2</sup>; поверхность нагрева топки 15,2 м<sup>2</sup>. Рабочее давление 14 ат. Приведенные данные позволяют судить о возросшей, по сравнению с котлами паровозов серии Ц и Ш, мощности. Топка типа Бельпера этого паровоза имеет

размеры: длина 2656 мм сверху и 2744 мм внизу, ширина 1374 мм сверху и 1016 мм внизу, высота 1816 мм впереди и 1621 мм сзади. В таком же паровозе, переделанном на пароперегревный, все главные размеры в основном сохранились. Число дымогарных труб уменьшилось, однако, до 160, а их поверхность нагрева до 112 м<sup>2</sup>. Число жаровых труб установлено 24. Поверхность нагрева жаровых труб — 41,8 м<sup>2</sup> и поверхность нагрева пароперегревателя 35,1 м<sup>2</sup>.

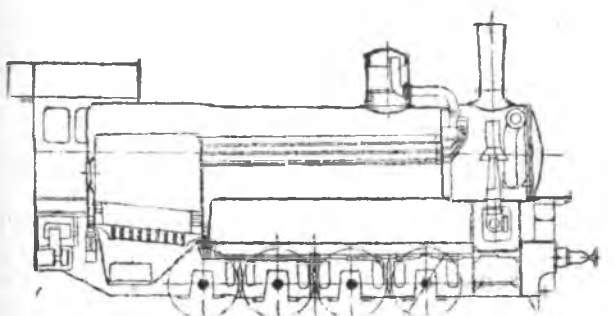
В 1910—1911 гг. на дорогах Кавказа появился паровоз, построенный по проекту Н. П. Куськова (серия Ы тип 0-4-0, фиг. 39), в котором при сохранении работы паровой машины по принципу компаунд был установлен пароперегреватель. Паровоз этот оказался одним из наиболее экономичных товарных локомотивов того времени. Однако и он был слабосилен. Требовался локомотив для магистральных перевозок: мощный, экономичный, быстроходный. Творческой работой русских инженеров вскоре был создан новый тип паровоза (0-5-0, серия Э, по проекту В. Лопушинского и М. Правосудовича), построенный в 1911 г. на Луганском заводе (фиг. 40). Этот паровоз, однако, был встречен некоторой частью чиновного инженерства критически и лишь во время войны, с 1915 г., он вошел в массовую серию.

В первом выпуске этих паровозов топка была радиальная. Ее длина сверху, в среднем, — 2700 мм. Лобовой лист топки поставлен под некоторым углом к вертикали. Поверхность нагрева топки 18,1 м<sup>2</sup>. Длина дымогарных труб — 4660 мм, число их 188, их диаметр — 51/46 мм и поверхность нагрева — 140,3 м<sup>2</sup>. Число жаровых труб 25, поверхность нагрева — 48,7 м<sup>2</sup>.

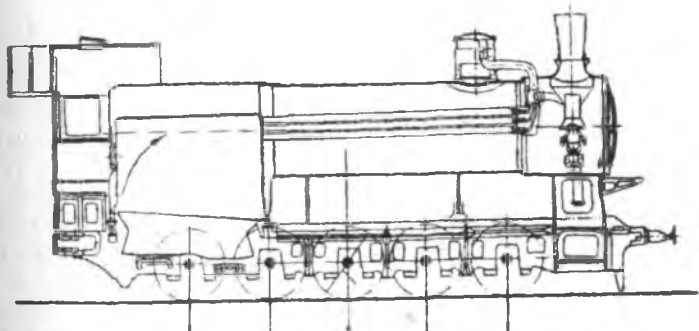
В 1926—1931 гг. на наших заводах по типу этой, одной из лучших серий товарных локомотивов, были построены наиболее распространенные у нас паровозы серии Э<sup>У</sup> и Э<sup>М</sup>. В них была установлена топка типа Бельпера, примерно, одинаковых с указанными выше размеров (поверхность нагрева — 18,08 м<sup>2</sup>). Число дымогарных труб было уменьшено до 157, благодаря чему поверхность нагрева их сократилась до 114,9 м<sup>2</sup>, в то время как число жаровых труб доведено до 32 при поверхности нагрева 62,25 м<sup>2</sup>. Общая поверхность нагрева котла с перегревателем увеличилась на 6—7 м<sup>2</sup>.

В 1931—1932 гг. и позже до появления новых замечательных советских локомотивов (СО, ФД) в большом количестве строились паровозы серии Э<sup>М</sup>, которые отличались от прежних наличием двух сухопарников (как и в паровозе серии Э<sup>У</sup>) и удлиненной топкой. Ее размеры: поверхность нагрева 22,85 м<sup>2</sup>, длина 3150 мм, высота около 1900 мм, ширина, в среднем, 1550 мм. Мощность и паропроизводительность этого котла значительно возросли.

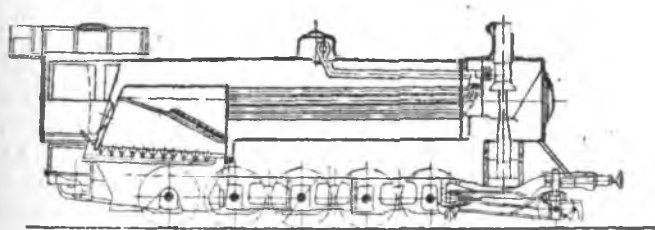
Наряду с паровозом серии Э были построены паровозы типа 1-5-0 серии Е («Декапод») (фиг. 41). Паровоз серии Е постройки 1915 г. имел длину дымогарных и жаровых труб 5135 мм (иногда до 5153 мм), число их соответственно 195 и 28, а поверхность нагрева 160,3 м<sup>2</sup> и 61,9 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева пароперегревателя — 61,3 м<sup>2</sup>. Общая поверхность нагрева котла — 301,5 м<sup>2</sup>, т. е. примерно на 16—18% более, чем в паровозах серии Э. Топка в этом



Фиг. 39. Котел паровоза серии Ы (1914 г.).



Фиг. 40. Котел паровоза серии Э (1915—1916 гг.).

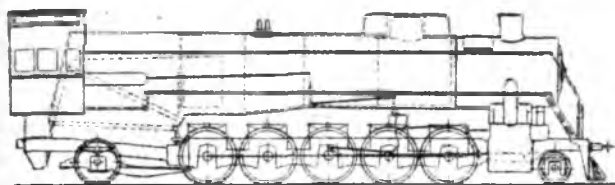


Фиг. 41. Котел паровоза серии Е (1916—1917 гг.).

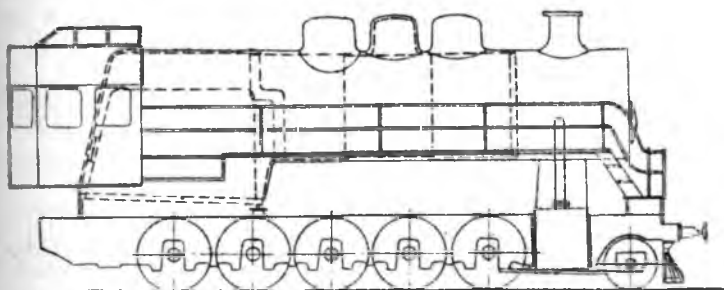
котле имеет сильно скошенный лобовой лист. Ее длина вверху — 2305 мм, внизу — 2743 мм; высота в среднем — 1700 мм, ширина вверху — 1441 мм и почти на 800 мм шире внизу, т. е. 2191 мм. Уширение топki позволило иметь в этом паровозе, впервые в России, столь большую — 6 м<sup>2</sup> — колосниковую решетку. В этом паровозе, также впервые на русских дорогах, появились в топке циркуляционные трубы, которые способствовали развитию циркуляции в особо напряженной в тепловом отношении части котла и, кроме того, поддерживали кирпичный свод, который нужно было делать по условиям тепловой работы топки достаточно больших размеров.

Особый период отечественного паровозостроения, с гордостью именуемый Сталинским, наступил в годы второй пятилетки, когда грузооборот наших железных дорог, скорость передвижения поездов, качество обслуживания трудящихся получили большое развитие. При существующем парке паровозов, значительном увеличении сети железных дорог и при сохранении прежнего уровня техники дальнейшее движение вперед было затруднительно и даже невозможно. Необходимо было коренное перевооружение железнодорожного транспорта на базе новой техники и новых организационных начал. 1931 год явился годом важнейших событий. На Ворошиловградском заводе был построен мощный локомотив серии ФД типа 1-5-1, обладающий большой силой и скоростью (фиг. 42). Цилиндрическая часть паровозного котла ФД, состоящая из четырех обечаек диаметром от 1837 до 2082 мм (увеличивается по направлению к топке паровоза), имеет длину 7170 мм; длина жаровых и дымогарных труб — 5970 мм. Диаметр дымогарных труб 57/51 мм, а жаровых — 89/82 мм; число труб — соответственно 44 и 130. В 130 жаровых трубах расположен пароперегреватель, поверхность нагрева которого, примерно, в 2½ раза больше, чем у мощных паровозов серии Э<sup>м</sup>, составляя 148,4 м<sup>2</sup>. Такой перегреватель позволяет иметь устойчивую и высокую температуру перегрева. Поверхность нагрева дымогарных труб незначительна: она равна 47,1 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева жаровых труб — 216,8 м<sup>2</sup>. В этом котле топка представляет собой мощное сооружение с камерой догорания, длина которой 1200 мм, и с циркуляционными трубами (5 шт., диаметр их — 89/82,5 мм). Длина топки вверху (с камерой догорания) — 4065 мм, а внизу — 3200 мм, ее ширина 2200 мм, высота топки — 1780 мм. Площадь колосниковой решетки 7,04 м<sup>2</sup>. Для обслуживания такой большой решетки и топки на паровозе установлен «механический кочегар» — стокер. Общая поверхность нагрева котла ФД — около 445 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева топки, включая сюда и поверхность нагрева кипяtilьных труб, составляет 31,23 м<sup>2</sup>. Рабочее давление в котле — 15 ат.

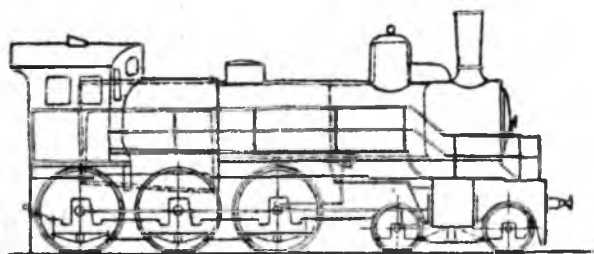
В 1934 г. был спроектирован и выпущен массовой серией паровоз СО — мощный товарный локомотив типа 1-5-0 (фиг. 43). Длина цилиндрической части котла в данном случае, так же как и в паровозе серии Э, составляет 4860 мм. Однако диаметр двух крайних обечаек 1990 мм, а средней — 1950 мм (примерно, на 200 мм больше, чем в серии Э). Топка — радиальная со скошенным лобовым листом. Длина топки вверху — 2620 мм, внизу 3050 мм, ширина 1960 мм



Фиг. 42. Котел паровоза серии ФД (1935 г.).



Фиг. 43. Котел паровоза серии СО (1934—1935 гг.).



Фиг. 44. Котел паровоза серии Б (1908 г.).

и высота, в среднем, — 2120 мм. Число дымогарных труб — 147, их поверхность нагрева 109,1 м<sup>2</sup>. Число жаровых труб 50 (133/125 мм), поверхность нагрева — 96 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева пароперегревателя вдвое больше, чем в паровозе серии Э, и составляет 93,6 м<sup>2</sup>. Общая поверхность нагрева — 323,27 м<sup>2</sup>. Мощный котел паровоза серии СО обеспечивает высокую паропроизводительность и большую скорость движения товарных поездов (65 км/час) и позволяет вести тяжеловесные поезда весом до 2000 т и выше.

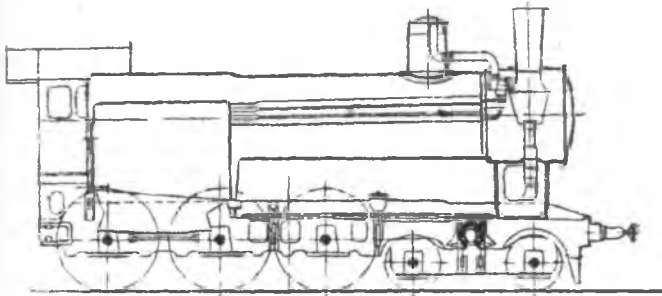
В заключение кратко остановимся на рассмотрении пассажирских отечественных паровозов. Принципиальное отличие наших паровозов от западноевропейских заключается в том, что отечественные локомотивы должны быть приспособлены для перевозки тяжелых пассажирских поездов с большими скоростями. Тяжеловесность же поездов обуславливается тем, что наши пассажирские вагоны, в которых пассажиры проезжают на громадные расстояния (иногда до 10 000 км), должны быть удобны, спокойны на ходу и прочны. Эти задачи в условиях социалистического строя приобрели еще большую актуальность. Таким образом, с момента развития сети отечественных дорог пришлось создавать пассажирские паровозы с мощными паровыми котлами.

Выше было показано, что к 1900 г. в нашем пассажирском паровозном парке доминировали легкие локомотивы типов 2-2-0, 1-3-0, 2-3-0, общая поверхность нагрева которых находилась в пределах 140—165 м<sup>2</sup>.

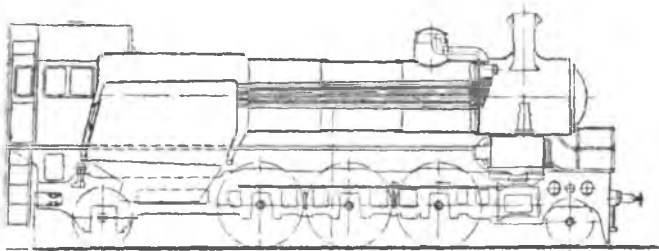
В 1908 г. появились пассажирские паровозы серии Б (тип 2-3-0, Брянского завода, фиг. 44). Эти паровозы развивали скорость до 123 км/час. Котлы их были мало чувствительны к колебаниям нагрузки, и поэтому они получили значительное распространение на дорогах России. Основные размеры паровозного (серии Б) котла таковы. Топка типа Бельпера, ее длина сверху — 2649 мм и внизу — 2744 мм, ширина сверху — 1376 мм, внизу — 1016 мм, высота, в среднем, — 1700 мм. Рабочее давление пара — 13 ат. Общая поверхность нагрева паровозного котла около 206 м<sup>2</sup>, причем складывается она из поверхности нагрева топки, равной 15,6 м<sup>2</sup>, поверхности нагрева дымогарных труб — 107 м<sup>2</sup>, жаровых труб — 42,3 м<sup>2</sup> и перегревателя — 41 м<sup>2</sup>. Число жаровых труб — 24, дымогарных — 151. Длина цилиндрической части котла — 4420 мм. Цилиндрическая часть состоит из двух обечаек, одна из которых имеет диаметр 1526 мм, а другая — 1560 мм.

Такого же типа были котлы и в паровозах серии К (Коломенский завод, П. И. Красовский) и серии У (Путиловский завод, М. В. Голлобов). Отличались они лишь типом топки. В последнем случае топки были радиальные. Кроме того, котел паровоза серии К был поднят над рамой на 400—500 мм выше, чем у паровозов У и Б, что придало паровозу красоту и стройный внешний вид (фиг. 45).

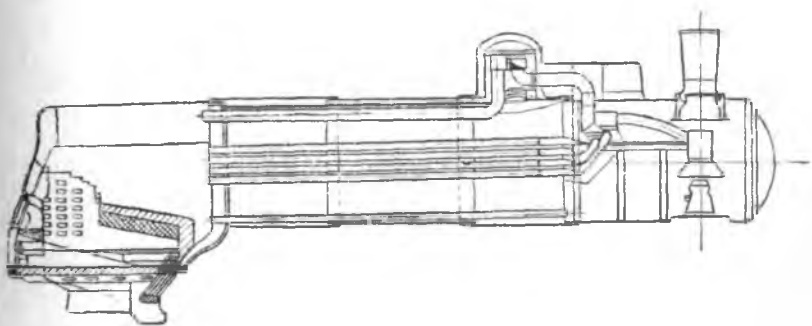
В 1911 г. на Сормовском заводе инж. Б. С. Малаховским был разработан проект паровоза серии С, являющегося одним из лучших и наиболее распространенных пассажирских отечественных паровозов. Особенно хорошим является вариант этого паровоза, разработанный советскими инженерами в 1926 г. и получивший серию



Фиг. 45. Котел паровоза серии К (1910—1911 гг.).



Фиг. 46. Котел паровоза серии С<sup>y</sup> (1926 г.).



Фиг. 47. Котел паровоза серии Л (1915 г.).

С<sup>У</sup> (фиг. 46). Паровоз этот с тяжелыми поездами развивал скорость до 110 км/час. Его котел имеет длину цилиндрической части около 5000 мм. Длина жаровых и дымогарных труб — 5150 мм. Котел высоко приподнят над рамой. Топка типа Бельпера удлиненная; с сильно скошенным лобовым листом и с трубчатой решеткой фасонной штамповки. Длина топки, в среднем, — 2950 мм, ширина — 1500 мм, высота, в среднем, — 1750 мм. Поверхность нагрева топки — 18,5 м<sup>2</sup>. Число дымогарных труб — 135, их поверхность нагрева 111,6 м<sup>2</sup>. Число жаровых труб — 82 с поверхностью нагрева 68,9 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева пароперегревателя равна 72,6 м<sup>2</sup>. Рабочее давление пара — 13 ат.

Почти одновременно с разработкой и внедрением паровоза серии С, в 1915 г. Путиловским заводом по проекту В. И. Лопушинского и А. С. Раевского был построен паровоз серии Л типа 2-3-1 (фиг. 47). Этот паровоз появился по тем же причинам, что и упомянутые выше паровозы серий К, У, Б, С, т. е. под влиянием усилившегося роста пассажирского движения. Котел этого паровоза обладает большей мощностью, чем у вышеописанных паровозов. Общая поверхность нагрева котла — около 355 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева пароперегревателя сильно развита и составляет 85,5 м<sup>2</sup>. Котел обеспечивает паром четырехцилиндровую простую (с одинарным расширением) машину. Длина цилиндрической части котла — 5200 мм, диаметр — 1816 мм (средней обечайки) и 1850 мм (двух крайних). Топка по своей конфигурации напоминает топку паровоза серии С<sup>У</sup>. Ее поверхность нагрева — 17,6 м<sup>2</sup>. Длина топки, в среднем, — 2500 мм; ширина сверху — 1680 мм и внизу — 1898 мм; высота спереди — 2019 мм и сзади — 1334 мм, т. е. топка в лобовой части, примерно, на 700 мм приподнята. Количество дымогарных труб — 184, их поверхность нагрева — 173,1 м<sup>2</sup>. Число жаровых труб — 36, поверхность нагрева — 78,9 м<sup>2</sup>. Несмотря на ряд очень положительных свойств, этот паровоз оказался слабым для дорог с подъемами и возил поезда весом не больше, чем паровозы серий С, К, Б.

В 1927—1928 гг. был построен пассажирский паровоз типа 2-4-0 (серии М Путиловского завода с трехцилиндровой машиной простого действия). Котел этого паровоза совершенно аналогичен котлу паровоза серии Л (2-3-1) и отличается лишь меньшей, на 200 мм, длиной и иной конфигурацией топки. Число труб и трубчатая поверхность нагрева почти одинаковы, отличаясь на незначительные величины.

Наконец, в 1933 г., почти одновременно с паровозом ФД появился мощный паровоз для пассажирской службы — паровоз ИС (тип 1-5-2). Его котел совершенно аналогичен котлу паровоза ФД, что является очень важным с точки зрения стандартизации деталей паровоза.

Вообще следует отметить, что наше современное паровозостроение решительно и смело перешло на путь стандартизации и взаимозаменяемости, и это оказывает свое плодотворное воздействие на его развитие.

Вместе с этим грань между товарными и пассажирскими локомотивами, которая ранее была очень заметна и порой искусственно сохранялась, теперь стирается. В этом эволюционном движении заложен глубокий технический и экономический смысл.



Послевоенное паровозостроение СССР ознаменовалось выпуском в 1946—1947 гг. нового замечательного локомотива серии Л «Победа» (конструкция Лебединского) и в 1948 г. — паровозов новых серий, проходящих в данное время государственные испытания.

Выше была уже отмечена заметно возросшая в последние годы тенденция перехода в паровозостроении на паровысоких и высоких параметров, что является характерным для общего технического прогресса котлостроения и, очевидно, будет иметь в паровозостроении серьезное значение в ближайшие годы. Не останавливаясь на общеизвестных экономических и теплотехнических выгодах этого перехода, приведем краткую справку об эволюции в этом направлении.

Вопрос о выгоде повышения рабочего давления в котлах паровозов возник 40—45 лет назад. Теоретические и экспериментальные исследования этого вопроса сопровождались ошибками и курьезными заключениями. Примерно, в 1904 г. Госс в своих опытах над производительностью паровоза при давлениях от 8,4 до 16,8 ат установил, что повышение давления может быть выгодным лишь до 12,6 ат. Он нашел, что дальнейшее повышение давления пара приведет к такому увеличению стоимости устройства и содержания парового котла, которое поглотит все экономические преимущества повышенного давления пара.

Значительно позже (1924—1926 гг.) паровозостроительные фирмы нашли, что повышение давления пара в паровозном котле с 14,5 до 24,5 ат приводит к значительному увеличению мощности паровоза, тогда как количество топлива, потребное для генерирования пара, увеличивается всего лишь на 1%. Это обстоятельство явилось причиной появления паровозов с повышенным давлением пара.

В паровозостроении современного периода в связи с переходом на повышенные и высокие давления появился ряд особых конструкций. Так, в практике паровозостроения для давлений до 25 ат применяли и применяют обычные паровозные котлы. Котлы с давлением пара до 21—22 ат работают вполне удовлетворительно и в большом количестве, что же касается применения более высокого (25 ат) давления, то после многочисленных опытов пришли к заключению, что это давление в обычном котле, несмотря на ряд принятых мер, например, применение более мягкого металла, особый выбор топочных связей и др., недопустимо, так как оно быстро приводит к появлению течи в огневой коробке.

Для давлений выше 25 ат некоторыми конструкторами в ряде стран были предложены водотрубные котлы. Например, были построены (1922—1930 гг.) три паровозных котла на давление до 30 ат. Несмотря на то, что эти паровозы дали экономию топлива и воды до 20—30%, по сравнению с обычными паровозами, постройка их из-за экономического кризиса была прекращена.

Первый водотрубный котел для паровоза, или, вернее, паровоз с водотрубной топкой, был создан в 1907 г. В этом котле топка состояла из кипячительных труб, плотно стоявших рядом одна около другой и выгнутых по форме паровозной топки. Газы, покидая топку, попадают в цилиндрическую часть котла обычного паро-

возного типа и омывают пучок дымогарных труб с внутренней их стороны. Питание кипяtilьных топочных труб происходит из расположенных внизу топки по ее сторонам двух коллекторов небольшого диаметра. Пар из трубок поступает в верхний барабан, который служит паросборником. Заметим, что на Московско-Казанской железной дороге работал один паровоз с такой водотрубной топкой (1907—1908 гг.), но так как эксплуатация паровоза показала ряд серьезных недостатков, опыты были оставлены.

Искания нового типа паровозного котла как у нас в России, так и за рубежом прекращены не были. В течение ряда лет появилось много различных конструкций для разных давлений. Один из опытных паровозов повышенного давления работал (1924 г.) при 24,6 ат. Конструкция котла в нем не претерпела существенных изменений против обычной. Лишь поверхности нагрева в топочной части получили новое конструктивное оформление и размеры их изменились. Так, поверхность нагрева водотрубной топки возросла в 7—7½ раз и составила около 110 м<sup>2</sup>, что предопределило удвоение ее паропроизводительности. Цилиндрическая часть этого паровоза осталась в виде обычной конструкции с жаровыми и дымогарными трубками.

Указанный паровоз в эксплуатации показал хорошие конструктивные и теплотехнические качества. Однако это усложнение паровоза путем создания двойной схемы — водотрубная плюс огнетрубная — которые должны между собой надежно соединяться и обеспечивать хорошую и слаженную работу при различных режимах, не привело к ожидаемым результатам. Поэтому паровозы такого типа были быстро оставлены.

В 1926 г. был пущен в работу паровоз с котлом высокого давления (60 ат), имевший особую конструкцию, обусловленную принятым в нем принципиально отличным способом генерирования пара высокого давления. При известных тогда методах водоподготовки считалось, что наиболее целесообразный способ получения пара высокого давления заключается в непрямом испарении воды, т. е. таком, когда котел не подвергается действию радиационного тепла и не омывается горячими газами.

В таких паровозных котлах созданы две ступени давления, имеющие каждая свое конструктивное оформление. Первая — это собственно топочная часть, выполняющая роль водотрубного котла высокого давления. Он состоит из верхнего барабана большого диаметра, в котором генерируется рабочий пар высокого давления, двух верхних коллекторов или сепараторных барабанов и нижних прямоугольных коллекторов. От нижних коллекторов к сепараторным барабанам идут цельнотянутые трубки, образующие стенки топки. Нижние коллекторы являются одновременно обвязочной рамой топки. Вторая часть — это котел обычного паровозного типа, в котором приготавливается пар давлением 14 ат. В жаровых трубах этой части котла расположены два перегревателя: высокого и низкого давления.

Строились также в единичных экземплярах паровозы с двойным котлом и двумя разными по давлению рабочего пара машинами.

В СССР в период 1930—1935 гг. велась большая исследовательская работа по созданию паровозов высокого давления.

В частности, коллективом инженеров одного из институтов был создан проект паровоза высокого (60 ат) давления. Сочлененный котел этого паровоза состоит из котлов двух ступеней давления, причем котел низкого давления в данном случае играет роль теплового аккумулятора и дает пар для вспомогательных механизмов. В котле высокого давления пар готовится давлением 60 ат. Котел высокого давления состоит из четырех барабанов. Все четыре барабана соединены кипяtilьными трубками (51/46 мм), образующими стенки топки в виде экранов. Нисходящие циркуляционные трубки вынесены в данном котле за кладку и обогреву не подвергаются, что в значительной мере должно было улучшить циркуляцию воды в котле.

Этот котел представляет собой оригинальный проект советского паровозного котла высокого давления.

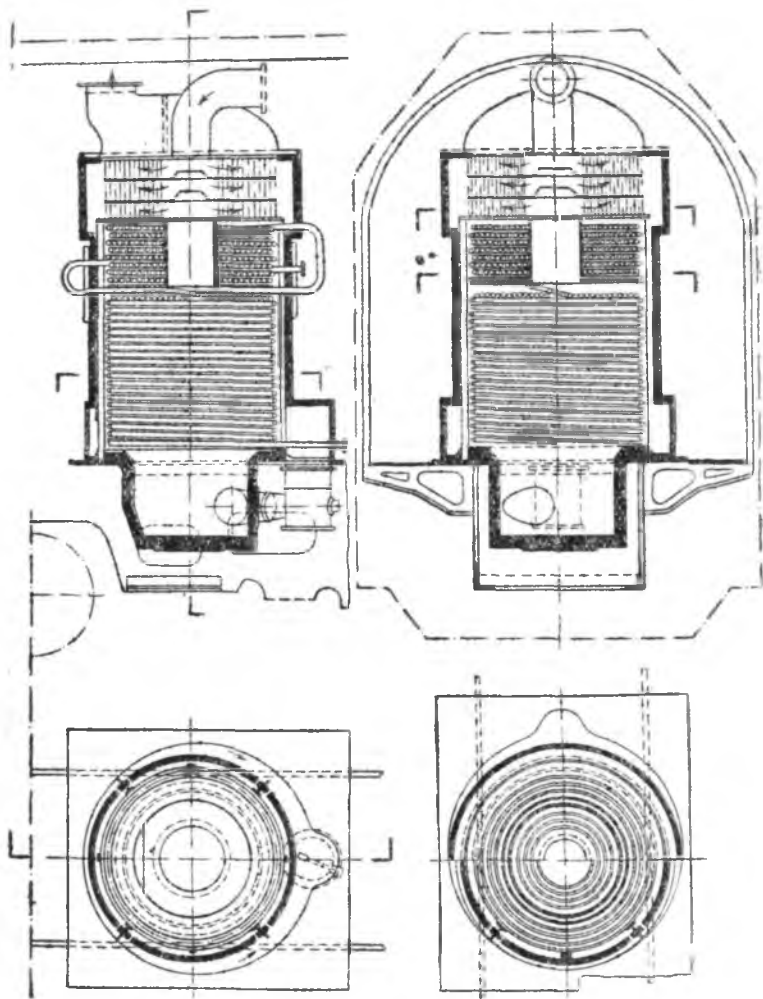
Следует особо подчеркнуть, что передовая роль и творческая деятельность выдающихся русских инженеров-паровозостроителей и в этой важнейшей области паротехники объясняет тот факт, что в России раньше, чем в других европейских странах и США, а именно, в 1904—1905 гг. возник вопрос о применении пара высокого давления на паровозах. Этот вопрос был глубоко разработан в виде ряда проектов, представленных в Министерство путей сообщения, однако из-за технической тупости царских министерских чиновников и их слепого преклонения перед заграницей практического разрешения не получил. Заметим также, что в СССР впервые в мире был применен в паровозном котлостроении оригинальный советский прямоточный котел (фиг. 48). Паровоз с таким котлом был построен и пущен в работу.

В заключение следует сказать о водотрубном типе паровозного котла. Один из построенных котлов этого типа представляет интерес в конструктивном отношении как один из возможных путей дальнейшего развития паровозостроения.

Водотрубный паровозный котел состоит из верхнего барабана и четырех нижних барабанов меньшего диаметра. Нижние барабаны попарно расположены таким образом, что образуют топку и трубчатую часть котла, являющуюся как бы продолжением топки. Задняя пара нижних барабанов расположена по бокам колосниковой решетки и соединяется с верхним барабаном посредством кипяtilьных труб. Последние, будучи расположены в четыре ряда в шахматном порядке, образуют как бы глубокие многорядные экранные стенки топки паровоза. Задняя стенка топки образована 8—10 кипяtilьными трубами того же диаметра. Вторая передняя пара коллекторов имеет больший диаметр и большую длину. Они расположены относительно задней пары несколько выше (на 250—300 мм) и сближены между собой настолько, чтобы имелась возможность разместить их во внутреннем пространстве паровозной рамы. Эта часть системы паровозного котла образует камеру догорания и зону пароперегревателя. Длина камеры догорания составляет примерно 1/3 длины топки. Вслед за камерой догорания в этой же трубной системе располо-

жена зона перегревателя. Пароперегреватель размещен в пространстве между рядами труб, расположенными по обе стороны.

Топка и вторая трубчатая система покрыты снаружи металлической обшивкой, расположенной близко к трубам. Это напоминает устройство обшивки в паровых котлах.



Фиг. 48. Советский прямоточный паровозный котел ТПН-3,7/140.

Из приведенного выше материала о развитии паровозного котлостроения в целом можно заключить, что сконструированный более 125 лет назад паровозный трубчатый котел до сих пор еще пока является основной конструктивной формой в паровозостроении. Техническое развитие паровоза и увеличение его мощности в незначительной степени коснулось основных принципиальных конструктивных черт паровозного котла и лишь внесло изменения в

его размеры, в устройство и размещение трубчатой поверхности нагрева и распределило последнюю на парообразующую и пароперегревательную.

В современном паровозе поверхность нагрева увеличилась против первых экземпляров почти в 50 раз, а мощность — более, чем в 200 раз. Эволюция дополнила паровозный котел элементами, присущими современным паросиловым стационарным и судовым установкам, устройствами для водоподогрева, для конденсации пара с целью утилизации его теплоты, механическим отоплением в виде стокера; стоит вопрос о широком внедрении сжигания порошкообразного угля и т. д. Это привело к увеличению коэффициента полезного действия паровоза и значительной экономии топлива и воды. Современные паровозные котлы работают при довольно высоком коэффициенте полезного действия. Низкий общий коэффициент полезного действия паровоза (6—9%) объясняется чрезвычайно высокими потерями с выхлопным паром и дымовыми газами, имеющими температуру до 400° С и выше.

Известно, что работа паровозного котла авторегулируется. Так, например, при усилении работы паровоза, происходящем вследствие увеличения скорости или при работе машин на подъемах и др., наступает автоматическое форсирование тепловой работы котла, которое вызывается тем, что под влиянием расхода пара возрастает тяга, увеличиваются скорости газового потока в трубках. Это приводит к выравниванию величин потребления и процесса генерирования пара. Наконец, паровозный котел представляет по своему устройству всесторонне продуманную конструкцию. В заданных габаритах данная конструктивная форма позволяет разместить поверхность нагрева значительных размеров. Конструкция котла проста, доступна для осмотра, надежна в работе, не требовательна к качеству воды, производительна.

Однако, несмотря на то, что специфические условия службы работали и настойчиво сохраняют до сих пор установившийся тип паровозного котла, следует подчеркнуть, что последний стоит на грани коренных переустройств. Широкое внедрение пара высоких параметров в энергетику окажет влияние и в этой области. В ближайшее время, очевидно, будут разработаны новые, в том числе и водотрубные, конструкции паровозных котлов экономичного современного типа высокого давления. Широкое применение в паровозной практике найдут такие элементы технической реконструкции, как высокий перегрев пара, водо- и воздухоподогрев.

Паровоз высокого давления будет отличаться от современных локомотивов лишь конструкцией парового котла. Паровая машина его будет построена, очевидно, по принципу максимального использования энергии, заключенной в паре высокого давления (принцип компаунд или тройного расширения). Создание же удачной конструкции конденсатора и установка его на паровозе высокого давления, очевидно, сделают паровоз настолько же экономичным по расходу топлива, как и тепловоз.



## Глава IV

### СУДОВЫЕ КОТЛЫ

**П**АРОСИЛОВЫЕ установки на судах появились значительно раньше, чем на сухопутном транспорте. Естественно поэтому, что большое количество предложений по паротехнике связано с речным и морским паровым флотом. Более того, особые условия службы паросиловой установки на корабле, специфика флота, определяющего хозяйственное и, конечно, военное могущество страны, предопределяли более интенсивное развитие, более смелый отход от привычных, но отслуживших свой век, конструктивных форм, решительный переход к применению всякого рода устройств, улучшающих работу паросиловой установки.

Первые судовые паросиловые установки размещались прямо на палубе корабля. Они занимали много места, были подвержены воздействию внешней среды, обслуживание их было крайне затруднительно. Условия перевозки грузов и пассажиров из-за этого были весьма стесненными.

Первые так называемые сундучные корабельные котлы (см., например, фиг. 6) применялись недолго и вскоре были заменены более удобными с конструктивной стороны и более производительными лабиринтными, галлерейными, а затем цилиндрическими и жаротрубными котлами. Однако и эта замена не решала вопроса развития флота, и поэтому скоро встал вопрос о переходе к новым конструктивным формам паровых котлов. Такими формами оказались котлы с дымогарными трубками, появившиеся на флотах раньше, чем где-либо, правда, не сразу, а через ряд переходных форм котлов, а затем и водотрубные котлы.

Наряду с увеличением паропроизводительности котлов посредством увеличения размера поверхности нагрева и интенсификации ее работы также ставилась важная задача уменьшения весов и габаритных размеров судовых паровых котлов. Не менее остро стояли вопросы увеличения коэффициента полезного действия котла и повышения давления пара. Наконец, предъявлялись требования простоты ухода за котлами, надежности их работы и высокой маневренности. Последние два факта имели огромное значение для длительного и безопасного плавания корабля. Вопрос о весах и габаритах паросиловых судовых установок имел решающее значение для грузоподъемности пароходов и размещения пассажиров. Поэтому требования в этой части необходимо было удовлетво-

рить в возможно более короткие сроки, особенно если иметь при этом в виду все более возрастающую конкуренцию парусного флота.

Примером борьбы за сокращение габаритов паросилового корабельной установки может служить переход к коробчатой форме паровых котлов. Новая конструктивная форма появилась в результате стремления создать компактный котел, вписывающийся в габариты корабля. Как мы увидим далее, эта новая конструктивная форма котла давала возможность увеличения паропроизводительности и заметного улучшения других показателей работы.

Вопрос повышения коэффициента полезного действия котла в стационарных паросиловых установках, как известно, являлся доминирующим над вопросами размеров, веса и мощности установки. В судовых же условиях вопросы размера, веса и мощности котла имели зачастую большее значение, чем самый коэффициент полезного действия. Для решения этих вопросов строители и конструкторы кораблей наряду с многочисленными приемами конструкторского характера применяли также и другие меры. К этим мерам относились такие, как повышение давления пара в судовых котлах, разработка и внедрение методов, интенсифицирующих и форсирующих работу котельной установки (применение перегретого пара, подогрева воды и воздуха, искусственная тяга и т. п.). Следует заметить, правда, что повышение давления пара в судовых котлах осуществлялось довольно медленно и, как правило, сопровождалось обязательной сменой конструктивных форм котла и его элементов.

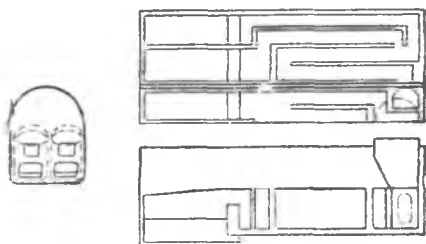
Так, например, под влиянием этого фактора довольно долго сохранявшаяся старая прямоугольная форма дымогарных труб была заменена круглой. Конечно, в данном случае большую роль сыграл также и самый факт открытия способа изготовления круглых труб. Далее корпус котла, принявший удобную с точки зрения расположения его в трюме корабля коробчатую форму, также под влиянием необходимости повышения давления пара эволюционировал от коробчатой формы к овальной, а затем вновь к самой ранней в судовом котлостроении — цилиндрической. В последнем случае произошел возврат к более рациональной, с точки зрения технологии изготовления и условий прочности, форме, но уже на новой основе. Котел приобрел к данному времени сильно развитые внутренние поверхности нагрева в виде внутренней поверхности дымогарных труб.

Ниже рассмотрена эволюция судового парового котла, протекавшая в сложных условиях и приведшая к огромному числу самых разнообразных котельных конструктивных форм. Из всего этого многообразия форм приведены лишь основные.

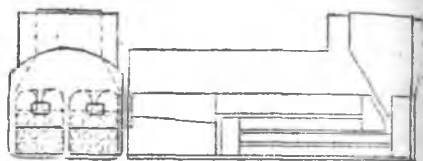
Основными типами котлов первого периода отечественного судостроения были простые цилиндрические, лабиринтные, котлы галлерейного типа, цилиндрические одно- и двухоборотные и появившиеся к концу 70-х годов XIX в. водотрубные котлы. —

Лабиринтные котлы, применявшиеся в русском судостроении в период до 60-х годов XIX в., имели довольно широкое распространение, особенно в коммерческом флоте. Их устройство (фиг. 49).

было несложным. В корпусе котла, которому придана была удобная с точки зрения размещения его в трюме корабля форма, располагались обычно две, редко — три толки прямоугольного сечения с колосниковой решеткой простого типа. Толки заканчивались железным невысоким полым порогом, через который в своем движении в газоход переваливал поток горячих газов. Указанный порог с внутренней стороны охлаждался водой, находящейся в котле. Все водяное пространство котла почти на полную его высоту рассекалось прямоугольными газоходами, расположенными так, что движение газов по ним напоминало собой движение по лабиринту. Газоходы отделялись друг от друга, таким образом, двумя металлическими стенками, между которыми циркулировала вода. Потолок газохода перекрывался первое время медным, а затем железным листом. Из последнего третьего газохода газы уходили в дымо-



Фиг. 49. Лабиринтный судово́й котел.



Фиг. 50. Галлерейный судово́й котел.

вую трубу. Таким образом газы в данном случае двигались по широким прямоугольным каналам, напоминавшим собой трубы большого сечения (жаровые), но расположенные зигзагообразно — лабиринтно. Охлаждение газов было достаточно хорошим, так как путь их был длинным, с двухкратным поворотом на  $180^\circ$  и равнялся, примерно, трем длинам котла. Таким образом, лабиринтные котлы были достаточно компактны по устройству, удобно устанавливались в трюме корабля и вместе с этим в связи с удобством очистки внутренних поверхностей котла допускали питание неочищенной морской водой. Однако коэффициент полезного действия лабиринтных котлов был очень низок (около 30%), что объясняется высокой температурой уходящих из котла газов, особенно при его форсировке, слабым развитием котельных поверхностей нагрева, довольно быстрым заносом их извне золой и сажой и накипью с внутренней стороны. Давление пара в лабиринтных котлах было порядка 0,8—1,0 ат, что считалось достаточно высоким, так как котел состоял сплошь из плоских стенок, которые к тому же не скреплялись одна с другой связными болтами. Эти недостатки, а также малые возможности форсирования работы решетки, т. е. увеличения весового ее напряжения, послужили причиной перехода к галлерейным котлам.

Галлерейные котлы (фиг. 50) строились также до 50—60-х годов XIX в. Систем этих котлов было очень много, о чем можно судить

по одному обзору<sup>1</sup>, в котором описывается 64 различных типа котлов во всех странах. Из них более 40 типов были галлерейными котлами. В морском и речном флоте России их было тоже большое количество.

По своему внешнему виду галлерейный котел напоминал лабиринтный. Что касается внутреннего устройства этого котла, то в данном случае топка заканчивалась не одним прямоугольным сечения газходом, как в лабиринтном котле, а двумя трубчатыми газходами также прямоугольного сечения (у них лишь верхняя часть имела выпуклую форму), из которых газы, пройдя путь, равный длине котла, заворачивались на  $180^\circ$  и попадали уже в 3—4 трубы круглого сечения, а из них, снова повернув на  $180^\circ$ , — в трубчатую часть, состоящую из труб еще меньшего диаметра (4—5 труб). При каждом повороте газы поступали в прямоугольную дымовую коробку, где происходило их перемешивание. Последний газход заканчивался коробкой большого размера. Таким образом, газы двигались здесь каскадом, и длина их пути была довольно большой, что способствовало большему теплопоглощению в газходах.

В галлерейных котлах появились первые намеки на близкое уже создание котлов с обратными трубами, которые вскоре получили широкое распространение. Речь идет о цилиндрических одно- и двухоборотных котлах.

Галлерейные двух- и трехпочные котлы с каскадным движением потока горячих газов имели большую, чем коробчатые котлы, производительность, более высокий (до 45—50%) коэффициент полезного действия и лучшие показатели тепловой работы, т. е. более высокие удельные паронапряжения поверхности нагрева и весовые напряжения колосниковой решетки. В этих котлах было создано еще одно конструктивное преимущество, которое позволило улучшить эксплуатацию котла. Заключалось оно в том, что в корпусе котла против каждой трубы было сделано закрывающееся люком отверстие, через которое легко было производить очистку поверхности трубы от золы и сажи.

Галлерейные котлы, так же как и лабиринтные, обладали существенными недостатками. В частности, одним из главных являлось наличие в конструкции плоских стенок. Такие стенки даже при существовавших в то время небольших давлениях пара требовали крепления их посредством связанных болтов и косынок, число которых увеличивалось соответственно повышению давления. Это делало конструкцию жесткой, подверженной разрушениям от термических деформаций. Возникла необходимость перехода к иной геометрической форме корпуса и поверхности нагрева котла, которая лучше бы противостояла указанным явлениям. Поэтому вскоре произошел отход от коробчатой, удобной в смысле вписывания в габариты судна формы к старой форме цилиндрической. В судовом котлостроении появились галлерейные котлы с цилиндрической формой корпуса. В данном случае удалось полностью освободиться от болтовых свя-

<sup>1</sup> Н. Лабзин, Машины и аппараты, Историко-статистический обзор промышленности России, ч. II, 1886.



зей. Наряду с этим форма котла позволяла иметь компактную котельную. Зигзагообразная форма газоходов, сохранившаяся в данном случае, придала конструкции относительно хорошую сопротивляемость термическим деформациям и эластичность. Однако недостатки конструктивного и эксплуатационного характера, присущие этим котлам (быстрый занос поворотных дымовых камер золой и сажей, трудность их очистки, трудность осмотра и ремонта трубных досок, трудность замены труб и т. д.), обусловили необходимость перехода к более удобной конструкции.

Такой конструкцией оказались одно- и двухоборотные цилиндрические котлы с жаротрубной топкой — так называемые судовые оборотные котлы, которые появились в первой четверти прошлого века. Быстрое внедрение их в русский флот началось с 60-х годов. Рассмотрение этих конструкций будет дано ниже.

Приведем здесь некоторые дополнительные сведения о коробчатых котлах, сходных в конструктивном отношении с галлерейными котлами. Эти котлы имели также прямоугольную форму корпуса, но с овальным потолком; топки такой же конфигурации (двери на котел), больших размеров огневую коробку и значительное количество дымогарных труб относительно небольшого диаметра. Эти котлы были более короткими, чем галлерейные, но зато большей высоты. Их внешний вид и устройство очень напоминают цилиндрические оборотные котлы.

Коробчатые котлы нового типа были весьма просты по своему устройству и имели более высокий коэффициент полезного действия, достигавший 55%. Они обладали также не менее высоким удельным паронапряжением поверхности нагрева и весовым напряжением колосниковой решетки, отличались легкостью осмотра и очистки всех поверхностей нагрева, имели небольшие сопротивления движению газов. В этих котлах было обеспечено получение более сухого пара благодаря относительно большому паровому пространству и зеркалу испарения. В то же время их габаритные размеры почти вдвое превышали размеры галлерейных котлов. Кроме того, в соединениях фасонных Т-образных нижних труб котла с его корпусом часто появлялись трудно останавливаемые течи.

Существенным недостатком описываемого типа котлов является возврат к коробчатой форме, применявшейся ранее и, следовательно к жестким болтовым связям. Возврат этот объясняется в основном необходимостью более удобного размещения котла в габаритах судна.

Существенное отличие этого типа котлов от всех предыдущих заключается в появлении и развитии дымовой коробки в паровом пространстве котла. Это конструктивное мероприятие преследовало важную цель: получение более сухого пара и, следовательно, благодаря этому увеличение мощности машин, уменьшение вероятности появления гидравлических ударов в них и в паропроводах. Осушение пара происходило посредством отдачи тепла газам, проходящими через дымовую коробку, пару, окружающему ее верхнюю часть. Правда, размещение дымовой коробки внутри корпуса котла в месте, подвергавшемся котловому давлению, требовало конструктивных

мероприятий в виде утолщения стенок коробки, увеличения числа связанных болтов и т. д. Все это вело к увеличению удельных затрат металла. Однако, несмотря на это, данное мероприятие оправдывало себя с теплотехнической стороны и настойчиво проводилось в жизнь.

Помещение дымовой коробки внутри корпуса позволило создать коробчатые котлы с оборотными дымогарными трубами, т. е. такие конструкции, в которых была значительно увеличена внутренняя поверхность нагрева, улучшено использование тепла газового потока и, наконец, была придана компактность сооружению. Следующим шагом в этом направлении было появление цилиндрических оборотных котлов.

Вместе с этим вскоре был сконструирован на основе уже известных идей новый тип котла — водотрубный, который, хотя и при противодействии сторонников старых конструкций, медленно, но верно вошел к практику судового котлостроения всех стран. Следует подчеркнуть, что появление водотрубных котлов, сыгравшее революционизирующую роль в развитии судостроения, одновременно вызвало естественное стремление усовершенствовать огнетрубные котлы. Взаимное влияние успехов обеих принципиально различных конструктивных форм, отличных также и по принципу организации их теплотехнической схемы, оказалось плодотворным для той и другой формы.

Коробчатые судовые огнетрубные котлы до последней четверти прошлого века занимали монопольное место в судовом котлостроении, так как они были конструктивно наиболее простыми и давали наибольшую по тем временам удельную и общую паропроизводительность, и только лишь настойчивое стремление повысить давление пара привело к необходимости их замены. Коробчатые котлы в процессе совершенствования конструкций заменялись пролетными локомотивными и цилиндрическими котлами, сохранившими ряд преимуществ коробчатых котлов, но имевших уже свою конструктивную особенность в виде цилиндрической формы, позволившей увеличивать давление пара. В результате совершенствования топок и улучшения качества котлостроительных материалов цилиндрические котлы в 80-х годах заняли монопольное место в военном и коммерческом флотах.

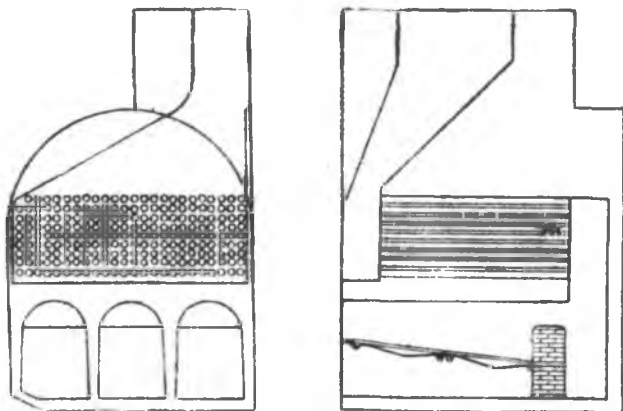
В дальнейшем при начавшемся быстром прогрессе водотрубных котлов пролетных и локомотивные котлы, несмотря на рекордные показатели их работы, последовательно и настойчиво заменялись в 90-х годах водотрубными. Так происходила систематическая и последовательная смена устаревших форм новыми прогрессивными.

Наряду с созданием новых конструктивных форм судовых котлов систематически проводились меры по улучшению работы существующих типов котлов.

Усиленно стал применяться подвод воздуха в слой топлива. Вначале это было дутье мехами, а затем уже вентиляторами. Подвод сжатого воздуха в слой топлива позволил резко увеличить весовое напряжение решетки в некоторых случаях до  $200 \text{ кг/м}^2\text{час}$  против  $60 \text{ кг/м}^2\text{час}$ , при естественной тяге. Форсировка работы решетки

позволила сильно увеличить паронапряжение поверхности нагрева котла, доведя его до  $45 \text{ кг/м}^2\text{час}$ . Правда, это снижало коэффициент полезного действия котла вследствие увеличения температуры уходящих газов при форсировке топki, но необходимость заставляла идти на это.

Повышение давления пара в судовых котлах проходило в жизнь с большими трудностями, так как сама конструкция котлов не позволяла этого делать без внесения существенных изменений. Применение перегрева пара после длительной экспериментальной разработки этого вопроса, а также после потребовавшегося доказательства безопасности применения в судовых машинах перегретого пара, позволило значительно улучшить работу паросиловых судовых установок, снизить расход пара и расход топлива. Следует подчеркнуть здесь особенно плодотворные изыскания по разработке



Фиг. 51. Коробчатый огнетрубный судовой котел (60—70-е годы XIX в.).

и применению пароперегрева в судовых паросиловых установках инженеров русского военного флота, стремившихся сделать его одним из самых сильных флотов.

В порядке дальнейшей интенсификации работы огнетрубных котлов получили широкое применение искусственная тяга (паровой фюрсун, дымососы, повышение давления в помещении котельной, дутье в герметически закрытый зольник), а также подогрев воздуха, впервые предложенный для судовых паросиловых установок в 1880 г. и подогрев питательной воды.

Конструктивно огнетрубные коробчатые котлы после 70-х годов XIX в. улучшились, но зато и усложнились (фиг. 51). Давление пара в них было увеличено до 3—4 ат. Появились новые типы коробчатых котлов: низкие котлы, котлы плоскодонные или мокродонные, имевшие большое распространение, ножные коробчатые котлы с несколькими топочными камерами, напоминавшими камеры паровозных котлов и, наконец, овальные котлы, позволившие увеличить давление пара до 6 ат. Все указанные выше конструкции огнетрубных судовых паровых котлов были принципиально одного типа,

котлами с оборотными дымогарными трубками. Правда, в одних из них, как например, в низких коробчатых котлах, пучок дымогарных труб располагался сбоку от топки (или топок, в том случае, если их было две-три). Это было сделано в соответствии с требованиями военного флота о размещении котлов и механизмов ниже ватерлинии. В других случаях пучок труб располагался также по горизонтали, но перпендикулярно оси топок. В этом случае в отличие от первого дымовая коробка, или иначе, газовая камера, была общей для всех пучков труб, в то время как в первом случае число газовых камер было соответственно равно числу топок.

Форма корпусов этих котлов, как правило, делалась прямоугольной, что являлось крупнейшим недостатком, сказывавшимся при термически неравномерных расширениях конструкции.

Мокродонные или плоскодонные судовые котлы, имевшие большее распространение в речном и озерном флотах нашей Родины, а также и на военных кораблях, были основным типом 50—70-х годов XIX в. Они представляли собой конструктивную форму, как бы слившуюся с формами судна. Только лишь в процессе упорной борьбы за уменьшение габаритов, а также решая задачи военного характера, можно было создать такие формы. В этих котлах также применен принцип включения в схему обратных дымогарных трубок, т. е. по существу — принцип комбинирования котлов с жаровой и дымогарными трубами. Дымогарные трубки располагались при этом над топкой — над жаровой трубой.

Что касается ножных коробчатых котлов, то они отличались от указанных выше мокродонных котлов тем, что кожух их стоял не на дне судна, а на специальных опорах — «ногах». Больше никаких конструктивных отличий между ними не имелось.

В результате стремления поднять давление пара все же появились овальные котлы. Идея устройства корпуса котла такой формы высказывалась еще в начале XIX в., однако осуществлена была она лишь в конце 70-х годов. Раньше не было нужды в такой форме, так как на паровых судах удовлетворялись тем давлением пара, которое существовало. В овальных котлах благодаря конструктивным их свойствам удалось поднять давление до 6 ат, что было на 2 ат, т. е. на 50%, выше существовавшего до этого времени давления 4 ат. Придание такой формы котлу позволило получить более эластичную конструкцию благодаря самой форме и уменьшению числа связанных болтов. По основным конструктивным признакам это также комбинированный котел с оборотными дымогарными трубками, расположенными над жаровыми трубками. Овальные котлы в русском паровом флоте имели очень небольшое распространение.

Отметим, что в некоторых случаях мокродонные огнетрубные котлы давали удельную паропроизводительность до 46 кг/м<sup>2</sup>час. В среднем она составляла 30—35 кг/м<sup>2</sup>час. Величина весового напряжения колосниковой решетки колебалась в пределах от 95 до 150 кг/м<sup>2</sup>час. Коэффициент полезного действия многих из названных котлов достигал 60%.

Котлы описанных выше конструкций получили довольно большое применение, однако после появления цилиндрических обо-

ротных и других комбинированных котлов они перестали строиться и сохранились лишь на работающих уже пароходах.

Цилиндрические оборотные котлы, начиная с 70-х годов прошлого века, приобрели доминирующее положение в паровом флоте. В России в значительном количестве они появились в 90-х годах, а их массовое строительство началось уже в нашем веке (1903—1905 гг.).

По статистическим данным 1927 г. в СССР на судах торгового речного, озерного и морского флота было около 4400 котлов различных типов. Среди них основное место занимали цилиндрические оборотные котлы в количестве около 3100 (около 70%). Следующей за ними большой группой были пролетные котлы (более 840), а затем паровозного и локомотивного типа (более 200 котлов). Значительное количество было вертикальных стоячих котлов, служивших в качестве вспомогательных при судовых механизмах.

Следует заметить, что группа цилиндрических оборотных котлов подразделялась на совершенно самостоятельные типы котлов: одно- и двухсторонние оборотные котлы с приставными огневыми коробками (кирпичными камерами) и оборотные котлы с полуприставными огневыми коробками (с кирпичной задней стенкой) и т. д.

Обилие систем и типов котлов в дореволюционном русском коммерческом, особенно в речном флоте, объясняется тем, что судостроение и судовое котлостроение было в руках частного капитала. Котлы строились без технического плана, без норм и значительное количество — кустарным способом.

Котлы оборотные и пролетные строились главным образом на судостроительных заводах (Невский, Северная верфь, Сормово, Николаевский, Балтийский и др.). Причем, одинарные одно- и двухтопочные котлы выпускались размером от 7 до 65 м<sup>2</sup> (однотопочные) и от 40 до 140 м<sup>2</sup> (двухтопочные); трех- и четырехтопочные котлы строились размером от 120 до 340 м<sup>2</sup>. Двухсторонние (четырёх- и шеститопочные) котлы имели размеры поверхности нагрева от 150 до 440 м<sup>2</sup>. Все эти котлы имели давление пара от 6 до 16 ат. Что касается пролетных котлов, то они строились в России как одно-, так и двухтопочные; размер поверхности нагрева их составлял от 7 до 150 м<sup>2</sup>. Рабочее давление пара — от 6 до 16 ат.

Цилиндрические оборотные котлы в дореволюционное время являлись ведущим типом котла в речном судостроении. Имели они также широкое применение и на морских судах. Они завоевали ведущее положение благодаря удобству их эксплуатации, простому уходу и несложному ремонту.

Первые экземпляры котлов этого типа были неудачны, однако в своей конструкции они несли возможность дальнейшего повышения давления, что все настойчивее требовалось развитием пароходства. Налаженное в 70-х годах XIX в. производство отличного котлостроительного материала — мягкой стали позволило эту задачу практически разрешить быстрее. Так, переход на мягкую сталь позволил повысить давление в котлах до 7 ат. Интересно отметить, что этот переход на лучший металл позволил снизить пробное давление вдвое и больше, чем это допускалось при применении железа.

а. следовательно, и понизить расход металла за счет уменьшения допускаемой толщины стенки котла.

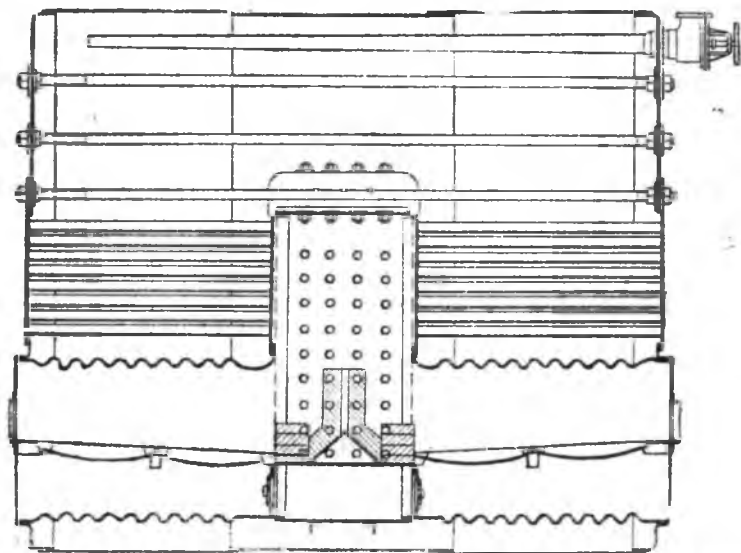
До 80-х годов XIX в. цилиндрические огнетрубные оборотные котлы не имели столь широкого применения, как это стало известно только позже, так как они по сравнению с коробчатыми котлами обладали большими габаритами, имели меньшее паровое пространство и выдавали более сырой пар. Однако коробчатые котлы допускали давление пара не более 4—5 ат. Поэтому переход на пар более высокого давления оказался возможным и был совершен лишь благодаря внедрению именно цилиндрических оборотных котлов.

Устройство оборотных котлов (см. фиг. 25) весьма просто. Цилиндрическая часть или корпус котла состоит из одной цельной или двух обечаек большого диаметра, внутри которых размещена система труб. В сравнительно короткой, но большого диаметра цилиндрической части расположена одна или несколько (до 3, иногда до 4) жаровых труб, либо гладких, либо волнистых, заканчивающихся газовой камерой. Диаметр и длина одинарных оборотных котлов почти равны между собой. Газовая камера может быть либо общей для всех труб, либо отдельной для каждой трубы. В последнем случае улучшается осмотр и ремонт ее. В дымовой коробке, или иначе в газовой камере, горячие газы делают поворот на 180° и омывают в своем дальнейшем движении внутреннюю поверхность дымогарных труб, отдавая здесь тепло конвекцией. После этого газы поступают либо непосредственно в дымовую трубу, либо, как это имеет место в новых современных конструкциях, в экономайзерную часть котельной установки, где расположен воздухоподогреватель, а иногда и водяной экономайзер (последний в случае установки воздухоподогревателя устанавливается редко). Каждая жаровая труба котла снабжена своей топкой. Жаровые трубы, в которых расположены топки котла, работают очень интенсивно, получая большое количество тепла за счет радиации слоя или факела, и выдают количество пара, составляющее до 45% от общей производительности котла. Колосниковая решетка обычно не доводится до конца трубы; в конце жаровой трубы устанавливается порог из кирпича, препятствующий попаданию топлива в газовую (или огневую) камеру. Кроме того, сужение прохода, получающееся при этом, способствует увеличению скорости газов при входе в камеру и лучшему их перемешиванию перед вступлением в дымогарные трубки котла.

Помимо одинарных цилиндрических оборотных котлов, большое применение получили также двойные котлы (фиг. 52). В данном случае произошло как бы сращивание двух обычных оборотных котлов, причем расположены они один по отношению к другому в виде зеркального отображения. Таким образом, камеры противоположных топок сопряжены своими задними стенками. Появление этих котлов было вызвано желанием увеличить мощность в одном агрегате, что имело существенное значение в первую очередь для военного, а также и для торгового флота.

В двойных котлах вес, приходящийся на единицу мощности машины, и габаритные размеры снизились по сравнению с одинар-

ными котлами. Получилось, таким образом, лучшее использование металла и увеличилась удельная паропроизводительность. Однако большой абсолютный вес этих котлов и большие размеры, связанные с увеличением мощности, явились недостатком, особенно дававшим себя знать при монтаже и ремонте. Кроме того, возможность дробности котельной мощности, весьма необходимая для маневренной работы военных и крупных торговых кораблей, была в этом случае затруднена из-за участия в установке в целом крупных единиц. В условиях одинарных оборотных котлов такого положения не было. В связи с этим более широкое распространение двойные котлы имели в торговом флоте.



Фиг. 52. Двойной цилиндрический оборотный судовый котел.

Паронапряжение поверхности нагрева в оборотных котлах, а следовательно, и общая производительность их несколько выше, чем у коробчатых котлов. Однако оборотные котлы работают обычно с невысокими напряжениями поверхности нагрева ( $\frac{D}{Hk} = 12 \div 20 \text{ кг/м}^2\text{час}$  и до  $25 \text{ кг/м}^2\text{час}$ ). Увеличение паросъема в этих котлах затрудняется возможностью появления местных перегревов поверхности нагрева и течи труб. Интересно, кстати, отметить, что в коробчатых котлах паронапряжение на протяжении более чем 50 лет сохранялось неизменным.

В оборотных цилиндрических котлах, как и в коробчатых, величина  $\frac{D}{Hk}$ , т. е. величина удельной паропроизводительности, не могла быть поднята без применения специальных форсирующих методов. Существовал некоторый «потолок» для данной конструкции, который обуславливался в основном недостаточно интенсивным отводом тепла водой от внешних поверхностей труб и принципом

организации работы газового потока. Попытки форсирования работы топки увеличением  $\frac{B}{A}$  и  $\frac{Q}{V m}$ , т. е. весового напряжения решетки и теплового напряжения топки, интенсификацией работы тяго-дутьевых устройств и т. д., неизбежно приводили к резкому увеличению температуры уходящих газов и, следовательно, к снижению коэффициента полезного действия котла при не столь уж заметном росте паропроизводительности. Применение реконструктивных мероприятий в виде, например, установки водяных экономайзеров не всегда было возможно по условиям габаритов.

Одним из мероприятий, позволивших повысить паропроизводительность указанных котлов, явилось шахматное расположение дымогарных труб в котлах, что давало некоторое увеличение поверхности нагрева.

Однако увеличение паропроизводительности котла, обусловленное ростом поверхности нагрева при таком расположении труб, находилось в противоречии с условием свободного выхода паровых пузырей в паровое пространство. Теперь найдено, что более правильным является соблюдение второго условия. Поэтому в современных наших котлах применяется только коридорное расположение труб, а также применяются иногда направляющие щиты и перегородки. По той же причине жаровые трубы располагаются асимметрично. В дальнейшем при комбинировании оборотного котла с водотрубным паропроизводительность удалось значительно увеличить, что произошло в основном за счет более эффективной работы водотрубной части.

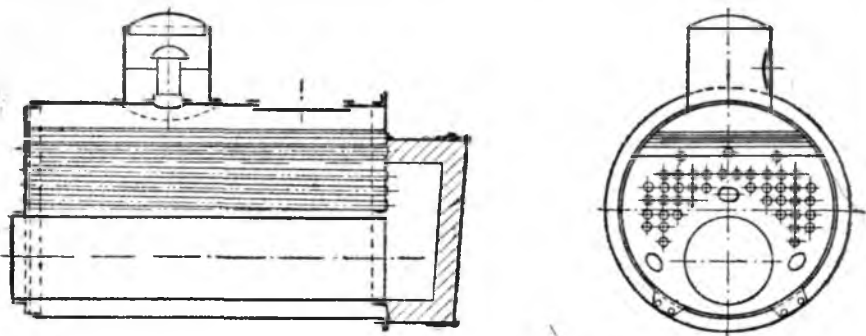
Интересно отметить, что предпринятое повышение давления в двойных цилиндрических оборотных котлах с 7 до 12 ат заставило пойти на снижение паронапряжения с 45—50 кг/м<sup>2</sup>час до 25—30 кг/м<sup>2</sup>час, т. е. на 40%. Это было необходимо сделать в связи с появлением течи швов и трубных стенок, возникающей при форсированной работе котла на более высоком давлении. Таким образом, несмотря на полученные в связи с переходом на цилиндрические формы благоприятные условия для повышения давления, появилось противоречие, вызванное наличием плоских поверхностей большого размера, подвергающихся значительным усилиям при возрастании давления и наличием больших диаметров котла, при которых внутренние давления в барабане грозят нарушением прочности швов вследствие искривления корпуса котла.

Это стало очевидным после опытов, проведенных в 90-х годах XIX в., которые дали представление об усилиях, возникающих в такого рода котлах под влиянием растущего давления и температур.

Было показано, что усилия, действующие на фронтальные стенки, всегда больше, чем усилия, действующие на противоположные стенки газовых коробок, и они приводят или к выпучиванию этих стенок, или к удлинению газовых коробок. Боковые стенки газовых камер, связанные болтами с корпусом котла, вызывают усилия, искривляющие корпус. Эти же усилия вдавливают стенки газовых камер внутрь. Получающиеся при этом напряжения приводят к указанным выше результатам.

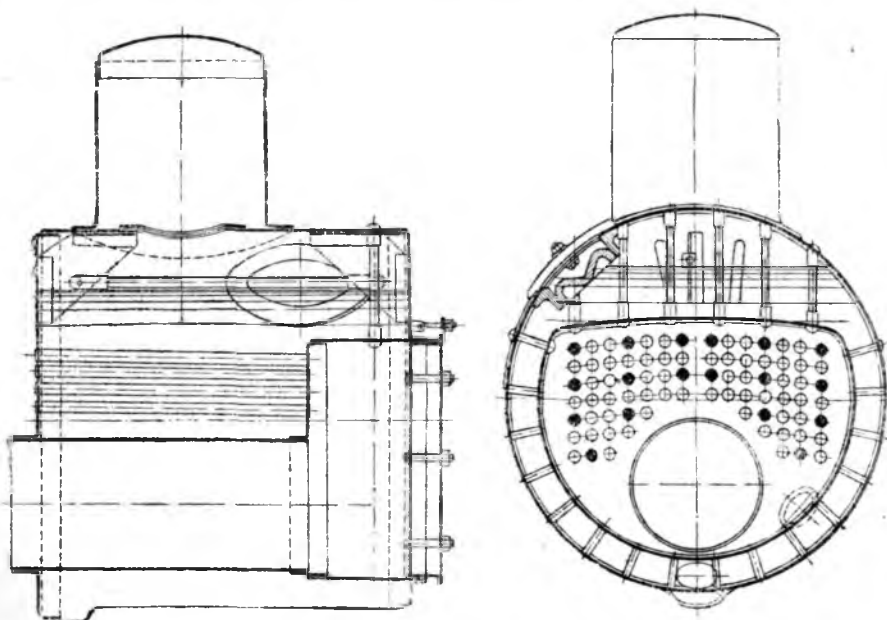


В речном судовом котлостроении дореволюционной России имели довольно большое распространение цилиндрические оборотные котлы



Фиг. 53. Цилиндрический оборотный котел с приставной огнезой (кирпичной) камерой.

с приставной (фиг. 53) и полуприставной топкой (фиг. 54). Оба типа котла широко начали строиться в России в 1905 г.; первый на Коломенском заводе и второй — на Сормовском. Конструкция этих котлов несколько отличается одна от другой. В первом случае — котел

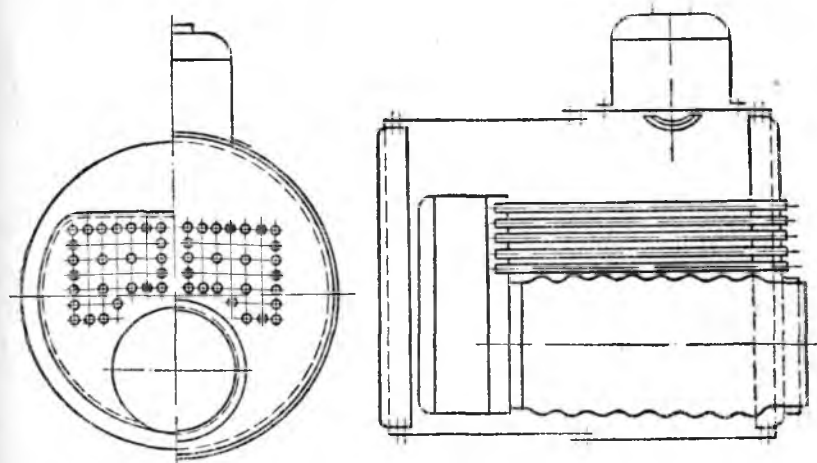


Фиг. 54. Цилиндрический оборотный котел с полуприставной топкой.

с приставной кирпичной огневой камерой. В корпусе котла, имевшем обычно размеры в длину от 1,5 до 2,2 м и диаметр до 1,4 м, во всю его длину размещена жаровая труба (или две диаметром 400—500 мм) и пучок дымогарных труб в количестве до 60—70 шт. Поворот газов

из жаровой трубы в дымогарные совершался в приставной (пристроенной к заднему днищу) кирпичной камере. Во второй конструкции, совершенно аналогичной оборотному котлу обычного типа, огневая камера делалась из котельного железа и размещалась внутри котла. Лишь задняя стенка ее изготовлялась из кирпича и монтировалась после установки котла в трюме судна. Размеры этих одно- и двухжаротрубных оборотных огнетрубных котлов были больше, чем размеры первых. Особое устройство названных котлов не вызывалось, очевидно, необходимостью, и появление их объясняется беспорядочностью в их производстве.

Оборотные огнетрубные котлы имеют большое распространение и сейчас. Они строятся нашими заводами судового котлостроения

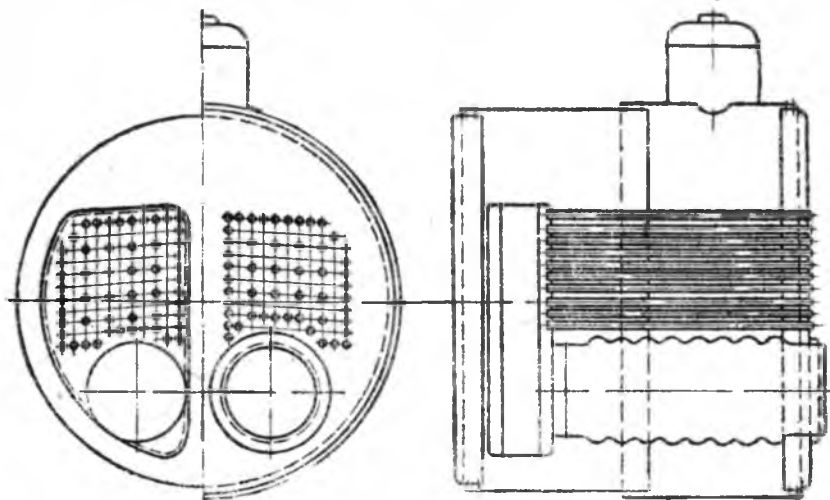


Фиг. 55. Советский сварной однопочный одинарный оборотный котел.

в большом количестве, но уже по совершенно определенному стандарту при соблюдении технических правил и норм. По нашим стандартам разрешается постройка котлов шести типов на давление 8, 10, 12, 14 и 16 ат. Типы котлов различаются по числу топков на одно-, двух- и трехжаротрубные, а также по наличию в котле сухопарника. Указанное выше давление не является пределом для данной конструкции наших оборотных цилиндрических котлов. Оно может быть доведено до 20 ат. Пар в этих котлах вырабатывается как насыщенный, так и перегретый. Пароперегреватель устанавливается за котлом. Однопочные советские котлы строятся с размером поверхности нагрева от 20 до 75 м<sup>2</sup>, двухпочные — от 55 до 185 м<sup>2</sup> и трехпочные — от 140 до 280 м<sup>2</sup>. Максимальная поверхность нагрева котла установлена, таким образом, равной 280 м<sup>2</sup>.

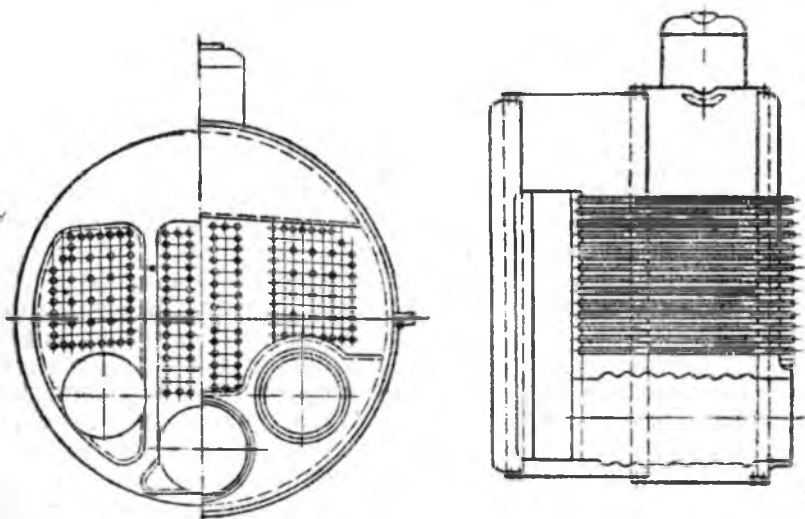
Конструкция оборотного котла обуславливает его громоздкость и большой вес. В советском котлостроении в целях снижения металлоемкости котла созданы образцовые сварные оборотные котлы (фиг. 55—57), показавшие значительное снижение веса, а также другие технические и эксплуатационные преимущества.

Цилиндрические оборотные котлы хорошо удерживают давление пара при переменном режиме нагрузки котла. Такая устойчивость



Фиг. 56. Советский сварной двухтопочный одинарный оборотный котел.

давления достигается за счет большого водосодержания котла и значительного парового объема, что позволяет получать в этих кот-



Фиг. 57. Советский сварной трехтопочный одинарный оборотный котел.

лах пар с влажностью не выше 3—4%. Котлы надежны в работе, долговечны и уход за ними прост. Вместе с этим здесь допустимо питание котлов водой значительной жесткости. Наконец, значитель-

ным эксплуатационным преимуществом этих котлов является возможность заглушки аварийных дымогарных трубок без остановки котла.

Несмотря на указанные достоинства, котлы этого типа имеют ряд серьезных недостатков. Так, в них нельзя повышать давление выше 20 ат. Котлы отличаются большим весом и большими размерами при относительно невысокой паропроизводительности. Конструкция котла очень жестка.

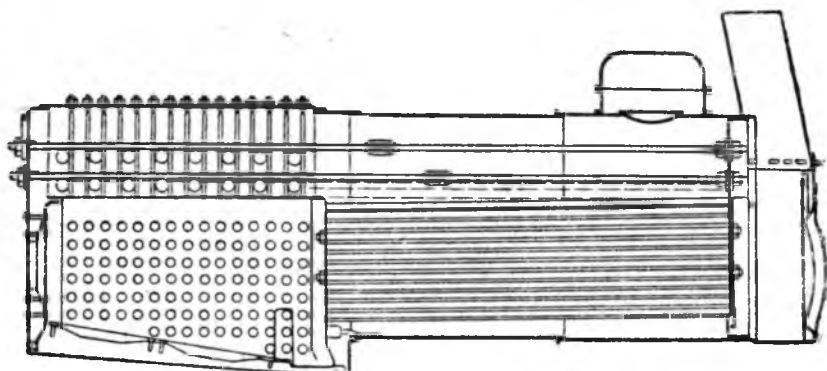
Работа над устранением этих недостатков вызвала к жизни комбинации огнетрубных котлов с водотрубными и привела к усиленному переходу к чистым водотрубным конструкциям.

Как было сказано выше, второй по величине группой в русском судовом котлостроении дореволюционного периода являлись пролетные котлы. Такого же рода конструкция была приведена выше при рассмотрении комбинированных жаротрубно-дымогарных котлов типа Ферберна (фиг. 21), имевших известное распространение в России в конце прошлого и начале нынешнего века. Пролетные котлы в судостроении появились в период 70—80-х годов прошлого века и на русских судах усиленно стали устанавливаться одновременно с цилиндрическими оборотными котлами. Они устанавливались, в основном, на речных пароходах в отличие от первых, применявшихся главным образом в морском судостроении. Объясняется это тем обстоятельством, что пролетные котлы для нормальной эксплуатации требуют длинной котельной. Для них высота роли не играет. Пролетные котлы, имея значительную длину до 6,5—7,0 м, требовали свободного пространства перед фронтом котла размером не менее 2—2,5 м, необходимого для обслуживания топки, и пространства сзади котла, необходимого для смены дымогарных труб. В речных пароходах с малой осадкой трудно было рассчитывать на создание большой высоты котельного помещения, что же касается его длины, то здесь не было непреложных ограничений. Поэтому пролетные котлы в речных судах получили большое распространение. Цилиндрические же оборотные котлы, имеющие большой диаметр и малую длину, нашли максимальное применение в судах с большой осадкой, т. е. в морских.

В России были созданы собственные типы пролетных котлов на Сормовском, Коломенском и других заводах речного судостроения. Пролетный котел по сравнению с оборотным имеет относительно меньший диаметр и значительно большую длину. Его корпус состоит из 3—5 обечаек диаметром до 3,3 м. В корпусе размещается от одной до трех жаровых труб диаметром от 800 до 1150 мм. заканчивающихся огневой коробкой. Из трубной стенки этой огневой коробки выходит пучок дымогарных труб диаметром 50/46 и 82,5/75 мм. Число этих труб достигает 350. Пролетные котлы строились размером поверхности нагрева от 10 до 300 м<sup>2</sup>. В настоящее время пролетные котлы работают на речных судах и продолжают пока строиться. Для них также введен стандарт. Они строятся как однотопочные с поверхностью нагрева от 30 до 120 м<sup>2</sup> при диаметре котла от 1,3 до 2,2 м и длине его от 3,3 до 6,3 м. Длина дымогарных трубок — от 800 до 1200 мм. Строятся также и трехтопочные пролетные котлы с поверх-

ностью нагрева от 150 до 200 м<sup>2</sup> при диаметре котла до 3,25 м и его длине до 6,2 м. Рабочее давление в них так же, как и в оборотных котлах, установлено 8, 10, 12, 14 и 16 ат и может быть доведено до 20 ат. Однако в последнем случае, как и в оборотных котлах, при форсировках толчки часто появляются течи труб и швов котла. Общая паропроизводительность пролетных котлов лежит в пределах от 0,8 до 5,5 т/час при удельном паронапряжении 18—25 кг/м<sup>2</sup>час. Коэффициент полезного действия котла обычно составляет 0,65—0,70, как в оборотных, но при наличии пароперегревателя и воздухоподогревателя достигает 0,8 (80%).

Заметим, что в пролетных котлах, и особенно в паровозных, можно разместить одну и ту же поверхность нагрева при значительно меньшем диаметре цилиндрической части, чем в оборотном котле.



Фиг. 58. Судовой котел локомотивного типа.

Так, например, в пролетном котле поверхность нагрева 170 м<sup>2</sup> можно разместить при диаметре цилиндрической части 2,8 м, в то время как в одинарном оборотном котле необходимо было бы иметь диаметр около 4 м. При этом, правда, длина котла возрастает довольно сильно. Однако первое обстоятельство сильно прельщало и привело к распространению пролетных котлов.

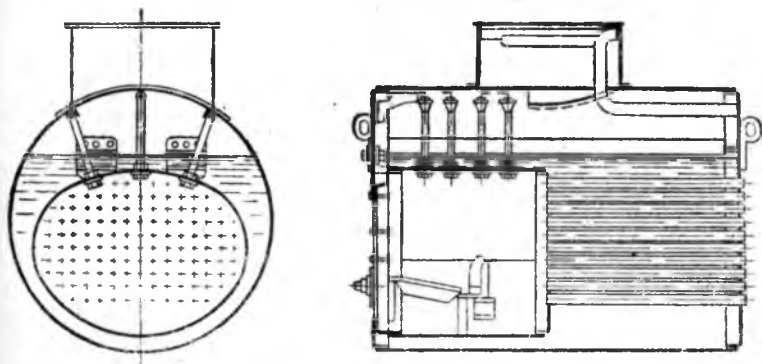
Интересно заметить, что иностранные фирмы, поставлявшие пролетные котлы для некоторых речных пароходов старой России, тщательно старались снабдить нашу страну пролетными котлами самых разнообразных размеров и внешних форм, доводя порой последнюю до абсурда. Например, на реке Амур были пароходы с котлами, похожими на два усеченных конуса, составленных основаниями.

Наряду с указанным основным типом пролетного судового котла в нашем судостроении имели большое распространение похожие на них котлы локомотивного типа. Локомотивный или паровозный котел (фиг. 58) представляет собой тот же пролетный котел, но не с цилиндрической, а с коробчатой топкой. По своему устройству и размерам эти котлы представляют полную аналогию ранее описанным (гл. III) паровозным котлам. Необходимо лишь отметить, что в некоторых случаях можно встретить конструктивную раз-

ницу, состоящую в том, что, например, в мокродонных локомотивных котлах низ топки не был открытым, как в паровозе, а с закрытым подом, состоящим из внутренней и внешней стенок, скрепленных связными болтами. Между этими стенками циркулировала котловая вода.

В целях увеличения производительности, так же как и на паровозах, применялись на судах локомотивные котлы с циркуляционными трубами, которые соединяли под топку с потолком, конически расширяясь снизу вверх. Это устройство, правда, дало возможность увеличить производительность котла, вернее, его топочной поверхности нагрева, однако оно одновременно увеличило вес котла, сильно усложнило ремонт топки и принесло трудности из-за частой течи в местах соединения циркуляционных труб с потолком и днищем (подом) топки.

Следует заметить, что паровозный котел, работая в судовых условиях, не сохранял своего основного качества — высокой (до



Фиг. 59. Катерный котел.

70—80  $\text{кг}/\text{м}^2\text{час}$ ) удельной паропроизводительности, которая достигалась высокой форсировкой топки под действием конусной тяги в паровозе. Поэтому еще до революции эти котлы перестали широко применяться в судостроении. И только там, где была налицо весьма большая трудность с площадью для установки котла (например, глоскодонные речные и озерные суда), шли на установку паровозных или локомобильных котлов, представляющих собой конструкцию, аналогичную стационарным локомотивам.

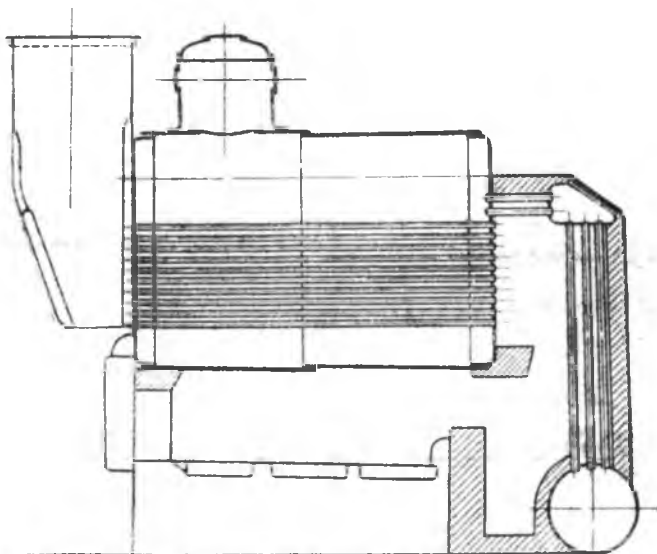
Наконец, следует отметить, что довольно большое применение в условиях небольших судов имели так называемые катерные котлы (фиг. 59), которые по существу представляют собой укороченный пролетный котел с цилиндрической топкой.

В настоящее время такие котлы не изготавливаются, так как для небольших судов создан и широко введен новый тип двигателя — двигатель внутреннего сгорания.

Наконец, в заключение описания огнетрубных котлов рассмотрим комбинированные огневодотрубные котлы, появившиеся в русском речном и морском флоте уже после 1905 г.

Комбинированные огне-водотрубные котлы в русском судовом котлостроении имели очень малое применение, и здесь приводятся лишь некоторые из таких конструкций в связи с интересом, который они представляют с точки зрения дальнейшей эволюции огнетрубного котлостроения.

Комбинированные огне-водотрубные котлы появились как одна из конструктивных форм, которая, сопутствуя развитию водотрубных и огнетрубных котлов, в известной мере совмещала принципиальные особенности той и другой и имела целью уменьшение известных недостатков оборотных котлов и увеличение коэффициента полезного действия котла.



Фиг. 60. Огне-водотрубный котел системы Ладыженского.

Комбинированный котел Ладыженского (фиг. 60) представляет собой комбинацию огнетрубного и водотрубного котлов, размещенную в одной обмуровке, причем, водотрубная часть вынесена в хвостовую часть котла и служит в основном целям побуждения циркуляции. По внешнему виду котел Ладыженского напоминает комбинированные котлы стационарного типа. В котле — очень тяжелая обмуровка. Организация работы газового потока в этом котле довольно проста. Газы, покидая топку, омывают пучок кипяtilьных труб, смонтированный в кирпичную огнеую камеру, и отсюда поступают в пучок дымогарных труб. Котел Ладыженского неудачен в конструктивном и эксплуатационном отношении и имеет небольшое распространение. Что касается других огне-водотрубных котлов, то следует указать, что они по существу являются комбинацией жаротрубно-дымогарных котлов. Комбинированные огне-водотрубные и жаротрубно-дымогарные котлы в нашем отечественном судостроении большого распространения не получили: их установлено всего несколько десятков штук.

В комбинированных огне-водотрубных котлах ряд недостатков. свойственных огнетрубным котлам, а именно жесткость, плохое использование тепла, невозможность ведения форсировки и т. д., достаточно сильно смягчен. В них получены меньшие весовые показатели, увеличена интензивность парообразования. Однако наряду с этим приобретены ухудшенные эксплуатационные показатели, например, чувствительность к качеству питательной воды, затруднительная чистка кипяtilьных труб и т. п.

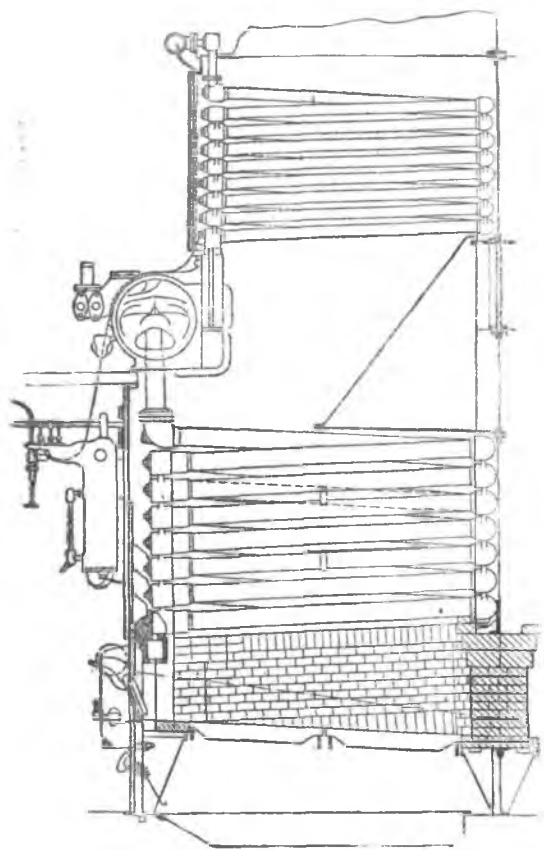
Перейдем теперь к рассмотрению судовых водотрубных котлов. Это чрезвычайно большой класс котлов. В него входят сотни различных типов и систем, и поэтому подробное рассмотрение его чрезвычайно затруднительно, да и не имеет смысла, так как все многообразие водотрубных судовых котлов может быть с достаточно хорошим обобщением приведено к ряду типов и групп, объединенных общими конструктивными признаками. Ниже будет приведено описание судовых горизонтально-водотрубных (с малым подъемом кипяtilьных труб) котлов и вертикально-водотрубных котлов, т. е. котлов с большим углом наклона труб к горизонту.

Как известно, идея постройки водотрубных котлов для пароходов возникла очень давно. Еще в 1793 г., т. е. более 155 лет назад, был создан водотрубный котел, напоминавший по своему внешнему виду ящик кубической формы. Котел этот имел небольшую поверхность нагрева, состоял из 20—25 трубок малого диаметра, соединяющих два целевых пространства котла, т. е. две его водяные камеры. До 60-х годов XIX в. в эксплуатации на судах парового флота находились лишь примитивные водотрубные котлы. Это были очень далекие от современных представлений конструкции водотрубных котлов. В них не было никаких барабанов, и кипяtilьные трубки их были очень коротки. Все эти котлы скорее всего можно назвать коробчатыми с вставкой в них (во втором ходе) кипяtilьного водотрубного пучка с вертикальным расположением трубок. Эксплуатационные наблюдения за работой упомянутых водотрубных котлов показали, что в них плохо была организована циркуляция воды, и котлы работали вяло при слабом парообразовании и невысоком к. п. д.

Одним из первых типов судовых водотрубных котлов были так называемые прямоточные котлы. Испытание первых котлов этого типа окончилось неудачей и конструкция их в дальнейшем была изменена. Первые конструкции котлов представляли собой топку со стенками, состоящими из железных труб (топочный экран). Над этой сильно экранированной топкой была расположена конвективная часть, которая заканчивалась сборным паровым коллектором небольшого сечения. Внизу под экранами вдоль боковых стенок топки были расположены два водяных коллектора, из которых вода поступала в вертикальные трубы, расположенные по боковым стенкам топки (радиационная часть), а оттуда — в конвективную часть, расположенную над топкой. Полное превращение воды в пар происходило в этой последней части. Сепарация пара происходила в общем для нескольких котлов вертикальным сепараторе большого объема, вынесенном за обмуровку котла. Сепаратор в нижней своей части был соединен с водяными коллекторами. При падении уровня воды в котле вода в последний



всегда могла поступать из сепаратора. Сильно экранированная топка и хорошее омывание газами конвективной части обусловили возможность получения в этом котле довольно высокой удельной паропроизводительности и сниженного расхода топлива. В первых котлах кипяtilьные трубки были чугунными и только лишь впоследствии заменены железными, сваренными внахлестку.



Фиг. 61. Судовой водотрубный прямоточный котел.

К 1896 г. котлы этого типа получили широкое распространение во флотах ряда морских держав, в том числе и России. В связи с тем, что в военноморском флоте России этот тип котла широко применялся, а также строился на наших заводах, приводится достаточно полное его описание.

Усовершенствованный нашими заводами котел этого типа (фиг. 61) имел большой верхний паровой коллектор и состоял из кипяtilьных трубок, грязевика и чугунных соединительных коробок. Диаметр кипяtilьных трубок для улучшения циркуляции был увеличен до 100 мм, в ранних конструкциях он был равен 70 мм. Питание котла происходило в нижнюю часть парового коллектора или верхнего барабана. Из верхнего барабана вода поступала по циркуляционной трубе в грязевик (дежектор), а из него — в кипяtilьные трубки.

Котлы прямоточного типа были и абсолютно и относительно дороже цилиндрических оборотных и прелетных котлов. Однако ремонт их благодаря стандартности деталей и меньшим, чем у оборотных котлов, размерам, был проще.

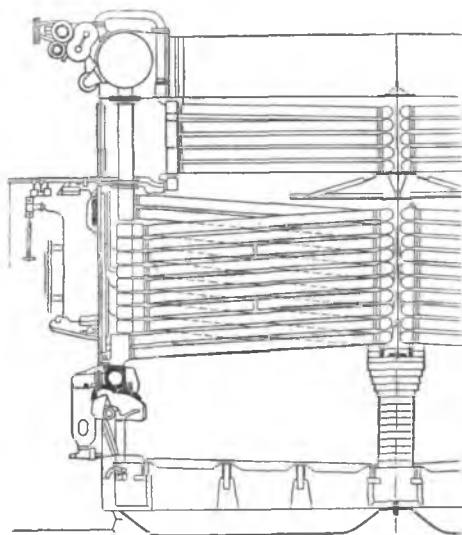
Водосодержание котлов этого типа сильно уменьшилось по сравнению с водосодержанием цилиндрических оборотных котлов, что значительно сократило время их растопки. Однако снижение водосодержания котла вызвало необходимость очень внимательного ухода за его питанием. Благодаря этому впервые появились автоматы питания водой. Недостатком описываемого типа котлов

было также небольшое по размерам точное пространство, что обуславливало значительные потери от химического недожога. В целях улучшения коэффициента полезного действия котла применялось мало эффективное дутье под решетку сжатого воздуха.

В некоторых случаях над котлом устанавливались экономайзер и пароперегреватель однопотной с котлом конструкции.

Давление пара в прямоточных котлах на военных судах в 90-е годы находилось в пределах 12—16 ат, что превышало давления, применявшиеся в стационарных паросиловых установках того времени.

Относительно хорошие качества котлов описанного типа, к которым следует отнести возможность стандартизации всех деталей котла, обладающих относительно малыми весами и размерами, довольно высокую удельную паропроизводительность котла, быструю разводку паров благодаря небольшому водосодержанию, легкую сборку и разборку и, наконец, небольшой вес котлов, приходящийся на 1 м. с. (качество, весьма важное для кораблей и особенно для военных), привели к довольно большому их распространению. Так в 1900 г. на военных судах русского военно-морского флота было установлено 227 котлов на 100 000 л. с. Поверхность нагрева отдельных котлов составляла от 5—7 до 100 м<sup>2</sup>. Экономайзерная поверхность была равна 40—50% от котельной поверхности нагрева.



Фиг. 62. Судовой водотрубный котел В. Я. Долголенко.

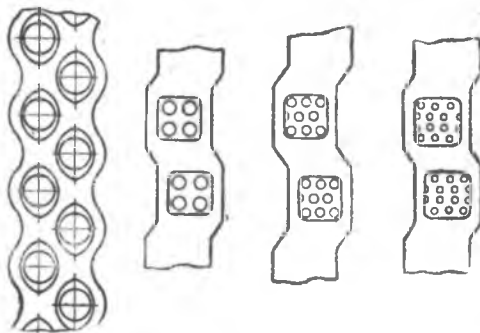
В 1907 г. был запатентован котел русского инженера В. Я. Долголенко, который имел некоторое конструктивное сходство с описанным выше прямоточным котлом, однако отличался от последнего оригинальным и весьма интересным устройством, усиливающим циркуляцию воды в котле. В котле В. Я. Долголенко число поворотов труб, а следовательно, и путь движения воды были сокращены почти вдвое — в 1,75 раза. Это сильно снизило гидравлические сопротивления системы труб, улучшило работу котла и позволило сильно повысить форсировку топки и парового котла в целом, что имело исключительное большое значение для условий военного флота.

Котел Долголенко (фиг. 62) отличался также еще тем, что в нем достаточно высоко был поднят верхний барабан, что увеличило гидравлический статический напор и позволило удобно разместить экономайзерную часть. Таким образом эта оригинальная отечественная конструкция значительно опередила предшест-

вующую по всем техническим, эксплуатационным и тактическим показателям.

Вскоре после появления прямоточных судовых котлов указанного выше типа появились одно- и двухкамерные горизонтально-водотрубные котлы, т. е. котлы с малым подъемом кипяtilьных труб. Котлов этого типа было очень большое количество конструкций, однако далеко не все они получили применение в русском военно-морском и коммерческом флоте.

Камерные водотрубные котлы, несмотря на ряд преимуществ перед огнетрубными, не имели широкого применения на паровых судах. Наоборот, довольно широко применялись и применяются до сих пор огнетрубные котлы. Значительно большее распространение и развитие получили секционные водотрубные котлы.



Фиг. 63. Коллекторы секционных горизонтально-водотрубных котлов.

Горизонтально-водотрубные секционные котлы получили весьма широкое развитие, и одна из конструкций их, наиболее широко распространенная в морском флоте, получила название «морских котлов». Секционный котел морского типа состоит из верхнего барабана, расположенного вдоль фронта котла, и ряда отдельных секций, присоединяемых к нему с двух концов (фиг. 64). Каждая секция состоит из ряда кипяtilьных труб диаметром от 25 до 102 мм, входящих своими концами в специальные штампованные коробки — коллекторы (фиг. 63). Число рядов кипяtilьных труб в каждой такой секции от 9 до 16, причем нижние один-два ряда обыкновенно делаются из труб большего диаметра (102 мм), чем все последующие. В морских секционных котлах диаметр кипяtilьных труб, начиная с 3-го ряда и выше, берется обычно равным 25—32 мм. Кипяtilьные трубы ввальцовываются в сделанные для этого отверстия в стенках коллекторов. С противоположной стороны коллектора имеется такое же отверстие, закрываемое люком и служащее для ремонтных и монтажных целей. От каждого из коллекторов отходит одна, иногда две трубки, соединяющие секцию с водяным и паровым пространствами барабана.

В секционном горизонтально-водотрубном котле нормального типа соединительные трубки входят в нижнюю часть барабана, т. е. в водяной объем котла. Причем, задняя трубка (водоподводящая)

исходит от заднего конца барабана, а передняя (пароотводящая) — от фронтального или переднего конца барабана. В котле морского типа верхний барабан, как сказано, расположен не вдоль оси котла, как в котле нормального типа, а поперек ее. Наклон труб также иной — они наклонены в другую сторону. Поэтому передние соединительные патрубки в этом случае служат водоподводящими трубами, а задние трубы — пароотводящими. Число секций в котлах этого типа может быть очень большим, особенно в морских котлах, где это число ограничивается лишь принятой длиной барабана. Число секций и коллекторов зависит в основном от размеров избираемой поверхности нагрева котла. Форма коллекторов (фиг. 63) своеобразная, волнистая, созданная для возможности удобного расположения кипяtilьных труб в шахматном порядке. Оно способствует также максимальному развитию поверхности нагрева.

В целях получения более сухого пара в морских секционных котлах пароотводящие трубы вводятся обычно почти под самый уровень воды в барабане. Для этой же цели в последнем устанавливаются отбойные листы. Сверху же на барабане даже в судовых условиях часто устанавливаются паросушители — сухопарники. Правда, наличие паросушителя значительно утяжеляет котел и поэтому в последнее время после создания удовлетворительных внутрикотловых паросепарационных устройств они не ставятся. Так же как и в других горизонтально-водотрубных котлах, наиболее активной в смысле производительности пара является поверхность нагрева нижних двух-трех рядов кипяtilьных труб, перекрывающих топку. В этих рядах труб происходит наибольшее увеличение объема пароводяной смеси за счет большего содержания в ней пара, поэтому, как уже выше сказано, в этой части берутся трубки несколько большего диаметра, чем остальные. Этим обеспечивается более надежная циркуляция во всей системе труб.

В описываемых котлах в целях получения более высокого коэффициента полезного действия котла и более полного использования теплоты газов была изменена конфигурация и число газоходов. Подробно об этом сказано в главе V. Для удлинения пути газов в трубчатом пучке были созданы несколько газоходов. Однако это в судовых условиях встречается очень редко. В стационарных же условиях имеются двух- и трехходовые морские секционные котлы. Увеличение числа газоходов привело к сужению сечения последних, увеличению скорости прохода по ним газов, чем был увеличен коэффициент теплоотдачи от газов к стенкам труб, а также удлинен путь газов. В то же время движению потока газов было придано такое направление, при котором они омывали трубки котла в перпендикулярном движению воды направлении. Ясно, что без таких направляющих перегородок поток газов энергично отдавал тепло лишь части труб, расположенных над топкой, верхние же ряды труб и концы труб, расположенные за контуром потока газов, обогревались бы хуже.

Однако в процессе развития этого типа котла произошли существенные изменения принципа организации газового тракта. Постановка перегородок была вызвана стремлением удлинить путь движения газов по котлу и более глубоко их охладить, что предпри-

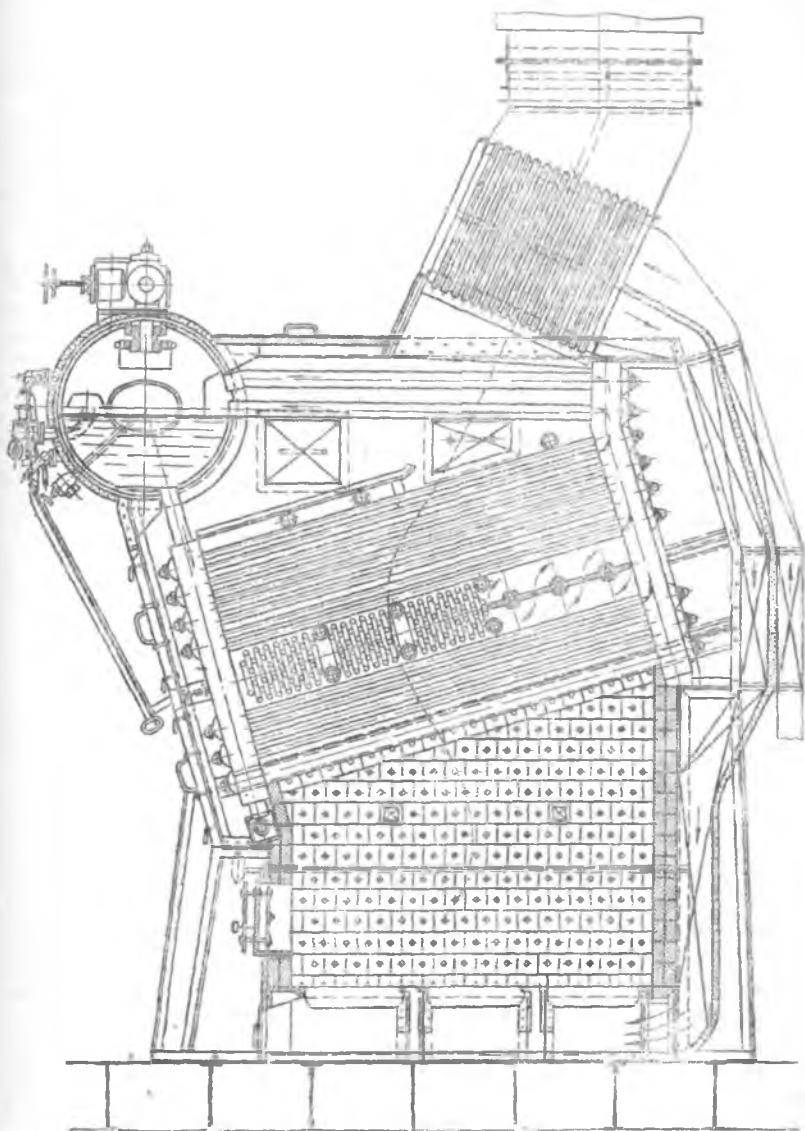
деляет, однако, увеличение сопротивлений вследствие неоднократного поворота потока газов и сужения сечений газоходов. Это было еще терпимо при постановке по всем рядам труб большого диаметра (102 мм). Но как только был совершен переход на трубки меньшего калибра (25 и 32 мм), что произошло под влиянием результатов исследований, показавших значительную эффективность этого мероприятия с точки зрения улучшения теплопередачи, от принятой организации газового тракта пришлось отказаться. В современных конструкциях судовых секционных котлов перегородки не ставятся. Газы свободно проходят по прямому газоходу вверх. Постановка труб мелкого калибра с тесным их расположением (малый шаг) обуславливает при тех же количествах газа увеличение скорости газового потока, а это оказывает серьезное влияние на интенсивность теплопередачи. При установке труб небольшого диаметра устройство нескольких газоходов в котле путем постановки перегородок вызвало бы очень большие сопротивления движению газов и увеличило бы расходы на производство тяги.

Морские секционные котлы описанного выше типа получили большое распространение в морских флотах разных стран и постепенно улучшались. В России они начали строиться в 1891 г. на теперешнем Ленинградском металлическом заводе. Однако их основную часть, т. е. штампованные фасонные секции (коллектора), необходимо было покупать у фирмы, которая долгое время сохраняла секрет изготовления таких камер. Производство этих камер было налажено у нас лишь в послереволюционное время. В связи с этим котлы этого типа в нашем судостроении большого распространения не получили.

Большое применение и значительные качественные улучшения эти котлы получили в условиях стационарной работы на электростанциях. Котлы этого типа были основными агрегатами строящихся мощных электростанций. Конструкция этих котлов помимо возможности широкого развития поверхности нагрева в единичном агрегате позволила без коренных изменений ее резко увеличить параметры пара.

Один из современных морских секционных котлов (фиг. 64) по своим внешним признакам не отличается от предшествовавших ему ранних образцов, но более компактен. Верхний барабан или паровой коллектор котла обычно имеет диаметр 1000—1300 мм. В данном случае он имеет 1050 мм. Число рядов труб по вертикали бывает от 9 до 16 в зависимости от величины поверхности нагрева. Иногда число рядов труб по вертикали бывает и больше, например, в некоторых экспресс-котлах. Наиболее часто применяемый диаметр кипяtilьных труб — 32 и 50 мм. Нижние один-два ряда, как правило, имеют диаметр 102 мм. Кипяtilьные трубы диаметром 50 мм ставятся пучком по 4 шт., а диаметром 32 мм — по 9 шт. На каждый пучок имеется один люк. При постановке же труб еще более мелкого калибра (25 мм), что бывает реже, число труб в пучке составляет 14 (фиг. 63). Таким образом, в одном вертикальном ряду при 9—16 рядах может быть от 126 до 224 труб.

Уменьшение диаметра кипяtilьных трубок значительно улучшило теплопередачу в конвективном пучке, позволило резко увеличить



Фиг. 64. Секционный горизонтально-водотрубный котел  
морского типа.

поверхность нагрева пучка, не изменяя его общих габаритов, снизила металлоемкость котла и оказало заметное влияние на сокращение габаритов судовой котельной установки.

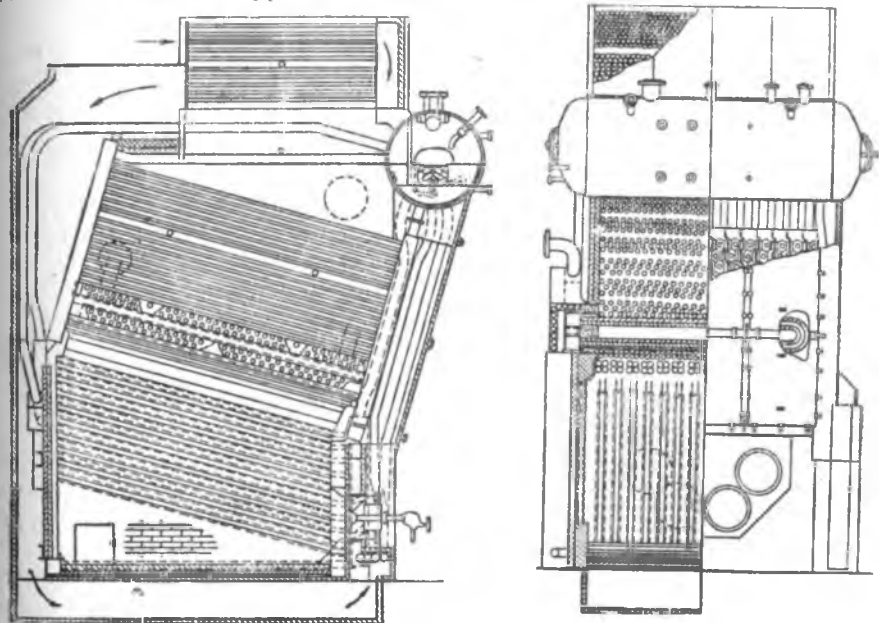
Кипятильные трубы в секционных горизонтально-водотрубных котлах имеют длину, обычно, 2—2,5 м и ставятся под углом 15—25° к горизонту для улучшения работы внутрикотлового тракта, т. е. для улучшения циркуляции. С этой же целью пучок кипятильных труб разделен на два. В прежних конструкциях пучок труб был сплошным, и в силу условий обогрева его газами и неравномерности температур по сечению пучка в трубах возникали скорости воды различных величин и направлений. Вместе с этим в некоторых рядах труб появлялся застой воды и образовывались паровые пузыри, которые вследствие отсутствия движения образовывали у верхней образующей трубы паровую пленку. Эта пленка, являясь препятствием для интенсивного отвода тепла внутрь трубы (к воде), была причиной перегрева и пережога металлической стенки трубы. Рассечение пучка на два позволило ликвидировать этот недостаток и в значительной мере улучшить работу пучка в целом. В дальнейшем в пространство между двумя пучками труб был помещен пароперегреватель из труб диаметром, обычно равным 32 мм. Такое его размещение позволило поднять температуру перегрева пара и поддерживать ее на должном уровне, причем это не потребовало увеличения поверхности нагрева пароперегревателя, а, наоборот, в некоторых случаях привело к ее сокращению.

Секционный морской котел современного образца, приспособленный для работы на дровах (фиг. 64), имеет поверхность нагрева 125 м<sup>2</sup> и снабжен пароперегревателем из труб диаметром 38/32 мм. Поверхность нагрева перегревателя — 42 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева установленного над котлом трубчатого воздухоподогревателя — 50 м<sup>2</sup>, диаметр труб его — 44,5/40 мм. В котле — 12 секций, объединяющих 13 рядов труб по вертикали. В каждом ряду имеется по 4 трубы диаметром 52/46 мм. Нижний ряд труб взят диаметром 102/94,5 мм.

В заключение отметим, что в нашем флоте недавно появились секционные котлы нового типа (фиг. 65). Основным их отличием является сильно экранированная топка. Экраны установлены по боковым и задней стенкам топки почти на всей ее высоте. Пароперегреватель расположен внутри кипятильного пучка, близко к топке. Над котлом расположен воздухоподогреватель. В этом котле верхний пучок составлен из труб диаметром 32 мм по 9 шт. в группе; два ближайших к топке ряда труб имеют диаметр 51 мм. Над вторым рядом труб расположен пароперегреватель. Топка экранирована 12 рядами труб диаметром 102 мм. Трубы экрана расположены параллельно основному пучку. К экранным трубам приварены шпильки, образующие ребра. Зубчатая форма ребер сделана для удобства футеровки стенок топки. Воздухоподогреватель, расположенный над котлом, сделан из трубок диаметром 45/40 мм. Горячий воздух подводится к топке через пространство между обмуровкой котла и его кожухом по своеобразной воздушной рубашке, что позволяет уменьшить потери тепла в окружающую среду.

Секционные горизонтально-водотрубные котлы по своим показателям (весовые характеристики, металлоемкость, удельное паронапряжение) и по эксплуатационным качествам занимают промежуточное положение между огнетрубными и вертикально-водотрубными котлами шатрового типа, так называемыми треугольными котлами.

Наряду с секционными и камерными горизонтально-водотрубными котлами в отечественном речном и, главным образом, морском флоте имели некоторое распространение горизонтально-водотрубные однокамерные котлы, у которых кипяточные трубы заделывались в камеру сдвиг концом.



Фиг. 65. Секционный горизонтально-водотрубный котел морского типа с экранированной топкой.

Второй конец этих труб — глухой. Внутри трубы большого диаметра имеется циркуляционная труба, создающая своеобразную внутритрубную циркуляцию. Предлагалось, что в данном случае произойдет улучшение циркуляции, а следовательно, как ошибочно считали, и увеличение производительности парового котла. Однако в котлах этой системы выявился ряд очень серьезных недостатков: большая аварийность по циркуляции, утяжеление веса трубчатой части котла почти вдвое за счет веса внутренних труб и др. Котлы указанного типа были быстро сняты с производства.

Полученный в разработке конструкции судовых секционных котлов опыт по стандартизации деталей и их взаимозаменяемости и по созданию легко монтируемых и разбираемых конструкций был широко использован в последующем развитии судового котлостроения.



Вертикально-водотрубные судовые котлы с момента своего появления приобрели особую форму. Они строились в виде шатра, или треугольника, чем было выражено основное стремление наиболее рационально вписать котел в габариты судна, т. е. так, чтобы разместить в трюме корабля максимально возможную поверхность нагрева. Наряду с этим шатровые котлы появились в процессе искания таких конструктивных форм, которые отвечали бы другому важнейшему требованию особенно для военного флота — быстрой разводке паров. Это имело весьма существенное военно-тактическое значение.

В конструктивном отношении представляют интерес треугольные котлы, появившиеся впервые в русском морском флоте в 1886 г. Они строились в нескольких видах, но наиболее интересной была конструкция, имевшая три нижних и один верхний барабан. Два нижних боковых барабана имели меньший диаметр. Гибы основного кипяточного пучка в этом котле способствовали хорошей организации движения в них паро-водяной смеси. В первых конструкциях этих котлов кипяточные трубки верхними концами вводили не в водяное, а в паровое пространство барабана, что способствовало улучшению качества пара, так как при этом исключалось явление вскипания воды под действием струи пара.

В дальнейшем в этих котлах было внесено конструктивное изменение. Боковые нижние коллекторы для соединения их со средним нижним барабаном загибались под прямым углом сзади котла. Внешние ряды трубок, исходящие из боковых коллекторов, расположены были впритык одна к другой и образовывали, таким образом, «холодную» стенку или боковые экраны котла, вернее — топки. Задняя стенка топки выкладывалась кирпичом. Таким образом в котле создано было два топочных пространства с боковыми активно работающими экранами. Внутренние трубы основного пучка работали как опускная холодная часть. Циркуляция в этом котле, таким образом, была организована очень хорошо.

В котлах треугольного типа имелся весьма тяжелый конструктивный недостаток: трудность замены поврежденной кипяточной трубки. Так например, для замены трубки необходимо было вырезать целый ряд других трубок, стоящих до нее. В целях ликвидации этого недостатка, очень существенного для морского флота, был разработан ряд конструкций котлов треугольного типа, в которых были значительно увеличены диаметры верхних барабанов. В барабанах были сделаны лазы (горловины) большого диаметра для того, чтобы обеспечить возможность замены кипяточных труб.

Многолетняя практика работы конструкторов судового котлостроения с треугольными котлами выявила несостоятельность многих конструкций главным образом по причинам недостаточной их производительности, жесткости конструкции и сложности ремонта и чистки труб. Некоторые судовые треугольные котлы имеют, например, прямые кипяточные трубки. Как известно, при таких трубках в тех же габаритах котла можно разместить меньшую поверхность нагрева, чем при изогнутых. Однако они легко взаимозаменяемы. Создают меньшие гидравлические сопротивления движению паро-

водяной эмульсии и легко доступны для чистки и осмотра. Поэтому котлы с такими трубками в судовых условиях имели и имеют довольно большое распространение. Кипятильные трубки в таких котлах крепятся в специальных трубных досках почти под прямым углом. Такое крепление трубок, естественно, усложняет изготовление барабанов, которые в ранних конструкциях склеивались из двух частей: верхняя — обычного диаметра, а нижняя сгибалась по диаметру, значительно большему, чем нижняя. Нижняя часть барабана вследствие этого получается почти прямой трубной доской.

Шатровые (треугольные) вертикально-водотрубные котлы с начала нынешнего века стали занимать все более заметное в судовом котлостроении положение. Среди них встречались самые разнообразные конструкции. В этот период было повсеместно начато сокращение числа типов котлов. Наряду с этим велись исследования по форсированию работы избранных конструкций, а также проводилась систематическая стандартизация деталей. Последнее имело существенное военно-стратегическое значение. Не меньшее значение это имело для количественного развития котлостроения и увеличения надежности эксплуатации.

Интересно отметить общую линию развития указанных конструкций котлов, связанную с увеличением топочного пространства. Этот факт был вызван повсеместным переходом военных флотов на нефтяное отопление. Последний диктовался возросшей тенденцией увеличения радиуса действия военных кораблей и необходимостью длительного их плавания вдали от своих баз. Наряду с этим в названных конструкциях обращает на себя внимание улучшение системы кипяточных пучков, их развитие вглубь, уменьшение общей жесткости конструкции за счет все большего внедрения гнутых и более тонких кипяточных труб. Наконец, особенно интересным является значительное увеличение коэффициента полезного действия котла, полученное за счет интенсификации теплообмена в кипяточных пучках котла, состоящих теперь из труб обычно небольшого диаметра, равного 25, 32, 36 мм; резкое увеличение тепловых напряжений в топочной камере, доведенное в настоящее время до  $3-3,5 \cdot 10^6$  кал/час; значительный подъем удельных паронапряжений котельной поверхности нагрева в целом, рост единичной мощности котлоагрегата и сокращение металлозатрат в конструкцию.

Все типы современных шатровых котлов обычно подразделяются по принципу организации движения газового потока на однопроточные и двухпроточные, т. е. с выводом газов с одной стороны котла или с двух сторон. Причем, двухпроточные котлы дополнительно делятся на две группы: на котлы симметричные, у которых правая и левая стороны котла, считая от главной его оси, одинаковы, и несимметричные, имеющие неодинаковую форму пучков по сторонам котла.

Ниже приводятся описания основных современных вертикально-водотрубных судовых котлов.

Имевший большое распространение в конце прошлого и в начале текущего века прямотрубный котел представляет собой типичный двухсторонний котел. Он сильно устарел в конструктивном отно-

шении и с начала 30-х годов заменяется новыми более современными типами. Те преимущества, о которых было сказано выше, не оказались долговременными. Неудобства, связанные с прямыми трубками и барабанами сложной формы, заставили перейти на изогнутые трубки.

Современные симметричные котлы советской конструкции (фиг. 66) имеют изогнутые кипячительные трубки, составленные в два аналогичных пучка. Обычно 3—4 передние ряда труб таких котлов имеют диаметр 44,5/38 мм, а остальные (их может быть значительное количество — от 7 до 12) имеют диаметр 29/24 мм. Продольный шаг первых трех (крупнокалиберных) рядов делается довольно большим — около двух диаметров трубы, что является удобным с конструктивной точки зрения (размещение левой и правой части кипячительного пучка и перекрытие барабана от воздействия радиации слоя и его факела), а также и с точки зрения аэродинамики газового тракта. Все остальные ряды труб имеют шаг, равный 1,5 диаметра трубы. Таким образом, получается зазор между двумя рядом стоящими трубами размером 14—15 мм, что обуславливает высокую скорость газов, а следовательно, и лучшую теплопередачу в котле. При угольном отоплении весь кипячительный пучок состоит из крупнокалиберных труб (44,5/38 мм) с шагом между ними 62 мм. Это делается для избежания заноса труб золой. Верхний барабан этого котла имеет большой (1400 мм) диаметр, нижние же оба барабана имеют значительно меньший (около 900 мм) диаметр. Пароперегреватель из труб диаметром 32 мм размещен внутри пучка, также симметрично с двух сторон котла. Такое размещение позволяет иметь достаточно высокую (350—450° С) и стабильную температуру перегрева пара, а также разделяет пучок труб на две ветви циркуляционного контура — горячую и холодную, обеспечивая этим надежность работы внутрикотлового тракта.

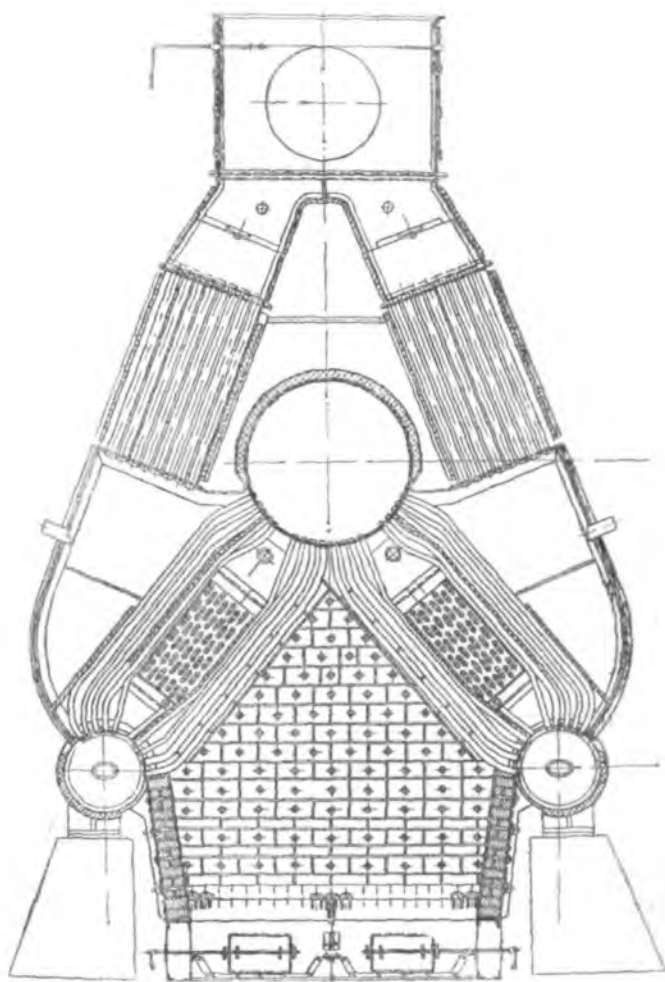
Симметричные котлы строятся самых различных размеров от самых небольших так называемых малометражных котлов с размером поверхности нагрева котла 10—20 м<sup>2</sup> до весьма крупных — до 120 м<sup>2</sup>. В зависимости от размера поверхности нагрева избирается величина диаметра верхнего барабана, которая берется от 800 до 1600 мм и величина диаметра нижних барабанов — от 500 до 900 мм.

Такие котлы строятся на давление <sup>1</sup>/<sub>4</sub> ат с диаметром кипячительных труб большого калибра — 51 мм и малого — 38 мм, число рядов первых — 3, вторых — 9.

Удельные паронапряжения в котлах этого типа различны в зависимости от назначения котла. Так, для котлов гражданского флота его величина составляет от 20 до 60 кг/м<sup>2</sup>час. Более высокий паросъем (40—60 кг/м<sup>2</sup>час) дают котлы крупных судов, работающие на жидком топливе.

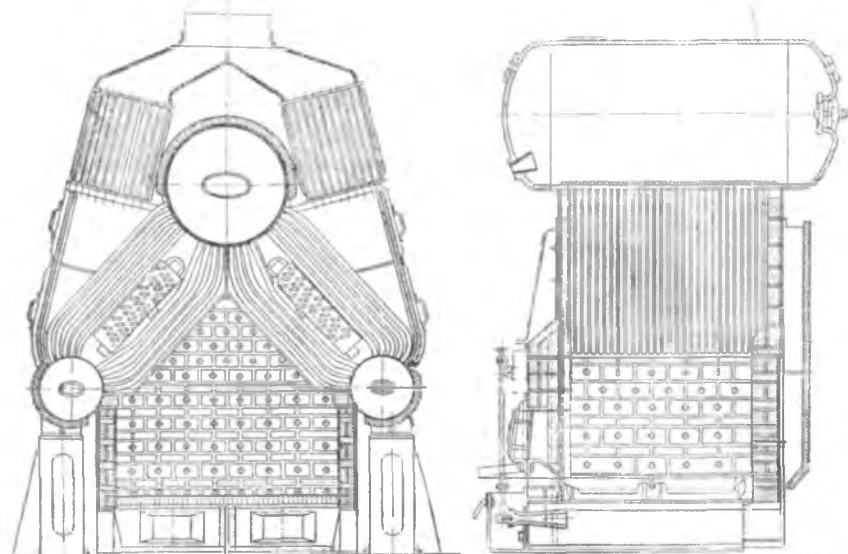
Один из двухпроточных симметричных котлов угольного отопления — малометражный — показан на фиг. 67.

Симметричные судовые котлы строятся в СССР также и типа, показанного на фиг. 68. В таком котле пучок кипячительных труб не разделяется внесением в него пароперегревателя на два. В данной конструкции пароперегреватель, располагаемый с двух



Фиг. 66. Советский двухпроходный симметричный котел.

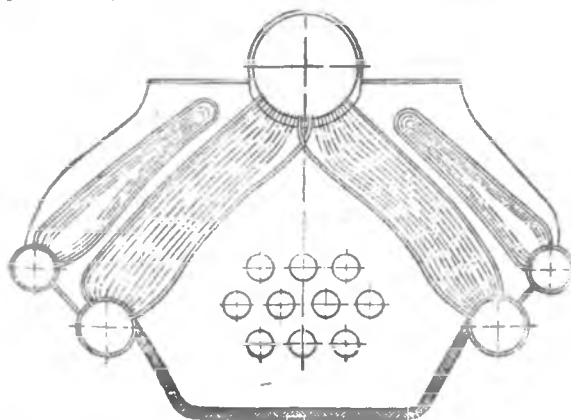
сторон котла, вынесен за пределы пучка. Такое размещение пароперегревателя — лучшее с эксплуатационной точки зрения однако,



Фиг. 67. Малометражный двухпучочный котел угольного отопления.

не дает возможности иметь высокие температуры перегрева пара. При таком расположении пароперегревателя температура перегрева пара обычно бывает не более  $350^{\circ}\text{C}$ . Вынос пароперегревателя значительно

сокращает размеры кипятильного пучка (до 8—11 рядов труб). Объясняется это тем, что пучок работает при более высоком перепаде температур. Следует заметить, что такое расположение пароперегревателя и работа пучка в зоне высоких температур обуславливают нарушение циркуляции в котле, ее «опрокидывание», т. е. в задних трубах пучка, где движение воды должно



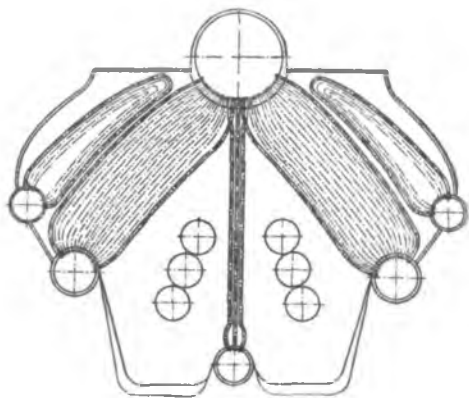
Фиг. 68. Двухпучочный симметричный судовой котел с пароперегревателем, вынесенным за пределы пучка (внешний пароперегреватель).

быть вниз, под воздействием высоких температур попадающих туда горячих газов часто наступает движение вверх. Для ослабления этого дефекта в котлах устанавливаются опускающиеся холодные трубы за пределами обшивки котла.

Двухпроточные симметричные котлы в настоящее время часто строятся как экранные, т. е. с увеличенной радиационной поверхностью нагрева. Увеличение радиационной поверхности нагрева в котле предопределяет заметное увеличение среднего удельного паросъема и паропроизводительности котла. Выше при рассмотрении горизонтально-водотрубных котлов было показано устройство топочных экранов для этого типа судовых котлов. Боковые топочные экраны в данной конструкции могут быть образованы либо продолжением первого ряда кипятильных труб котельного пучка, которые нижними своими концами входят в специальные коллекторы, либо организацией самостоятельного экранного контура, располагаемого в нижней части топки. Здесь увеличение поверхности нагрева котла не большое, но та часть, которая вынесена вниз на стенки топки, работает очень эффективно.

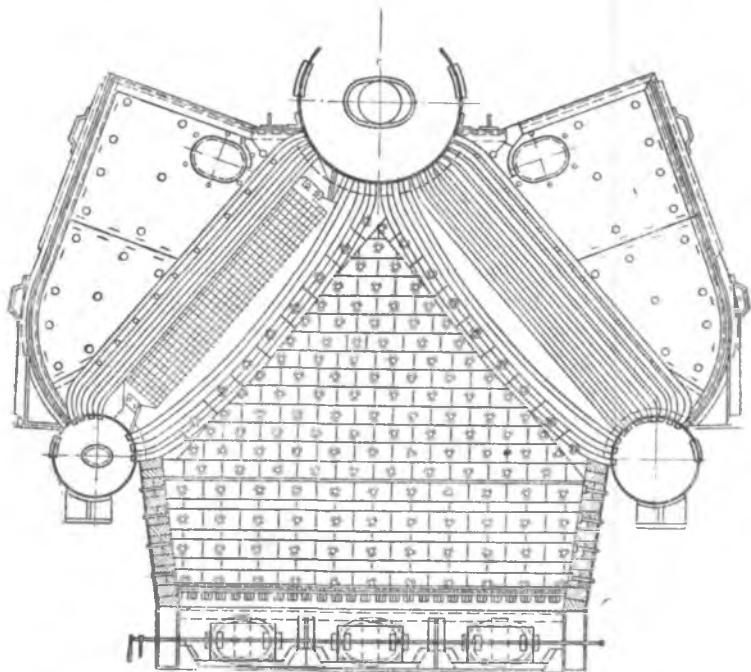
Часто вместо такого типа экранов устанавливают экраны, разделяющие топку пополам, так называемые средние или центральные экраны. На фиг. 69 показан один из отечественных современных котлов с внешними пароперегревателями и центральным экраном. Установка этого экрана требует отдельного водяного коллектора небольшого диаметра, что значительно улучшает распределение воды по трубам. Установку центральных экранов легко сочетать с установкой заднего и боковых экранов, что приводит к получению еще большего среднего паросъема с котельной поверхности нагрева. Центральный экран делается обычно из пяти рядов труб, причем два крайних ряда труб с каждой стороны устанавливаются в шахматном порядке с тесным шагом, так что они создают как бы сплошную трубчатую стенку, защищающую средний (пятый) ряд от воздействия высоких температур. Таким образом, в этом экране получается четыре ряда подъемных труб (по две с каждой стороны) и один ряд (средний) опускных.

Несимметричные двухпроточные котлы отличаются в конструктивном отношении от симметричных котлов главным образом односторонним расположением пароперегревателя и неодинаковой формой кипятильных пучков. Пароперегреватель при этом может быть размещен внутри пучка кипятильных труб, либо устанавливается за пучком, вне его, по ходу газов. Конфигурация пучка кипятильных труб приобретает соответствующие формы, а пучок труб — размеры. В наших отечественных современных котлах, выгодно отличающихся от многих зарубежных конструкций пр-



Фиг. 69. Двухпроточный симметричный котел с центральным экраном.

думанностью форм, безупречной работой и высоким к. п. д., при расположении перегревателя вне кипяточного пучка последний имеет небольшое число рядов труб (от 6 до 11); другой пучок развит значительно сильнее; число рядов труб в нем до 20 (от 15 до 20). В указанном котле размер пароперегревательной поверхности нагрева обычно невелик. Кроме того, перегреватель вынесен за пучок, поэтому температура перегрева пара в данном случае обычно держится на высоте  $325-350^{\circ}\text{C}$ . Во втором случае свободный пучок также состоит из большого числа рядов труб, а пучок,



Фиг. 70. Двухпроточный несимметричный котел.

в котором размещается пароперегреватель, имеет 5—6 рядов труб до перегревателя и 6—7 рядов послѣ перегревателя. Первые ряды труб разрежены (имеют большой шаг), что сделано для лучшего теплообмена в пучке (улучшение освещенности труб со стороны топки).

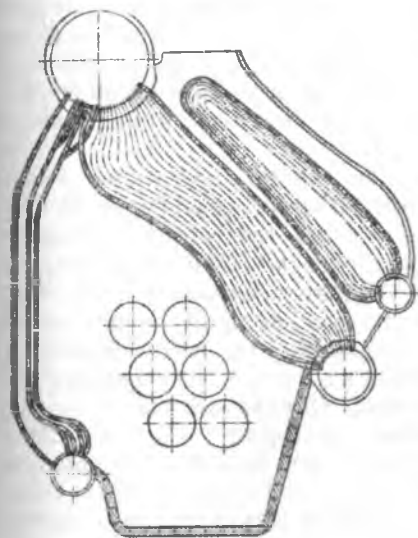
Отечественный двухпроточный несимметричный котел (фиг. 70) постройки начала первой пятилетки работает на угольном отоплении и имеет поверхность нагрева  $150\text{ м}^2$ , рабочее давление  $14\text{ ат}$  и температуру перегрева  $350^{\circ}\text{C}$ . Пароперегреватель в этом котле расположен горизонтально за третьим рядом кипяточных труб с левой стороны. Первые два ряда этих труб имеют диаметр  $51/44\text{ мм}$ , а все последующие —  $38/32\text{ мм}$ . Эти котлы оказались малоудачными в конструктивном отношении и впоследствии были переделаны.

Для наших речных судов стали строить в основном котлы симметричного типа. Наряду с этим широкое распространение полу-

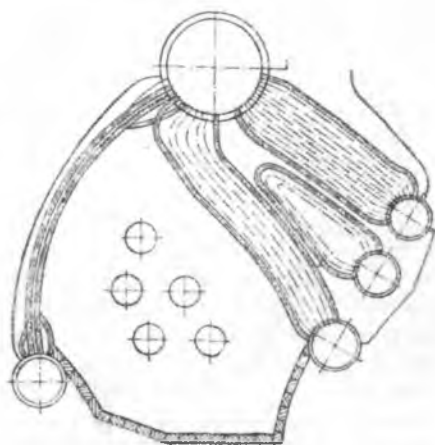
чили также однопроточные котлы (трех- и двухбарабанные), с расположением пароперегревателя как внутри кипяtilьного пучка, так и вне его.

Так же как и двухпроточные, однопроточные котлы снабжаются экранами. Правда, экранирование здесь носит несколько иную конструктивную форму. Экранная поверхность нагрева образуется как бы отделением от основного пучка от одного до четырех рядов труб, которые, ответвляясь, идут по одной из стенок топочной камеры. Таким образом получается такое распределение поверхности нагрева котла, при котором радиационная (экранная) ее часть в основном располагается на одной стороне топки, а конвективная — на другой.

Устройство однопроточных экранированных котлов обуславливает компактность сооружения и



Фиг. 71. Однопроточный котел с внешним пароперегревателем.



Фиг. 72. Однопроточный котел с внутренним вертикальным пароперегревателем.

легкость конструкции котла благодаря уменьшению числа барабанов и развитию поверхности нагрева за счет легкого конструктивного элемента в виде труб малого калибра.

Другим отличительным признаком этого типа котлов является наличие в них большого топочного объема, что дает возможность хорошей организации процесса горения.

Однопроточные экранные котлы, как правило, дают высокую удельную паропроизводительность и позволяют получить высокий и стабильный перегрев пара.

В СССР в период второй и третьей пятилеток появились разработанные нашими заводами оригинальные конструкции однопроточных экранированных котлов.

Однопроточный котел с пароперегревателем, вынесенным за пределы кипяtilьного пучка (фиг. 71), состоит из четырехрядного экрана, кипяtilьного пучка, состоящего из большого числа рядов труб (иногда более 15), и почти вертикально расположенного пароперегревателя.



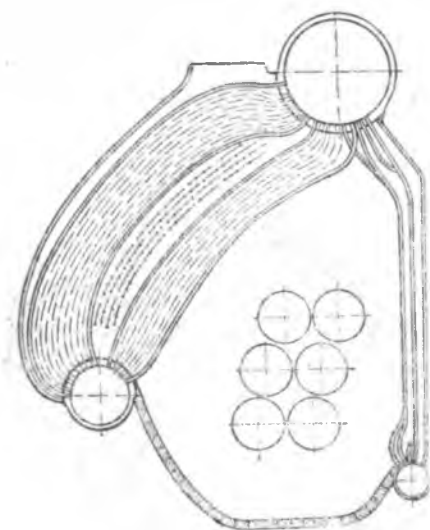
перегревателя. Экранная поверхность нагрева сконструирована таким образом, что она имеет собственный, независимый от кипяtilьного пучка котла контур циркуляции.

Наряду с указанным типом котла строятся также однопроточные котлы с расположением пароперегревателя внутри кипяtilьного пучка, причем пароперегреватель может быть расположен либо вертикально (фиг. 72), либо горизонтально (фиг. 73). Устройство экранных поверхностей нагрева в обоих случаях напоминает вышеприведенное. Расположение пароперегревателей внутри пучка имеет известные преимущества в смысле более высокого уровня пароперегрева

и его стабильности, однако это, как в первом случае (фиг. 72), приводит к утяжелению котла за счет появления дополнительного нижнего коллектора, а также к развитию поверхности нагрева кипяtilьного пучка.

Как видно из приведенных схем, однопроточные экранированные котлы отечественной конструкции весьма компактны и конструктивно продуманы. Они стоят на уровне высоких современных требований. Весовые характеристики их лучше иностранных образцов. Они имеют удельные расходы металла порядка 2,0—2,8 кг/к пара. Удельные паронапряжения в этих котлах очень велики, составляя до 120—125 кг/м<sup>2</sup> час.

Следует подчеркнуть, что наше отечественное котлостроение с начала 20-х годов широко ис-



Фиг. 73. Однопроточный котел с внутренним горизонтальным пароперегревателем.

пользует принцип экранирования топочных камер, и в настоящее время большинство конструкций котлов и стационарного, и судового типов характеризуется развитыми радиационными поверхностями нагрева, сокращением конвективных и известным увеличением экономайзерных поверхностей котлоагрегата. Развитие экранирования топок увеличивает значение этой части агрегата. В современных судовых топках достигнуты весьма высокие тепловые напряжения. В топке воспринимается до 60% всего тепла и поверхностями окружающими топку, производится 40—45% всего производимого котлом пара. Принятые нашим судовым котлостроением схемы однопроточных экранированных котлов являются логическим ходом эволюции котлостроения. В данных схемах использованы современные положения о работе внутрикотлового и газового трактов и достигнуты высокие показатели интенсификации работы металла.

Критический обзор развития судового котлостроения представляет большой интерес, так как речной и морской флоты — одна из важных областей хозяйственного организма страны.

Мощным фактором развития парового флота, как известно, явился рост морских и в известной мере речных путей сообщения.

Выше были приведены некоторые цифры из истории развития торгового морского флота стран. Напомним, что за столетие тоннаж торгового морского флота основных стран вырос в 430 раз. Морские пути сообщения неизмеримо выросли и с каждым годом растут и требуют для обслуживания все более мощного развития судостроения.

Экономические выгоды морских перевозок и их сравнительная дешевизна общеизвестны. Объяснение этому, очевидно, следует искать в огромных массах и весах грузов, перебрасываемых сразу единицей транспорта, и в сравнительно низких расходах топлива на единицу перевозимого груза. Однако возрастание тоннажа кораблей, имеющее относительные экономические выгоды, не может целиком решать задачу. Второй не менее важной частью задачи является повышение скорости кораблей. Повышение же скорости требует возрастания мощности установки, что связано с возрастанием единичной мощности паровых котлов. Таким образом, ряд задач, связанных с развитием морских путей сообщения, разрешался наряду с задачами развития паросиловой корабельной установки.

Значительная часть успехов судового котлостроения связана с военно-морским флотом. В частности, максимально сниженные удельные расходы металла были получены в военно-морских судовых котлах.

Главной задачей, возникшей в момент появления пароходов, была задача разместить установку в трюме корабля и ограничить ее габариты. Последнее могло быть получено лишь на основе интенсификации работы поверхностей нагрева котла и повышения параметров его работы. На этой основе происходил отход от обладающих большими габаритами тяжелых, неэффективно работающих первых конструкций судовых котлов: сундучных, лабиринтных, галлейных и т. д. Появившиеся огнетрубные, или газотрубные, котлы решили задачу лишь в определенной части. Веса этих котлов, длительность их растопки, жесткость конструкции, массивность, невозможность размещения в заданных габаритах котла большой поверхности нагрева, а следовательно, ограниченность мощности котла его габаритами требовали создания новых типов котлов. Попытки интенсифицировать работу котлов посредством комбинирования двух теплотехнических схем оказались неудачными. На этой основе возникла необходимость решительного перехода к новым многообещающим типам водотрубных судовых котлов.

Успехи, достигнутые в этих котлах в отношении увеличения коэффициента полезного действия, интенсификации теплообмена в них, достигнутые посредством уменьшения диаметров кипячительных труб, много их размещения (создание экранов) и увеличения скорости газов, явились фактором чрезвычайно быстрого развития и внедрения этого класса паровых котлов. Правда, огромное количество речных и морских кораблей оборудовано и до сих пор старыми конструкциями котлов, а также имеющими ряд преимуществ цилиндрическими оборотными котлами, однако теперь уже совершенно ясно, что энергетическую базу судостроения представляют водо-

трубные котлы. Это особенно стало ясно после больших успехов, связанных с внедрением водотрубных котлов с развитыми экранными поверхностями, показавшими большие преимущества в части использования металла и интенсификации работы поверхностей нагрева. Новая теплотехническая схема — в виде водотрубных котлов — позволила, помимо указанных выше задач, быстро разрешить задачи увеличения единичной мощности котлов, уменьшения удельных расходов металла, стандартизации деталей котлов и размеров котловой мощности, быстроты растопки котла и маневренности корабля.



## Глава V

### ГОРИЗОНТАЛЬНО-ВОДОТРУБНЫЕ КОТЛЫ

**П**ЕРЕХОД от простого цилиндрического котла к системе цилиндрических элементов, образующих трубчатые котлы и представляющих простую с точки зрения технологии и прочности конструктивную форму, был продиктован возможностью получить при этом путем уменьшения диаметров трубчатых элементов котла более развитую его поверхность нагрева, увеличить паропроизводительность и уменьшить габариты паросиловой установки. Это имело, как было показано выше, особо важное значение для судовых и паровозных котлов.

После появления первых конструкций водотрубных котлов стало ясным, что еще более ощутительных результатов с точки зрения увеличения производительности котла и увеличения его поверхности нагрева можно достичь, поменяв в нем местами рабочие тела.

Последовательное уменьшение диаметра кипяtilьников и подогревателей обусловило создание кипяtilьных трубок небольшого диаметра. Из этих трубок, а также из того или иного количества барабанов стало возможным собирать конструкцию котла в пространстве, обусловленном заданными габаритами. В водотрубных котлах была получена возможность размещения в небольших сравнительно габаритах значительных поверхностей нагрева и достижения при этом высокой паропроизводительности. Благоприятные условия движения в котлах рабочих тел обеспечивали интенсификацию процесса теплообмена. В стремлении достичь максимально эффективной работы кипяtilьных поверхностей нагрева было предложено большое количество конструкций водотрубных котлов.

Появление первых конструкций горизонтально-водотрубных котлов в условиях роста промышленной энергетики, а также и парового флота (50—60-х годов XIX в.) было встречено настороженно. От привычного типа огнетрубных котлов отказаться было очень трудно. Однако после получения положительных эксплуатационных данных (60—70-е годы) началось быстрое развитие этого нового типа котлов. Это развитие приобрело еще больший размах, когда под влиянием все возрастающих требований котлостроительных и других заводов металлургическая промышленность создала новую технологию изготовления стали и стальных листов и новый метод прокатки бестовных цельнотянутых кипяtilьных труб.

В предыдущей главе мы показали некоторые конструкции горизонтально-водотрубных судовых котлов. В стационарных условиях на первых порах наибольшее применение получили двухкамерные котлы. В конструкции этих котлов основными деталями являются: верхний (один или больше) барабан, две плоскостенные камеры и пучок кипяtilьных труб, жестко закрепленных своими концами в трубных досках, представляющих собой внутренние стенки указанных камер. Во внешних стенках камер против каждого отверстия для трубы расположено отверстие, сделанное для возможности вальцовки трубы, ее осмотра и очистки от накипи и замены. Отверстия закрываются лючками особой формы.

Плоскостенные камеры горизонтально-водотрубных котлов — наиболее слабое место конструкции. Делались они обычно склепаннкими по краям или сварными. Передний и задний листы камер, т. е. внешняя и внутренняя ее стенки, крепились связными болтами, что необходимо было для придания конструкции жесткости и получения достаточных усилий для сопротивления внутреннему давлению. Число связных болтов было очень велико. Глубина камер в зависимости от размеров котла делалась от 100 до 150, 200, 250 мм и даже больше, при этом глубина передней фронтальной камеры, получающей из кипяtilьных труб смесь воды и пара, делалась всегда большей, чем глубина задней. Однако имели место и другие конструкции котлов. Так, в некоторых из них задняя камера делалась более глубокой, т. е. большей по объему, чем передняя, для обеспечения более надежного питания пучка труб водой. Из тех же соображений вода часто подавалась из верхнего барабана к задней камере и пучку труб не сверху, а снизу через опускаемые (циркуляционные) внешние трубы. В целях борьбы с накипеобразованием и заносом шламом кипяtilьной системы нижнюю часть задней камеры впоследствии стали постепенно удлинять, делать ее днище ниже нижних рядов труб, а затем развивать ее в гризевик. Эти устройства создавали больший водяной объем в системе, обуславливающий более спокойную работу котла, и обеспечивали при этом возможность отстоя шлама и выделения накипеобразующих веществ из воды. Верхняя часть камер обычно заканчивалась горловиной, соединяющей камеры с верхним барабаном. Проходное сечение горловины камер делалось всегда достаточно большим в целях более удобного без возникновения дополнительных сопротивлений прохода воды и паро-водяной смеси.

Пучок кипяtilьных труб, определяющий в значительной мере производительность котла и надежность его работы, в горизонтально-водотрубных котлах устанавливался с целью обеспечения достаточной скорости выхода из труб паровых пузырьков и устранения возможности образования паровых пробок под углом не менее  $12-15^\circ$  к горизонту. Трубы кипяtilьного пучка обычно имели диаметр 76/70, 95/89 и 102/94 мм. Расстояние по горизонтали между центрами труб одного ряда устанавливалось 150—170 мм и по вертикали 130—150 мм. Трубы нижнего ряда имели немного более толстую стенку (на  $1\frac{1}{2} - 3\frac{3}{4}$  мм), чем трубы верхних рядов. Длина труб пучка составляла 5,0 м и больше. В котлах большой производительности длина

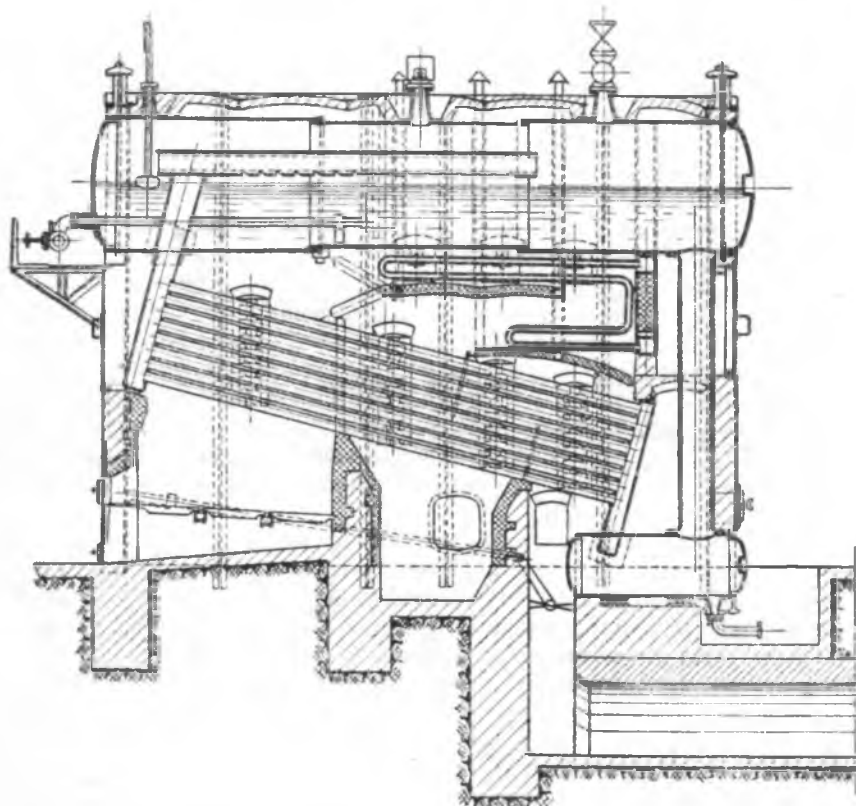
труб обычно бралась несколько меньшей. Например, в судовых секционных горизонтально-водотрубных котлах длина труб составляла обычно от 2,4 до 3,5 м. что давало возможность размещения котлов в определенных габаритах. Поверхность нагрева в последнем случае развивалась за счет увеличения числа рядов труб по горизонтали и вертикали.

При создании горизонтально-водотрубных котлов различных конструкций было обращено особое внимание на создание надлежащего направления потока газов. Опытом было подсказано два типа обмуровки: с горизонтальными или продольными и вертикальными или поперечными ходами. В первом случае перегородки, направляющие поток газов, расположены обычно по рядам труб: первая — на первом, втором или третьем ряду; последняя — на верхнем ряду и промежуточная, если она была, устанавливалась на одном из средних рядов труб. При таком расположении перегородок интенсивность парообразования отдельных рядов труб, естественно, была различной. Наиболее интенсивно работающим являлся нижний ряд или первые два-три ряда. Во втором случае при вертикальных, или поперечных, газоходах перегородки делят весь пучок труб на участки. Тепловая нагрузка всех труб при этом получается более равномерной. Парообразование происходит в основном во фронтальной (надтопочной) части пучка труб, откуда пар более легко проходит в камеру и в верхний барабан. При таком расположении газовых перегородок обратный ток воды по верхним рядам труб (от передней к задней камере), как это обычно имело место при горизонтальных дымоходах, был устранен.

Горизонтально-водотрубные двухкамерные котлы в России строились несколькими заводами. Базой для постройки таких котлов в начальный период был завод Фицнера и Гампера в Сосновиках Петроковской губернии, разработавший тот весьма распространенный в России тип двухкамерных котлов с грязевиком и задней циркуляционной трубой, который обычно именуется котлом Фицнера и Гампера. Следует подчеркнуть, что конструктором этого типа котла был инж. А. Лукин, работавший на фабрике у К. Гампера. Первый котел конструкции А. Лукина, получивший название типа Фицнер и Гампер, был установлен в С.-Петербурге в Аничковом дворце в начале 90-х годов XIX в. Рабочее давление в нем было  $14\frac{2}{3}$  ат. Это была совершенно оригинальная конструкция, разработанная русским инженером и к тому же работавшая на давлении гораздо более высоком, чем котлы многих зарубежных фирм того времени.

В России камерным котлам, в самом начале их широкого внедрения, пришлось выдерживать упорную борьбу с успевшими ранее их внедриться секционными котлами типа Бабкок-Вилькокс. Однако уже перед войной 1914 г. котлы инж. А. Лукина настолько успешно конкурировали с последними, что начали их вытеснять. Произошло это главным образом потому, что в котлы системы А. Лукина были внесены конструктивные изменения, учитывающие условия наиболее удобной эксплуатации, в частности, было сделано расширение фронта котла за счет уменьшения количества труб по вертикали.

Последнее обеспечивало возможность установки колосниковой решетки с большой площадью, а также шахты, необходимой при применении низкосортных топлив, имевшихся у нас в значительном количестве. Широкому применению котлов А. Лукина так же, как и других горизонтально-водотрубных котлов, содействовали преимущества, свойственные им и отличающие их от цилиндрических и различных комбинированных котлов, получивших значительное



Фиг. 74. Горизонтально-водотрубный двухкамерный котел конструкции инж. А. Лукина (завод Фицнер и Гампер).

распространение до начала XX в. Этими преимуществами были: лучшее использование площади, достаточно высокая паропроизводительность, более быстрая и безопасная растопка котла. Кроме того, конструкции котлов, состоящих в основном из труб небольшого диаметра (75—100 мм), и относительно меньшее их водосодержание делало эти котлы более надежными и безопасными в эксплуатации. Котел А. Лукина завода Фицнер и Гампер (фиг. 74) состоит из верхнего барабана диаметром от 900 до 1600 мм и длиной до 7200 мм, двух камер — передней и задней, размеры которых аналогичны и составляют в ширину от 1100 до 3500 мм, в высоту от 1080 до 1740 мм, и кипяточного пучка, состоящего из труб диаметром 95/88,5 мм

в количестве от 46 до 203 шт. Число рядов труб по горизонтали — от 6—7 до 22—23 и по вертикали — от 7 до 9. Длина кипяtilьных труб — 5500 мм. Циркуляционная труба имеет диаметр от 250 до 400 мм. Она соединяет верхний барабан с грязевиком, имеющим диаметр от 600 до 800 мм и длину 1800 мм. Грязевики представляют собой устройство, отличающее этот тип котла от других горизонтально-водотрубных котлов. Они обычно размещаются под задней камерой котла, располагаясь в том же направлении, что и верхний барабан. Задний конец грязевика соединен посредством циркуляционной (сливной) трубы с верхним барабаном. Эти котлы выпускались с размером поверхности нагрева от 81 до 344 м<sup>2</sup> и рабочим давлением от 8 до 15 ат.

Циркуляция воды в котле происходит следующим образом. Вода опускается по сливной трубе в грязевик, а из него попадает в заднюю камеру. В грязевике вода оставляет некоторую долю механических и химических примесей, которые осаждаются на дне грязевика и периодически посредством продувки из него удаляются. Из задней камеры вода распределяется по пучку кипяtilьных труб.

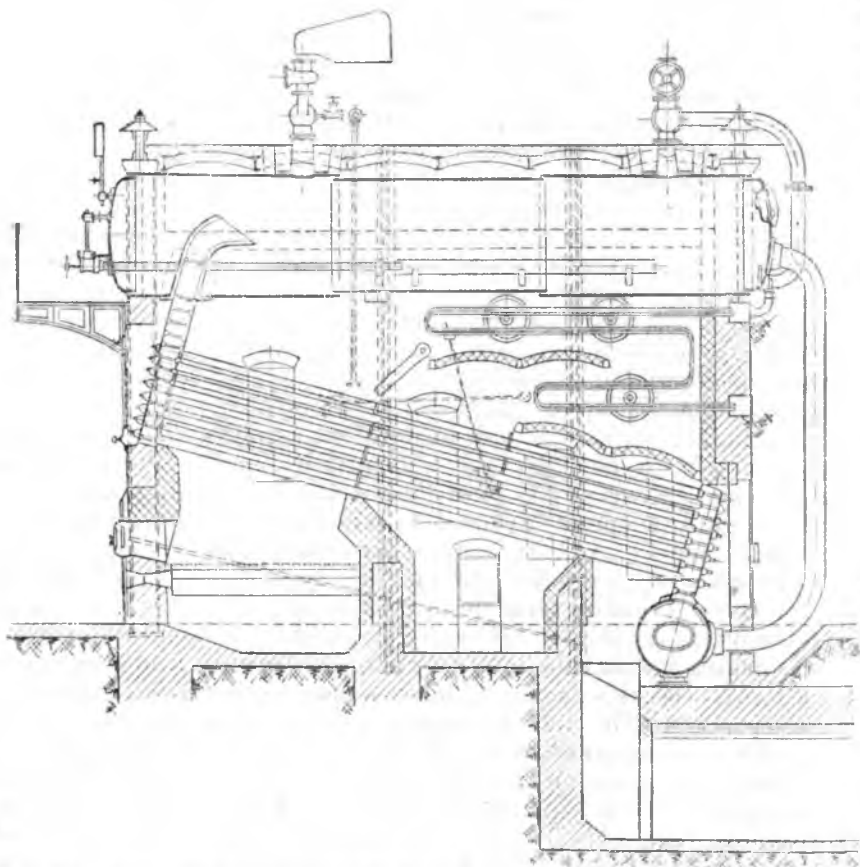
Основным и наиболее тяжелым недостатком котла являлась крайняя жесткость конструкции и ограничение в смысле возможности подъема рабочего давления.

В России, помимо этого основного типа двухкамерного котла, выпускались и другие. Их строили заводы Луганский, Днепровский, Краматорский, Сумской, Сормовский и Коломенский, которые выпускали двухкамерные горизонтально-водотрубные котлы как в дореволюционное, так и в послереволюционное время, вплоть до конца первой пятилетки (например, Луганский завод). На Луганском заводе строительство двухкамерных котлов типа, разработанного инж. А. Лукиным, было поставлено наиболее широко и завод стал основным поставщиком этих котлов, особенно в послевоенные годы и в годы восстановления хозяйства нашей страны. Строительство двухкамерных котлов на Луганском заводе было начато в самом конце XIX в. и принимало все более широкие размеры, начиная с 1905—1907 гг. Этот крупный завод южного русского машиностроения внес интересное и своеобразное изменение в оригинальную конструкцию котлов инж. А. Лукина, позволившее увеличить удельный и общий паросъем в котле. Это изменение состоит в том, что грязевик вместо продольного получил поперечное размещение (фиг. 75). При этом задняя камера котла приклепывается к грязевику по всей ширине. Сужения камеры, необходимого при ином расположении цилиндра грязевика, в данном случае не делается. Грязевик и верхний барабан соединяются уже не одной сливной трубой большого диаметра, а двумя изогнутыми меньшего диаметра циркуляционными трубами.

Последнее конструктивное изменение дает заметное улучшение эластичности системы котла. Однако, с другой стороны, такая установка грязевика, при которой он включается в общую систему циркуляции котла, особенно при грязной воде, привела к быстрому заносу кипяtilьных труб шламом, не оседающим более в грязевике.



Луганский завод выпускал котлы указанного типа в шести размерах: 150, 200, 250, 300, 400 и 500 м<sup>2</sup>. В последних трех крупных по размерам котлах, так же как и в оригинальной конструкции котла А. Лукина (Сосновицкого завода), ставились по два верхних барабана. Диаметры барабанов — 1000—1400 мм, их длина — 7200 мм. Ширина камер — от 2000 до 6420 мм, высота задней ка-

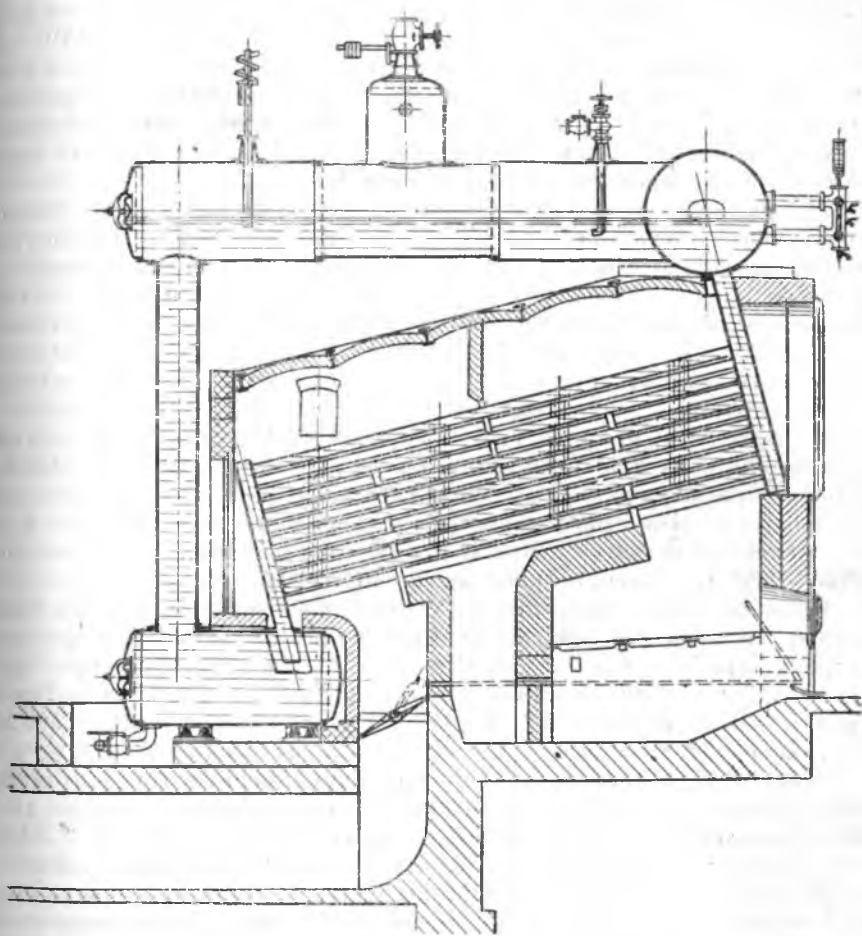


Фиг. 75. Горизонтально-водотрубный двухкамерный котел Луганского завода.

меры — 1140 мм и передней — 1480 мм. Диаметр грязевика — 760 мм и его длина 1850 мм, причем при установке двух верхних барабанов устанавливалось также два грязевика. Длина кипяtilьных труб — 5500 мм. Диаметр циркуляционных труб — 350 мм. В конструкции этих котлов введены некоторые принципы стандартизации и замены деталей. Вместе с этим котлы последних больших размеров делались составными путем спаривания из котлов меньших диаметров.

Наряду с указанной своеобразной конструкцией горизонтально-водотрубного котла Луганский завод выпускал также до 30-х годов и обычные котлы типа А. Лукина.

Днепровский и Краматорский заводы, начиная с 1900 г. и до 20-х годов выпускали такие же котлы, однако конструкция этих котлов (фиг. 76) значительно отличалась от всех предыдущих. Это были котлы с двумя верхними барабанами, причем один из них располагался, как обычно, а другой, лежащий впереди, имел попереч-



Фиг. 76. Горизонтально-водотрубный двухкамерный котел Днепровского завода.

ное (или вдоль фронта котла) расположение. Таким образом, верхние барабаны были расположены в форме буквы Т, т. е. продольный барабан приклепывался к поперечному посередине. В котле также устанавливались грязевики, которые посредством циркуляционной трубы соединялись с продольным барабаном. Некоторым преимуществом данной системы является возможность присоединения передней камеры к верхнему барабану по всей своей длине, т. е. без сужения выходного отверстия, присущего конструкциям двухкамерных котлов. Это облегчает условия движения пароводяной

смеси и выхода пара из кипяtilьного пучка. Однако, как это следует из самой конструкции, она была сильно утяжелена за счет постановки второго барабана, не получив при этом значительных преимуществ. Кроме того, возросла опасность возникновения течи в месте ненадежного соединения верхних барабанов.

Котлы Днепровского завода выпускались лишь в дореволюционное время. Размеры их поверхности нагрева составляли от 150 до 300 м<sup>2</sup>. Длина верхнего поперечного барабана — от 3410 до 4800 мм и диаметр — от 1300 до 1700 мм. Продольный барабан имел диаметр от 1000 до 1300 мм и длину около 6000 мм в среднем. Число кипяtilьных трубок — от 99 до 198 при диаметре 95/88,5 мм и несколько меньшей, чем обычно длине — 5090 мм. Эти котлы выпускались с размером рабочего давления 8—12 ат.

К разновидности выпускавшихся в России горизонтально-водотрубных котлов относится котел системы инж. Приемского, изготовлявшийся в небольшом числе Сормовским заводом в дореволюционное время (1905—1915 гг.). Камеры котлов Приемского отличаются от обычных камер горизонтально-водотрубных двухкамерных котлов конструкции А. Лукина тем, что они изготовлялись из одного листа, согнутого посередине так, что стенки камеры не параллельны, а наклонны одна к другой и образуют уширенную часть камеры по направлению к горловине. Передняя камера уширенной своей частью прикрепляется к верхнему барабану. Задняя камера присоединяется к поперечно расположенному грязевнику. Грязевник при этом присоединяется к камере не непосредственно, а через коленчатую трубу. Котлы этого типа, появившиеся в период 1903—1905 гг., распространения не получили.

Наконец, камерные котлы строил Сумской завод. Это были котлы, аналогичные оригиналу Сосновицкого завода. Поверхность нагрева этих котлов составляла 125 и 300 м<sup>2</sup>. Диаметр барабана — 1300 и 1500 мм при длине его 7200 мм в среднем. Число кипяtilьных трубок — 132 до 184 шт., их длина — 5500 — 5565 мм и диаметр — 95/88,5 мм.

Этот же Сумской завод выпускал двухкамерные горизонтально-водотрубные котлы без грязевника и циркуляционных труб типа Штейнмюллера с размерами поверхности нагрева 110, 185, 200 и 300 м<sup>2</sup>. При этом размеры верхнего барабана составляли: диаметр от 900 до 1500 мм, длина — 6250 до 7250 мм. Диаметр кипяtilьных труб тот же, что и котлов системы инж. А. Лукина. В русских котлах типа Штейнмюллера задняя камера присоединяется к верхнему барабану посредством расширенного бутылкообразного патрубка диаметром до 550 мм, а передняя камера заканчивается уже в пределах водяного объема верхнего барабана патрубком специальной формы. Эта форма, расширенная и вытянутая по оси котла, появилась в результате стремления создать благоприятные условия проходу пара из передней камеры и сепарации влаги из него. Котлы типа Штейнмюллера распространения в России не получили, и их строительство, имевшее место лишь на Сумском заводе, было почти прекращено еще в дореволюционное время и возобновилось на короткое время в первые годы восстановления народного хозяйства СССР. Строи-

тельство такого типа котлов в небольших масштабах продолжалось до 1927—1928 гг.

В заключение следует отметить, что в период последнего десятилетия прошлого века, и особенно в период двух десятилетий нынешнего века, двухкамерные горизонтально-водотрубные котлы имели значительное распространение. Однако уже в период первой пятилетки распространение этих котлов практически прекратилось. Объяснение этому факту следует искать прежде всего в конструкции котла, которая ограничивала возможность повышения давления и обладала плохой эластичностью, не обеспечивающей достаточно удовлетворительное поглощение термических расширений. Эти обстоятельства, а также решительный переход ко все большей интенсификации работы котлоагрегатов, вызвавший появление новых конструкций, предопределили повсеместный в нашей стране отказ от строительства двухкамерных котлов.

Наряду со строительством двухкамерных котлов выпускались также однокамерные горизонтально-водотрубные котлы. Так, например, на Николаевском судостроительном заводе в 70—90-е годы XIX в. строились, правда, не столь широко, судовые однокамерные котлы.

Однокамерные, водотрубные котлы, как это уже было отмечено выше, в главе IV, принципиально отличаются от двухкамерных котлов способом организации в них движения воды. Кипятильные трубки этих котлов работают по принципу трубки Фильда. Этот принцип первоначально, после его внедрения, имел достаточно широкое применение в судовых и в стоячих вертикальных котлах вспомогательного характера. Правда, в последнем случае трубки располагаются по вертикальной оси, в однокамерных же котлах они расположены по горизонтали с небольшим уклоном ( $10—15^\circ$ ) к горизонту. Конструкция таких специальных трубок позволяла осуществлять достаточно активную циркуляцию воды в оконечной (закрытой с одного конца) кипятильной трубе посредством вставной трубы меньшего диаметра, разделяющей кипятильную трубу на два пространства, нагреваемые в различной степени. Наличие различно обогреваемых пространств (внутреннего и кольцевого) обуславливало циркуляцию и достаточно активный отвод тепла от стен внешней трубы.

Однокамерные котлы сколько-нибудь широкого распространения не получили вследствие довольно быстрого прогорания труб при форсированной работе котла, а также из-за частых искривлений под влиянием перегрева внутренних трубок, перекрывавших в этом случае кольцевое сечение и нарушавших циркуляцию воды.

Диаметр внешних труб однокамерных котлов был по понятной причине обычно больше, чем у двухкамерных (108 или 114 мм). Верхние один или два барабана в таких котлах располагались либо в продольном, либо в поперечном направлениях. Разница между основными конструкциями заключалась главным образом в устройстве камеры. Так, если в некоторых котлах одна половина камеры — затылочная, т. е. более близкая к газам, предназначена была для паро-водяной смеси, исходящей из кипятильного трубного

пучка, а фронтальная — для воды, то в котлах других конструкций назначение частей (половинок) камер противоположно первому.

Одним из наиболее широко распространенных в нашей стране горизонтально-водотрубных котлов является котел талантливейшего русского инженера В. Г. Шухова. В начале 90-х годов XIX в. В. Г. Шуховым была разработана и широко внедрена оригинальная, имеющая много преимуществ, конструкция многокамерного горизонтально-водотрубного котла. Эта конструкция своими достоинствами была противопоставлена господствовавшей тогда конструкции котлов типа Бабкок-Вилькоккс. Ею была разрешена одна из важнейших задач массового развития котлостроения: максимальная стандартизация отдельных элементов котла и унификация их размеров. В котлах В. Г. Шухова диаметры цилиндрических частей, т. е. верхних барабанов, цилиндрических головок (коллекторов), грязевиков и паросборников, а также диаметры труб представляют собой строго постоянные величины. Лишь длина труб была переменной величиной и зависела от заказчика. Вместе с этим котел Шухова отличался исключительной простотой изготовления.

Котел Шухова вызвал появление многочисленных конструкций, по существу являвшихся копией с него. Следует подчеркнуть при этом, что в ряде стран конструкторы котлов и заводы, весьма беззастенчиво копируя этот широко известный котел, забывали об авторе его и приписывали успех себе. Так, например, в Японии в начале 20-х годов нашего столетия получил большое распространение котел конструкции инж. Мики, первоначально построенный в 1914 г. Этот «японский» котел инж. Мики представляет собой точную копию с первых котлов Шухова, как это неопровержимо доказано советским журналом «Тепло и Сила» № 6, 1924 г., приведшим обличающие фотографии.

Еще более беззастенчивой является современная попытка американцев перевернуть исторические факты и приписать себе приоритет на эту конструкцию. Американские дельцы приписывают оригинальную русскую конструкцию Инглису, якобы, создавшему, свой котел в 1863 г. Конструкция котла Инглиса коренным образом отличается от оригинальной, простой, унифицированной конструкции котла В. Г. Шухова, зато появившиеся значительно позже (1906—1909 гг.) американские промышленные котлы имеют кипяtilьные батареи, совершенно аналогичные батареям В. Г. Шухова.

Котлы Шухова сыграли серьезную прогрессивную роль в отечественном котлостроении. В них удельный расход металла был доведен до 2,5—2,7 кг/кг, причем на долю барабанов и коллекторов приходилось 1,7—1,8 кг/кг. Это было большим достижением в сравнении с весовыми характеристиками известных горизонтально-водотрубных котлов.

Котел В. Г. Шухова собирается из отдельных элементов, каждый из которых состоит из верхнего продольного, а в другой модификации — поперечного барабана и трубчатых батарей, расположенных по отношению к горизонту под углом 10—12°. Батарея состоит обычно из двух пучков труб (секций) по 28 труб в каждой. Трубы соединены

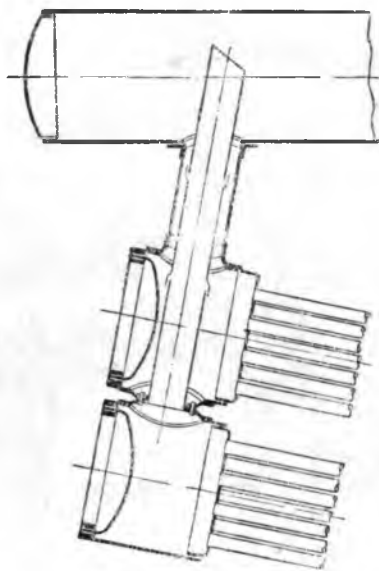
между собой двумя короткими цилиндрическими барабанами. Диаметр труб — 76/70 мм, длина — от 2745 до 5490 мм. Расположение труб — шахматное. Большое количество лючков, равное удвоенному числу труб для камерных и секционных котлов, в этом котле заменено двумя, правда, большого диаметра люками на целый пучок труб (28 шт.). Плоскостенные камеры изъятые и заменены цилиндрическими коллекторами диаметром 640 мм, что дает возможность в некоторой мере повысить рабочее давление пара.

Для составления поверхности нагрева котла нормального типа необходимо, следовательно, соединить ряд элементов его (барабан + батарея), а для котла с увеличенным водяным объемом (барабан + 2 батареи) — в одну обмуровку. Таким образом, получают котлы различной производительности: нормального типа — от 20 до 760 м<sup>2</sup>, с увеличенным водяным объемом — от 150 до 450 м<sup>2</sup> и с поперечным барабаном от 338 до 772 м<sup>2</sup>.

В котлах системы В. Г. Шухова, следовательно, в отличие от двухкамерных котлов с плоскостенными камерами передняя и задняя камеры образуются соединением на болтах двух или трех цилиндрических головок по высоте (фиг. 77). Развитие же котла в ширину при увеличении размера поверхности нагрева производится посредством расположения ряда соединенных головок и барабанов (батарей) по фронту.

На фиг. 78, 79 показана нормальная конструкция горизонтально-водотрубного котла В. Г. Шухова с небольшим уклоном кипяtilьных труб. Как видно из приведенных фигур, котел снабжен сухопарником, соединенным посредством коротких патрубков с верхними барабанами, а также грязевиком, имеющим соединение со всеми батареями котла. Кипяtilьный пучок разделен перегородками на четыре (или на два) газохода, что увеличивает, в первом случае, длину пути газов и является в условиях данной конструкции котла очень необходимым, так как в этом котле пучки труб расположены друг от друга довольно далеко и между ними есть «мертвые» пространства, не участвующие в тепловой работе потока газов.

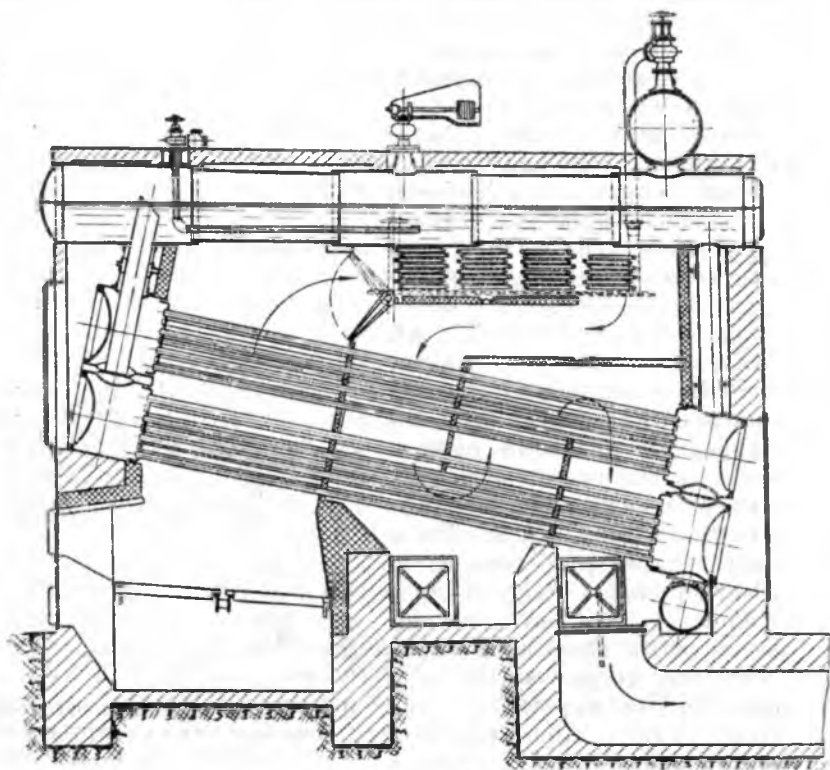
Несколько видоизмененный котел Шухова показан на фиг. 80. Он имеет большой верхний барабан и обладает увеличенным водяным объемом. Паропродуктивность его такая же, как у нормального котла, т. е. 18—25 кг/м<sup>2</sup>час. Конструктивное отличие от предыдущего котла заключается в том, что в данном случае к верхнему барабану большего диаметра попарно присоединяется



Фиг. 77. Цилиндрические головки горизонтально-водотрубного котла системы В. Г. Шухова.

Удвоенное количество пучков кипяtilьных труб, расположенных в шахматном порядке. Число батарей в котле от 2 до 12. Этот котел изготовлялся очень редко и имел ограниченное распространение. Появился он также позже первого, примерно, через 10—12 лет, т. е. в первом десятилетии текущего века.

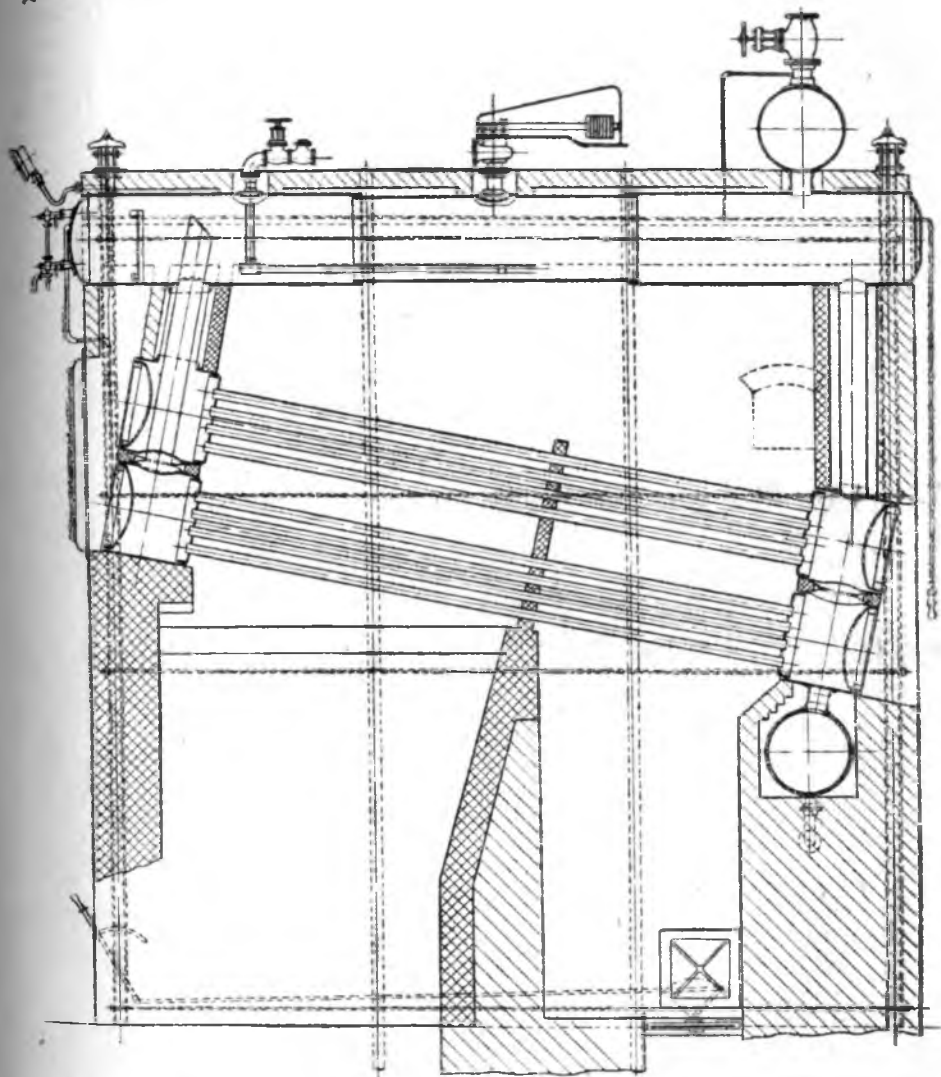
Другой также мало распространенной конструкцией котла В. Г. Шухова является котел с поперечным расположением барабана



Фиг. 78. Горизонтально-водотрубный котел инж. В. Г. Шухова, нормального типа.

и очень крутым наклоном кипяtilьных труб к горизонту (фиг. 80а). Это — весьма компактный по габаритам котел с более тесным расположением трубного пучка, с затылочным расположением трубчатых секций, число которых могло быть установлено до 24 в зависимости от размера котла. При этом длина верхнего барабана резко возрастает и колеблется от 6470 до 10730 мм. В этом котле вода поступает в верхний барабан, а из него по циркуляционным трубам в грязевик и далее в коллекторы. Трубы в данной конструкции несколько укорочены (4270 до 4880 мм). Котел приспособлен для более высокой, чем описанные выше, паропроизводительности (до 30 кг/м<sup>2</sup>час и более). Конструкция котла позволяет разместить большее топочное пространство и больший по размерам

паронерегреватель. Этот котел по своим показателям был ближе к секционным котлам морского типа и, собственно, предполагался для морских паросиловых установок.

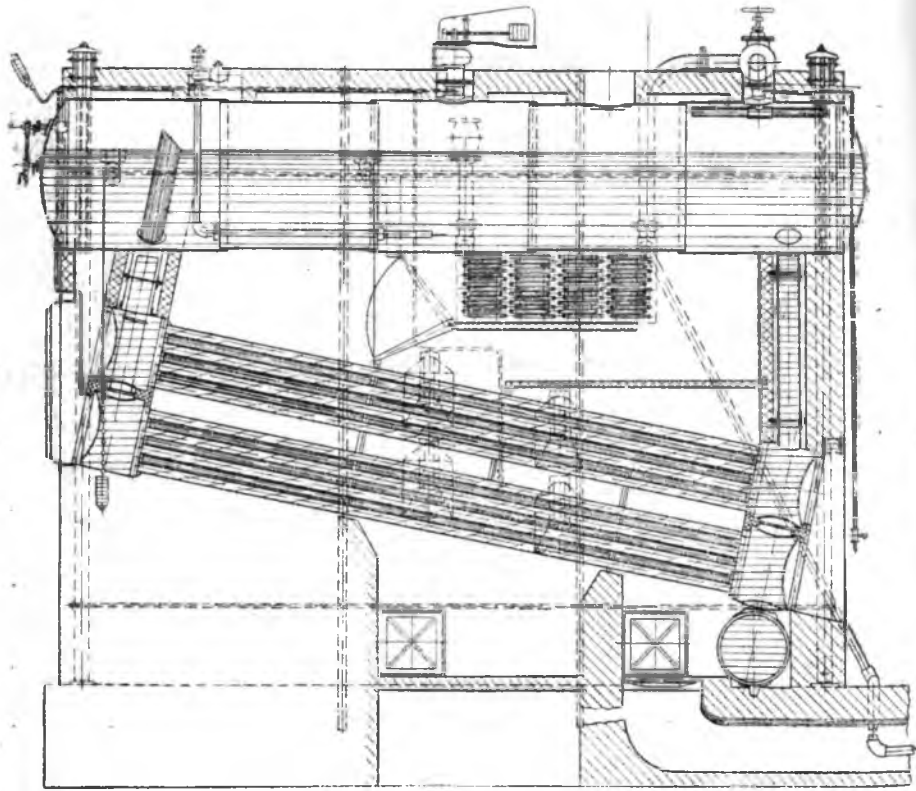


Фиг. 79. Горизонтально-водотрубный котел инж. В. Г. Шухова, нормального типа (с топкой увеличенного объема).

Котлы типа В. Г. Шухова заняли прочное положение в промышленной энергетике страны. Повсюду, где требовался неприхотливый, удобный в эксплуатации и в ремонте котел с достаточно высокой производительностью и хорошими экономическими показателями, устанавливались именно эти котлы. Правда, в них были свои недо-



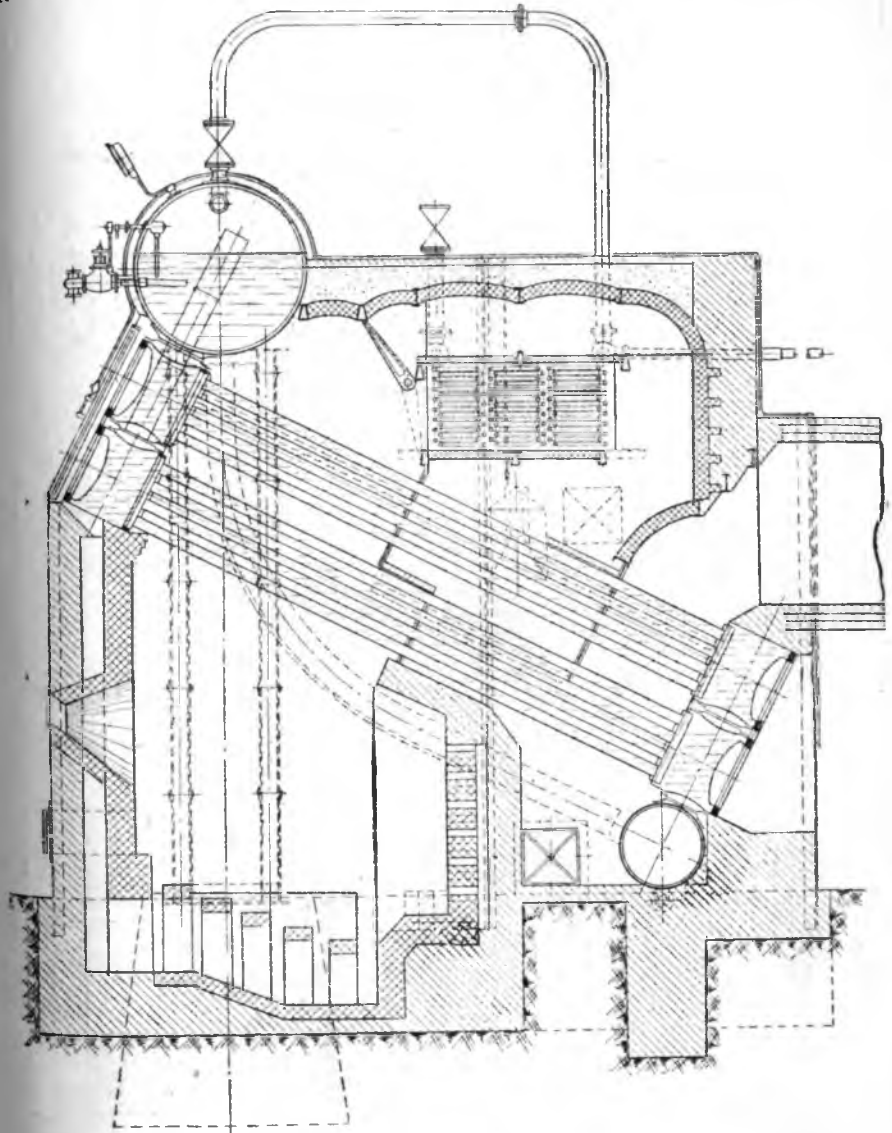
статки, заключавшиеся в недостаточном использовании теплоты горячих газов, однако дешевизна, меньшая удельная металлоемкость, хорошие эксплуатационные данные, стандартизация частей и т. п. открыли этим котлам широкие пути для внедрения. Котлы В. Г. Шухова нормального типа строились вплоть до конца второй пятилетки и лишь в 1936—1937 гг. стали заменяться видоизмененной конструкторским бюро завода «Парострой» (инж. Берлин) конструкцией котла.



Фиг. 80. Горизонтально-водотрубный котел В. Г. Шухова с большим водосодержанием.

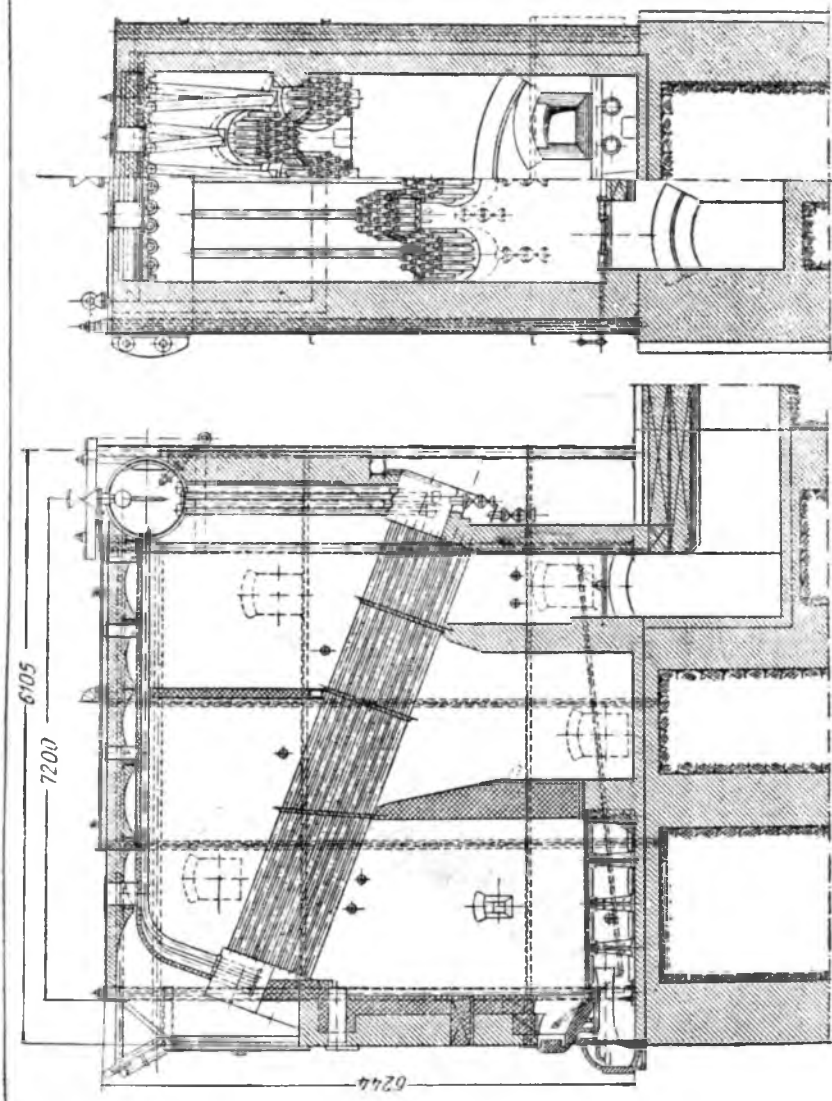
Учитывая недостатки котлов Шухова: их термическую жесткость, тесное расположение труб в пучках, приводящее к затруднениям внешней очистки, недостаточно хорошее использование тепла потока газов, проходящих по коридорам между отдельными батареями и т. д., завод «Парострой» создал новую конструкцию котла (фиг. 81) с одним поперечным барабаном и шахматным однорядным расположением секций Шухова, напоминающим расположение их в котле Шухова с большим водяным объемом. Число труб в этих секциях уменьшено до 24, длина их увеличена до 5560 мм, увеличено число газоходов. Секции присоединяются также к верхнему барабану, но уже не широкими трубами, а двумя подводными водой трубами

диаметром 102/95 мм и двумя отводящими пар трубами диаметром 108/100 мм, ввальцованными в тело барабана, а не приклепанными, как в ранних конструкциях котлов В. Г. Шухова. Удельный расход



Фиг. 80а. Горизонтально-водотрубный котел В. Г. Шухова с поперечным расположением барабана.

металла снижен в этих котлах до 1,5 кг/кг-пара. Новые котлы в достаточной мере удовлетворяли требованиям малой энергетики в смысле производительности, надежности, приспособляемости к топливу, стандартности частей и т. д.



Фиг. 81. Горизонтально-водотрубный котел Шухова — Берлина.

Модернизированные котлы Шухова выпускались заводом «Парострой» без экранов и с экранами. В последнем случае котел был совершенно аналогичен незранированному котлу и отличался лишь тем, что в нем боковые стенки топки на высоте 2—2,5 м и задняя стенка были перекрыты гладко-трубным экраном из труб того же диаметра, что и кипятильный пучок. Задний экран сделан из продолженных труб первого ряда пучка.

Несмотря на некоторое улучшение к. п. д. котла против старого типа котла Шухова, модернизированный котел оказался явно неудачным, так как удельные затраты металла снижены были незначительно, а габариты котла даже возросли. В настоящее время этот тип котла не считается рациональным. Созданы новые конструкции.

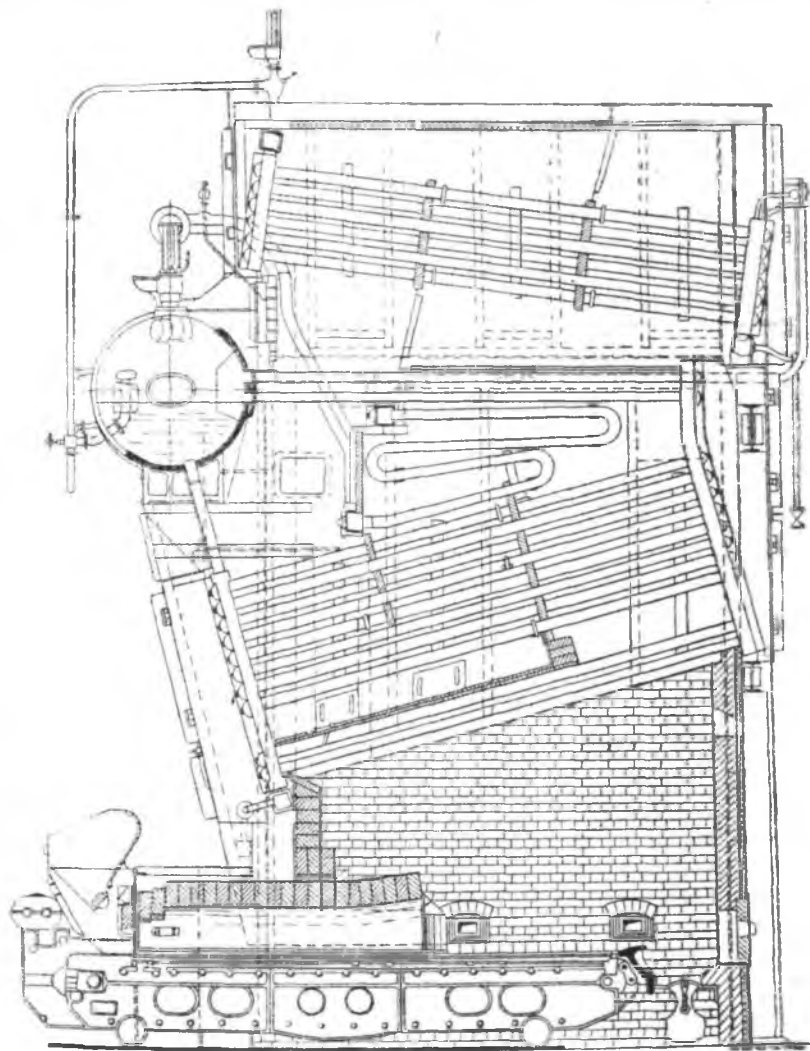
В своем эволюционном развитии горизонтально-водотрубные котлы должны были приобрести иное конструктивное оформление в силу необходимости увеличения давления пара в котле, более удачной компоновки котлоагрегата и развития поверхности нагрева котла в широких пределах. Создание секционных котлов, появившихся в начале второй половины прошлого века, явилось важным событием в эволюции котлостроения. Наряду с этим в секционных котлах в значительной мере были облегчены условия поглощения термических деформаций благодаря «рассечению» камер большого размера на большое число малых камер или коллекторов.

В России секционные горизонтально-водотрубные котлы появились около 60 лет назад в виде судовых котлов типа Бабкок-Вилькокс, устанавливавшихся в 90-е годы на многих судах коммерческого морского флота. Собственное строительство такого типа котлов было начато на С.-Петербургском металлическом заводе несколько позже. Один из котлов выпуска первых лет пригеден на фиг. 82. В дальнейшем в начале этого столетия котлы этого типа начали строиться также на Таганрогском заводе (б. Нев и Вильде). При этом штампованные из литой стали фасонные коллекторы и «карманы» выписывались из-за границы. Котлы типа Бабкок-Вилькокс в нашей стране не имели особенно широкого распространения вследствие необходимости значительных валютных затрат на приобретение коллекторов (секционных коробок). Технология изготовления указанных секционных коробок в нашей стране не была еще тогда освоена. Когда же советские заводы справились и с этим, то стало совершенно очевидным, что советское котлостроение вполне может идти своим путем развития, так как созданные нашими заводами конструкции котлов были далеко не хуже иностранных и даже во многом их опережали.

Перед рассмотрением конструкций секционных котлов ознакомимся с некоторыми общими вопросами развития в этой области котлостроения.

Применение в котлах секционных коробок давало свободу компоновки и развития поверхности нагрева за счет широкой возможности увеличения пучка труб в высоту и ширину, т. е. посредством простого увеличения числа и длины труб и числа секционных коллекторов, наряду с этим — создания компактного пучка труб, располагаемых в котле в шахматном порядке. Простота соединения секций с бара-

баном посредством соединительных патрубков любой нужной длины и достигаемая при этом прочность деталей, допускающая значительное повышение давления пара, были факторами существенного для развития котлостроения значения. Появление секционных коробок



Фиг. 82. Горизонтально-водотрубный секционный котел морского типа выпуска первых лет (90-е годы XIX в.).

и полученные возможности компоновки пучка кипяtilных труб, а также и удобство сочетания их с барабаном позволили по иному, чем это было во всех камерных котлах, расположить верхний барабан. Продольное расположение барабана оказалось возможным заменить поперечным расположением. Это было вызвано тем, что

получаемая при секционировании пучка кипяtilьных труб свобода компоновки и развития поверхности нагрева лимитировалась ограничениями при одном верхнем продольном барабане возможностями увеличения кипяtilьной поверхности нагрева котла за счет развития в ширину. При желании получить более мощный котел приходилось переходить к установке двух и более верхних барабанов, что значительно утяжеляло агрегат и увеличивало его стоимость. Кроме того, организация газового тракта при продольном расположении барабана принципиально ничем не отличалась от обычных двухкамерных котлов и сохраняла все ее недостатки.

Таким образом, стремление увеличить размеры поверхности нагрева котла, не увеличивая при этом числа верхних барабанов, и желание получить наряду с этим лучшую организацию газового и внутрикотлового тракта привело к новому расположению верхнего барабана. Поперечное расположение верхних барабанов в ряде ранних конструкций паровых горизонтально-водотрубных котлов уже имело место. Однако в них поперечный барабан сочленялся с одним или двумя продольными Т- или П-образно расположенными барабанами и служил главным образом для целей увеличения водяного и парового объемов котла. В данном же случае такое расположение верхнего барабана было конструктивной особенностью, улучшающей технологические, теплотехнические и экономические параметры котлоагрегата.

Наряду с указанным значительную роль играла также и возможность создания нового типа компоновки и размещения хвостовых поверхностей нагрева котла. В новой конструкции эти поверхности стало возможным располагать над котлом, а не за котлом, что являлось существенно важным, особенно в условиях судостроения, где расположение котла вдоль и вширь судна было весьма затруднено техническими и экономическими причинами, и оптимальным решением поэтому являлось размещение хвостовых поверхностей выше котла. Вследствие этого понятно, почему секционные котлы с поперечным расположением верхнего барабана появились впервые в судостроении и получили наименование морских котлов.

Морские секционные котлы, показавшие в эксплуатации положительное значение применения секционных коллекторов, отличались особой компактностью, легким каркасом, легкой обмуровкой и весьма широкими возможностями роста поверхности нагрева за счет развития котла в ширину, ограничиваемого лишь доступной для изготовления длиной верхнего барабана (до 10—12 м).

Заменив собой тип котла с продольным барабаном, морские котлы сначала имели много общих конструктивных черт с первыми: наличие трех узких газоходов, расчленявших поверхность нагрева котла, примерно, на равные участки, расположение пароперегревателя над пучком труб и др. Однако вместе с этим поперечное расположение барабанов дало возможность по-новому в условиях судна, а также и в стационарных условиях разместить широкие котлы с мощными топочными устройствами и такой конфигурацией основной поверхности нагрева котла, которая давала большую свободу компоновки дополнительных, т. е. перегревателей и экономайзерных поверх-

ностей нагрева котла. Наряду с этим возможность широкого внедрения мощных факельных и слоевых топок, возможность развития топочного объема с введением в дальнейшем сильного экранирования топок с применением водяных экономайзеров и высокого подогрева воздуха обусловили резкий подъем удельной и абсолютной паропроизводительности котлов морского типа. Эти котлы получили в дальнейшем значительное конструктивное усовершенствование.

В морском типе котла, значительно развитом в ширину, длина труб была сокращена, а первые два ряда труб, перекрывающие топку по всей длине, являлись по существу радиационной поверхностью нагрева, которая значительно увеличила производительность котла.

Стремление улучшить теплотехнические качества котла, а также параметры пара, заставили впоследствии внести изменения в конструкцию котла, в частности, в конструкцию пучка, в котором радиационная часть была отделена от конвективной. Если в более ранних конструкциях пучок кипяtilьных труб представлял собой единый компактный узел конструкции, а пароперегреватель был расположен над пучком в зоне температур порядка  $700-750^{\circ}\text{C}$ , что достаточно было для получения температур перегрева пара в пределах до  $375^{\circ}\text{C}$ , то наряду с другими обстоятельствами в целях получения более высоких температур перегрева в новой конструкции котлов было предпринято разделение кипяtilьного пучка на два: верхний и нижний с расположением перегревателя между ними, как это делается в ряде других судовых котлов. Это дало возможность получать температуру перегрева пара выше  $375^{\circ}\text{C}$ , не увеличивая при этом поверхности нагрева перегревателя и избегая резких колебаний температуры пара. При новом расположении пароперегревателя нижний «радиационный» пучок делается обычно из трех-шести рядов кипяtilьных труб. Верхний «конвективный» пучок очень сильно развит. Он имеет до 18 рядов.

Разделение пучка дало возможность значительного укрупнения агрегата за счет увеличения его в высоту при сохранении габарита по площади. Конструкция котла стала более гибкой и он в целом приобрел тенденцию развития вверх с расположением вспомогательных поверхностей над собственно котлом.

В котлах такой конструкции впервые коренным образом был изменен характер движения потока газов. Вместо прежнего его движения вдоль котельных поверхностей — вглубь котла — с несколькими поворотами при этом, в данном случае осуществлено было естественное восходящее движение газового потока, омывающего поверхности нагрева поперечным обтеканием. Причем, характер движения газов согласован с организацией работы внутрикотлового тракта и температурным режимом по отдельным газоходам.

Производительность секционных котлов морского типа значительно возросла по сравнению с производительностью котлов нормального или «заводского» типа. Этому в большой мере помогло такое устройство газовых перегородок (газоходов) как при продольном, так и при поперечном их расположении, которое позволяло перекрывать топочное пространство всей длиной трубного пучка. Таким образом, активная, т. е. подвергающаяся действию радиации,

поверхность нагрева увеличивалась почти вдвое. Это обстоятельство при наличии лучше организованной циркуляции паро-водяной смеси в кипятильной системе имело серьезное влияние на рост производительности и надежности работы котла.

Следует заметить, что в дальнейших конструкциях этого типа котлов с разделенным или расчлененным пучком кипятильных труб система циркуляции во многих случаях была нарушена.

Происходило это вследствие затрудненного движения паро-водяной смеси через соединительные трубки в паросборник, что особенно сказывается при форсированной работе котла, когда эмульсия в верхних рядах труб вследствие торможения ее прохождению в верхний барабан приобретает часто обратное движение (опрокидывание циркуляции). На границе двух, имеющих разные знаки движения потоков, скорость эмульсии при форсировании внутрикотлового тракта быстро приближается к нулю, вследствие чего обычно наступает застой и возникают опасности пережога стенок труб.

В морских секционных котлах с разделенным пучком в верхнем пучке также имеют место явления кругового движения воды. Это явление долго не считалось опасным и нарушающим эксплуатацию котлов, однако довольно часто в местах наиболее энергичного теплоприемления при появлении паровых пробок и застоя движения наблюдались пережоги труб и интенсивная коррозия металла с водяной поверхности, а также прогиб труб и течь их в местах развальцовки.

Явления опрокидывания и неравномерного распределения циркуляционных потоков по системе труб, приводящие к коррозии и к пережогу стенок труб, в этих котлах рядом конструктивных переделок почти устранены. Весьма большие заслуги в этом отношении имеет ЦКТИ, группа сотрудников которого (М. А. Стырикович, Д. Ф. Петерсон и др.) ранее других обратила на это внимание. Экспериментальные работы и теоретические исследования ЦКТИ легли в основу создания метода расчета циркуляции, чем был установлен важный приоритет СССР в этой области.

Для ликвидации явления опрокидывания и неравномерного распределения циркуляционных потоков в системе котла были предложены такие меры, как увеличение сечения подводящих воду и отводящих паро-водяную эмульсию труб, замена верхнего кипятильного пучка экономайзерной поверхностью нагрева, уменьшение высоты кипятильного пучка (уменьшением числа рядов труб в нем) и поднятие барабана для выравнивания напора. Это позволило значительно улучшить работу внутрикотлового тракта.

В последовательном развитии секционных котлов была изменена также работа газового тракта котла. Первые секционные котлы как нормального, так и морского типа, имели большое количество газопроводов и неудовлетворительное заволнение последних газовым потоком. Ряд перегибов потока в тесном трубном пучке приводил в таких котлах к образованию газовых мешков с застойными вихрями газа в них. В этих мешках, легко засоряемых уносом, часть поверхности нагрева выключается из активной зоны потока и таким образом теплообмен сильно снижается. Эти же перегибы вызывают рост вредных местных сопротивлений, увеличивающих затраты энергии на про-

изводство тяги. Опыт эксплуатации показал необходимость отказа от трехходовой системы и перехода к двухходовым и даже одноходовым конструкциям. Последние, кстати, приобрели преимущественное распространение в судовом котлостроении, а также и в мощном стационарном котлостроении.

Переход к двухходовым конструкциям обусловил невозможность вывода газов из котла вверх и неудобство развития конструкции в высоту. В этих котлах газы отводятся либо вниз, либо вбок. Последнее имеет место в котлах с разделенным пучком. Понятно, что в двухходовых котлах было достигнуто небольшое увеличение по сравнению с трехходовым котлом радиационной поверхности нагрева. Кроме того, в организации внутрикотлового и газового трактов были дефекты, приводившие к появлению рециркуляции.

Одноходовые котлы морского типа появились в результате стремления улучшить работу кипяtilьного пучка в целом, а также возникшей в связи с этим необходимости заменить верхний недостаточно производительный «конвективный» пучок хвостовыми экономайзерными поверхностями нагрева и наряду с этим максимально развить нижний «радиационный» пучок.

Одноходовые котлы обладают существенными преимуществами, однако они очень укорочены по ходу газов, что влечет за собой обязательное развитие экономайзерных поверхностей нагрева, без которых котел обладал бы весьма высокими потерями тепла с отходящими газами.

После сделанных замечаний об общих признаках развития секционных горизонтально-водотрубных котлов рассмотрим два типа этих котлов.

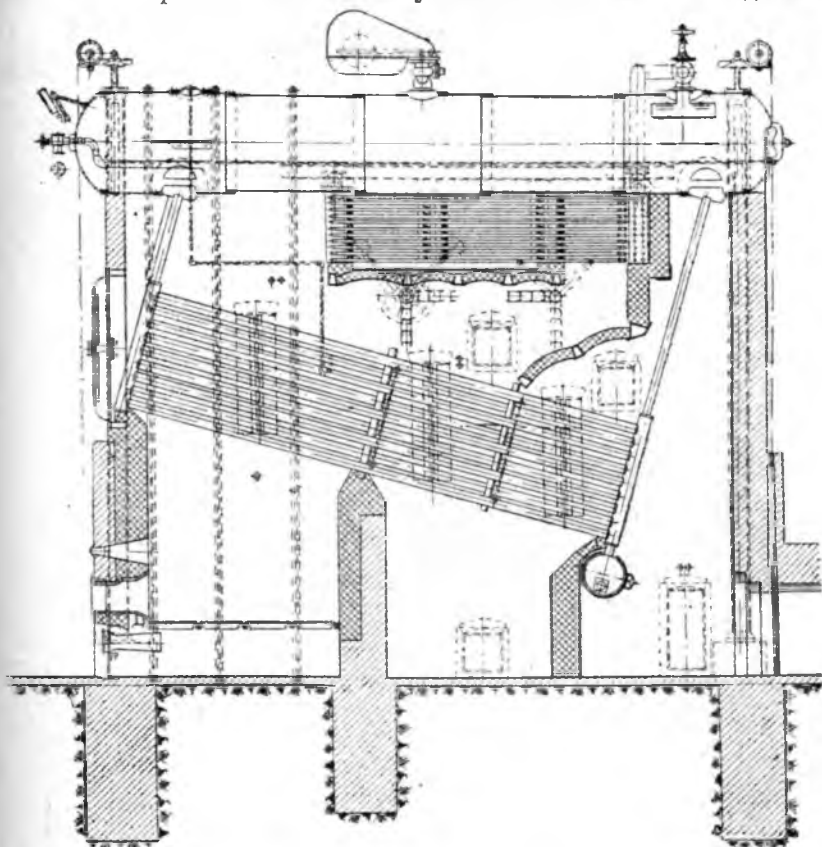
Нормальный, или «заводской», тип секционного котла начал строиться на Металлическом заводе в С.-Петербурге в 1891 г. Выпуск их на этом заводе продолжался около 40 лет, т. е. до 1932 г. Больше ни на одном из заводов котлы этого типа не строились, за исключением лишь Таганрогского, который впоследствии с 1932—1933 гг. стал выпускать оригинальные собственные конструкции (250 и 400 м<sup>2</sup> при давлении 16 ат).

Котел с продольным барабаном (фиг. 83) состоит из одного верхнего барабана (число последних может быть до трех в зависимости от размера котла) и ряда секций — от 4 до 18 шт. Каждая секция в отечественных конструкциях указанного завода объединяет от 5 до 14 труб, составляющих вертикальный ряд. В некоторых конструкциях, например, в котлах с разделенным пучком, секции имеют более сложную форму. Так, секционные коробки могут быть разделены на два участка, расположенных один по отношению к другому под углом 20—30°, а иногда и более, которые соединены между собой короткими патрубками. Иногда секционные коробки не разделяются, а штамуются изогнутыми под заданным углом. Кроме того, секционные коробки изготавливаются иногда с косыми ступеньками с внутренней стороны. Такие ступеньки дают возможность придавать необходимый наклон кипяtilьным трубам к горизонту при сохранении при этом вертикального положения самой коробки.



В секционных коробках наряду с отверстиями для закрепления кипяtilьных труб сделаны также отверстия с внешней стороны. Число их равно числу труб. Форма их — овальная. Через них происходит развальцовка труб, очистка их и осмотр внутренней поверхности.

Секционные коробки присоединяются к котлу посредством водоподводящих и паропроводящих труб диаметром 102 мм. Кипяtilьный пучок котла нормального типа выпуска Metallического завода также

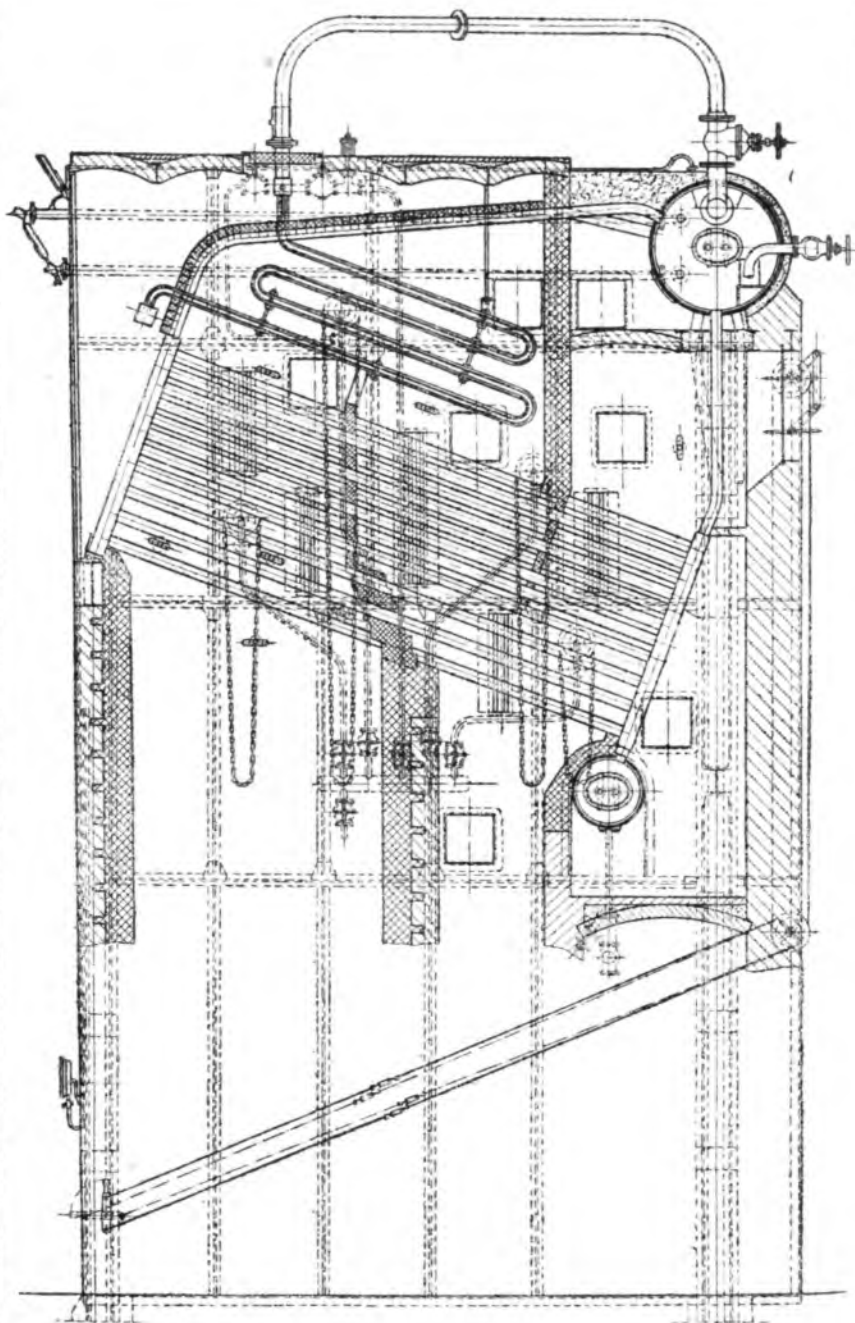


Фиг. 83. Горизонтально-водотрубный секционный котел нормального типа.

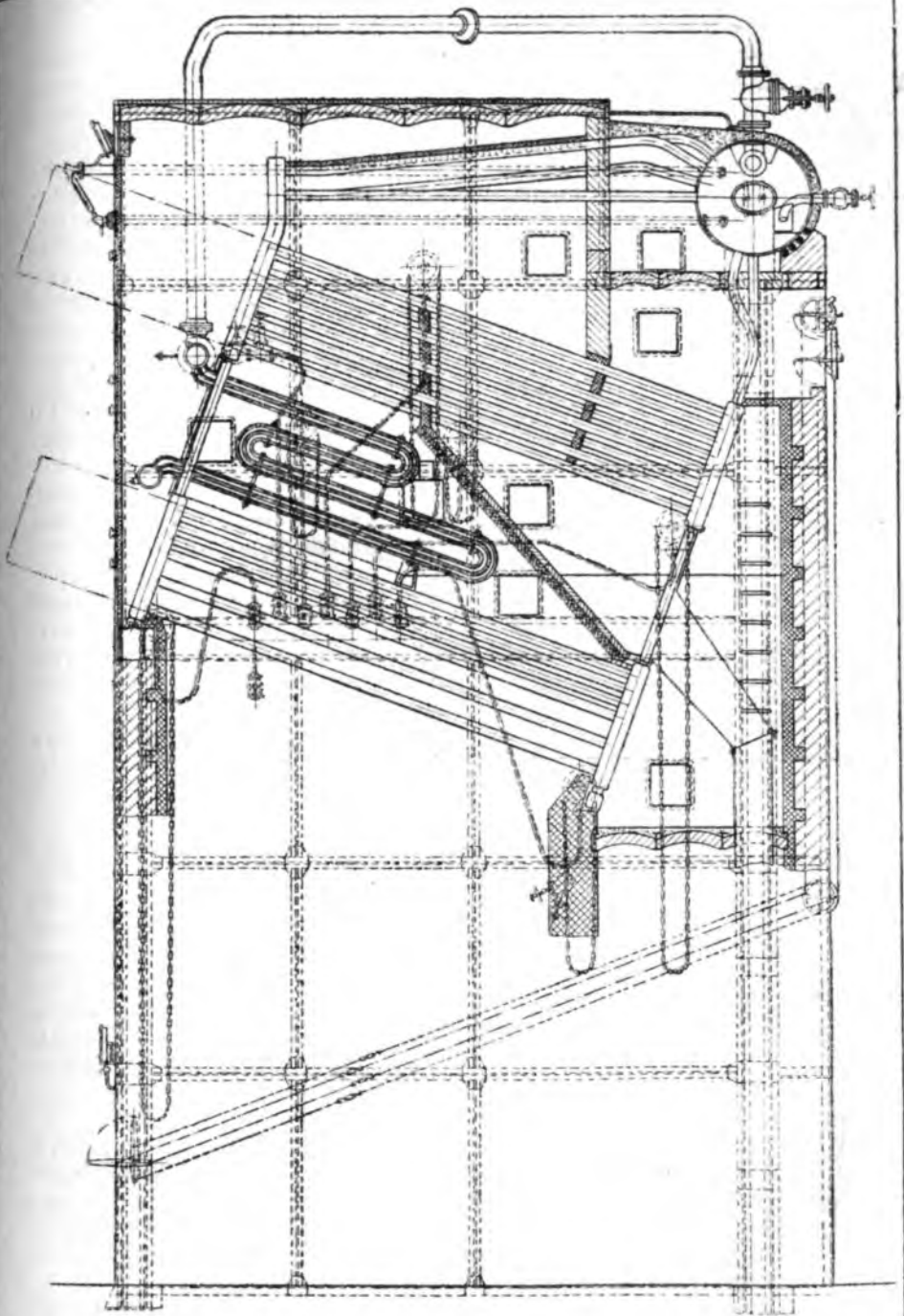
изготавливался из труб диаметром 102 мм при толщине стенок 3,75 мм. Диаметр верхнего барабана — от 762 до 1219 мм при длине от 4945 до 7155 мм.

Металлический завод уже в послереволюционное время в период до 1929—1930 гг. выпускал котлы указанного типа с поверхностью нагрева от 31,9 до 515 м<sup>2</sup> (т. е. 33 типо-размера) (фиг. 83).

Секционные котлы с продольными барабанами, таким образом, имеют ограниченную поверхность нагрева (не более 400—500 м<sup>2</sup>). При этом они обладают довольно большим водосодержанием си-



Фиг. 84. Горизонтально-водотрубный секционный котел морского типа.

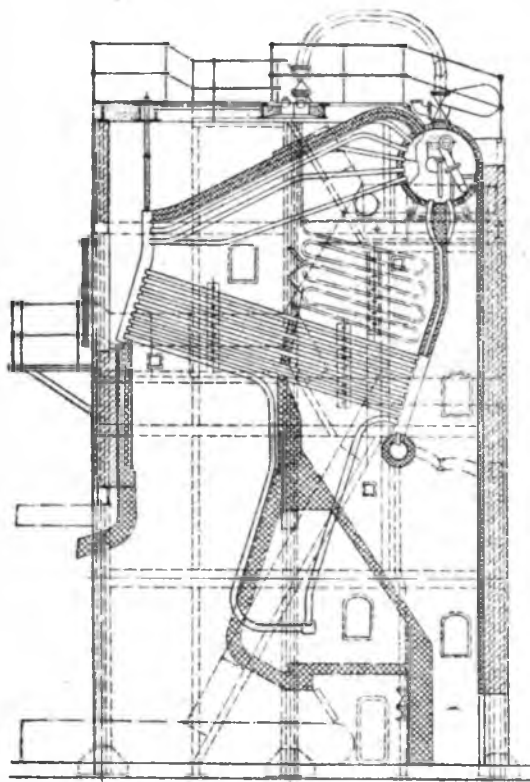


Фиг. 85. Горизонтально-водотрубный секционный котел морского типа с разделенным пучком кипящих труб.

стемы (50—60 л/м<sup>2</sup>) и повышенной металлоемкостью (до 7—8 кг/кг. тара).

Дальнейшим развитием секционных горизонтально-водотрубных котлов явились котлы морского типа. Выше сказано, что их выпуск на русских заводах начался позже, лет через 8—9 после начала выпуска котлов нормального типа.

Котлы морского типа (фиг. 84, 85), как уже сказано ранее, отличаются от котлов нормального типа поперечным (вдоль фронта) рас-



Фиг. 86. Горизонтально-водотрубный секционный котел типа СМ-16/22.

положением верхнего барабана. Число же барабанов в данной конструкции котла всегда ограничивается одним. В отличие от котлов нормального типа секции, которые совершенно аналогичны по устройству, здесь имеют также иное расположение. В данном случае задние секционные коробки расположены выше, чем передние на величину, определяемую углом наклона кипяtilьных труб, и поэтому кипяtilьные трубы имеют подъем к задней части котла.

Секционные котлы морского типа, выпускавшиеся отечественными заводами вплоть до второй пятилетки, имели размеры поверхности нагрева 300, 450, 750, 1000 и 1400 м<sup>2</sup>. В период до 1926 г. эти котлы выпускались с размером поверхности нагрева до 713 м<sup>2</sup>. Диаметр барабана во всех случаях — 1370 мм при длине от 3700 до 9040 мм.

Число вертикальных рядов труб — от 20 до 50 и горизонтальных — 10—12 рядов. Рабочее давление пара в котлах — до 30 ат.

Производительность котлов морского типа вообще может быть очень большой (до 500 т/час). Повышение удельной и общей паропроизводительности котла достигнуто было за счет широкого внедрения экранных поверхностей нагрева, применения мощных топок, что в данной конструкции легко было осуществить, а также применения высокого подогрева воды и воздуха.

Одна из последних отечественных конструкций котла морского типа периода 1931—1938 гг., изготовлявшихся Таганрогским.

заводом «Красный Котельщик», приведена на фиг. 86. Это — котел типа СМ16/22 производительностью 16/20 *т/час* при температуре перегрева 375° С и давлении 22 ат. Общая поверхность нагрева котла составляет 290 м<sup>2</sup>. Как видно из фиг. 86, барабан здесь достаточно высоко поднят над кипяtilльным пучком, что сделано для увеличения гидростатического напора и улучшения циркуляции. Верхний барабан перенесен с фронта котла назад. Поэтому и наклон труб в этом котле имеет тот же характер, что и в котле нормального типа. Передние коллекторы сделаны изогнутыми. Задняя стенка топки экранирована. Для этой цели первый ряд кипяtilльного пучка отведен вниз и продлен до коллектора. Таким образом, диаметры труб в кипяtilльном пучке и экране котла одинаковы (102/94,5 мм). Длина труб несколько меньше, чем в нормальных котлах, и составляет 4885 мм.

Котлы типа СМ перестали строить незадолго до начала Великой Отечественной войны.

Приведенными типами котлов исчерпывается обзор горизонтально-водотрубных котлов, строившихся на отечественных заводах.



## Глава VI

### ВЕРТИКАЛЬНО-ВОДОТРУБНЫЕ КОТЛЫ

**В**ЕРТИКАЛЬНО-ВОДОТРУБНЫЕ котлы являются базой современной паротехники. Общий рост народного хозяйства и тенденции дальнейшего его развития обусловили необходимость создания весьма крупных котлоагрегатов, которые наряду с высокой удельной и общей паропроизводительностью обладают важными преимуществами. Эти достоинства — в максимальном использовании площади, развитии топочного пространства котла и приспособлении его для факельного сжигания местных сортов топлив, в хорошей организации работы внутрикотлового тракта, главным образом циркуляции, в получении возможности хорошей компоновки основных и вспомогательных поверхностей нагрева котлоагрегата и, наконец, в надежности и безопасности работы котла в целом.

В дореволюционной России строительством вертикально-водотрубных котлов занимались около 10 заводов (С.-Петербургский металлургический, Невский судостроительный, Николаевский судостроительный, Фицнер и Гампер в Сосновицах, бывший Нев и Вильде в Таганроге, бывший Брянский, Коломенский, Луганский б. Гартмана и др.). Выпускавшиеся этими заводами котлы часто были, как будет рассмотрено ниже, несовершенных конструкций.

Подлинное развитие, имевшее в основе успехи теоретической и экспериментальной работы советских ученых, отечественное котлостроение получило в годы сталинских пятилеток.

Первые серьезные успехи советского котлостроения относятся к периоду 1926—1927 гг., т. е. к моменту, когда выпуск котлов по метражу достиг довоенного уровня ( $32\ 700\ м^2$ ) и когда на основе опыта, накопленного конструкторскими бюро котлостроительных заводов, и в первую очередь бюро ЛМЗ имени И. В. Сталина, был осуществлен переход к новому решающему этапу котлостроения. После восстановления количественных показателей отечественного котлостроения, естественно, возник вопрос о качественных сдвигах и о повышении рабочих параметров. Началось постепенное увеличение рабочего давления в котле и температуры перегрева пара. Так в 1926 г. давление пара для крупных котлов находилось в основном на уровне  $20\ ат$  и температура перегрева пара — на уровне  $400^\circ\text{С}$ .

В следующем, 1927 г., было уже установлено для крупных котлов стандартное давление  $32\ ат$  и температура перегрева  $425^\circ\text{С}$ . Был

выпущен первый советский крупный вертикально-водотрубный котел с поверхностью нагрева  $750 \text{ м}^2$ .

Все первые серии советских котлов заводов ЛМЗ, НЗЛ и ТКЗ пошли на восстановление энергетических установок промышленных предприятий для строительства теплоцентралей текстильной промышленности и для оборудования паровых электростанций СССР.

Первый период советского котлостроения, длившийся, примерно, с 1924 по 1930 гг., характерен выпуском разнообразных типов котлов вообще и выпуском в основном четырехбарабанных котлов системы ЛМЗ (Ленинградского металлического завода) для крупной энергетики в частности. Последние до сих пор еще несут службу на многих электростанциях и в промышленных энергетических установках СССР. Они разделяются на две отличающиеся одна от другой группы. Первая группа — это котлы с рабочим давлением до  $25 \text{ ат}$  с температурой перегрева пара до  $375^\circ \text{С}$ , поверхностью нагрева  $400\text{—}750 \text{ м}^2$ , с клепаными барабанами и общей паропроизводительностью от 10 до  $35 \text{ т/час}$ . Эта группа котлов устанавливалась без экранов. Топки этих котлов были цепные, шахтно-цепные и шахтные для сжигания низкосортных топлив. Первые четырехбарабанные котлы были выпущены ЛМЗ в 1925 г. для уральских заводов. Их поверхность нагрева составляла  $400 \text{ м}^2$ , рабочее давление пара —  $15 \text{ ат}$ . Переход Металлического завода на четырехбарабанные котлы был вызван стремлением создать для возрождающейся промышленности котел большой поверхности нагрева из коротких труб сохранившегося отечественного проката и без изменения при этом диаметра барабана против того, который имел место в двух- и трехбарабанных котлах ЛМЗ, выпускавшихся до революции.

Вторая серия четырехбарабанных котлов ЛМЗ включает котлы повышенного давления ( $32\text{—}34 \text{ ат}$ ) и имеет уже размер поверхности нагрева от  $750\text{—}800$  до  $1500 \text{ м}^2$  и соответственно производительность — от  $35/55$  до  $90/120 \text{ т/час}$  при слоевом сжигании топлива.

Кроме четырехбарабанных котлов, Ленинградский металлический завод выпускал в начале этого периода также двух- и трехбарабанные вертикально-водотрубные котлы малой мощности. Первые выпускались размером в  $150, 200, 250 \text{ м}^2$  с давлением  $13\text{—}15 \text{ ат}$  при удельном паросъеме до  $27 \text{ кг/м}^2\text{час}$ , а вторые с поверхностью нагрева до  $400 \text{ м}^2$ .

Четырехбарабанные вертикально-водотрубные котлы ЛМЗ первой группы с поверхностью нагрева  $400 \text{ м}^2$  явились прообразом для конструирования и выпуска второй серии котлов с поверхностью нагрева  $500\text{—}750 \text{ м}^2$ . Вначале они изготовлялись заводом без учета типа топлива и способа его сжигания, без учета конструктивных форм топки и топочной камеры. Принималась во внимание лишь возможность размещения цепной решетки. Естественно, что при приспособлении этого типа котла под камерное сжигание угля был встречен ряд конструктивных и компоновочных трудностей.

В этот период появились первые советские котлы с экранированными топками. Это были четырехбарабанные котлы ЛМЗ с поверхностью нагрева  $750 \text{ м}^2$  для Краснодарской ТЭЦ.

Следующей ступенью развития советского котлостроения является котлоагрегат, созданный для Новороссийской ГРЭС. Это — четырехбарабанный котел ЛМЗ с поверхностью нагрева  $750 \text{ м}^2$ , общей производительностью  $30 \text{ т/час}$  и давлением  $30 \text{ ат}$  при температуре перегрева пара  $425^\circ \text{ С}$ . Вслед за этим типом котла были подготовлены и сданы в эксплуатацию котлоагрегаты с поверхностью нагрева  $750 \text{ м}^2$ , с торфяными топками (для белорусских станций). Кстати, это были уже последние котлы, выпущенные с незранированными топками.

Успехи советского котлостроения в этот период обусловили возможность выпуска котлов большой мощности с поверхностью нагрева  $1500 \text{ м}^2$  и больше. Такие котлы выпускались для крупных электростанций, сжигающих уголь в слое, а затем и в пылевидном состоянии, а также кусковой торф в специальных отечественных топках (топки Макарьева). В этих крупных четырехбарабанных котлах первоначальная конструктивная схема была оставлена без коренных изменений.

Производство котлов с поверхностью нагрева  $1500 \text{ м}^2$  поставило перед заводами ряд новых технологических проблем и конструкторских задач, причем эти проблемы должны были предусмотреть также и внедрение пылеугольного отопления. Первые конструкции пылеугольных котлов с поверхностью нагрева  $1500 \text{ м}^2$  были начаты разработкой в 1930 г. В конце первого периода были спроектированы котлы  $1500 \text{ м}^2$ , но уже с тремя барабанами, на рабочее давление  $32 \text{ ат}$ . Экранирование в этих котлах в начале было предусмотрено вполне достаточное; в последних котлах оно было резко увеличено, что позволило избежать шлакования и повышения температуры газов перед пароперегревателем. На этом типе советского котла распространенной советской конструкции было начато изучение процесса сепарации, развернуты циркуляционные исследования, детально была изучена схема экранирования и температурные условия топки и т. д., что оказало серьезное влияние на дальнейшее развитие котлостроения.

Опыт производства котлов на ЛМЗ с поверхностью нагрева  $1500 \text{ м}^2$ , наблюдение за их работой и исследование рабочих процессов в них были основой для проектирования в 1929 г. и для создания в 30-х годах еще более крупных трехбарабанных советских котлов с поверхностью нагрева  $2500 \text{ м}^2$  и общей паропроизводительностью  $135/160 \text{ т/час}$ .

Другой крупный котлостроительный завод (Невский) в первый период работы, после восстановления отечественного котлостроения выпускал пятибарабанные котлы собственной конструкции с поверхностью нагрева  $250, 300, 400, 450 \text{ м}^2$  и рабочим давлением  $16 \text{ ат}$ . В 1927 г. эти пятибарабанные котлы были несколько реконструированы и стали выпускаться под названием НМЗ-5. Величина поверхности нагрева их была от  $250$  до  $500 \text{ м}^2$ , рабочее давление —  $15—17 \text{ ат}$ .

Следующей модификацией этих котлов были котлы уже с тремя барабанами НМЗ-3 с поверхностью нагрева  $250—500 \text{ м}^2$ . В последующие 1929—1930 гг. НМЗ провел модернизацию указанных котлов и стал выпускать трехбарабанные котлы средней мощности с поверхностью нагрева  $400, 500, 600 \text{ м}^2$ . В 1930 г. был запроектирован такой



котел (НЗЛ-3) с поверхностью нагрева  $600 \text{ м}^2$  и рабочим давлением  $22 \text{ ат}$  для работы на угольной пыли.

Московским заводом «Парострой» в указанный период в большом количестве выпускались хорошо зарекомендовавшие себя в условиях промышленных предприятий котлы В. Г. Шухова.

В этот период отечественное котлостроение выпускало также вертикально-водотрубные котлы малой мощности типа Гарбе — ЮМТ, Гарбе — Кестнер, Гарбе — Наваль и другие, выпускаемые Таганрогским заводом «Красный Котельщик». Эти котлы строились также и на заводе А. Марти в Николаеве. В этот же период выпускались вертикально-водотрубные котлы типа ЗВГ, ЮМТ (конструкторского бюро Южно-русского металлургического треста) с поверхностью нагрева  $400 \text{ м}^2$  и давлением до  $22 \text{ ат}$ . Наряду с этим Таганрогский котлостроительный завод выпускал жаротрубные, главным образом, с одной жаровой трубой котлы с поверхностью нагрева до  $100 \text{ м}^2$  и рабочим давлением до  $10 \text{ ат}$ , горизонтально-водотрубные секционные котлы нормального типа (по проекту ЮМТ) на  $250$  и  $400 \text{ м}^2$  с рабочим давлением  $16 \text{ ат}$ .

Ленинградский металлический завод наряду с указанными выше котлами выпускал морские секционные одnobарабанные горизонтально-водотрубные котлы. Они строились заводом в 1925—1926 гг. с поверхностью нагрева от  $300$  до  $1400 \text{ м}^2$ , причем наиболее ходовыми размерами были  $317$  и  $753 \text{ м}^2$  с давлением до  $15 \text{ ат}$ . Строительство секционных морских котлов на ЛМЗ продолжалось недолго, так как завод перешел к производству преимущественно вертикально-водотрубных котлов.

Наконец, следует отметить, что до 1930 г. Луганский завод (быв. Гартман) строил еще горизонтально-водотрубные камерные котлы конструкции инж. А. Лукина.

Таким образом, в первый период советское котлостроение, получив разрушенную техническую базу и весьма раздробленное энергомашиностроительное хозяйство, вынуждено было продолжать некоторое время выпуск устаревших конструкций и считаться с объемом выпускавшихся типов и размеров котлов.

Однако анализ состояния отечественного котлостроения к 1930 г., т. е. по существу лишь через 5—7 лет его нормальной работы, позволяет сделать заключение о серьезных сдвигах в этой области. Наряду с большим количеством старых типов котлов были созданы и начали выпускаться массовым порядком котлоагрегаты не только стоявшие на уровне современной техники, но и опережавшие ее (например, котлы с специфическими топками для сжигания низкосортных энергетических сортов топлива). Появились мощные высокопроизводительные котлы оригинальной конструкции.

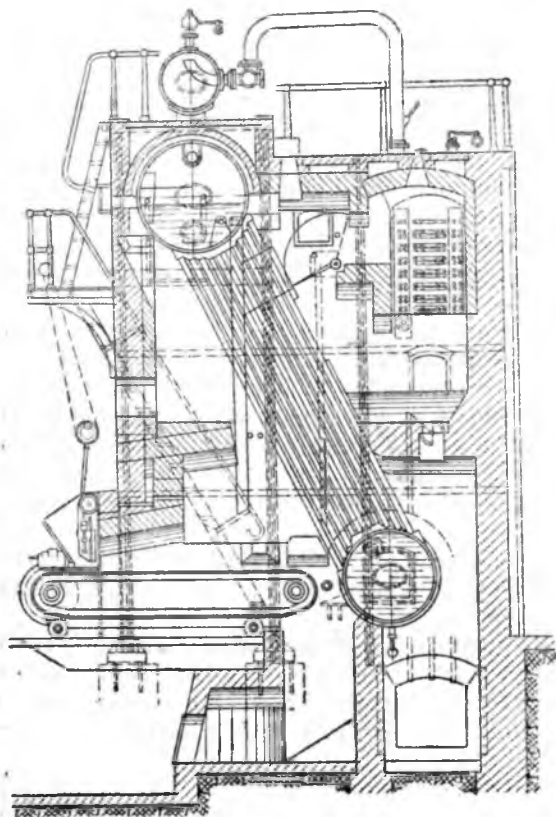
Общее развитие котлостроения этого периода имело вполне определенную тенденцию широкого внедрения нового метода сжигания угля в пылевидном состоянии, обеспечившего возможность перехода к мощным котельным агрегатам и к широкому потреблению низкосортных топлив в энергетическом хозяйстве. Решение советскими теплотехниками проблемы использования низкосортных местных топлив имело большое значение для развития энергетики. Наиболее

рациональным методом сжигания низкосортных углей является, как известно, камерный, т. е. сжигание угля в виде пыли. Этот способ, как уже выше отмечено, был теоретически исследован и разработан еще в начале XX в. проф. С.-Петербургского технологического института Г. Ф. Делп. Русской теплотехнике принадлежит приоритет в этой важной области современной паротехники.

Ниже приводится рассмотрение типичных отечественных конструкций вертикально-водотрубных котлов с момента их появления (1905—1906 гг.).

Строительство вертикально-водотрубных котлов началось в России одновременно с другими странами. Котлы сооружались с прямыми либо изогнутыми кипятельными трубками.

Котлы с прямыми трубками типа Гарбе строил известный завод Фишер и Гампер в Соновницах, находившийся тогда на территории России. На фиг. 87 приведен одинарный, двухбарабанный, однолучковый котел с прямыми трубами, развальцованными в гнездах, сделанных в специальных штампованных плитах (так называемая прямая вальцовка труб). Такая развальцовка удобна, однако требует (при



Фиг. 87. Двухбарабанный вертикально-водотрубный котел с прямыми трубами (1906 г.)

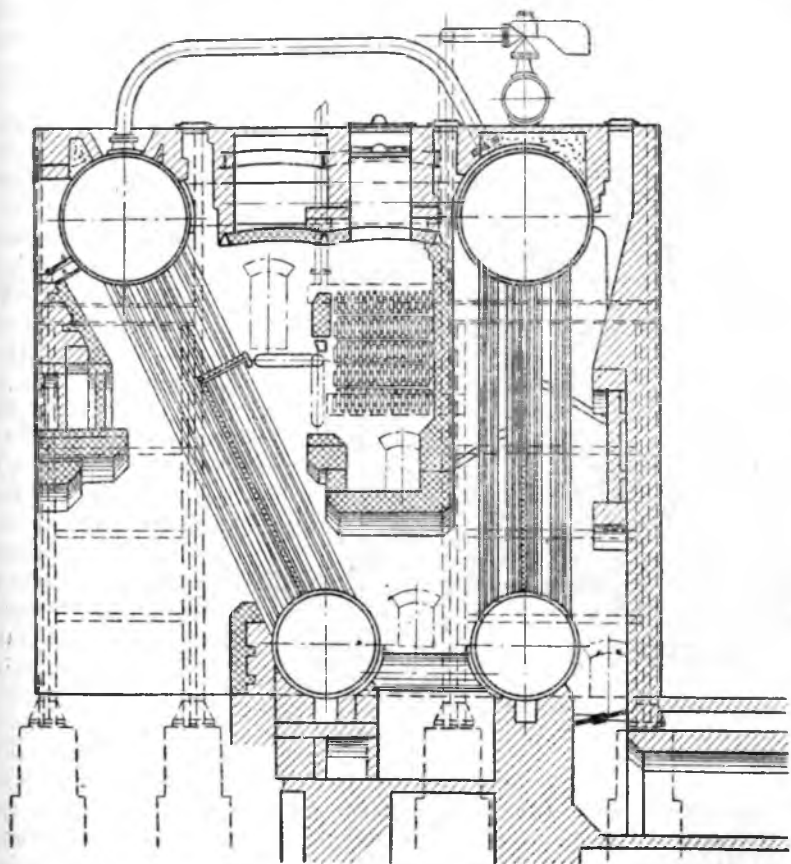
прямых трубах) специальной штампованной и дорогой плиты, которая, увеличивая удельные расходы металла, значительно утяжеляет котел. В дальнейшем была принята иная конструкция барабана с утолщением той части стенки его, где вальцовывались трубы, что привело к облегчению и удешевлению котла.

Одинарные котлы типа Гарбе строились указанным заводом с поверхностью нагрева от 100 до 400 м<sup>2</sup> при диаметре нижнего барабана 1200 и верхнего — 1500 мм. Длина верхнего барабана составляла от 2520 до 7560 мм, а нижнего — от 1890 до 6780 мм. Такая длина барабанов и их поперечное (вдоль фронта) расположение позволяло иметь топку ольшой ширины и колосниковую решетку большой площади,

что было очень удачным в смысле сжигания под такими котлами низкосортного энергетического топлива.

Кипятильные трубы в данных котлах ставились диаметром 60/54 мм при средней их длине 5300 мм. Их число в зависимости от размера поверхности нагрева котла составляло от 100 до 400.

Двойной котел того же завода (фиг. 88) отличается от первого постановкой в той же обмуровке рядом такого же одинарного котла



Фиг. 88. Четырехбарабанный (двойной) вертикально-водотрубный котел с прямыми трубами.

в вертикальном положении. Размеры поверхности нагрева этих четырехбарабанных двухкамерных котлов были от 150 до 600 м<sup>2</sup>. Диаметры и длины барабанов совершенно аналогичны первому. Число кипящих труб от 200 до 800. Диаметр их — 60/54 мм.

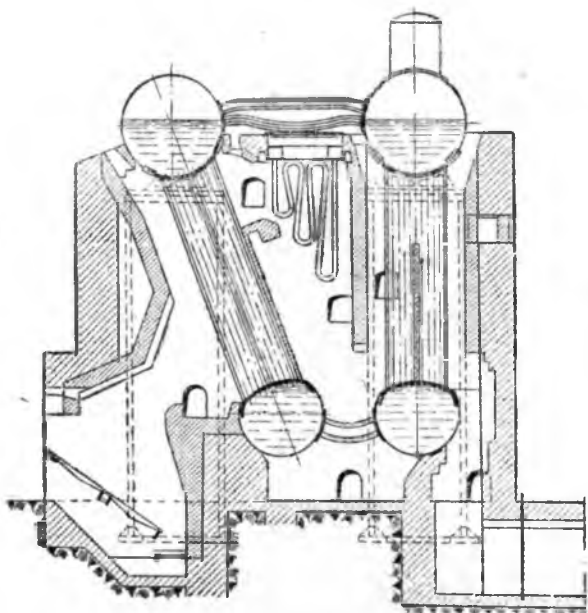
Начиная с 1914 г., выпуск этих котлов (фиг. 87 и 88) прекращен.

Аналогичными по внешнему виду были котлы системы Гарбе — Наваль (фиг. 89), которые строились Николаевским судостроительным заводом с двумя и четырьмя барабанами, с размером поверхности нагрева от 150 до 400 м<sup>2</sup>. Коренным отличием этого типа котла от

предыдущего является конструкция трубных плит в верхних и нижних барабанах. Эти плиты штамповались и изгибались отдельно от другой части барабана, имели значительно больший радиус (1100 мм) кривизны, чем барабан (600—750 мм), приближавший их к плоскости, и были несколько толще, чем все тело барабана. Наличие такой близкой к плоской поверхности плиты ограничивало размер допускаемого давления пара, и требовалось при заданном давлении увеличивать ее толщину, что утяжеляло и усложняло конструкцию. Также усложнялось в связи с разными радиусами кривизны секторов

барабана и изготовление днищ.

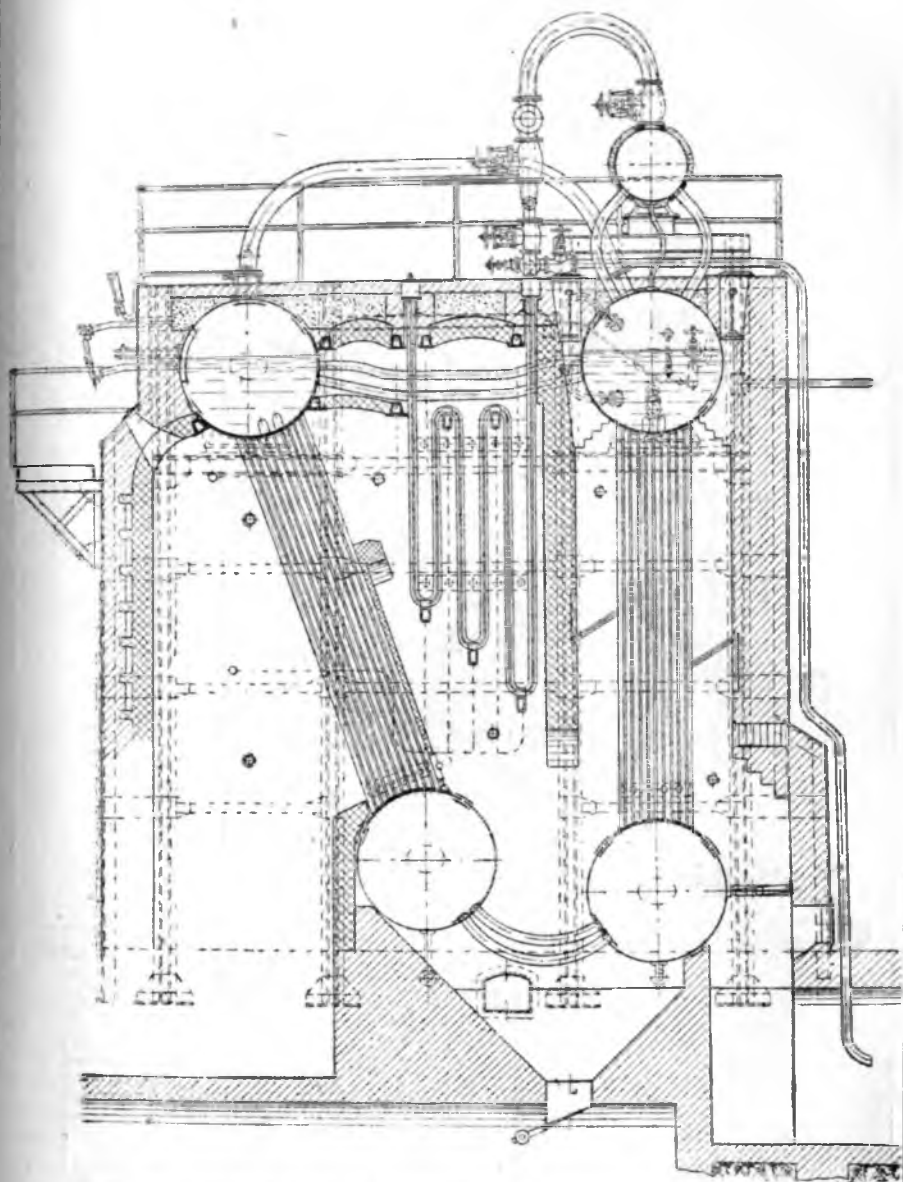
Для усиления циркуляции в котлах этого типа верхний и нижний передние барабаны соединены циркуляционными трубами (диаметром 175 мм) по одной с каждой стороны. В дальнейшем от котлов этого типа отказались и перешли к типу Гарбе — ЮМТ (фиг. 90) с утолщенной же трубной плитой, но одинакового с барабаном радиуса кривизны. Строились эти котлы на давление до 18 ат и размером поверхности нагрева 150—200 (одинарные) и 300—600 м<sup>2</sup> (четырехба-



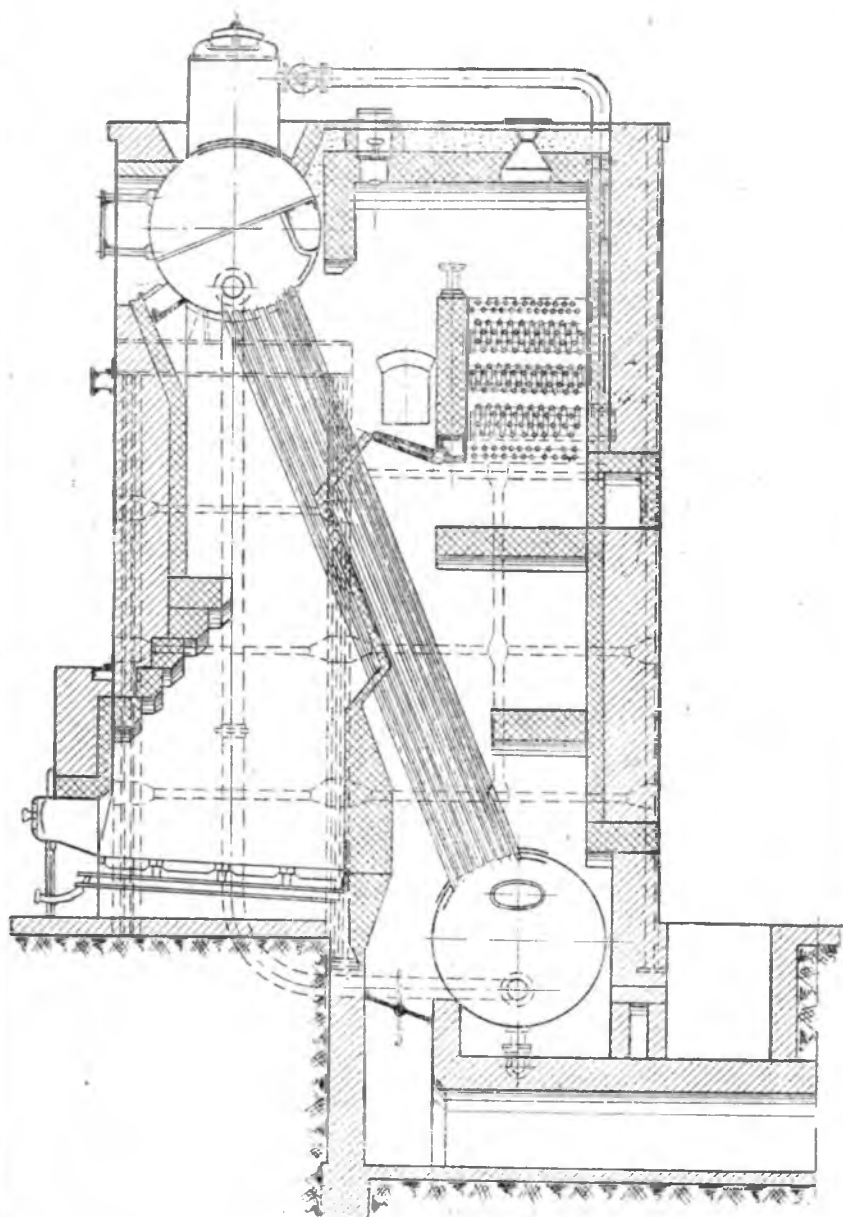
Фиг. 89. Четырехбарабанный прямотрубный котел типа Гарбе (завода Наваль в Николаеве).

рабанные, двойные). Диаметры верхнего и нижнего барабанов здесь сохранены такими же, как и в вышеназванных котлах; длина их от 3670 до 5550 мм — верхнего и от 2520 до 4150 мм — нижнего барабана. Размеры труб сохранены. В котлах Гарбе — ЮМТ (Конструкторского Бюро Южно-русского металлургического треста) возросли трудности с вальцовкой труб. В данной конструкции она принята косою. Как известно, в этом случае удаление от средней линии к периферии увеличивает неравномерность прижатия трубы к стенке барабана, что ухудшает качество вальцовки. В этой конструкции котла впервые осуществлено гибкое соединение барабанов между собой посредством труб малого диаметра. В целом же котлы мало отличались от вышеописанных.

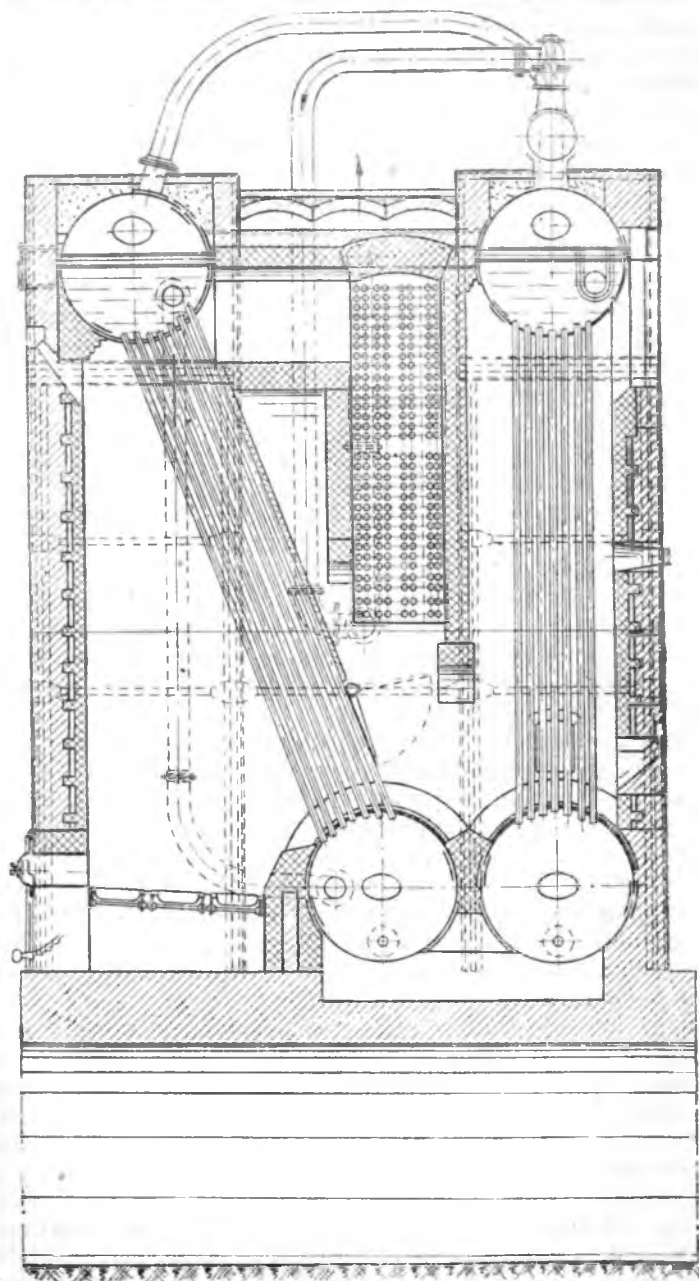
Значительная работа по созданию оригинальных конструкций котлов была проделана Луганским (ныне им. «Октябрьской революции» Ворошиловградским) заводом, который выпустил три типа



Фиг. 90. Четырехбаранный прямоугольный котел типа Гарбе — ЮМТ.



Фиг. 91. Двухбарабанный вертикально-водотрубный прямотрубный котел Луганского завода.



Фиг. 92. Четырехбарабанный прямотрубный котел  
Луганского завода.

вертикально-водотрубных прямотрубных котлов: двухбарабанные с поверхностью нагрева от 70 до 250 м<sup>2</sup>, четырехбарабанные с поверхностью нагрева от 260 до 890 м<sup>2</sup> и трехбарабанные с поверхностью нагрева от 245 до 765 м<sup>2</sup>. Во всех поименованных котлах как верхние, так и нижние барабаны имеют диаметр, равный 1500 мм. Для развальцовки труб (косой во всех случаях) в барабанах сделаны утолщенные трубные стенки; трубы имеют тот же, что и в ранних конструкциях диаметр, т. е. 60/54 мм. В двух- и трехбарабанных конструкциях котлов в целях лучшей организации циркуляции верхние и нижние барабаны соединены циркуляционными трубами диаметром от 216/203 до 191/180 мм. Двухбарабанные котлы типа Гарбе — ЮМТ Луганского завода (фиг. 91) имели диаметр барабанов 1500 мм и длину от 2245 до 5185 мм для верхнего и до 4495 мм для нижнего.

Число кипяtilьных труб — от 70 до 238. Котлы строились на давление до 18 ат.

В четырехбарабанных котлах (фиг. 92) диаметры барабанов и кипяtilьных труб сохранены; длина верхних барабанов — от 3470 до 9830 мм, а нижних — до 9120 мм. Количество труб в переднем пучке от 140 до 476 при длине 5310 мм и в заднем пучке — от 132 до 460 при длине 4815 мм.

В трехбарабанной конструкции (фиг. 93) оба верхних и нижний барабаны — одинакового (1500 мм) диаметра, длина верхних барабанов — от 3715 до 9830 мм и нижнего — до 9120 мм. Число труб в переднем пучке — от 132 до 408 при длине 5370 мм и в заднем — от 124 до 392 при длине 4790 мм.

В котлах Луганского завода обращает на себя внимание уменьшенное количество рядов труб в глубину котла (по ходу газов), обычно, по 7—8 рядов, а в трехбарабанных даже по 6 рядов; зато число рядов в ширину значительно увеличено.

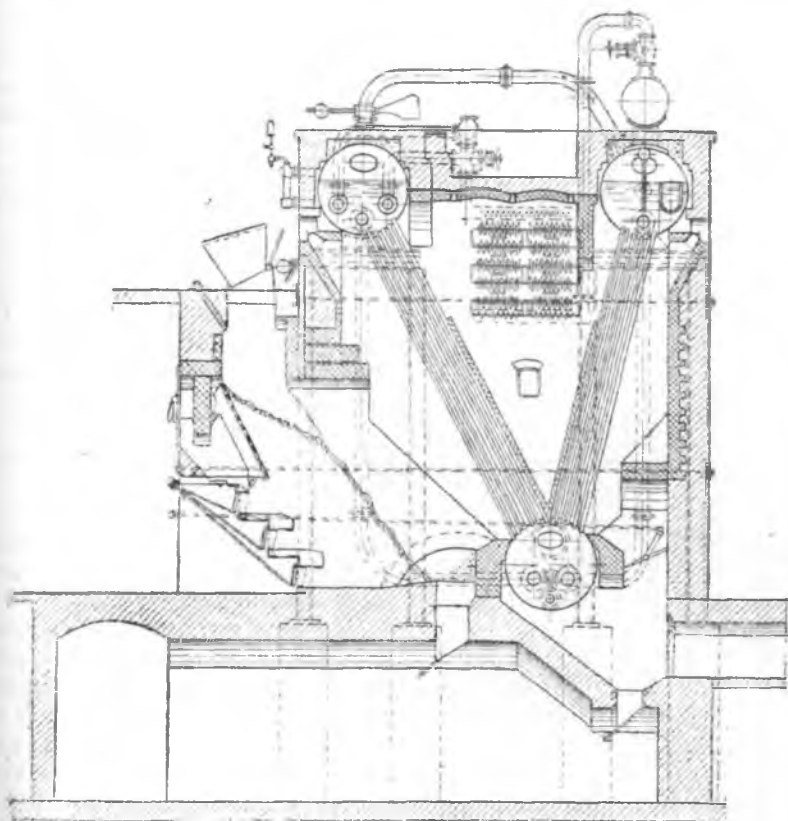
Котлы Луганского завода работали довольно хорошо, давали удельную паропроизводительность до 45—50 кг/м<sup>2</sup>час и устанавливались на ряде наших электростанций в период до 1927—1928 гг., но так как они имели прямые трубы, вызывающие ряд эксплуатационных недостатков, эти котлы после указанного периода были сняты с производства.

Наконец, последними в ряду прямотрубных котлов являются отечественные котлы типа Кестнер — ЮМТ или Гарбе — Кестнер.

Эти котлы строились двухбарабанными (фиг. 94) и четырехбарабанными (фиг. 95) и существенно отличались от всех предыдущих. Отличались эти котлы прежде всего наличием в них циркуляционных трубок типа Фильда. Ставилось этих трубок обычно по две в каждом поперечном ряду. Для этого кипяtilьные трубки, в которые вставлялись трубки указанного типа, брались несколько большего диаметра — 83 мм против 60 мм обычных кипяtilьных труб. Трубки, вводимые внутрь кипяtilьных труб, делались из латуни, и размер их составлял 52/50 мм. Длина кипяtilьных трубок бралась около 7000 мм, а циркуляционных трубок — несколько больше, так как они входили в нижний барабан почти до его половины. Для развальцовки латунных трубок в верхних барабанах устанавливались осо-



бые корытообразные перегородки, на которые поступала питательная вода. Последняя предварительно проходила через сепаратор и грязеотделитель, так как в противном случае кольцевое пространство в кипятельных трубах, снабженных трубкой, быстро заростало накишью. Как показала практика эксплуатации, необходимость в постановке циркуляционных трубок с целью увеличения удельного паросъема была весьма проблематичной, так как вертикально-водо-



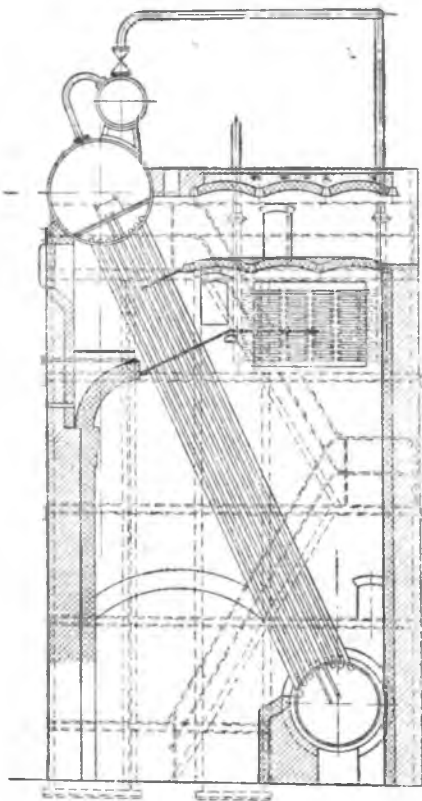
Фиг. 93. Трехбарабанный вертикально-водотрубный котел Луганского завода с прямыми трубами.

трубные котлы и без таких трубок давали не меньшие значения паросъема ( $50-60 \text{ кг/м}^2\text{час}$ ). Сложность же устройства и неизбежно возникавшие эксплуатационные трудности приводили к удорожанию сооружения котла и его эксплуатации.

Другим конструктивным отличием котлов системы Гарбе—Кестнер было особое зигзагообразное размещение кипятельных труб в пучке с косой их развальцовкой в цилиндрических утолщенных плитах аналогично котлам типа Гарбе Луганского завода. Это расположение труб обеспечивало полную доступность всех труб при смене и очи-

стке их и, что главное, увеличение радиационной поверхности нагрева пучка.

Наконец, третьим конструктивным отличием этого типа котлов от ранее указанных является наличие в них экономайзера. Экономайзер стоит в отдельной выгородке. Трубки в нем в отличие от собственно котла сделаны изогнутыми и входят в барабаны радиально. Таким образом, в этой конструкции в наличии шесть одинаковых по размерам барабанов, что значительно утяжеляет котел.



Фиг. 94. Двухбарабанный прямо-  
трубный котел типа Кестнер — ЮМГ  
(Гарбе — Кестнер).

Четырехбарабанные котлы Гарбе — Кестнер с железным экономайзером строились размером от 300 до 600 м<sup>2</sup>. Диаметры барабанов — 1200—1500 мм, длина — от 3670 до 5560 мм верхних и от 2520 до 4150 мм нижних. В двухбарабанных котлах — они были всегда без экономайзера — диаметры барабанов и труб были те же, что и в четырехбарабанных. Длина барабанов верхнего — 3350—3990, а нижнего — 2200—2840 мм. Выпускались данные типы котлов лишь двух размеров — 150 и 200 м<sup>2</sup>. После 1926 г. выпуск этих котлов был прекращен.

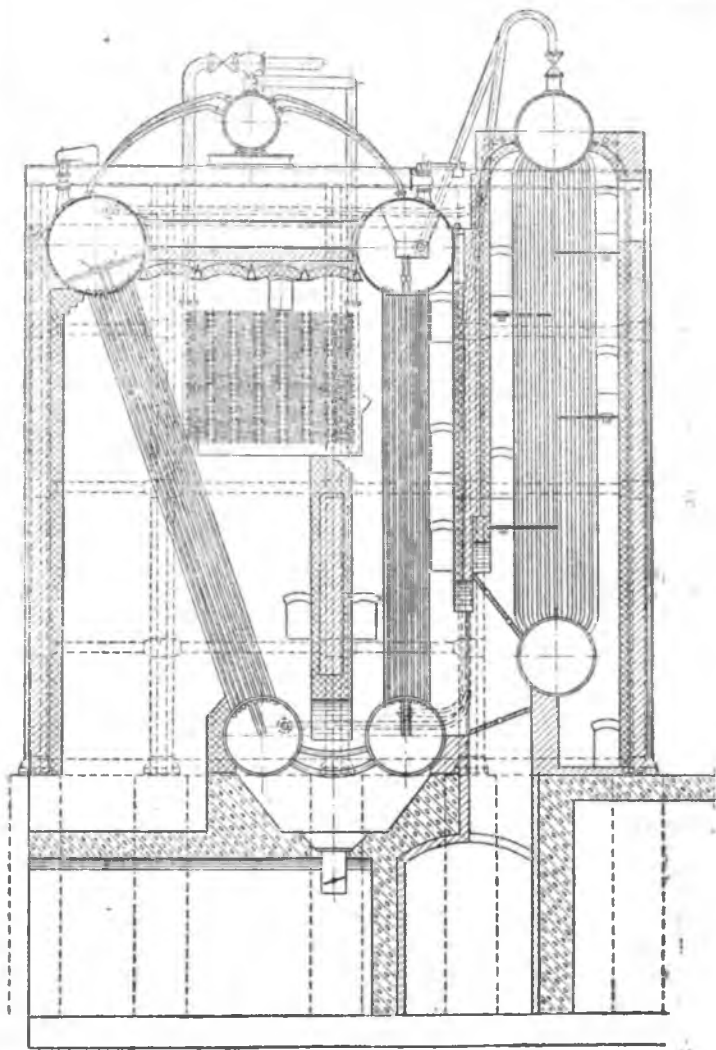
Наряду с прямотрубными котлами, начиная, примерно, с 1912 г., в России начали изготавливаться вертикально-водотрубные котлы с изогнутыми, т. е. радиально входящими своими концами в тело барабана трубами. Как известно, котлы с такой конструкцией труб обладают большими преимуществами и являются с 20-х годов текущего столетия основным типом котлов во всех странах. Современное котлостроение прочно приняло этот тип за основу в связи с переходом на более высокие параметры, а также в связи

со все большим ростом единичных мощностей и переходом на низкосортные энергетические топлива, которые удобнее всего сжигать в порошкообразном виде.

Первым в России начал строить вертикально-водотрубные котлы с изогнутыми трубками Брянский завод. Этот завод выпустил два котла с поверхностью нагрева 120 и 140 м<sup>2</sup> для своей заводской электростанции по чертежам известного русского профессора К. В. Кирш. Эти котлы (фиг. 96) имели высокую удельную паропроизводительность, составлявшую, в среднем, 60 кг/м<sup>2</sup>час

я были снабжены чугунными водяными экономайзерами с сильно развитой поверхностью нагрева. Диаметр барабанов в этих котлах был 1500 мм, диаметр кипяtilьных труб — 60/54 мм.

Начиная с 1913—1914 гг., к постройке вертикально-водотрубных котлов приступили два крупнейших котлостроительных завода



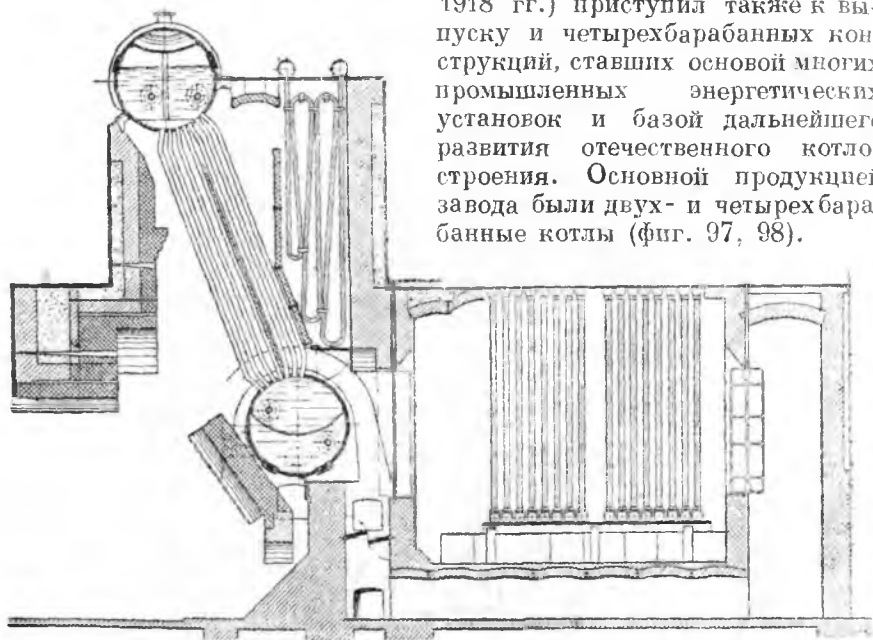
Фиг. 95. Четырехбарабанный прямотрубный котел типа Гарбе — Кестнер.

России: Петербургский металлический и Невский судостроительный, а также паровозостроительный Коломенский завод.

Рассматривая конструкции этих котлов и сравнивая их с самыми передовыми западноевропейскими и американскими образцами, не-

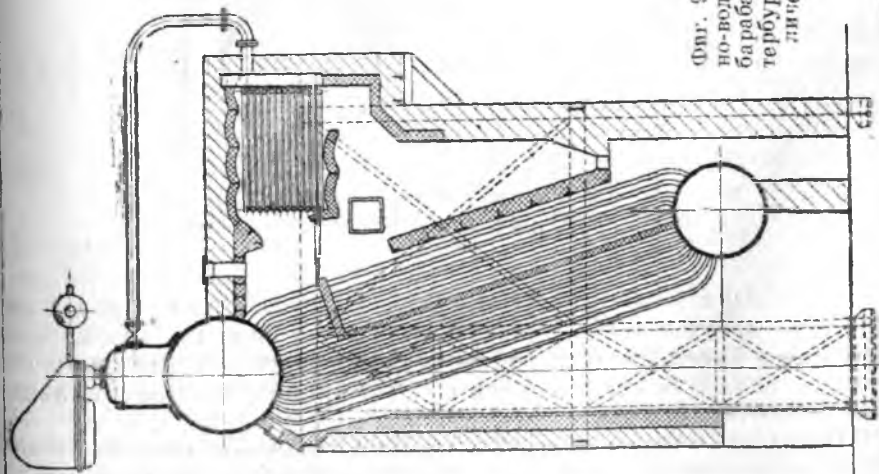
обходимо прежде всего подчеркнуть, что, несмотря на известную отсталость энергомашиностроительной базы того времени, несмотря на косность руководящих кругов и их преклонение перед заморским авторитетом, основные котельные конструкции отечественного производства стояли отнюдь не ниже заграничных. Качество конструкций и качество их изготовления могли бы быть примером для многих других стран.

Металлический завод в Петербурге начал производство двух- и трехбарабанных вертикально-водотрубных котлов малой мощности с изогнутыми трубками, а в дальнейшем в военное время (1914—1918 гг.) приступил также к выпуску и четырехбарабанных конструкций, ставших основой многих промышленных энергетических установок и базой дальнейшего развития отечественного котлостроения. Основной продукцией завода были двух- и четырехбарабанные котлы (фиг. 97, 98).

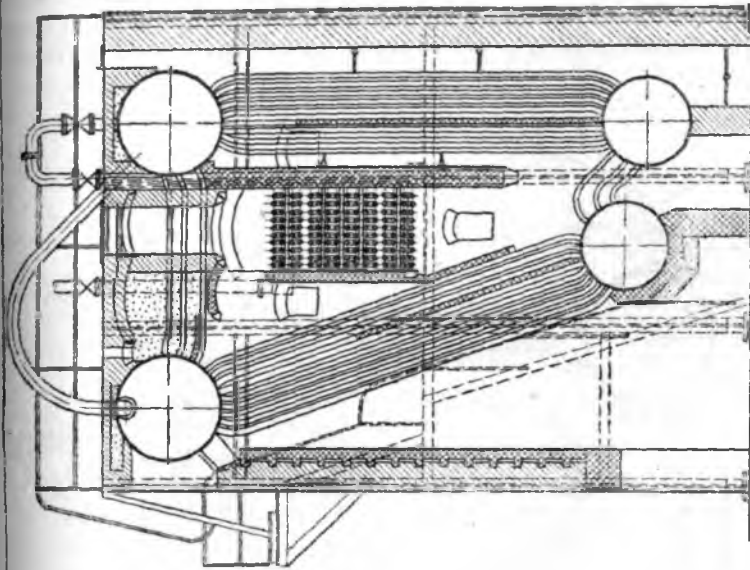


Фиг. 96. Вертикально-водотрубный двухбарабанный котел Брянского завода с изогнутыми трубками (1912 г.).

С самого начала завод принял в качестве стандарта диаметр нижнего барабана 1200 мм и верхнего — 1500 мм. Диаметр кипяtilьных труб сохранен таким же, как в прямотрубных котлах — 60/54 мм для давления до 22 ат. В дальнейшем при переходе на давление выше 22 ат (в послереволюционные годы) диаметр труб был принят вначале равным 60/52 (т. е. толщина стенки была увеличена на 1 мм), а потом в новых котлах, трех- и четырехбарабанных, он был принят уже 83/76.5 мм. Размер труб, соединяющих барабаны (в четырехбарабанных котлах), принят 76/70 мм. Таким образом, изменение размера поверхности нагрева котла достигнуто здесь путем увеличения длины барабанов, т. е. увеличения числа рядов труб по ширине котла, а также изменением длины труб (от 4500 до 6000 мм) и изменением числа рядов труб по ходу газов.

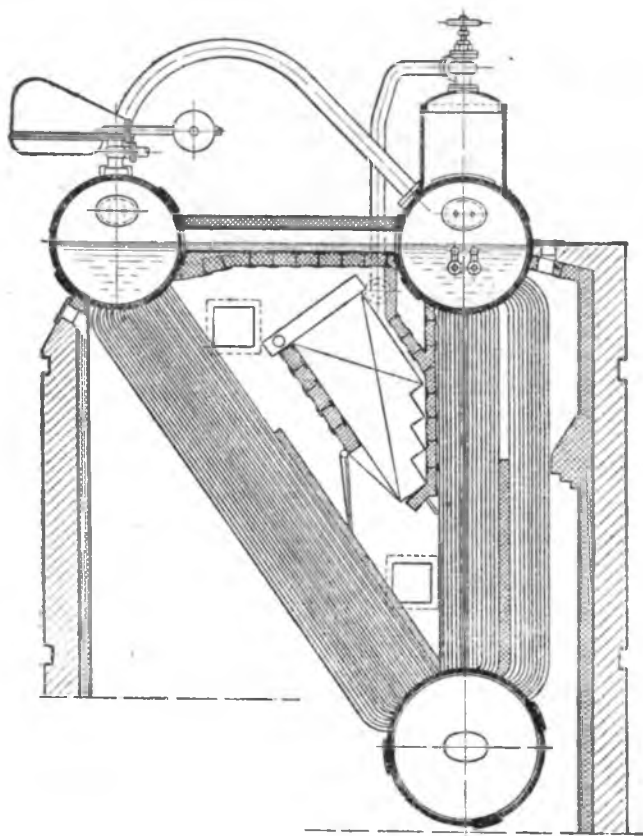


Фиг. 97. Вертикально-водотрубный двухбарabanный котел Петербургского металлического завода.



Фиг. 98. Вертикально-водотрубный четырехбарabanный котел Петербургского металлического завода.

Двухбарабанные котлы выпускались Ленинградским металлическим заводом с поверхностью нагрева от 150 до 300 м<sup>2</sup> и четырехбарабанные — от 300 до 750 м<sup>2</sup>. Интересно, что имея в виду организовать надежную циркуляцию в котле, завод с самого начала диаметр труб во втором (заднем) пучке ставил несколько большим (70 мм против 60 мм).

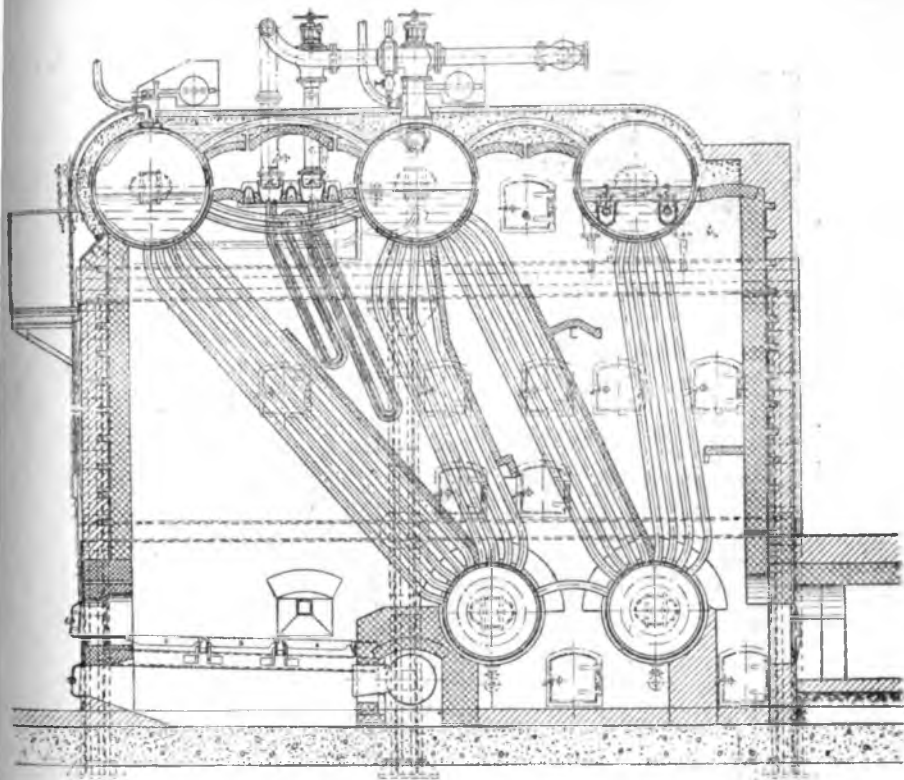


Фиг. 99. Вертикально-водотрубный трехбарабанный котел Петербургского металлического завода.

В трехбарабанном котле ЛМЗ (фиг. 99) выпуска первых лет сохранились размеры труб и барабанов. Только нижний барабан взят несколько большего диаметра — 1800 мм. Верхние барабаны соединяются трубой очень большого (около 300 мм) диаметра, что являлось недостатком котла.

Перед рассмотрением мощных трех- и четырехбарабанных котлов ЛМЗ, выпуск которых начался в годы первой пятилетки, ознакомимся с конструкциями котлов Невского и др. заводов, так как общий обзор котлостроения этого периода даст более ясную картину значительных сдвигов, которые произошли уже в наше время.

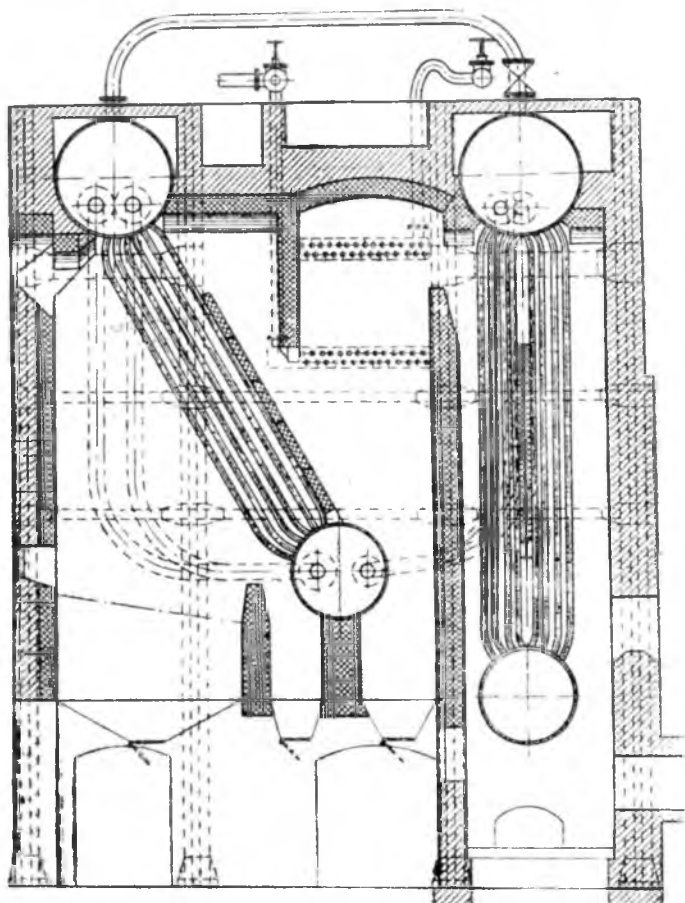
Котлы Невского судостроительного завода строились по типу вертикально-водотрубных котлов с изогнутыми трубками, появившихся в практике котлостроения в 1905—1906 гг. Строительство их на Невском заводе началось позже. Изготавливались эти котлы в основном в виде пятибарабанных и реже — трехбарабанных. Пятибарабанные котлы (фиг. 100), строившиеся Невским заводом, получили довольно большое распространение в промышленных установках и в котельных



Фиг. 100. Вертикально-водотрубный, пятибарабанный котел Невского завода (1910—1911 гг.).

центральных электрических станций (ЦЭС). Они строились размером от 250 до 450 м<sup>2</sup>. Трехбарабанные котлы выпускались трех размеров: 150, 175 и 200 м<sup>2</sup>. Диаметр верхних барабанов в этих котлах — 1250 и нижних — 1000 мм. Диаметр кипящих труб во всех конструкциях — 83/76 мм. В котлах этого типа весьма увеличен путь газового потока и, следовательно, улучшены условия отбора тепла от него поверхностями нагрева. Однако котел весьма тяжел. Организация работы внутрикотлового тракта, т. е. в основном циркуляции воды и пара в котле, неудачна. Нормальная производительность котлов — 30—40 кг/м<sup>2</sup>час. Этот тип котлов существовал до периода первой пятилетки, когда Невский завод стал выпускать новые котлы типа НЗЛ.

Наконец, один из старых отечественных вертикально-водотрубных котлов с изогнутыми трубками — котел производства Коломенского завода 1915 г. показан на фиг. 101. Он напоминает собой двухбарабанный котел Металлического завода, отличаясь от него дополнительной установкой второго газохода, образованного двумя барабанами и пучком кипяtilьных труб (76/70 мм). Этот второй газо-



Фиг. 101. Вертикально-водотрубный четырехбарабанный котел Коломенского завода (1915 г.).

ход скорее является железным экономайзером. Размеры барабанов и труб в этом котле приняты также же, как и у вышеописанных вертикально-водотрубных котлов.

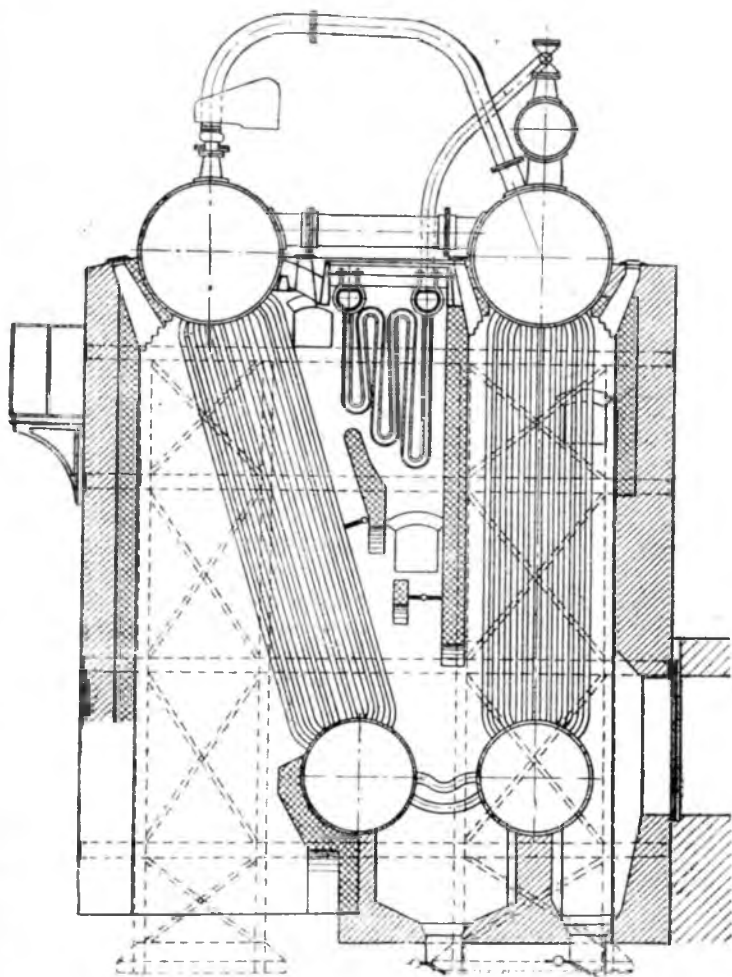
Почти такой же котел изображен на фиг. 102. Это — котел Сумского завода на  $400 \text{ м}^2$ , разработанный в период 1925—1927 гг. Отличается он от котлов Коломенского завода более тесным расположением пучков и расположением нижних барабанов на одном уровне.

Приведенными конструкциями исчерпываются типы вертикально-водотрубных котлов отечественного производства, строившихся.



в период с 1906—1908 гг. до 1927 г., т. е. на протяжении 20 лет. Выпускались, конечно, и другие конструкции, но они носили единичный характер и не определяли линии развития.

Переход советского котлостроения на плановые рельсы развития, широкий размах его в связи с общим подъемом народного хозяйства



Фиг. 102. Верткально-водотрубный четырехбарабанный котел  
Сумского завода (1925 г.).

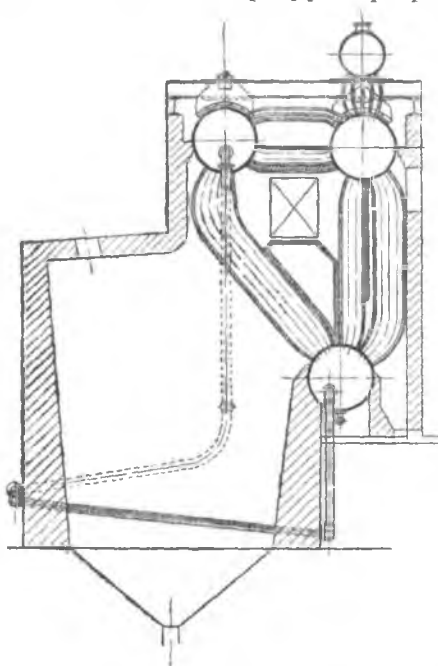
вызвали появление новых конструкций, которые включали в себе все лучшее из предшествующего опыта.

Один из проектов оригинального советского творчества приводится на фиг. 103. Это трехбарабанный трехпучковый котел с пылеугольной топкой, с барабанами диаметром 1500 мм, рассчитанный на 17 ат. Кипятильные и соединительные трубы имеют диаметр

82,5/75 мм. Общее количество труб в первом пучке — 72, их поверхность нагрева — 98 м<sup>2</sup>, во втором пучке — 162 трубы с поверхностью 183 м<sup>2</sup>. Появился первый, еще слабый, экран размером 15 м<sup>2</sup>, расположенный пока только на поду топки. Это гранулятор или скрин. Он состоит из 12 труб диаметром 82,5/75 мм. Таким образом, общая поверхность нагрева котла — 305 м<sup>2</sup>.

В дальнейшем приведены оригинальные конструкции вертикально-водотрубных котлов советского периода (до 1930 г.).

Четырехбарабанные котлы Ленинградского металлического завода, выпускавшиеся в 1927 г., производительностью 12 т/час при давлении 25 ат и температуре перегрева 375° С имели общую поверхность



Фиг. 103. Вертикально-водотрубный трехбарабанный котел с пылеугольной топкой (проект 1928 г., ВТИ).

нагрева до 750 м<sup>2</sup>. Они отличаются от первых четырехбарабанных конструкций тем, что в них кипятивному пучку придана иная более совершенная конфигурация, обеспечивающая большую надежность циркуляции (U-образный пучок) (фиг. 104).

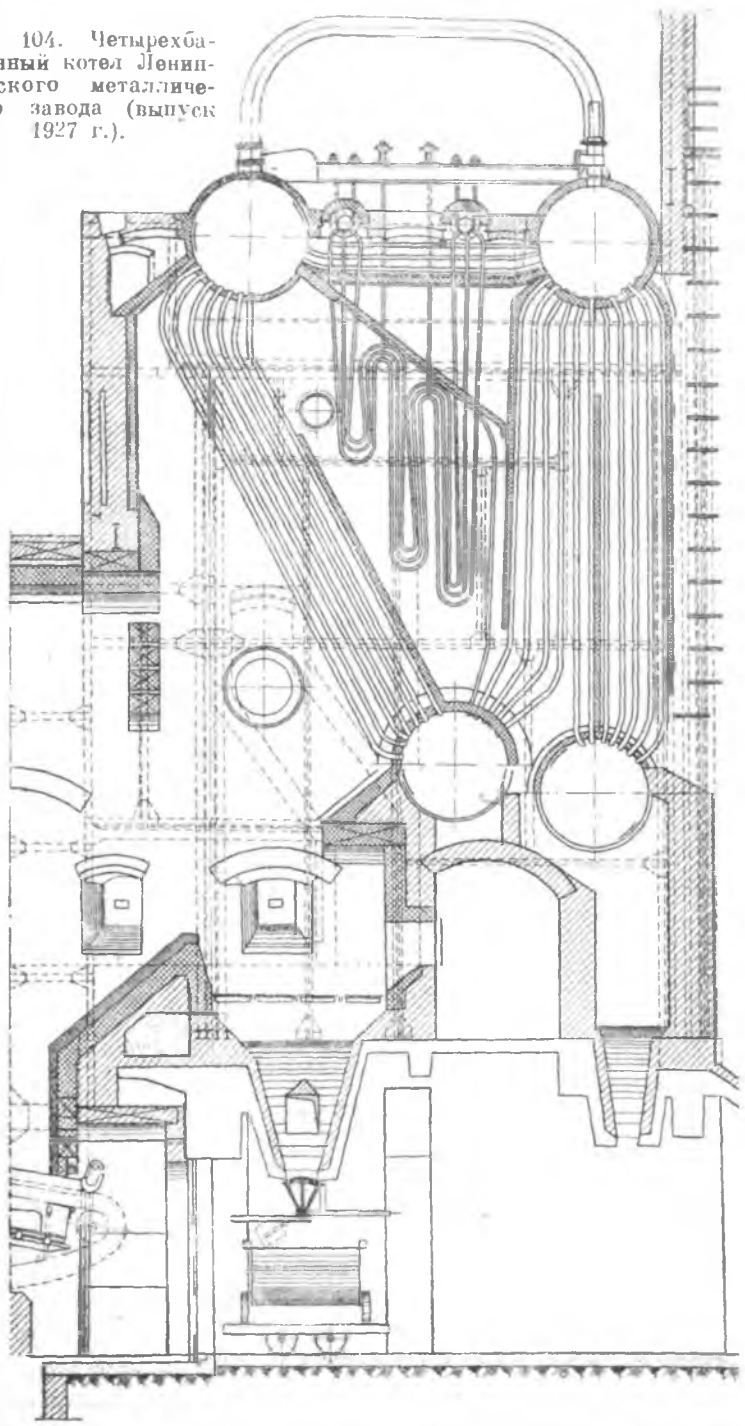
В первой конструкции обе пары барабанов (передняя и задняя) имеют самостоятельные пучки и соединяются лишь перепускными трубами. В описываемой конструкции барабаны клепаные; в котле создано три пучка, попарно соединяющих барабаны между собой. Диаметры кипятивных труб равны 83,5/76 мм.

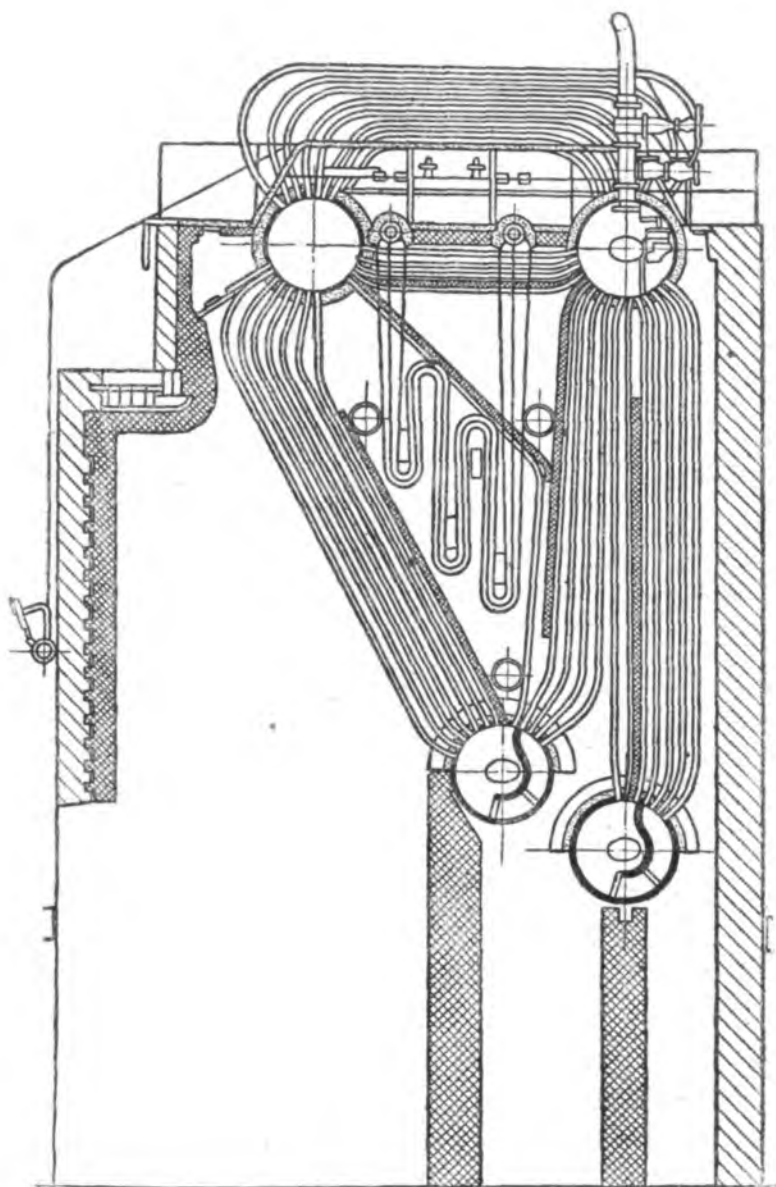
Эти котлы выпускались производительностью от 10 до 35 т/час при давлении от 17 до 25 ат и температуре перегрева 350—375° С. Котлы эти в большинстве своем устанавливались с слоевыми топками (цепными, шахтными, шахтноцепными) без экранов.

Вторая группа четырехбарабанных котлов ЛМЗ выпускалась с производительностью от 35/55 до 90/120 т/час. Первые (фиг. 105)—это котлы с поверхностью нагрева 750—800 м<sup>2</sup> и вторые — с поверхностью нагрева 1500 м<sup>2</sup>. Котлы этой группы впервые были выпущены в 1929—1930 гг. Они работали на повышенном давлении пара 30—32 ат при температуре перегрева 425° С. Первые котлы построены со слоевой топкой для сжигания торфа. Впоследствии при переходе на угольную пыль эти котлы проектировались с пылеугольными экранированными топками.

В данном типе котлов конфигурация кипятивного пучка сохранилась почти такой же, как и в первой группе выпуска 1927—1928 гг. Внешний облик этого типа котла, резкое возрастание его мощности и поверхности нагрева свидетельствуют о серьезных сдвигах в оте-

Фиг. 104. Четырехба-  
рабанный котел Ленин-  
градского металличе-  
ского завода (выпуск  
1927 г.).





Фиг. 105. Четырехбарабанный котел ЛМЗ (750—800 м<sup>2</sup>).

отечественном котлостроении. Целый ряд крупнейших электростанций СССР был в дальнейшем оборудован этими котлами.

В 1927—1928 гг. Новским заводом имени Ленина выпускались котлы НМЗ-5 пятибарабанные, построенные в большом количестве (фиг. 106), с поверхностью нагрева от 250 до 500 м<sup>2</sup>, а также котлы НМЗ-3 трехбарабанные с поверхностью нагрева 250 и 300 м<sup>2</sup>. Их конструкция почти не отличается от вышеописанных.

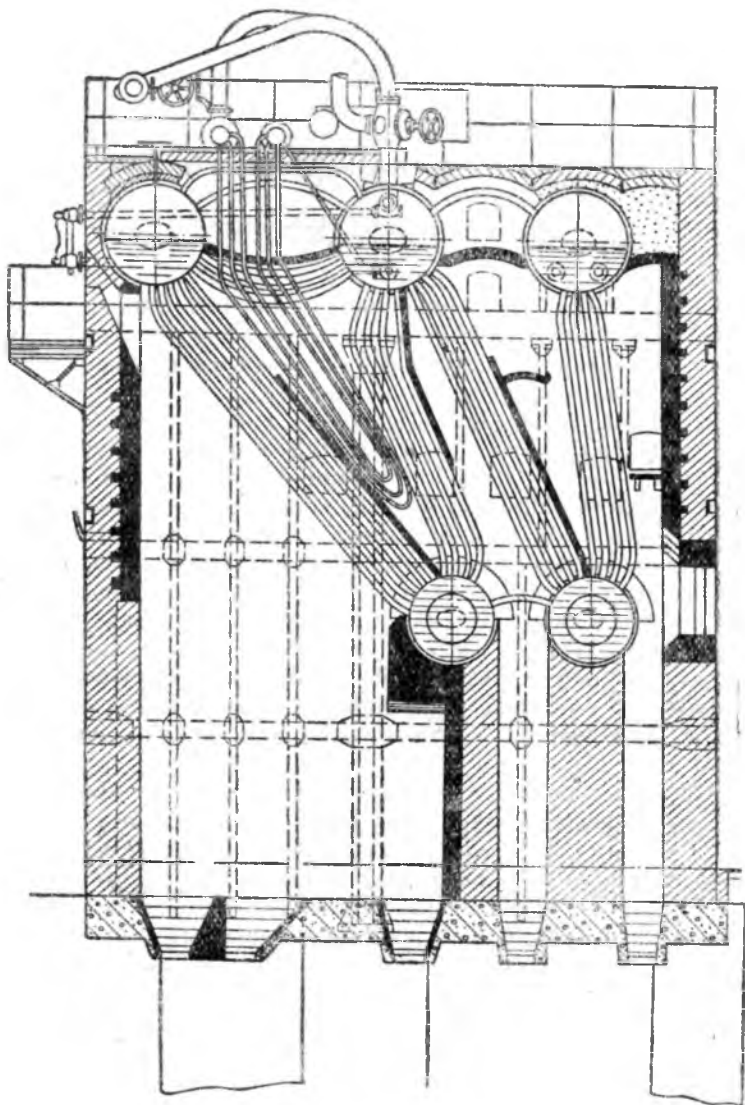
Несколько позже в 1929 г. котлы НМЗ-3 были модернизированы и, получив название НЗЛ-3 (фиг. 107), выпускались с поверхностью нагрева 400—500 и 600 м<sup>2</sup> с рабочим давлением 17 ат. Такой же котел НЗЛ-3 был создан в 1930 г. с давлением 20 ат и паропроизводительностью 30—40 т/час при работе на угольной пыли. Его поверхность нагрева — 600 м<sup>2</sup>. В дальнейшем стали выпускаться двухбарабанные котлы НЗЛ-2.

Период 1930—1935 гг. характерен бурным развитием энергетической базы СССР и советского котлостроения. Важный в истории отечественного котлостроения, он совпадает с успешным перевыполнением планов первой сталинской пятилетки и переходом к осуществлению второго пятилетнего плана.

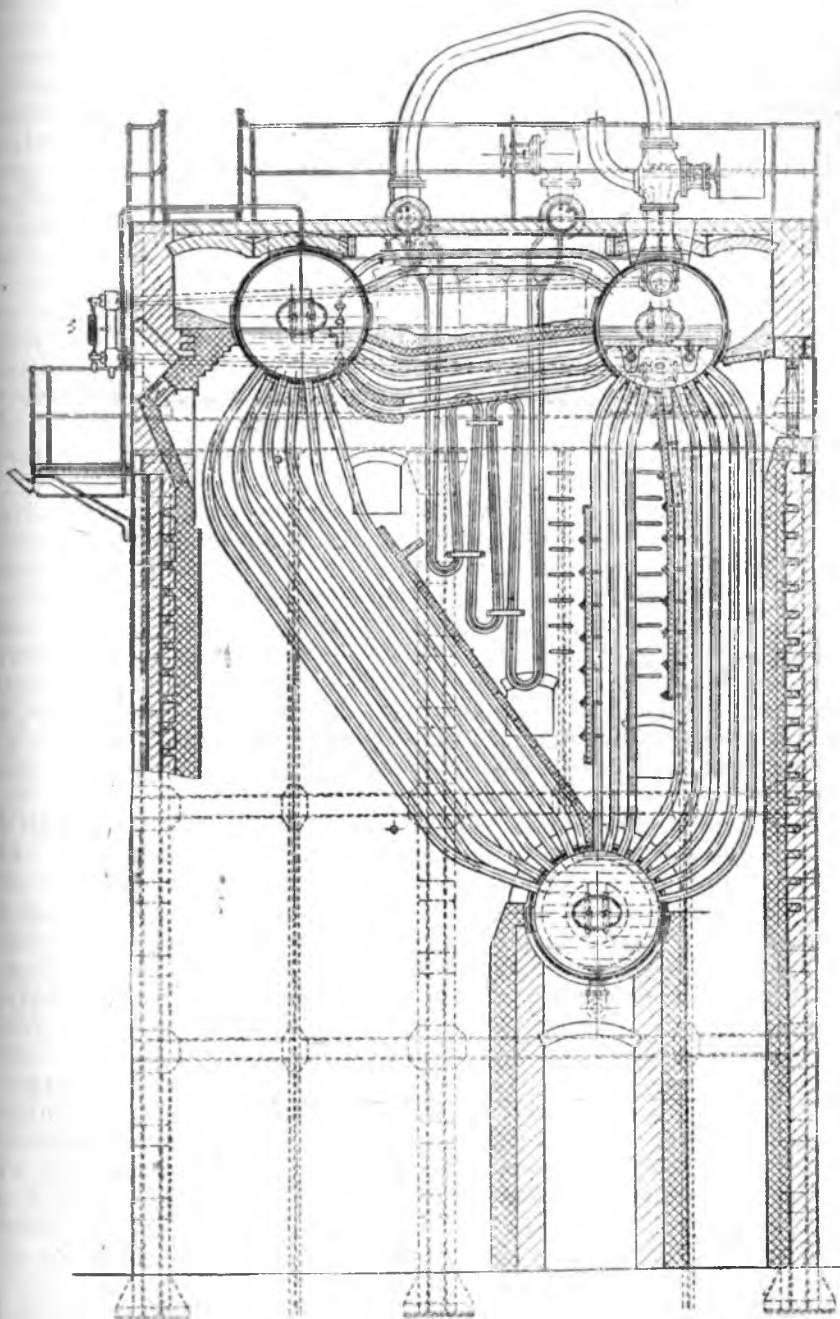
В этот период произошли решающие сдвиги в развитии отечественного котлостроения в связи с принятием важнейших мероприятий, направленных к ликвидации причин, тормозивших котлостроение и технический прогресс в этой области. Перед котлостроением партией и правительством были поставлены задачи: полного освобождения от иностранной зависимости путем создания своих конструкций, отвечающих требованиям современной котельной техники; стандартизации котельного, топочного и вспомогательного оборудования с целью создания типовых станций; удешевления стоимости пара путем перехода к мощным агрегатам с высокой удельной производительностью; создания рентабельных конструкций котлоагрегатов путем уменьшения расхода металла и времени на изготовление котла.

Развитие советского котлостроения в этот период шло не только по линии создания мощных и сверхмощных котлоагрегатов с поверхностью нагрева до 2500 м<sup>2</sup> и общей паропроизводительностью до 200 т/час, но также и по линии разработки котлов для средней энергетики, имеющих совершенные конструктивные и весовые показатели. Разработка топочных устройств для мощных котлов, спроектированных для пылесжигания низкосортных углей, требовала серьезной работы по конструированию и по исследованию углемольного, сушильного и транспортного оборудования и диктовалась необходимостью скорейшего освобождения от импорта. В конце 1932 г. наши котлостроительные заводы достигли такого уровня производства и такого технического совершенства, которые позволили полностью отказаться от импорта и перейти на отечественное оборудование целиком.

Систематический переход на отечественное котельно-топочное оборудование может быть иллюстрирован следующими цифрами. В 1928—1932 гг. импорт котельного оборудования составлял сумму в 145 млн. золотых рублей, в 1933 г. — 2,7 и в 1934 г. — уже лишь около 13 тыс. руб.



Фиг. 106. Пятибарабанный котел HM3-5 (1927 г.).



Фиг. 107. Трехбарабанный котел Невского завода ПЗЛ-3 (1929 г.).

Наряду с вводом в эксплуатацию и освоением крупных котлов, полной ликвидацией импорта, созданием своих конструкций, стоявших на уровне мировой техники, шло дальнейшее количественное и качественное укрепление и рост производственной базы котлостроения. Последнее характеризуется почти тройным увеличением выпуска котлов в 1933 г. против 1927 г. (около 200 000 м<sup>2</sup> против 78 600 м<sup>2</sup>). При этом количество типо-размеров котлов в результате стандартизации резко сократилось от 150 в 1913 г. и 100 — в 1927 г. до 15 типо-размеров в 1934 г. Сильно увеличилась производительность котла, огнесенная к 1 т расходуемого на его изготовление металла: с 330 — в 1931 г. до 640 кг/т в 1934 г. Увеличился удельный паросъем с 1 м<sup>2</sup> суммарной поверхности нагрева с 25 кг/м<sup>2</sup>час в 1913 г. до 45 кг/м<sup>2</sup>час в 1931 г. и 100 кг/м<sup>2</sup>час в 1934 г. Наконец, возросла суммарная производительность котлоагрегата, составлявшая 15 т/час в 1913 г., 40 т/час в 1927 г. и уже 200 т/час в 1934 г.

В 1933 г. Центральное котельно-конструкторское бюро (ЦККБ) приступило к конструированию новых котлов с нормальной производительностью 160, 120 и 60 т/час. В этих котлах значительно были развиты радиационные и сокращены конвективные поверхности нагрева. Характерным для новых котлов было также уменьшение количества котельных барабанов — самой трудоемкой и металлоемкой части агрегата. Переход от многобарабанных конструкций к двух-, а впоследствии и к однобарабанным котлам диктовался, кроме того, необходимостью организовать хорошо налаженную циркуляцию. Экспериментальные и теоретические исследования в этой области советских ученых М. А. Стыриковича, Д. Ф. Петерсона и других к этому времени получили весьма большое развитие и стояли на высоком уровне, значительно превосходя по качеству работы иностранцев.

Новые котлы, созданные нашими заводами по проектам ЦККБ, давали возможность использования известного преимущества секционных котлов, заключавшегося в шахматном расположении кипящих труб, и были в то же время проще в конструктивном отношении и дешевле в производстве и монтаже. Это обстоятельство вместе с предельным экранированием топки и значительным сокращением конвективных поверхностей нагрева позволило пойти на резкое уменьшение и даже на ликвидацию малоэффективных в тепловом отношении, и как правило, больших по размеру хвостовых поверхностей нагрева котла, которые с успехом стали заменять водяными экономайзерами. Такое распределение поверхности нагрева в котлах позволило достигнуть более эффективного использования тепла вследствие получающегося при этом значительного увеличения средней разности температур. Возрастание средней разности температур произошло в связи с тем, что температура питательной воды в экономайзере ниже, чем в последнем пучке котла.

Основными поставщиками котлоагрегатов в этот период явились попрежнему четыре завода: ЛМЗ, ТКЗ, НМЗ и «Парострой», причем первые три завода выпускали главным образом крупные котлы, а последний явился базой котельного оборудования для промыш-



ленных предприятий небольшого масштаба, коммунальных сооружений и т. п.

Выпуск котлов малой мощности, производившихся в основном на заводе «Парострой» и частично на ТКЗ, базировался на котлах системы В. Г. Шухова и в очень небольшой мере на водотрубных котлах других типов. Продукция завода «Парострой» весьма сильно выросла. Интересно, что в 1934 г. котлов Шухова было выпущено суммарной поверхностью нагрева  $58\,000\text{ м}^2$ . Выпуск котлов малой мощности ТКЗ составил  $28\,000\text{ м}^2$ . Если сравнить приведенные цифры с предвоенным выпуском стационарных котлов всех типов, исчислявшимся в  $30\,000\text{ м}^2$ , то станет очевидным достигнутый к началу второй сталинской пятилетки значительный количественный рост отечественного котлостроения.

Известные достоинства котла В. Г. Шухова, заключавшиеся в простоте конструкции и монтажа, дешевизне, неприхотливости в эксплуатации, удобстве перевозки, легкости, в предельной стандартизации и взаимозаменяемости деталей, являлись стимулом к еще большему усовершенствованию этого котла и его распространению. Наряду с этим проводились попытки улучшить котел в теплотехнической части. Такие попытки предпринимались неоднократно, и в частности известна попытка Бюро завода «Парострой», выустившего в 1936 г. модификацию этого котла в виде котла Шухова — Берлина. Один из первых котлов Шухова — Берлина был установлен в котельной лаборатории Московского электромеханического института инженеров транспорта в 1937 г. и детально обследован. Котел оказался малоудачным. В это же время был построен один экземпляр бескамерного горизонтально-водотрубного экранированного котла по проекту Оргэнерго (инж. Н. А. Семенов и Г. А. Бурков). Этот котел был установлен в той же лаборатории. Оба эти котла, а также ряд других, созданных в этот период, например, двухбарабанный котел малой мощности ЦКТИ на  $6\text{ т/час}$  при  $12\text{ ат}$ , котлы инж. Сарафа с принудительной циркуляцией и др., появились вследствие резко возросшей потребности в котлах малой мощности для промышленности СССР.

Выше отмечалось, что производство секционных горизонтально-водотрубных котлов морского типа было снято с ЛМЗ и целиком перешло на ТКЗ. Завод ЛМЗ с 1927 по 1932 гг. построил 125 котлов этого типа с поверхностью нагрева от 102 до  $400\text{ м}^2$  и на рабочем давлении 15, 17, 22 ат.

Горизонтально-водотрубные секционные котлы морского типа строились на ТКЗ по проекту конструкторского бюро ЮМТ с поверхностью нагрева 250 и  $400\text{ м}^2$  и рабочим давлением 16 ат.

ТКЗ «Красный Котельщик» в этот период продолжал также выпуск жаротрубных котлов, в значительной мере улучшив технологию их изготовления. Огромный спрос на такие (одно- и двухжаротрубные) котлы, как известно, до сих пор не снижается.

Котлы малой мощности выпускал также и Невский завод. Так, в 1931 г. этим заводом была начата разработка котлов НЗЛ-2 на 400 и  $500\text{ м}^2$ . Это были первые двухбарабанные котлы конструкции ЦККБ, рассчитанные на средний удельный паросъем  $35\text{—}40\text{ кг/м}^2\text{час}$ .

при нормальных условиях и 45–50 кг/м<sup>2</sup>час при форсированном режиме.

В дальнейшем, идя по линии сокращения количества типов котлов и приспособления котла к большому диапазону топлив и топочных устройств, ЦККБ создало на базе указанных котлов новый тип котла НЗЛ-2 с поверхностью нагрева 450 м<sup>2</sup> на рабочие давления 17, 22 и 32 ат. Эти котлы изготовлялись до 1937 г.

В этот период ЦККБ были установлены стандарты производительности котлов. Так для котлов повышенного давления 32 ат были установлены следующие размеры часовой производительности: 40/50, 60/75, 90/110, 120/150 и 160/200 т/час.

Изготовление котлов средней мощности общей производительностью 20, 40, 60 т/час было сосредоточено, начиная с 1932 г. на Невском заводе имени Ленина (НЗЛ).

Котлы средней мощности как трехбарабанные, так и двухбарабанные выпуска НЗЛ, явились значительным шагом вперед в нашем котлостроении и характеризовали новый качественный подъем в этой области. Эти котлы выпускались заводом по проекту ЦККБ для слоевого и камерного сжигания топлива. Так, например, в 1931—1932 гг. НЗЛ выпустил по проекту ЦККБ трехбарабанный вертикально-водотрубный котел на 40 т/час с камерным способом сжигания угля. Для слоевого процесса был выпущен аналогичный тип котла с поверхностью нагрева 800 м<sup>2</sup>. После 1935 г., когда конструкторское бюро НЗЛ создало свои унифицированные двухбарабанные котлы, оба эти типа были сняты с производства.

Двухбарабанные котлы НЗЛ имели новое впервые примененное и весьма удачное конструктивное оформление. Котлоагрегат был скомпонован в виде двух шахт, соединенных между собой по верху горизонтальным газоходом (перемычкой) надобое буквы П. Такая удачная компоновка была принята и для других более мощных котлов и сохранилась до сих пор. Подъемная шахта представляет собой топочную камеру с котельным пучком. Соединительный газоход занят пароперегревателем. Опускная шахта служит для размещения конвективных поверхностей (экономайзер, воздухоподогреватель).

Котлостроение для крупной энергетики в этот период развивалось по двум направлениям: строительство котлов повышенного давления большой мощности с слоевым сжиганием и котлов с камерным (пылеугольным) процессом сжигания.

Метод повышения начальных параметров пара приобретал с каждым годом все большее значение и широко внедрялся в промышленность. В этом смысле показательно, что, например, только по ГРЭС за период с 1930 по 1935 гг. произошли весьма существенные изменения (см. таблицу).

В этот период получили широкое внедрение трехбарабанные котлы заводов ЛМЗ и ТКЗ производительностью 90/110 т/час при давлении 32 ат и температуре перегрева 425° С. Поверхность нагрева этих котлов составляла 1500 м<sup>2</sup>. Это были наиболее многочисленные котлы (более 70) из всех серий, выпущенных советскими заводами. Они устанавливались на первых мощных советских электро-

Годы	Всего котлов		Из них					
	Количество	Средняя поверхность нагрева	До 18 ат		19—30 ат		Свыше 30 ат	
			Количество	%	Количество	%	Количество	%
1930	254	510	221	72,6	33	27,4	—	—
1932	513	550	363	49,3	106	32,7	44	16,5
1935	598	677	355	37,0	143	30,6	100	32,4

станциях. Большинство этих котлов было оборудовано пылеугольными топками с недостаточным вначале, а затем с более мощным экранированием. При освоении этих котлов встретился ряд существенных трудностей, разрешение которых помогло дальнейшему совершенствованию отечественных котлоагрегатов. К этим трудностям в первую очередь следует отнести массовое появление кольцевых трещин в местах развальцовки труб преимущественно экранных вследствие недостаточной свободы для термического расширения экранной системы и внутрикотлового водного режима, приводившего к крупным осложнениям в эксплуатации. В этих котлах наблюдалось также большое количество аварий пароперегревателей вследствие усиленного их шлакования по причине чрезмерно высокого расположения первого ряда пылеугольных горелок и недостаточного экранирования топки, а также из-за наличия больших газовых коридоров в пароперегревателе. Дополнительное шлакование и ухудшило условия работы перегревателя, а защита коридорных змеевиков его от излишнего обогрева ликвидировала неравномерность тепловосприятости змеевиков.

В опыте освоения этих котлов пришлось впервые основательно столкнуться с проблемой качества пара. Предпринятая интенсификация работы котельного металла, выразившаяся в появлении интенсивно работающих экранных поверхностей, выбрасывающих в барабан паро-водяную эмульсию с большим динамическим эффектом, и увеличение напряжения парового объема барабана явились двумя обстоятельствами, приведшими к необходимости понижения предельного по вспениванию и уносу соледержания котловой воды. С другой стороны, комбинированная выработка энергии и тепла потребовала в связи с отдачей котлом пара на производство увеличения эксплуатационного соледержания котловой воды. Это противоречие между предельно допустимым для данной конструкции котла соледержанием и эксплуатационно необходимым (для экономически целесообразной работы новых станций, частично теплофикационных, с котлами этого типа) вынудило обратить особое внимание на проблему качества пара.

Как известно, проблема качества пара стала еще более острой в дальнейшем при внедрении секционных и двухбарабанных котлов,

имеющих еще более мощные экраны и более напряженные паровые объемы, чем в трехбарабанных котлах.

Описываемые котлы явились наиболее надежными котлоагрегатами наших станций, если не говорить об имевшихся в них дефектах циркуляции в задних рядах первого пучка при нагрузках более 110 *т/час* и о ненадежных, непродуманно поставленных грануляторах.

Наряду с выпуском трехбарабанных котлов продолжался выпуск мощных котлов четырехбарабанного типа. В частности был спроектирован для одной из ленинградских станций для работы на кусковом торфе котел производительностью 135/160 *т/час* с поверхностью нагрева 2500 *м<sup>2</sup>*. Котлов такой мощности для работы на торфе ни в США, ни в Европе не выпускает ни один известный завод. Этот котельный агрегат имел две цепные решетки площадью 50 *м<sup>2</sup>* каждая. В котле впервые применено полное экранирование топочных стен. Барабаны котлов цельнокованные, вес каждого из них 30 *т*. Это — самые большие барабаны из установленных в 1936 г. на всех европейских станциях.

Котлы в 2500 *м<sup>2</sup>* строились не только четырехбарабанного, но и трехбарабанного типа как для сжигания торфа, так и для сжигания сланца, что также представляло собой очень серьезную проблему, с которой за границей встречаться не приходилось.

Конструкция трехбарабанных котлов на 2500 *м<sup>2</sup>* отличается весьма продуманными основными конструктивными соотношениями и изяществом конфигурации всей кипяtilьной системы.

В 1932 г. ЦККБ был разработан новый котел на 75/90 *т/час* для работы на торфе. Его конструкция аналогична конструкции котла трехбарабанного типа на 800 *м<sup>2</sup>*. Поверхность нагрева котла составляет 1600 *м<sup>2</sup>*. В дальнейшем после небольшой реконструкции этот котел легко был переделан на паропроизводительность 100/120 *т/час*.

Конструирование котлов с пылеугольными топками на 1500 и 2500 *м<sup>2</sup>* трехбарабанного типа было начато в 1930 г. В самом начале работ было признано необходимым увязать котел со специально запроектированной топкой при среднем ее экранировании и установке гранулятора. Эти котлы ЛМЗ начал строить с 1931—1932 гг., а ТКЗ — в 1933 г.

Первые котлы с поверхностью нагрева 1500 *м<sup>2</sup>* предназначались для сжигания антрацитового штыба — топлива, имевшегося в местах добычи в Донбассе в огромных количествах и обладающего некоторыми специфическими свойствами. Сжигание предполагалось вести как в чистом виде, так и в комбинации с газом доменных печей. В течение четырех лет (до 1935 г.) один лишь завод имени Сталина (ЛМЗ) выпустил 20 котлов с поверхностью нагрева 1500 *м<sup>2</sup>* на рабочее давление 32 *ат*. Производительность 90/110 *т/час*, гарантированная заводом, была выдержана успешно.

В 1930 г. Котельное Бюро ЮМТ разработало котельный агрегат (ЗВГ Таганрогского завода) для сжигания угольной пыли. Его поверхность нагрева — 1250 *м<sup>2</sup>*.

Был разработан также, правда не очень удачной конструкции и поэтому имевший незначительное распространение, пылеуголь-

ный котел трехбарабанного типа производительностью на  $60/75$   $t/час$ .

Следует подчеркнуть, что в этот период нашими проектными и котлостроительными организациями была сделана очень важная работа, представляющая собой серьезный этап в котлостроении. Впервые стали выпускаться мощные пылеугольные котлы трехбарабанного типа повышенного давления производительностью  $180$   $t/час$ .

В этих котлах принято полное экранирование мощной топочной камеры, имеющей объем около  $800$   $m^3$ .

В эксплуатации эти котлы показали себя хорошо, однако большой вес и громоздкость мощных трехбарабанных котлов толкали на путь создания новых типов — секционных и двухбарабанных котлов.

Еще в 1932 г. ЦККБ спроектировало оригинальные одноходовые секционные котлы с рабочим давлением  $34$  ат и паропроизводительностью  $160/200$   $t/час$ . Эти котлы строились Ленинградским металлическим заводом. В 1934 г. тем же ЦККБ были сделаны проекты двухбарабанных котлов производительностью на  $120/150$  и  $140/160$   $t/час$  (для ТКЗ) одновременно с проектами для НЗЛ на  $65/75$  и  $75/90$   $t/час$ , выпускавшимися заводами сериями. Компоновка указанных котлов — принципиально единая (П-образная). Во всех трубчатых поверхностях осуществлен поперечный поток газов. При проектировании этих котлов впервые применен практически широко внедренный ВИТГЭО-ЦКТИ метод моделирования, разработанный акад. М. В. Киричевым и его сотрудниками. Посредством этого научного метода удалось найти оптимальные условия обтекания поверхностей нагрева газовым потоком.

В сравнении с трехбарабанными котлами секционные котлы являются технически более совершенными, но они были еще относительно тяжелы из-за больших балластных весов. Удельный расход металла в них на  $1$   $t$  производительности, например, составлял  $1,86$   $t$  против  $2,37$   $t$  для трехбарабанного котла НЗЛ с поверхностью нагрева  $800$   $m^2$ .

Более мощное экранирование секционных котлов и большие напряжения паровых объемов обострили, как сказано выше, проблему качества пара и определили еще более жесткие, чем в трехбарабанных котлах, требования к котловой воде и вызвали в связи с этим трудности в эксплуатации, которые продолжались вплоть до коренной переделки сепарационных устройств и до введения жестких норм на котловую воду. Интересно отметить, что применение ступенчатого испарения — этого весьма остроумного советского предложения (проф. Э. И. Ромм) — и размыва пены, позволили увеличить содержание продувочной воды до рекордных цифр (до  $10\,000$   $mg/l$ ) и значительно улучшить эксплуатационные показатели. Работы по химической организации внутрикотловых процессов и ступенчатому испарению воды в котлах оказали большую пользу в развитии отечественного котлостроения.

В секционных котлах циркуляционные дефекты и паровая коррозия верхних рядов питательных труб имели массовый и опасный характер. Однако они были ликвидированы посредством диафраг-

мирования нижних рядов труб и вырезкой части труб в верхнем ряду (предложение Д. Ф. Петерсона и др., ЦКТИ им. Ползунова).

Двухбарабанные котлы ТКЗ также требовали улучшения сепарационных устройств по указанной выше причине. В этих котлах общеизвестен серьезный дефект в виде ненадежности экранов (холодных воронок) в связи с появлением массовых трещин. Особенности трудности в освоении этих полностью экранированных котлов были связаны с недостаточной устойчивостью горения угля марки АШ. Их удалось ликвидировать лишь после выкладки больших закипательных поясов, стабилизовавших топочный процесс.

Заметим еще, что двухбарабанные котлы ТКЗ (120/150 *м/час*) выпускались в трех модификациях: для мазута, для угля с большим выходом летучих и для АШ. Принципиальная тепловая схема этого котла была очень тщательно продумана, хотя с внешней стороны она не отличалась от схемы двухбарабанного котла на 60 *м/час*. Поверхность нагрева экранов была принята равной около 500 *м<sup>2</sup>* при объеме топочной камеры около 650 *м<sup>3</sup>*, т. е. степень экранирования установлена достаточно высокая.

Весьма важными для развития советской энергетики и котлостроения в рассматриваемый период явились два фактора: применение в энергетике пара высоких параметров и создание прямоточных советских котлоагрегатов.

Первой электростанцией в СССР, освоившей в 1930 г. повышенные параметры пара — 60 *ат* и 425° С (на турбине 56 *ат*, 400° С) — была ТЭЦ завода ТЭЖЭ, на которой были установлены секционные горизонтально-водотрубные котлы морского типа паропроизводительностью по 18 *м/час*.

Вслед за этой станцией в 1931 г. вошла в строй Березниковская ТЭЦ с давлением 60 *ат* и температурой перегрева 450° С. Здесь также были установлены секционные котлы морского типа производительностью каждый 120/150 *м/час*, а также котлы другого типа. Березниковская станция имела в начальный период эксплуатации много неполадок, связанных с паропреобразовательной установкой, явлениями коррозии в турбинах, с сепараторными устройствами в котлах, циркуляцией и др., однако они усилиями наших тепло-техников были вскоре ликвидированы.

В 1933 г. начала работать ТЭЦ Мэсэнерго, на которой был установлен первый советский прямоточный котел системы Л. К. Рамзина. Этот котел работает на давлении 140 *ат* при производительности 200 *м/час* и температуре перегрева 500° С. Первый опытный прямоточный котел советского типа был в 30-х годах крупнейшим в мире котлом, работавшим на давлении в 140 *ат*.

Прямоточный котел, имея хорошие весовые и габаритные показатели, одновременно стимулировал прогресс котлов с естественной циркуляцией. Так, например, если в 1920 г. удельный расход металла в них составлял 8—10 *кг/кг* пара, то в современных котлах этот расход снизился до 2—4 *кг/кг*, и в этом не малую роль сыграло появление именно прямоточных котлов.

Освоение первого прямоточного котла встретило много трудностей. Однако, преодолев их, первый советский прямоточный котел находится

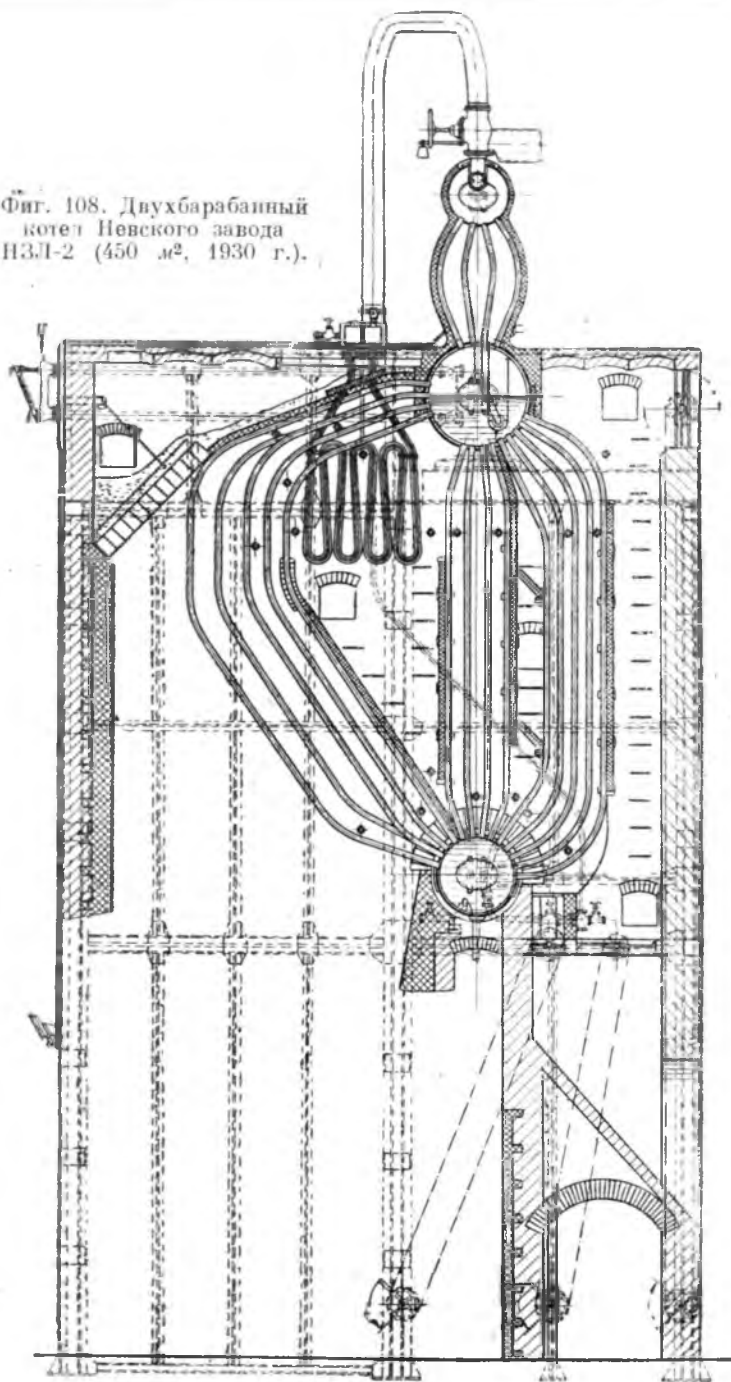
уже около двух десятков лет в нормальной эксплуатации. На основе опыта, полученного на эксплуатации первого котла, спроектированы, построены и пущены в работу ряд новых прямоточных стационарных котлов, а также котлов специального назначения.

Не останавливаясь на описанных уже нами котлах малой мощности, напомним лишь, что в период 1930—1935 гг. на двух крупных заводах (ТКЗ и ЛМЗ) еще продолжалось строительство секционных котлов как нормального, так и морского типа. На Таганрогском, а также на Невском судостроительном заводе строились котлы малой и средней мощности трехбарабанного типа (400, 500, 600 м<sup>2</sup>), а также двухбарабанные котлы НЗЛ-2 (400, 450 и 500 м<sup>2</sup>).

Котлы Невского завода НЗЛ-2 (фиг. 108 и 109) имеют три пучка кипяtilьных труб, связанных двумя барабанами: верхним и нижним. Первый пучок сильно изогнут, имеет большой вылет и благодаря этому полностью перекрывает топочное пространство. Второй и третий пучки получены разделением последнего пучка перегородками на два. Конфигурация пучков дает очень удобный контур циркуляции. Диаметр кипяtilьных труб во всех пучках один и тот же: 83/76 мм. Верхний барабан имеет больший диаметр, чем нижний. Диаметр нижнего составляет 1200 мм. Число рядов труб по горизонтали зависит лишь от избираемой мощности котла и, следовательно, длины барабана. Число рядов по ходу газов в первом пучке наибольшее: 7—9, во втором их — 3 и в третьем — 4—5. В этой конструкции заметен смелый отход от старых конструктивных форм и в частности от старых осторожных гибов труб.

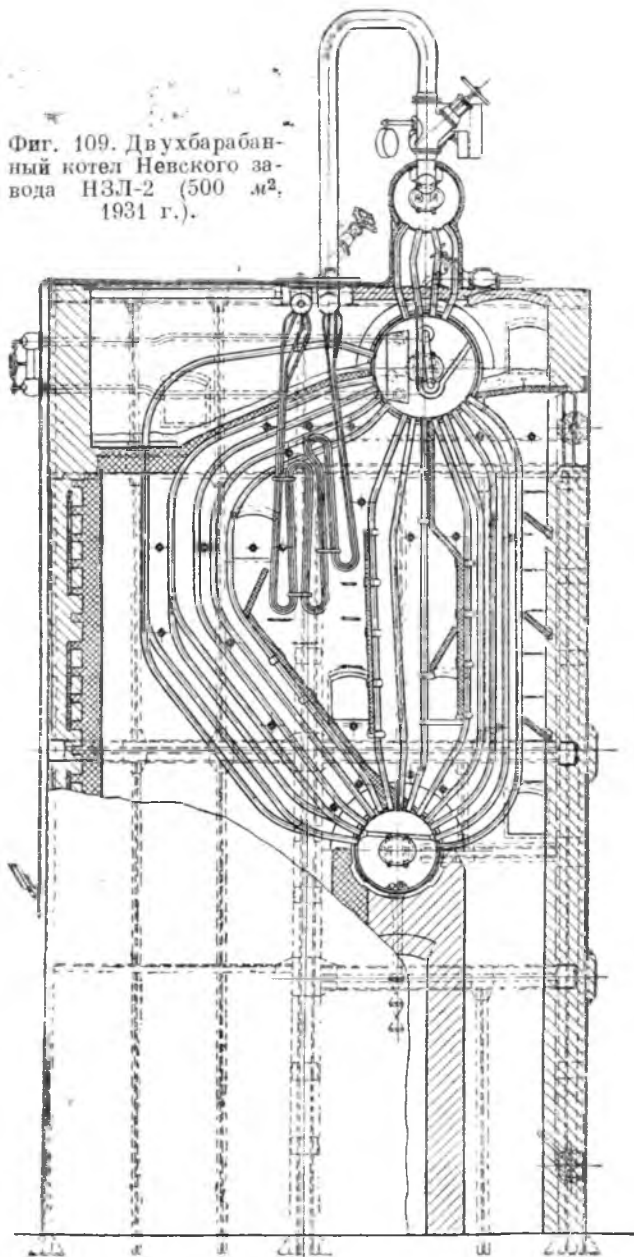
Наибольший интерес представляет рассмотрение отечественных конструкций мощных котлоагрегатов четырехбарабанного и в основном трехбарабанного типа, которые строились в данный период времени на повышенное (32 ат) давление и ориентировались в соответствии с технической политикой топливоиспользования, на сжигание торфа (слоевые топки) и бурых и тощих углей (пылевидное сжигание). Выше была приведена характеристика четырехбарабанного котла Ленинградского металлического завода выпуска первой пятiletки, с поверхностью нагрева 1500 м<sup>2</sup>. По внешней своей конфигурации этот котел, так же как и четырехбарабанный котел на 750 м<sup>2</sup>, выпускавшийся в большом количестве для ряда районных станций в период 1930—1931 гг., напоминает старые четырехбарабанные котлы Металлического завода. Эти котлы были несколько модернизированы, однако, понятно, удовлетворять новым повышенным требованиям энергетического хозяйства они были уже не в состоянии. Четырехбарабанные котлы с поверхностью нагрева 1500 м<sup>2</sup> имели диаметр верхних барабанов 1300 мм, а нижних — 900 мм. Диаметр кипяtilьных труб во всех пучках составлял 83/76 мм. В экранах поставлены трубы того же диаметра. Первый пучок здесь развит и концы труб изогнуты под большим радиусом. Задний пучок разделен на две части: подъемную и опускную. Диагональный (косой) пучок, соединяющий передний нижний и задний верхний барабан, является опускным и замыкает циркуляционный контур переднего пучка кипяtilьных труб и соединительного пучка между верхними барабанами. Длина барабанов в котлах с поверхностью

Фиг. 108. Двухбарабанный котел Невского завода  
НЗЛ-2 (450 м<sup>2</sup>, 1930 г.).





Фиг. 109. Двухбарабанный котел Невского завода НЗЛ-2 (500 м<sup>2</sup>, 1931 г.).



нагрева  $1500 \text{ м}^2$  при сжигании топлива в слое весьма велика (до  $10,0 \text{ м}$ ), что определялось необходимостью сжигания низкосортного топлива. При сжигании шлы фронт котла брался несколько уже по вполне понятным соображениям. Конфигурация пучка (котел четырехбарабанный трехпучковый) очень удачна с точки зрения организации циркуляции в котле.

Строительство четырехбарабанных котлов к 1932 г. было полностью прекращено. С этого момента широким фронтом вошли в отечественную энергетику котлы трехбарабанного типа. В период 1931—1932 гг. начали внедряться трехбарабанные котлы с поверхностью нагрева  $1500, 2500 \text{ м}^2$  и в меньшей степени с  $1250 \text{ м}^2$ .

Трехбарабанные вертикально-водотрубные котлы ЦККБ — ЛМЗ выпускались Ленинградским металлическим заводом и Таганрогским заводом «Красный Котельщик». Котел (фиг. 110) с поверхностью нагрева  $1500 \text{ м}^2$ , производительностью  $90/110 \text{ т/час}$  при  $32 \text{ ат}$  и  $425^\circ \text{С}$  является наиболее широко распространенным на станциях Союза ССР. Именно на этих котлах были пущены первые наши электростанции, полностью укомплектованные оборудованием, произведенным на отечественных заводах. В большинстве случаев эти котлы устанавливались с пылеугольными топками. Их конструкция очень удачно приспособлена для топок с факельным процессом горения и хорошо увязывается с пылеугольными топками, которые стали широко внедряться в этот период.

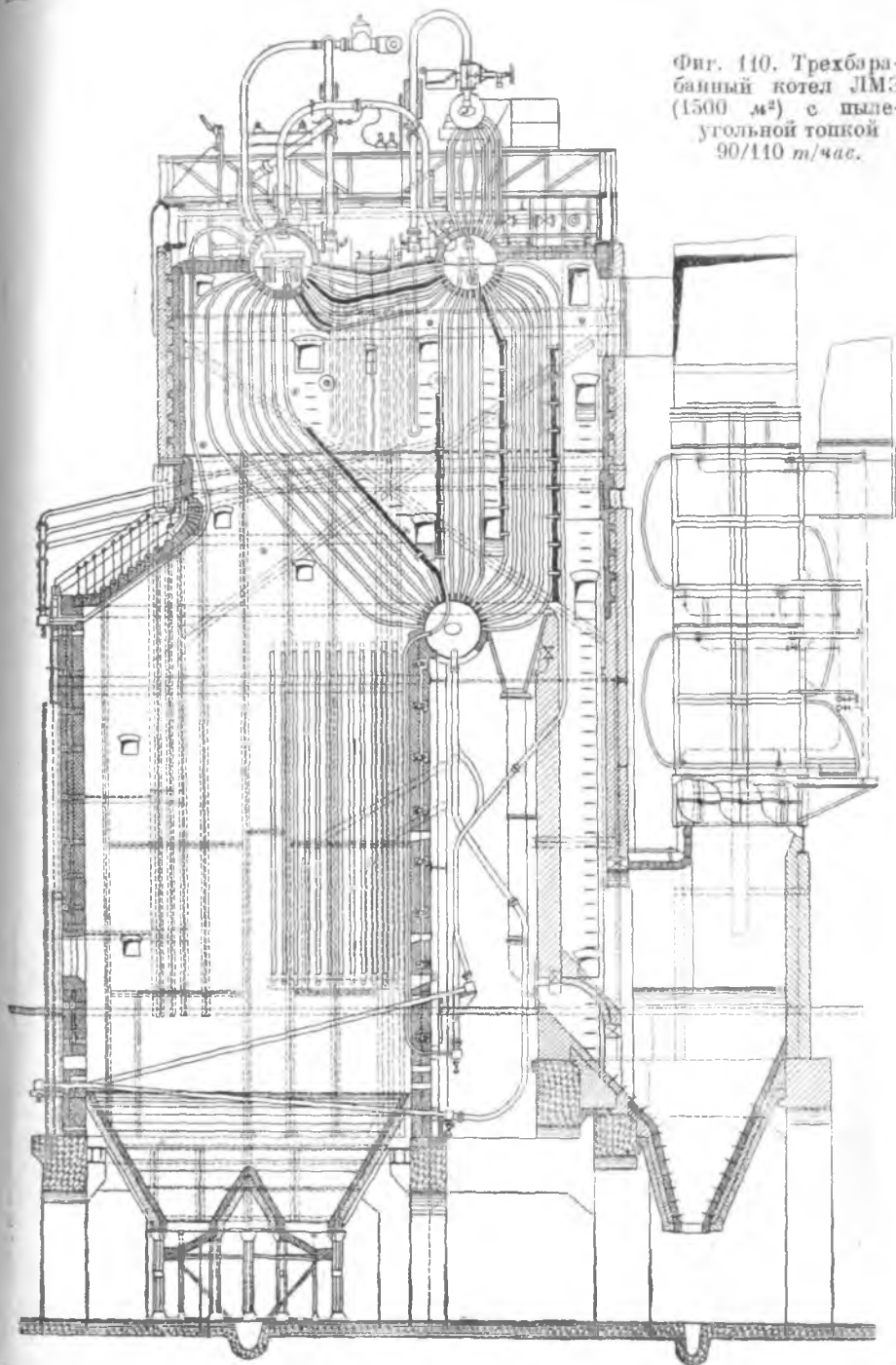
Первые котлоагрегаты этого типа выпускались с воздухоподогревателями, которые в последующих выпусках были заменены водяными экономайзерами. Постановка водяных экономайзеров позволила снизить температуру уходящих газов и потерю тепла с ними.

Кипятильная система котла (фиг. 110) состоит из переднего пучка труб и заднего, разделенного в свою очередь на два пучка. Таким образом, получается трехбарабанный трехпучковый котел. Диаметр кипятильных труб составляет всюду  $83/76 \text{ мм}$ , причем в некоторых конструкциях перед первым пучком установлен разреженный экран (по существу первый ряд пучка) из труб диаметром  $102/93 \text{ мм}$ . Трубы в пучках расположены в затылок. Барабаны — цельнокованные, с вклепанными днищами. Их диаметр —  $1300 \text{ мм}$ , толщина стенки —  $40 \text{ мм}$ . Длина барабана —  $9960 \text{ мм}$ . Топочный экран состоит из труб того же диаметра, что и пучок. Только нижний экран (гранулятор) имеет больший диаметр труб, а именно  $102/93 \text{ мм}$ . Состоит он из 17 труб.

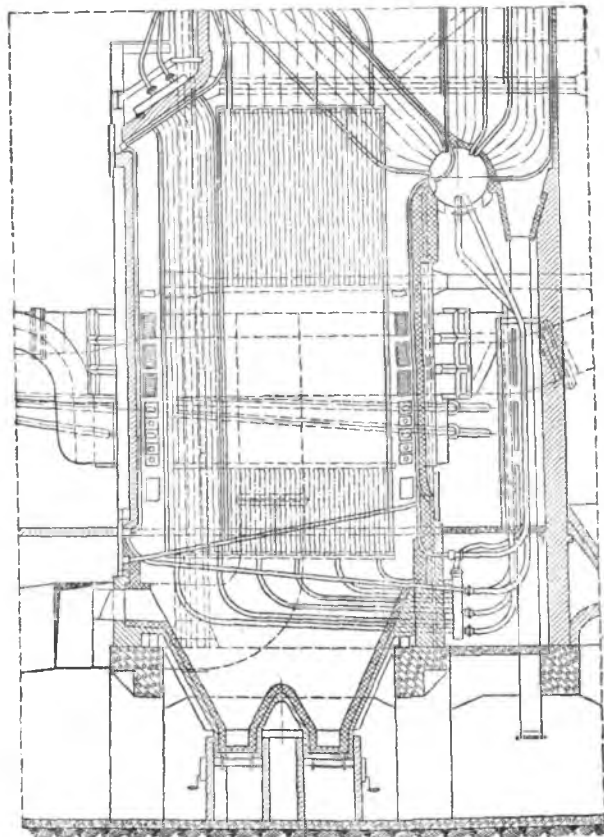
Вначале топки в этих котлах были экранированы недостаточно, но в последующих конструкциях они были снабжены мощными экранами (фиг. 111). Интересно отметить, что в обоих случаях гранулятор (подовый экран топки) был сохранен, несмотря на определенные указания практики о его отрицательном влиянии на циркуляцию в котле и нормальную эксплуатацию.

Как уже отмечалось, в котлоагрегатах этого типа впервые пришлось встретиться с массовым явлением кольцевых трещин в местах развальцовки трубки. Особенно часто это было в задних экранах. Причиной этих трещин явилось жесткое закрепление экранной системы, не допускавшее свободы термических расширений, и наличие

Фиг. 110. Трехбара-  
банный котел ЛМЗ  
(1500 м<sup>2</sup>) с пыле-  
угольной топкой  
90/110 т/час.



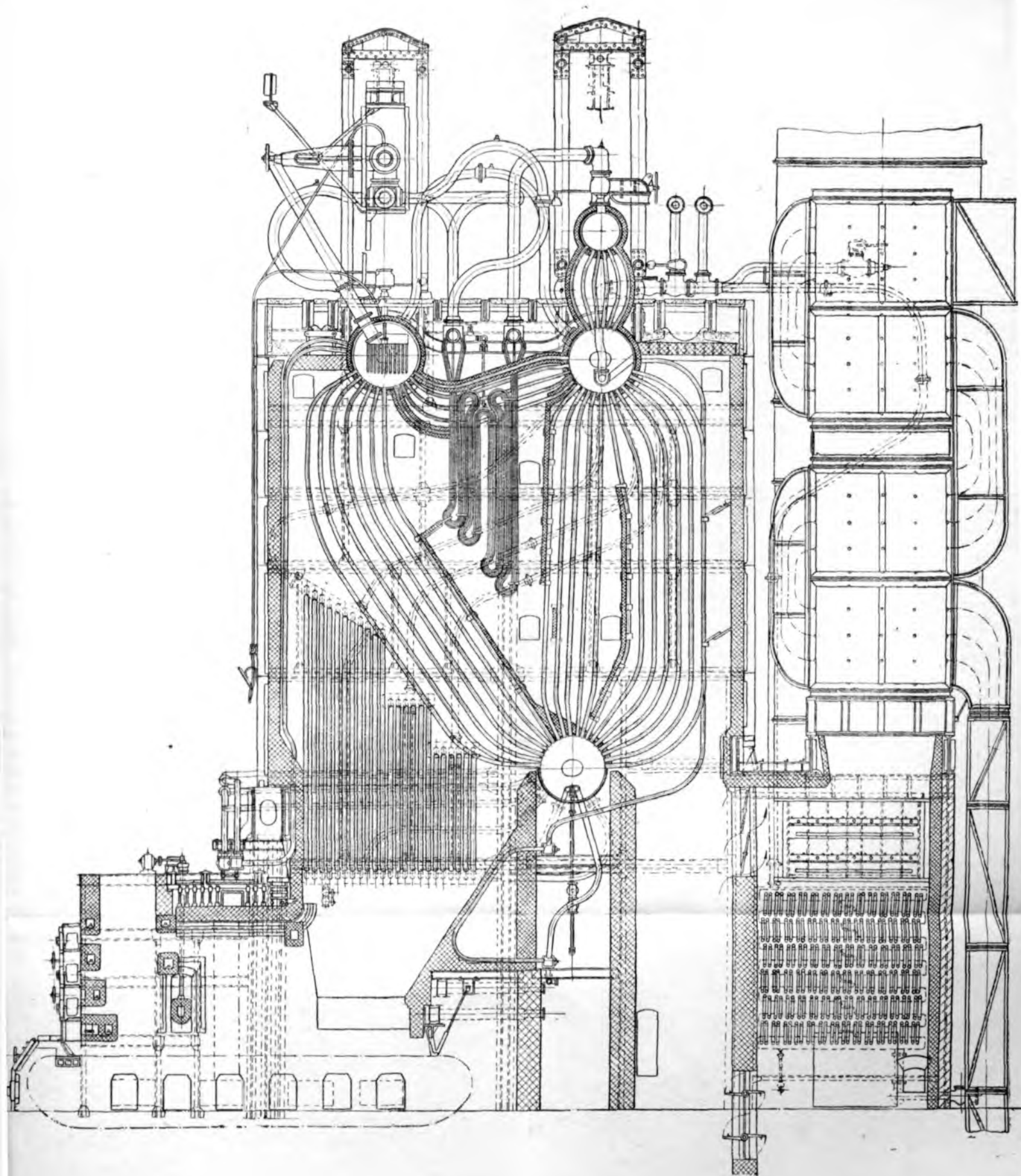
такого водного режима, который приводил к появлению серьезных разрушений. Приведение в порядок конструктивной части, т. е. увеличение эластичности системы, а также установление соответствующего водного режима, обуславливающего нормы предельного соледержания в котле в зависимости от ряда факторов, в том числе и от напряжения парового объема, позволили избежать кольцевых трещин в последующих конструкциях мощных котлов.



Фиг. 111. Полностью экранированная топка к трехбарабанному котлу ЛМЗ (1500 м<sup>2</sup>).

По конструкции с указанным котлом сходен еще более мощный котел с поверхностью нагрева 2500 м<sup>2</sup> (фиг. 112, см. вклейку). Эти трехбарабанные котлы выпускались как для слоевого сжигания топлива (торф, Дубровская ГЭС), так и для камерного. Их производительность составляла в первом случае 130/160 и во втором — 150/180 т/час при давлении 32 ат и температуре перегрева 425° С.

Эти крупнейшие котлоагрегаты до сих пор еще работают на некоторых станциях и являются довольно удачными по своим конструктивным и эксплуатационным показателям. Данные котлоагрегаты не имеют особенных отличий от трехбарабанных котлов на 1500 м<sup>2</sup>.



Фиг. 112. Трехбарабанный котел ЛМЗ ( $2500 \text{ м}^2$ ) со слоевой топкой, 130/160 т/час.

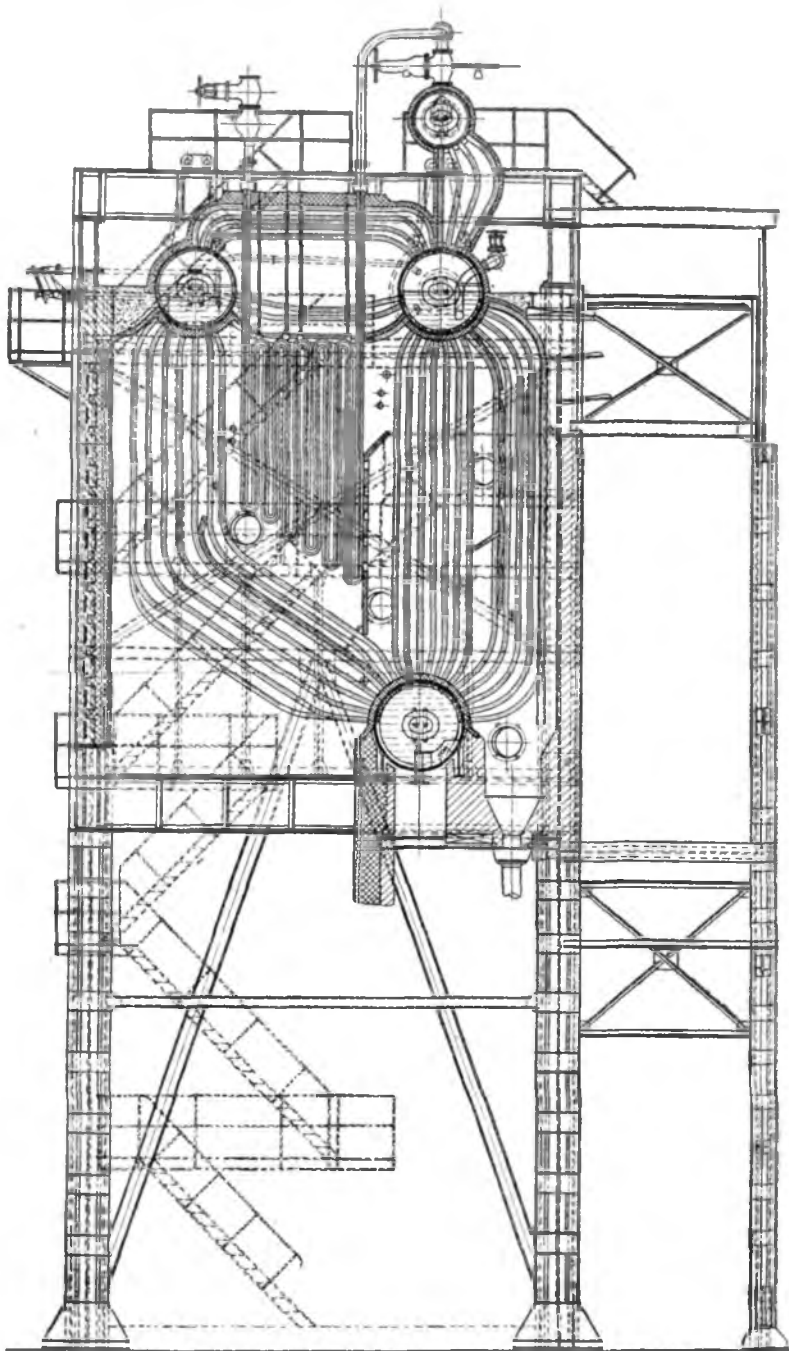
В них более развиты пучки и более мощное экранирование. Диаметры труб — те же (102/93 и 83/76 мм). В пылеугольном котле обращает на себя внимание построение экрана, расположенного перед первым пучком (два ряда труб диаметром 102/93 мм) и далее проходящего по задней стенке топочной камеры. В более поздних конструкциях (1934—1935 гг.) задний экран имеет самостоятельную связь с нижним барабаном, образуя отдельный контур циркуляции. В котле имеется также экран и перед первым пучком. При работе на слоевых топках котел несколько шире в свету, чем при пылеугольных топках. Объясняется это разными условиями сжигания. Длина барабана в данных мощных котлах достигает 15 000 мм, диаметр 1300 мм при толщине стенки 49 мм.

В котлах 1500 и 2500 м<sup>2</sup>, обладающих большим весом, были созданы специальные крепления системы на каркасе, которая позволяла иметь хорошую эластичность конструкции и свободное расширение котлов. Удельный расход металла в этих котлах еще достаточно велик (до 5—5,5 кг/кг пара), однако конструкция трехбарабанных котлов отличается продуманностью форм и известным изяществом. В данном случае произошел отход от многобарабанных конструкций; уменьшено количество барабанов как наиболее дорогой части котла. Далее в этих котлах ярко выражено стремление возможно полнее использовать теплоту радиации и максимально уменьшить конвективную часть поверхности нагрева. Однако это было только начало перехода к мощным экранным котлам современного типа.

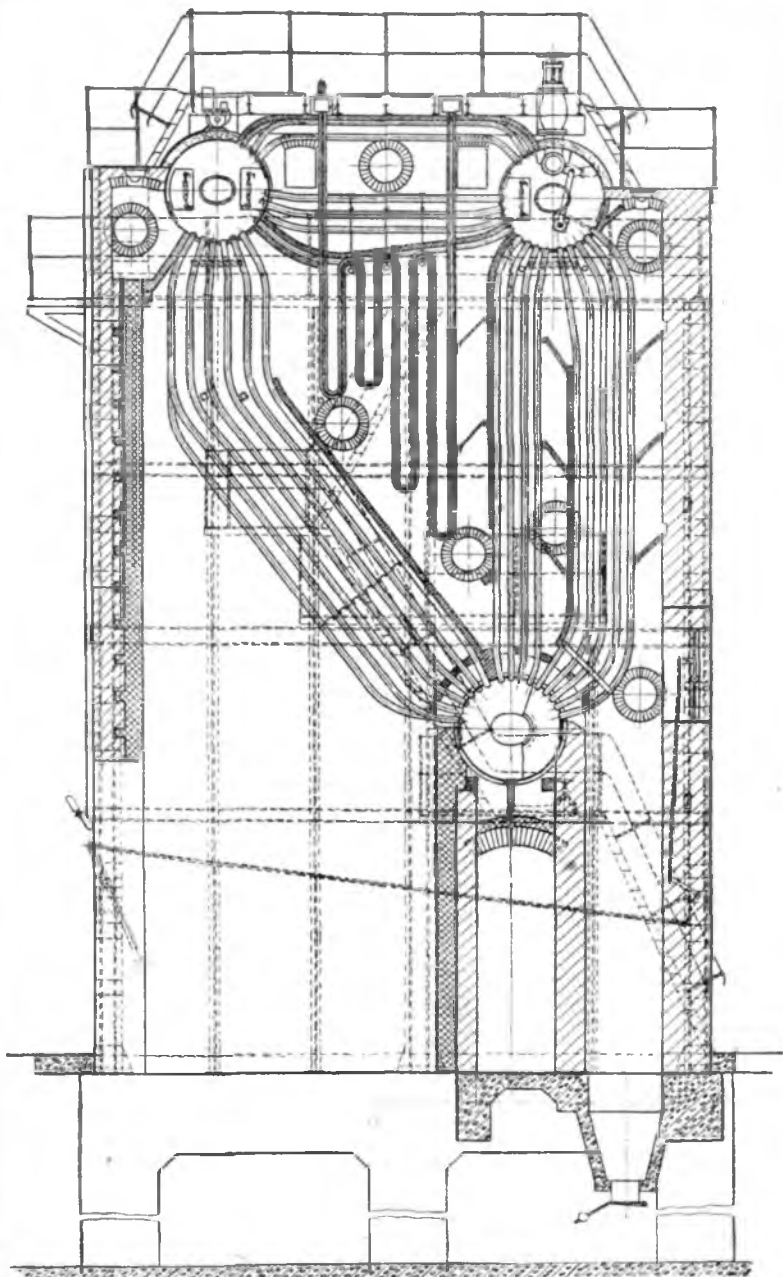
К серии приведенных выше котлов относится также и вертикально-водотрубный котел Таганрогского завода трехбарабанного, трехпучкового типа с поверхностью нагрева 1250 м<sup>2</sup>, построенный для одной из электростанций так называемый котел ЗВГ (фиг. 113). В этом котле гибы труб первого пучка сделаны несколько иначе, чем в вышеназванных котлах, а именно посередине, и так, что уголгиба составляет, примерно, 130°. Центральный пучок сильно развит, а третий последний, наоборот, несколько сужен. Помимо крупных агрегатов, завод выпускал также котлы меньшей мощности (400 м<sup>2</sup>). Один из таких котлов приводится на фиг. 114.

Выше был приведен котел НЗЛ-3, трехбарабанный, вертикально-водотрубный в исполнении Невского завода, производительностью 40 т/час (фиг. 107), который выпускался заводом до 1931 г. Такой же в основном конструкции и трехбарабанный вертикально-водотрубный котел с факельной топкой производительностью 40/50 т/час при давлении 32 ат и температуре перегрева пара 425° С выпуска 1934—1935 гг. В этом котле передний верхний барабан сильно выдвинут вперед и поэтому передний пучок расположен более полого. Такие котлы выпускались как со слоевыми, так и с камерными топками. Экранирование в них было уже достаточно развито. Диаметры труб кипяtilьной и экранной системы — 83/76 мм, лишь трубы гранулятора имеют диаметр 102/93 мм.

Двухбарабанные вертикально-водотрубные котлы того же Невского завода производительностью 20—25 т/час при давлении 32 ат



Фиг. 113. Трехбарабанный котел Таганрогского завода ЗВГ (1250 м<sup>3</sup>).



Фиг. 114. Трехбарабанный котел Таганрогского завода ЗВГ (400 м<sup>2</sup>).

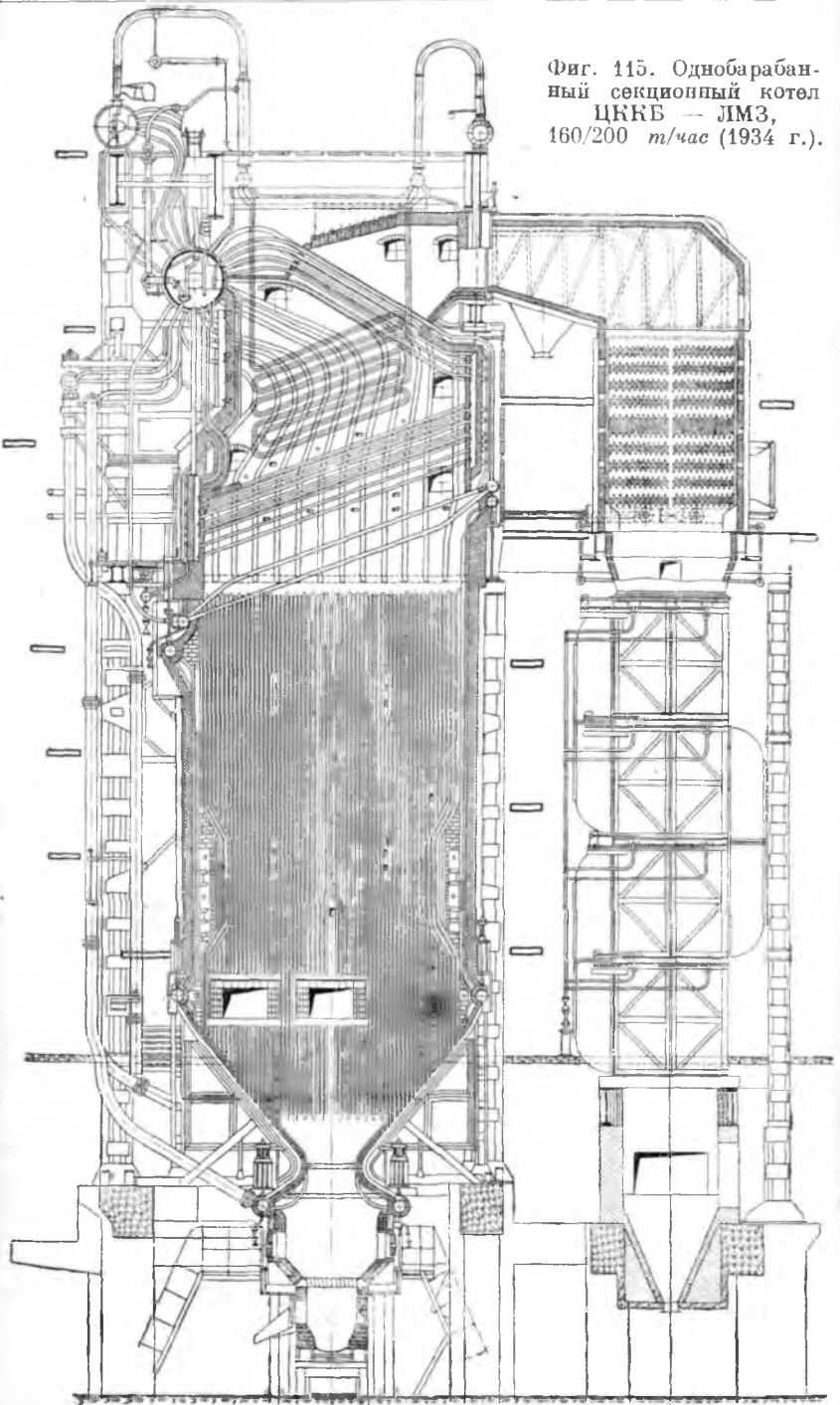


и температуре перегрева  $425^{\circ}\text{C}$  выпуска 1934—1935 гг. отличаются от ранее выпускавшихся (1930—1931 гг.) двухбарабанных котлов, один из которых показан на фиг. 108. В них отличительным признаком является такой же сильный изгиб переднего пучка с большим вылетом его вперед. Топка котла уже экранирована по бокам и с фронта. Диаметр труб кипяtilьных пучков и экранов одного размера (83/76 мм). В этих котлах тоже заметна тенденция развития радиационных поверхностей нагрева и сокращение конвективной части.

Приведенными конструкциями вертикально-водотрубных котлов исчерпывается период первого решающего этапа развития отечественного котлостроения. В дальнейшем был осуществлен переход к двухбарабанным, секционным, а впоследствии к мощным радиационным котлам современного типа.

Первый однобарабанный секционный котел оригинальной советской конструкции, созданный по проекту ЦККБ—ЛМЗ (фиг. 115), построен в 1934 г. Он был спроектирован на производительность 160/200 т/час при давлении 34 ат и температуре перегрева  $425^{\circ}\text{C}$ . Котел однокоридной. Топка пылеугольная, полностью экранированная, что было допустимым и необходимым для большинства наших энергетических топлив, в особенности при высоком подогреве воздуха, который достаточно легко осуществляется при относительно малой поверхности нагрева котла. Топка этого котлоагрегата отличается работой с высоким тепловым напряжением, доведенным до 200 000 и даже до 250 000 ккал/м<sup>3</sup>час при форсированном режиме. В частности, это имеет место на одной из уральских станций, работающих на кизеловском угле. Такое значительное повышение теплового напряжения топочной камеры позволило уменьшить ее габариты, а следовательно, и размеры самого котла. Так, ширина котла уменьшилась на 2—2,5 м против ширины трехбарабанного вертикально-водотрубного котла на 2500 м<sup>2</sup>, имеющего ту же производительность. Гранулятор в этих котлах уже отсутствует: он заменен холодной воронкой, которая перекрыта трубами диаметром 83/76 мм с шагом 100 мм. Установленные вразрядку трубы с металлическими плавниками создают сплошь металлическую поверхность холодной воронки. Топочные экраны монтированы из труб диаметром 83/76 мм с шагом между ними 100 мм. Отличительной конструктивной особенностью секционных котлов этого типа являются круглые секционные коробки, а не штампованные фасонные. Конструкция круглых камер была разработана отечественными заводами. Котельный пучок, состоящий из кипяtilьных труб диаметра 83/76 мм, расположен под углом  $15\text{—}17^{\circ}$  к горизонту. Остроумные гибы труб кипяtilьного пучка, принятые в данном случае, позволили создать шахматное расположение их при поперечном омывании потоком газов. Это позволило повысить интенсивность теплопередачи в пучке и уменьшить его размеры. Величина поверхности нагрева конвективного пучка котла равна 540 м<sup>2</sup>. Вся кипяtilьная и экранная система котла сделана такой, что в нем был создан надлежащий циркуляционный импульс и удачный контур циркуляции, позволивший надежно

Фиг. 115. Однобарабанный секционный котел  
ЦККБ — ЛМЗ,  
160/200 т/час (1934 г.).



работать при высоких теплонапряжениях и паронапряжениях поверхности нагрева.

В секционных котлах этого типа был впервые применен водяной экономайзер «кипящего» типа. Однако это нововведение внедрялось вначале довольно осторожно. Так, на первом секционном котле одной из уральских станций этот экономайзер имел поверхность нагрева всего лишь  $280 \text{ м}^2$ . В дальнейших конструкциях поверхность нагрева его была доведена до  $670 \text{ м}^2$ .

Секционные котлы, приспособленные для сжигания антрацитового штыба в виде пыли, циркуляционную систему (барабан, секционные коробки, кипяtilьный пучок, пароводящие и водоподводящие трубы) сохранили без изменений, но топочная камера имела по условиям горения антрацитового штыба меньшую степень экранирования и вместо холодной воронки — двойной грапулятор.

Выше было отмечено, что при переходе к трехбарабанным котлам серьезное значение приобрела проблема внутрикотлового режима и проблема воды. В условиях секционных, а также двухбарабанных мощных котлов вопрос вспенивания и уноса воды, т. е. проблема качества пара, стал еще более серьезным фактором, так как эти котлы обладали еще более мощными экранами и еще более напряженными паровыми объемами, чем вышеописанные.

Борьба за качество пара привела к ряду конструктивных усовершенствований в котле и к улучшению водного режима. Разрешение проблемы, как выше отмечено, значительно продвинулось вперед применением метода размыва пены и метода ступенчатого испарения, являющегося советским оригинальнейшим предложением. Это предложение по существу посредством конструктивного вмешательства определяет физико-химический режим работы паро-водяного пространства котла.

Первый двухбарабанный вертикально-водотрубный котел был сконструирован ЦККБ в 1934 г. Он вышел в изготовлении Невского завода. Котел был спроектирован и построен на суммарную паропроизводительность  $60/75 \text{ т/час}$  при  $32 \text{ ат}$  и температуре перегрева  $425^\circ \text{ С}$  (фиг. 116).

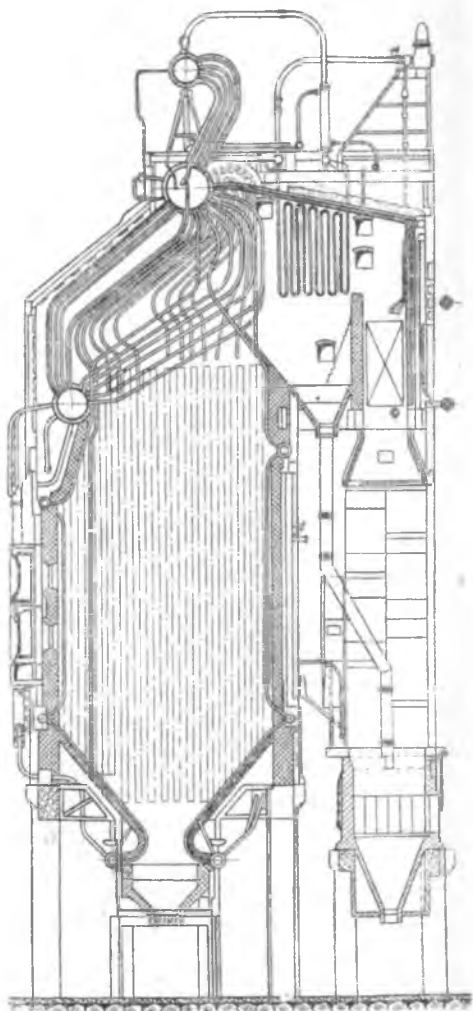
По этому типу в дальнейшем Невский завод выпускал котлы производительностью  $60/75$  и  $75/90 \text{ т/час}$  (фиг. 117), а Таганрогский завод — производительностью  $120/150$  (фиг. 118) и  $140/160 \text{ т/час}$ . Указанные котлоагрегаты имеют уже единую принципиальную компоновку в виде буквы П, в которой подъемное плечо образуется сильно развитой и сплошь заэкранированной факельной топкой, с холодной воронкой. Над топкой размещается первый и единственный пучок кипяtilьных труб, изогнутый настолько сильно, что этим обеспечивается поперечное омывание кипяtilьных труб газами в двух плоскостях. Скорости газов в таком котле взяты значительно выше, чем в пучке обычных вертикально-водотрубных котлов, что сделано в целях интенсификации теплопередачи. Следует заметить, что компоновка котла и его поверхностей нагрева сделана с учетом наиболее благоприятных условий обтекания трубчатых поверхностей нагрева горячими газами. В этом отношении

серьезная помощь котлостроению была оказана уже широко внедренным методом моделирования тепловых устройств.

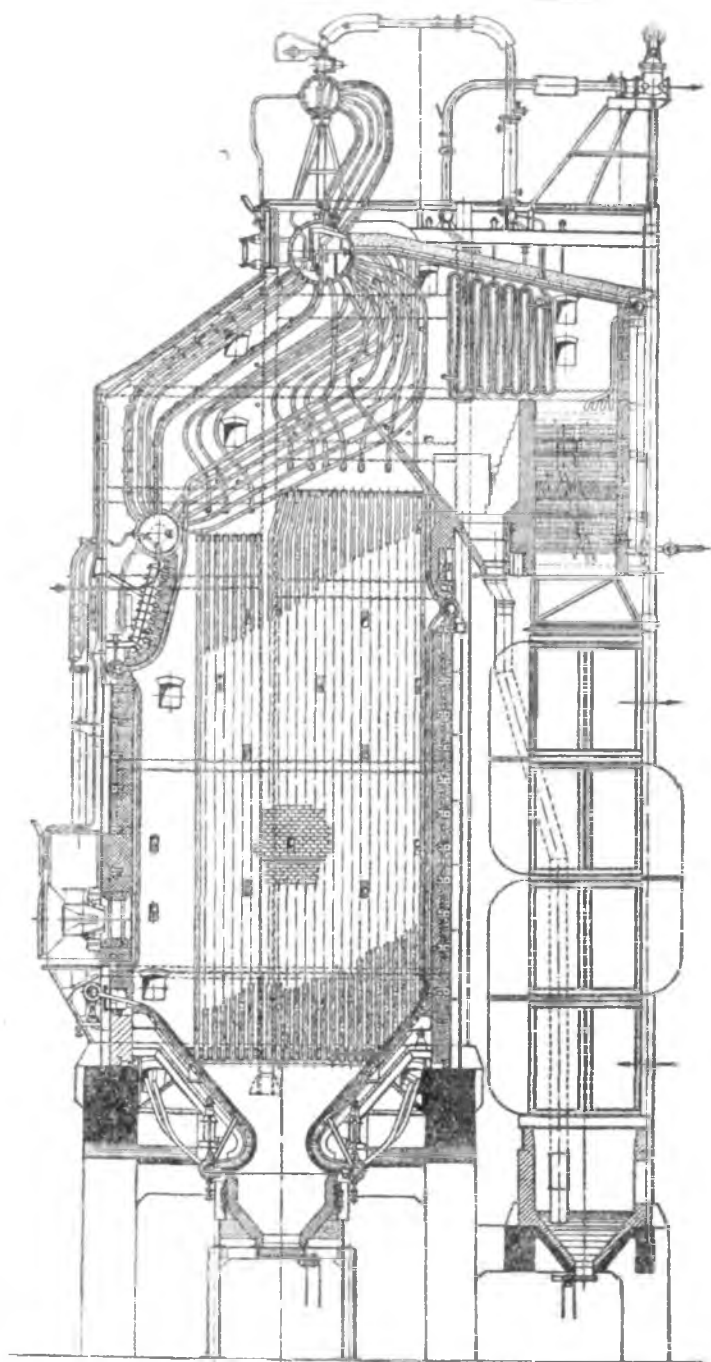
Расход металла на изготовление этих котлов был еще велик и лишь немногим лучше, чем у трехбарабанных вертикально-водотрубных котлов ( $1,86 \text{ кг/кг}$  вместо  $2,57 \text{ кг/кг}$ , т. е. меньше на  $0,5 \text{ кг}$ ), что объясняется наличием больших балластных весов в системе.

Конструкции двухбарабанного котла ЦККБ — НЗЛ на  $60/75 \text{ т/час}$  при  $32 \text{ ат}$  и  $425^\circ \text{С}$  и аналогичного по устройству котла ТКЗ на  $120/150 \text{ т/час}$  при  $34 \text{ ат}$  и  $425^\circ \text{С}$  (фиг. 116 и 118) отличаются продуманностью и оригинальностью. Последний котел, т. е. котел ТКЗ, часто называют котлом ЦКТИ — ТКЗ, имея в виду совместную работу двух коллективов — Центрального котлотурбинного института и конструкторского бюро ТКЗ — над этим котлом. В котле ЦКТИ — ТКЗ, так же как и в котле ЦККБ — НЗЛ, установлены экономайзеры змеевикового типа и воздухоподогреватели. Интересно распределение поверхности нагрева в котле ЦКТИ — ТКЗ на  $120/150 \text{ т/час}$ . Так, экранная поверхность нагрева составляет  $545 \text{ м}^2$  (из которых  $284 \text{ м}^2$  — радиационная часть), поверхность нагрева конвективного котельного пучка  $540 \text{ м}^2$  (из которых  $39 \text{ м}^2$  — первый ряд — радиационная часть); поверхность нагрева пароперегревателя —  $1050 \text{ м}^2$ , водяного экономайзера —  $400 \text{ м}^2$  и воздухоподогревателя —  $6750 \text{ м}^2$ . Таким образом, заметно возрастает поверхность нагрева экранов и пароперегревателя. Конвективная котельная поверхность нагрева играет уже второстепенную роль. Сказанное является общей тенденцией отечественного котлостроения в конце второго периода, когда начался переход к современным мощным котлоагрегатам однобарабанного типа.

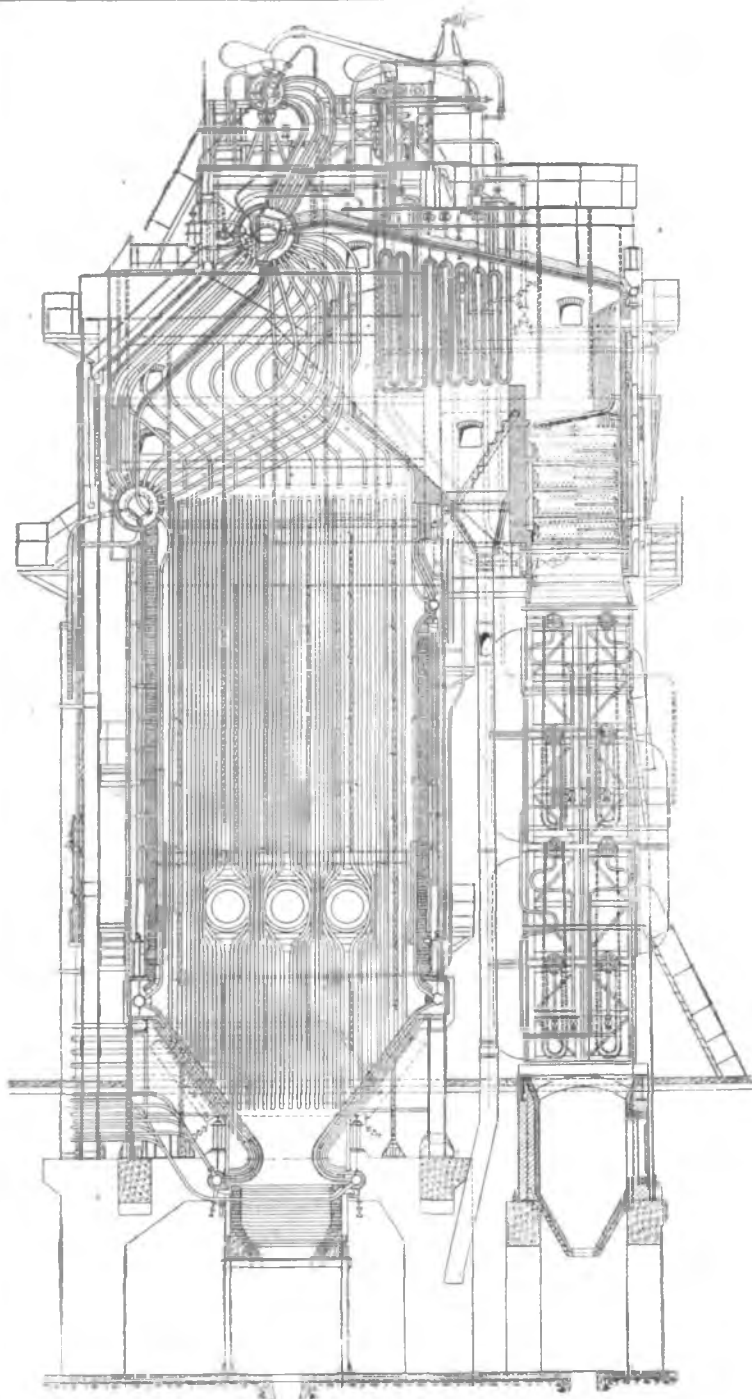
В двухбарабанных котлах ТКЗ также встретились эксплуатационные и конструктивные недостатки. Так, особые трудности име-



Фиг. 116. Двухбарабанный котел ЦККБ — НЗЛ,  $60/75 \text{ т/час}$  (1934 г.).



Фиг. 117. Двухбарабанный центробежный сепаратор ЦКРБ — ЦЗЛ. 75/90 т/час (1935 г.).



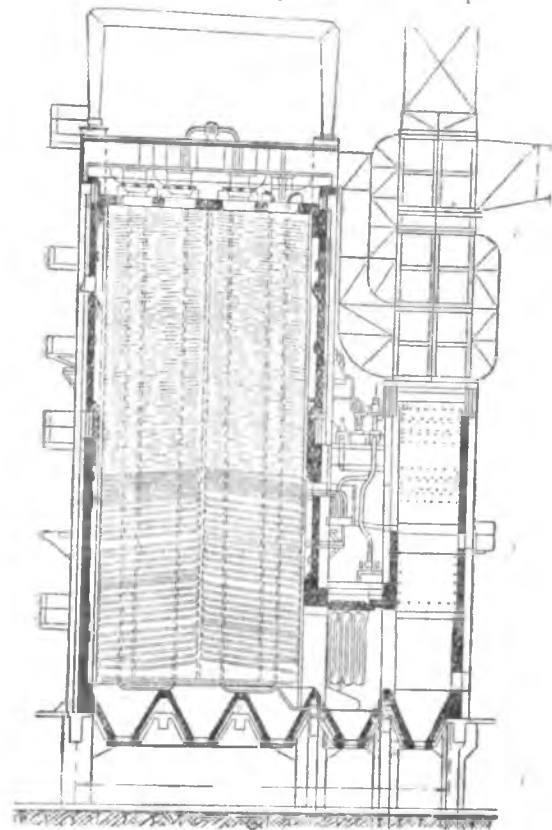
Фиг. 118. Двухбарабанный котел ТБЗ. 120/150 т/час.

лись с холодными воронками, в которых появились массовые трещины в плавниках труб воронки. Трудности водного режима были аналогичны вышеуказанным.

На фиг. 119 и 120 показан первый советский прямоточный котел системы проф. Л. К. Рамзина, так называемый котел СППВ 200/140, вступивший в нормальную эксплуатацию в начале 1933 г. на одной из электростанций.

Этот первый опытно-промышленный котел, являвшийся по величине давления и по паропроизводительности также первым в мире в период 1932 - 1935 гг., имеет следующие характеристики: паропроизводительность общая — 150/200 *т/час* при давлении 140 ат на выходе из котла и температура пароперегрева — 500° С; температура питательной воды — 210° С. Этот весьма простой по своему устройству котел надежно работает уже около 20 лет. В нем наиболее четко соблюден принцип прямоточности, при котором процесс парообразования происходит в условиях достаточно быстрого движения паро-водяной эмульсии по трубкам котла. Процесс парообразования в этом котле весьма форсирован.

Конструктивно котлоагрегат представляет собой

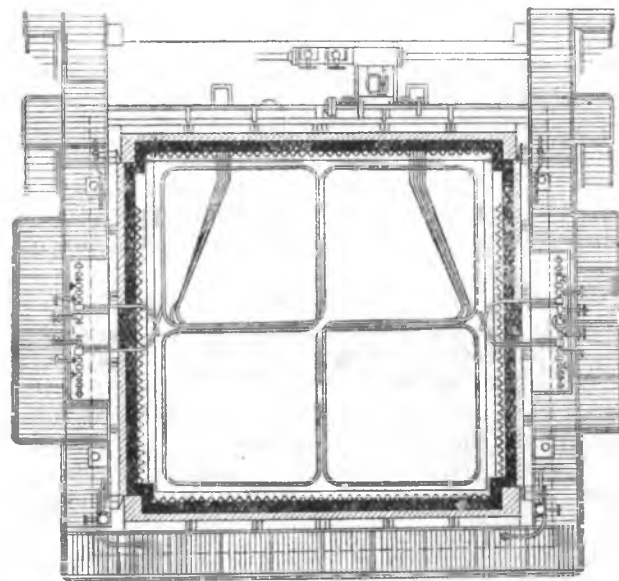


Фиг. 119. Первый советский прямоточный котел Л. К. Рамзина СППВ 200/140.

по существу одну трубку диаметром 42/30 мм (толщина стенки 6 мм), выполненную в виде непрерывного змеевика, расположенного в топочной камере и в конвективном газоходе. В промышленных агрегатах змеевик состоит, конечно, не из одной трубки, а из ряда их, уложенных в плоский пачет. Пакеты труб объединены коллекторами, число которых меньше, чем, например, в экранных котлах одинаковой мощности.

Котел СППВ 200/140 в своей радиационной части представляет топочную камеру, сконструированную в виде высокой призмы: ее объем — около 730 м<sup>3</sup>. В топочной камере витки труб расположены таким образом, что они образуют четыре одинаковых по размеру вертикальных шахты (фиг. 120). По этим шахтам сверху вниз дви-

жется поток горячих газов, которые по выходе из них поступают по горизонтальному газоходу в конвективную часть, где расположены другие поверхности нагрева котла (экономайзер, вторичный перегреватель и воздухоподогреватель). Оригинальная форма витков позволила разместить в топочной камере максимально эффективную поверхность нагрева при редком шаге трубок. Такое расположение обусловило то, что две стороны витков в каждой из четырех шахт имеют за собой кирпичную кладку и подвергаются поэтому одностороннему освещению со стороны факела; другие же две стороны витков (средние) составлены из труб так, что они подвержены эффективному двухстороннему освещению факелом. Следовательно,



Фиг. 120. Разрез котла СППВ 200/140 по топке.

в середине топки по всей ее высоте размещены четыре экрана с двухсторонним освещением. Эта конструкция экранов в СССР была применена впервые и именно в прямоточном котле СППВ 200/140.

Конструктивные размеры этого котла следующие: верхняя поверхность нагрева радиационной части — 581 м<sup>2</sup>, нижняя — 348 м<sup>2</sup>, поверхность нагрева конвективного пароперегревателя — 170 м<sup>2</sup>, водяного экономайзера — 444 м<sup>2</sup>, вторичного пароперегревателя 795 м<sup>2</sup> и, наконец, поверхность нагрева воздухоподогревателя — 8470 м<sup>2</sup>.

В этом котле были обнаружены серьезные недостатки, которые исправлялись в процессе последующей эксплуатации котла. Так, например, в целях улучшения работы внутрикотлового тракта был поставлен дополнительно смесительный коллектор, который позволил улучшить гидродинамику котла, почти ликвидировав те гидродинамические разверки (расхождения) по отдельным виткам, которые

имели место до этого и объяснялись в большей степени неравномерностями теплового восприятия. Большое число параллельно включенных витков обуславливало трудности с выравниванием температуры перегрева пара по отдельным виткам.

Несмотря на целый ряд конструктивных и эксплуатационных недостатков, прямоточные котлы, однако, сыграли положительную роль. Они явились той конструкцией, которая хотя и обладала некоторыми несовершенствами, но способна была в силу заложенных в ней несомненных преимуществ вызвать серьезные сдвиги в барабанном котлостроении и прежде всего в резком снижении удельных затрат металла и широком применении принципов интенсификации рабочих процессов.

К 1936 г. отечественное котлостроение и энергетическое хозяйство Советского Союза достигли очень серьезных успехов.

На котлостроительных заводах были созданы мощные самостоятельные конструкторские бюро, продолжавшие развернутую ЦККБ деятельность по повышению интенсификации использования металла, по увеличению экономичности и по приспособлению котлов к сжиганию любого энергетического топлива. Результатом этих работ явились сильно экранированные радиационные высокоэкономичные однобарабанные котлы конструкции этих заводов (ЛМЗ, ТКЗ, НЗЛ).

Общий технический уровень котлостроения СССР к этому времени стал уже значительно выше, чем во Франции и Англии и других странах, и отставал лишь немногим, главным образом в количественном отношении, от американского. На развитие новых котельных конструкций в СССР оказало, как подчеркнуто выше, заметное влияние появление советских прямоточных котлов. Влияние это проявилось в резко выразившемся переходе к конструированию более совершенных агрегатов с естественной циркуляцией.

Разработка нормальных барабанных котлоагрегатов с естественной циркуляцией в короткий срок привела к увеличению их общей и удельной производительности и увеличению эксплуатационной надежности и общей экономичности. При этом вскоре были созданы котлы нормальных конструкций с меньшими размерами габаритов и меньшими весами нерабочих (не участвующих в активном теплообмене) поверхностей. Число барабанов в котлах было доведено до минимального, что явилось одним из важных следствий борьбы за уменьшение затрат металла. Это было также серьезным вкладом в дело повышения надежности работы котла, так как при этом можно было получить более устойчивую и правильно организованную циркуляцию воды и пара.

Следует отметить также такие положительные результаты разработки новых барабанных котлов, как удешевление производства, применение методов интенсификации теплообмена в виде развитого экранирования, применения повышенных скоростей газов, широкого применения поперечного потока газов, омывающих трубы котла, повышение рабочего давления и температуры перегрева.

Отмеченные мероприятия оказались весьма эффективными в смысле уменьшения весов, габаритов и стоимостей паровых котлов, а также



в деле повышения удельных форсировок котлоагрегатов и увеличения их коэффициента полезного действия.

Переходя к характеристике котлоагрегатов периода второй пятилетки, напомним, что наша техника и промышленность разрешили к этому времени уже две важнейших задачи. Во-первых, основная часть нашей энергетики получила от своих заводов котельное и топочное оборудование, ни в чем не уступающее лучшим мировым конструкциям. Во-вторых, была разрешена задача экономичного сжигания местных энергетических топлив.

Наряду с этими основными задачами решались многочисленные вопросы, связанные с рабочими процессами в котлоагрегатах, процессом циркуляции, теплообмена, сепарации, создание образцового вспомогательного оборудования и т. д.

Два крупнейших в Европе научно-исследовательских теплотехнических учреждения: Всесоюзный теплотехнический институт им. Ф. Дзержинского и Центральный котлотурбинный институт им. Ползунова разрешили большое количество важных и актуальнейших задач энергетики, оказавших большое влияние на развитие котлотурбостроения и советской электроэнергетической базы вообще.

Большое развитие получили в этих институтах работы по экспериментальному исследованию на моделях и полупромышленных установках рабочих внутрикотловых и топочных процессов, отдельных деталей котлов и т. д.

В период 1936—1941 гг. выпуск котлов малой мощности происходил в нарастающем темпе и осуществлялся теми же заводами «Парострой» и ТКЗ.

Таганрогским заводом в 1936 г. были спроектированы и стали строиться модернизированный секционный котел с поперечным барабаном типа СМ 8/15 и СМ 16/22 и котлы вертикально-водотрубного типа под названием МП 10/16, МП 16/22. Котлы типа СМ оказались, впрочем, тяжеловесными и дорогими и впоследствии подверглись серьезной реконструкции. В этот период выпускались также котлы Шухова — Берлина, жаротрубные с одной жаровой трубой, секционные котлы нормального типа и др.

Котлы средней мощности, выходявшие ранее Невским заводом, в этот период подверглись существенным конструктивным изменениям. Начиная с 1936 г., НЗЛ приступил к проектированию нового однобарабанного котла с пылеугольной топкой на  $40/50 \text{ т/час}$  при давлении  $34 \text{ ат}$ . Этот котел должен был заменить собой трехбарабанный котел типа НЗЛ-3.

Новый однобарабанный котел типа НЗЛ-40/Ф-35 имеет оригинальную схему компоновки. Конфигурация котельного пучка в данном случае была оставлена такой же, как в двухбарабанном котле (фиг. 116). В котле при сжигании угля марки АШ применена холодная воронка. Это сделано впервые в котле сравнительно небольшой мощности. По сравнению с котлом типа НЗЛ-3 однобарабанный агрегат НЗЛ/40-Ф-35 дал 20% экономии металла и около 60% экономии обмуровочного материала.

Котельное бюро Невского завода предприняло в дальнейшем выпуск котлов для слоевого (тип С) и факельного (тип Ф) процессов

горения в виде ряда серий, предназначенных для промышленных установок и электростанций средней мощности, работающих на различных топливах, например, кусковой торф, кусковой в смеси с фрезерным торфом, донецкие каменные угли АС, Г, бурые угли, щепа, опилки и т. д. Были созданы новые котлы: НЗЛ-60/С-35, НЗЛ-40/С-35, НЗЛ-25/С-35, НЗЛ-60/Ф-35. Общая схема компоновки этих котлов несколько отличается от принятой за основу П-образной. В новой схеме компоновки верхний соединительный газоход — не горизонтальный, а наклонный.

Котлы средней мощности выпускались в этот период также и ТКЗ. Этим заводом был начат и продолжался до последнего времени выпуск котлов средней мощности типа СП-25/22.

Котлостроение для крупной энергетики в период 1936—1941 г. достигло весьма больших успехов. Основной задачей в данной области являлось создание высокоэкономичных надежно работающих агрегатов с уменьшенным удельным расходом металла и других материалов. Эта задача была решена. К 1940—1941 г. наша котлостроительная промышленность стала выпускать котлы, имевшие во многих случаях значительно лучшие показатели, чем американские или европейские котлы. Весовые и габаритные показатели новых агрегатов были значительно лучше, чем в западных странах. В этот период ЛМЗ была выпущена целая серия прекрасных котлов типа КО, например, КО-1-200 (котел однобарабанный первого типа, 200 *т/час*), КО-11-150, КО-111-200, КО-1V-200, КО-V-200, КО-VI-200.

Таганрогский завод также выпустил серию однобарабанных котлов типа ТКП-1, ТКП-2, ТКП-3 и т. д. до ТКП-9, отличавшихся весьма хорошими конструктивными и эксплуатационными показателями.

Расход металла в этих котлах был резко сокращен. Коэффициент полезного действия их был выше, чем у котлов конструкции ЦККБ и составлял 86—87%. Интересно отметить, что при сокращенных удельных расходах металла размеры поверхностей нагрева в этих котлах относительно больше, чем в котлах ЦККБ. Увеличение поверхностей нагрева, правильный их расчет содействовали лучшему охлаждению газов и повышению коэффициента полезного действия. а также и лучшей работе поверхностей нагрева.

Котлы типа ТКП начали проектироваться конструкторским бюро ТКЗ в начале 1936 г. Первый из котлов ТКП — однобарабанный типа на 160/200 *т/час* с давлением пара 34 ат предназначался для работы на мазуте и нефтяном газе. Конструкция этого котла позволила при довольно удачной с точки зрения аэродинамики конфигурации котельного пучка получить равномерное распределение газов по газоходам. Этот котел ТКЗ дал 25% экономии в весе металла по сравнению с двухбарабанным котлом раннего выпуска этого же завода.

Удачные показатели нового котла вызвали стремление к дальнейшему улучшению весовых характеристик в новых конструкциях однобарабанных котлов экранного типа большой производительности повышенного давления.

Котлы ТКП были запроектированы взамен устаревшей конструкции двухбарабанных котлов ЦККБ 1934 г. на 120/150 *т/час*. Один из таких котлов — ТКП-1, предназначенный для сжигания угольной пыли, и в первую очередь АИШ, является котлом экранного типа с небольшим котельным пучком, предохраняющим пароперегреватель от непосредственного воздействия радиации факела. Компоновка котла ТКП-1 — П-образная.

Переход к однобарабанным котлам явился новым этапом и значительным шагом вперед по пути технического прогресса. Показатели удельных и абсолютных расходов металла для однобарабанных котлов свидетельствуют об успехах нашего котлостроения.

Приведем сравнительные данные:

1. На котел КО-IV-200 одной из электростанций потребовалось 507 *т* металла и 520 *т* обмуровочного материала против 707 *т* металла и 1000 *т* обмуровочного материала, расходовавшихся для установки трехбарабанного котла ЦККБ той же мощности на той же станции; таким образом достигнуто было значительное сокращение веса материалов.

2. Для двухбарабанного котла ЦККБ—ТКЗ 120/150 при температуре отходящих газов 170° С требовалось около 540 *т* металла. Для нового котла ТКП-1 эта цифра, при более низкой температуре отходящих газов снижена до 346 *т*, т. е. на 47 %, и почти сравнялась с расходом металла в прямоточных котлах типа СПИ 200/35. Удельные расходы металла на 1 *т* производительности были в двухбарабанном котле ЦККБ—ТКЗ 120/150 — 3,98 *т/м*, в котле ТКП-1 — 2,31 *т/т* и в котле СПИ 200/35 — 2,21 *т/т*.

Так же выглядят данные для котлов КО-III-200 и секционного котла ЦККБ — ЛМЗ 160/200. Удельный расход для первого — 2,59 *т/т* и для второго — 3,78 *т/т*, т. е. снижение на 32 %.

3. Удельные расходы металла значительно снизились также и по котлам средней мощности. Так, например, если в трехбарабанном котле с поверхностью нагрева 800 *м*<sup>2</sup> на 40/50 *т/час* удельный расход составлял 2,37 *кг/кг*, то в котле НЗЛ 60/75 он снизился втрое до 0,918 *кг/кг*.

Приведенная характеристика развития нашего котлостроения свидетельствует об очевидном быстром прогрессе СССР в этой области техники.

Советское котлостроение пришло к собственным оригинальным конструкциям, не уступающим по своим мощностям и основным показателям лучшим образцам иностранной техники.

Период третьей пятилетки ознаменовался рядом серьезных достижений в энергомашиностроении. Котлотурбостроение, получившее свою отечественную базу в виде ряда заводов, построенных в период первой пятилетки, далеко шагнуло вперед. В течение второй пятилетки было построено большое количество электростанций, в особенности теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), на которых были установлены мощные котлы.

В решениях XVIII съезда ВКП(б) была подчеркнута необходимость скоростного строительства экономичных и дешевых электростанций средней и малой мощности. Это значительно упрощало

решение целого ряда задач котлостроения. В частности был разработан вопрос о типовой станции мощностью 25 000 *квт*. Были приняты стандартные параметры пара: для повышенного давления 35/29 *ат* и 420/400° и для высокого давления 100/90 *ат* и 500/480° без промежуточного перегрева. Для типовой ТЭЦ мощностью 25 000 *квт* была установлена оптимальная производительность котла, равная 90/110 *т/час*. Точка для этого типа котла принята пылевая.

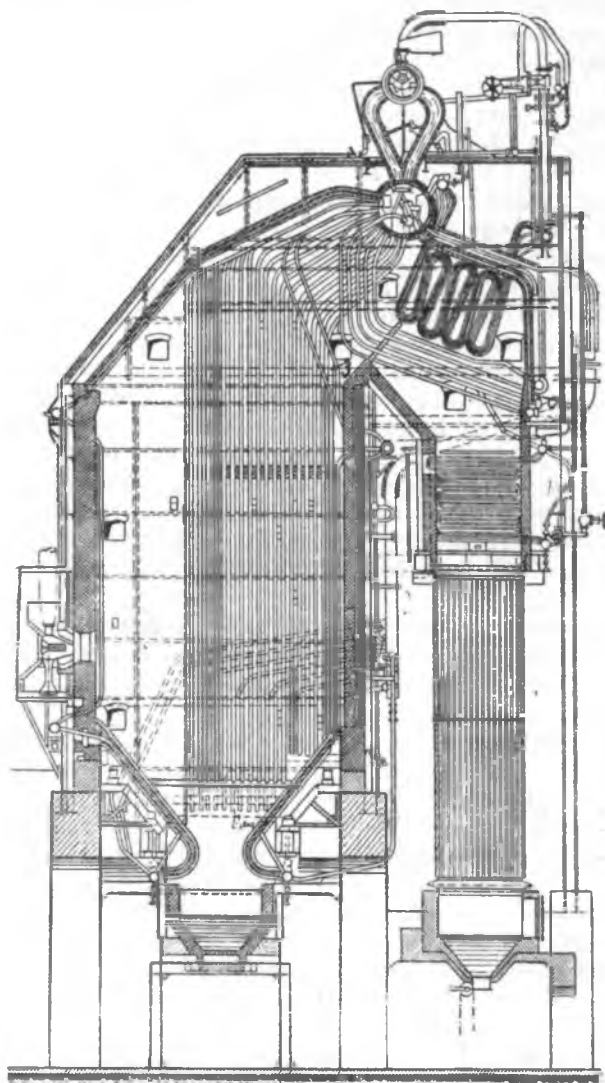
Разнообразие наших топлив по содержанию влаги, летучих и т. д. привело к мысли о необходимости создания унифицированного котла, который путем небольших конструктивных изменений мог бы быть приспособлен для основных наших топлив от АШ до подмосковного угля. Решение вопроса о создании унифицированного котла было найдено Таганрогским заводом «Красный Котельщик», разработавшим технический проект котла на 90/110 *т/час*.

Ниже рассматриваются основные конструкции паровых котлов, выпускавшихся в период 1936—1941 гг.

Начиная с 1937 г., Невским заводом была выпущена серия котлов средней мощности однобарабанного типа, которые были значительно лучше и легче прежних конструкций. Эти котлы изготовлялись как для слоевого, так и для факельного сжигания топлива. Первый пылеугольный котел нового типа был установлен в котельной одного из южных сахарных заводов. Интересно подчеркнуть, что этот новый котлоагрегат был начат проектированием в начале 1936 г., а закончен постройкой и монтажом к июню 1937 г. Таким образом, в срок 14—15 мес. была создана и установлена совершенно новая конструкция, значительно лучше предыдущих. Этот факт свидетельствует о росте технической и промышленной базы советского котлостроения к началу третьей сталинской пятилетки.

Указанный котел, получивший название НЗЛ 40/Ф-35 (фиг. 121) представляет собой однобарабанный котлоагрегат с факельной (пылеугольной) топкой, производительностью 40/50 *т/час* при давлении 35 *ат* и температуре перегрева пара 425° С. Котельный пучок этого котла по внешней своей форме напоминает кипяtilьный пучок двухбарабанного котла НЗЛ (фиг. 116) с той лишь разницей, что нижний барабан большего диаметра заменен коллектором небольшого диаметра. Вместе с тем котельный пучок в котле НЗЛ 40/Ф-35 повернут в обратном направлении и топочную камеру не перекрывает. Кстати, такая конфигурация пучка была принята также в некоторых мощных котлах ЛМЗ (например, в котле КО-III). Это расположение кипяtilьного пучка позволило сократить габариты котла по высоте и вместе с тем уменьшило опасность шлакования поверхности первого ряда труб кипяtilьного пучка. Горячие газы, покидая топку, поворачиваются на 90° и в поперечном направлении омывают первый пучок. После этого они вступают в зону пароперегревателя вертикального типа и опять, поворачиваясь на 90°, уходят вниз в экономайзерную шахту. В этом месте они вновь, в перпендикулярном направлении пересекают пучок труб. Таким образом, движение газов в котле организовано так, что они на всем пути двигаются в направлении, перпендикулярном трубчатым поверхностям нагрева. Низ топки выполнен в виде холодной воронки, поверхность которой

открыта экранными трубами (83/76 мм) с плавниками. Точка сильно экранирована. В верхней части точка сужается и определяет этим ширину всех последующих газоходов. Сужение сечения сделано с целью придания движению газов больших скоростей при



Фиг. 121. Однотрубный котел НЗЛ 40/Ф-35 (1937 г.).

входе их в конвективную зону, т. е. в целях интенсификации теплопередачи в этой части котла.

Новый котлоагрегат по сравнению с котлами НЗЛ-3 того же завода выпуска до 1930 г. дал около 25% экономии металла и более 50% экономии обмурочного материала. Такое резкое снижение метал-

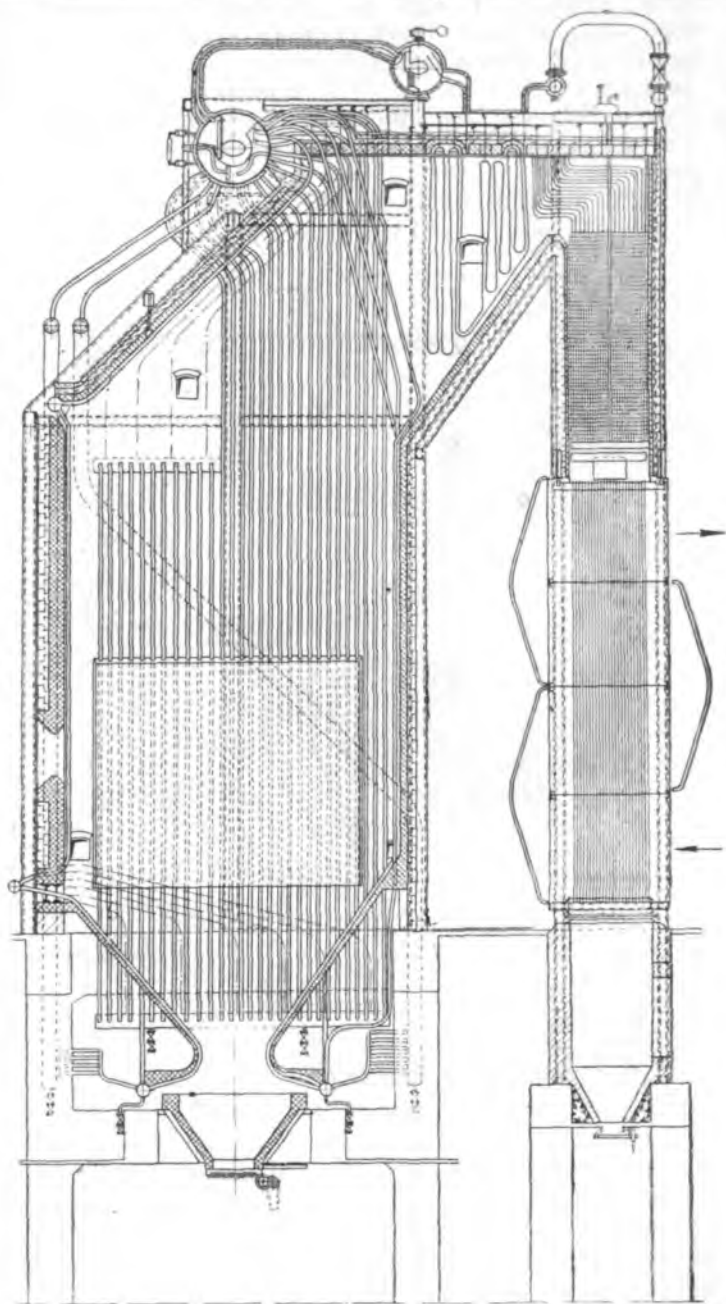
лоемкости котла и потребления обмуровочных материалов было осуществлено благодаря проведению конструктивных и теплотехнических мероприятий, позволивших значительно уменьшить габариты и расход металла без снижения надежности и безопасности работы котлоагрегата.

Более мощный котлоагрегат Невского завода, предназначенный для сжигания топлива в пылевидном состоянии, котел НЗЛ-60/Ф-35 производительностью 60/75 *т/час* пара конструктивно отличается от первого. Он похож почти во всех деталях на приводимый ниже котел Невского завода (фиг. 122) и отличается от последнего лишь устройством труб экрана. Топочная камера этого котла также имеет мощные экранированные со всех сторон стенки и холодную воронку. Котельный конвективный пучок в этом котле значительно отличается по устройству от первого. В данном случае за пароотводящими трубами заднего экрана размещен дополнительный небольшого размера конвективный пучок, состоящий из нескольких рядов коротких по длине труб. Последние входят в небольшой коллектор и непосредственно соединены с верхним барабаном. Устройство конвективного пучка аналогично его устройству в котле типа ТКП-3 (фиг. 132). Как в котле НЗЛ-40/Ф-35, так и в котле НЗЛ-60/Ф-35 трубы экрана непосредственно связаны с верхним барабаном, т. е. верхние экранные коллекторы отсутствуют. Интересной особенностью топочных экранов котла НЗЛ-60/Ф-35 первого выпуска является густое размещение трубок экранов на высоте, равной  $\frac{2}{3}$  высоты топки. Выше этого трубки попарно объединяются в одну, и далее экран идет с более редким расположением труб.

Тесное расположение пылеугольных горелок, специально разработанных для данного котла, позволило сузить котел и сделать его по габаритам и весам значительно лучшим по сравнению с котлами НЗЛ двухбарабанного типа.

В разработанном тем же заводом в 1940 г. проекте однобарабанного радиационного котла производительностью 60/75 *т/час* при давлении 34 *ат* (фиг. 122) конструктивная схема значительно упрощена. Дополнительный котельный пучок из котла изъят. Котел стал чисто экранного типа. Конвективная часть поверхности нагрева котлоагрегата образована отводящими трубами заднего экрана и располагается перед пароперегревателем. Это увеличивает температуру газа в зоне перегревателя. В котле число экранных коллекторов значительно уменьшено. Большая часть экранных труб присоединяется непосредственно к барабану. Принятая ранее конструкция разветвляющихся экранных труб изменена. Экран в данном котле состоит из труб одинарных. В опускной шахте котла размещен змеевиковый экономайзер кипящего типа, в котором испаряется до 20 % воды, поступающей в котел.

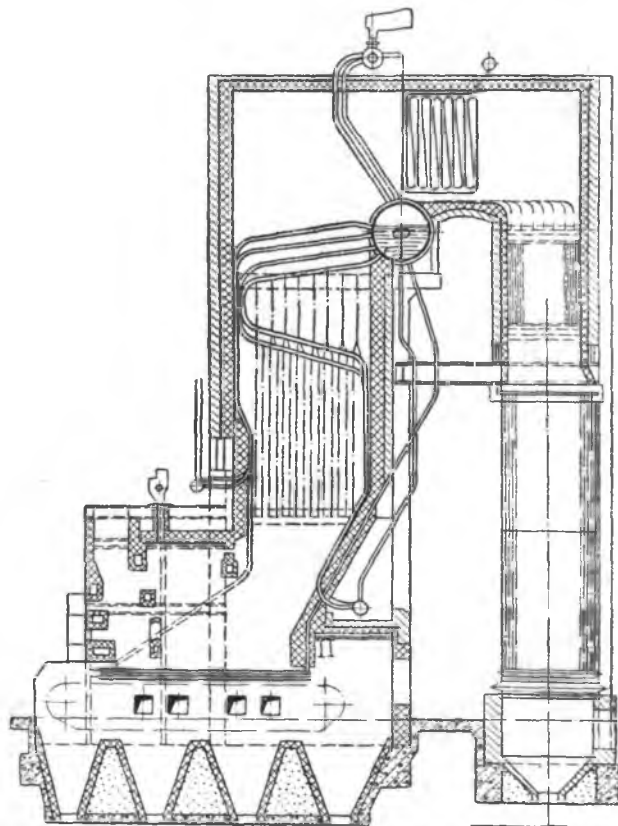
Невский завод выпускал до 1936 г. котлоагрегаты также производительностью 20 и 40 *т/час* при сжигании топлива в слоевых топках, однако эти котлы устарели и было признано необходимым создать новые, более совершенные конструкции котлов. Так появились наряду с котлоагрегатами типа НЗЛ-40/Ф/35 и более крупным НЗЛ-60/Ф-35 новые типы котлов с слоевыми топками НЗЛ-60/С-35, НЗЛ-40/С-35



Фиг. 122. Однobarанный котел ИЗЛ-60/Ф-35 (1940 г.).

и НЗЛ-25/С-35. Последние были предназначены для котельных промышленного типа и для электростанций средней мощности, которые имели базой топливо в виде кускового торфа или его смеси с фрезерным торфом влажностью до 55 %, донецкие угли типа АС и Г, бурые угли и отбросы лесопильных и деревообделочных заводов, т. е. те топлива, которые с успехом можно было сжигать на механических решетках.

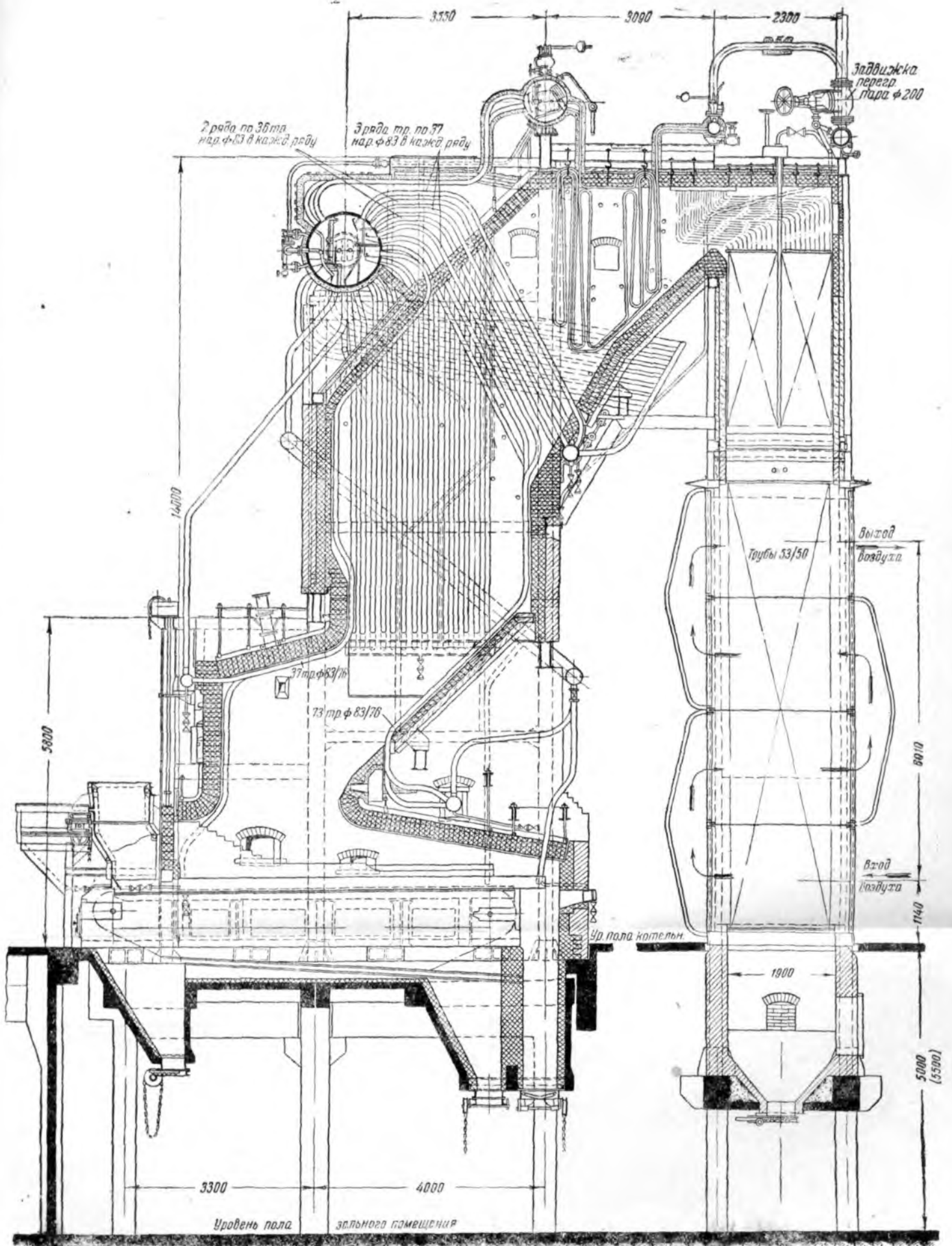
На фиг. 123 показан проект (1937 г.) котлоагрегатов Невского завода с слоевой топкой (НЗЛ-60/С-35, 40/С-35, 25/С-35).



Фиг. 123. Однобарабанный котел НЗЛ-60/С-35, 1937 г.

Такие котлы обладают довольно развитым экранированием, причем передний и задний экраны имеют лишь по одному (нижнему) коллектору. Верхние экранные коллекторы в схеме отсутствуют и экранные трубы верхними концами входят в верхний барабан. Пароперегреватель расположен в горизонтальной перемычке, соединяющей обе шахты котла. Перед пароперегревателем в верхней части топочной камеры расположен котельный пучок, полученный из отогнутых труб переднего и заднего экранов. Боковые экраны этого котла также не имеют верхних коллекторов, и трубы также входят в верхний барабан непосредственно. В боковых экранах применена такая





Фиг. 124. Однobarанный котел ИЭЛ-60/С-35 одного из бумажных комбинатов (1938 г.).

же конструкция труб, как и в первых котлах НЗЛ-60/Ф-35, т. е. они за пределами топки соединяются попарно. Таким образом, число паропроводящих труб сокращается вдвое. Правда, их диаметр остается большим.

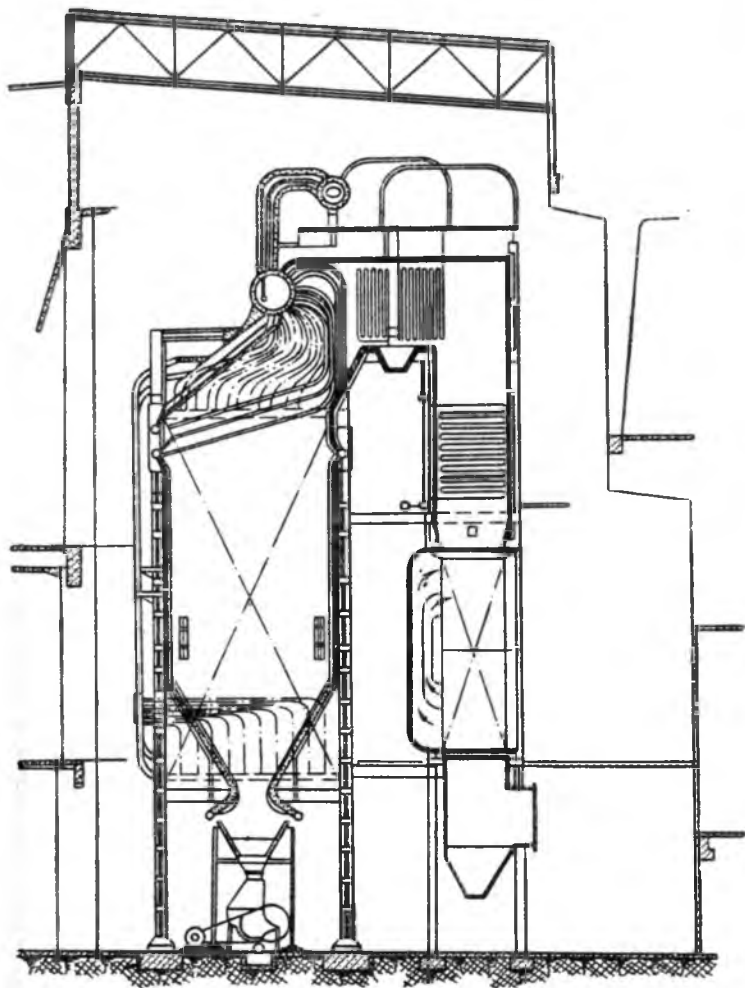
Наряду с указанным типом котлоагрегатов Невский завод имени Ленина в 1937 г. разработал еще одну конструкцию котла с слоевой топкой, нашедшую большое применение. По своим весовым и габаритным показателям новая конструкция котла значительно превосходила существовавшие до того времени агрегаты такой же мощности. Первый котел такого типа НЗЛ-60/С-35 (фиг. 124, см. вклейку) был изготовлен для одного бумажного комбината в 1938 г. Котел имел следующие основные расчетные параметры. Нормальная производительность при работе на щепе с влажностью 45% — 55 т/час. максимально длительная — 68 т/час при давлении 35 ат и температуре перегрева 425° С. Подогрев воды в пределах до 130° С и подогрев воздуха до 250° С. Топка снабжена отечественной беспровальной цепной решеткой. Тепловые напряжения топочного объема при нормальном режиме составляют 250—260 000 ккал/м<sup>3</sup> час. Задняя стенка топки имеет несколько необычную форму, потому что соединительному газоходу придано не горизонтальное, а наклонное положение. Горизонтальной переемычки в этом котле нет, что отличает компоновку его от общепринятой П-образной. Вертикальная и наклонная части задней стенки экранированы трубами диаметра 83/76 мм с шагом между ними 90 мм. Фронтальная (имеющая также своеобразный вид) и боковые стенки экранированы теми же трубами, но с шагом 180 мм, т. е. в 2 раза большим. Экранные трубы верхними концами присоединяются к верхнему барабану, т. е. верхних коллекторов экранов в котле нет. Эффективная поверхность нагрева экранов в топке составляет около 130 м<sup>2</sup> (126 м<sup>2</sup>). Основным кипяtilьным элементом котла является конвективный пучок с поверхностью нагрева 200 м<sup>2</sup>. Пучок этот расположен в наклонном газоходе так, что газы пересекают его в перпендикулярном направлении. Кипяtilьный пучок состоит из четырех рядов труб (83/76 мм), расположенных в шахматном порядке. Верхние концы труб пучка введены в паровое пространство котельного барабана. Диаметр последнего — 1300 мм. Наряду с кипяtilьным пучком конвективную часть котла составляют также три ряда экранных труб, являющихся отводящими трубами заднего экрана. Нижние концы коротких кипяtilьных труб входят в коллектор небольшого диаметра. Таким образом, кипяtilьный пучок имеет самостоятельный контур циркуляции.

В опускной шахте котла расположен водяной экономайзер с поверхностью нагрева 530 м<sup>2</sup> и далее воздухоподогреватель трубчатого типа с поверхностью нагрева 2320 м<sup>2</sup>.

Ленинградский металлический завод, приступив в 1936 г. к разработке новых котельных агрегатов, создал серию замечательных отечественных котлов, известных под маркой КО. Котлы КО — это бессекционные однобарабанные котлы, являющиеся оригинальным развитием конструкций котлоагрегатов, созданных в период второй пятилетки и получивших широкое применение на электростанциях

Советского Союза. Были запроектированы и созданы котлы КО-I-200, КО-II-150, КО-III-200, КО-IV-200 КО-V-200, и КО-VI-200.

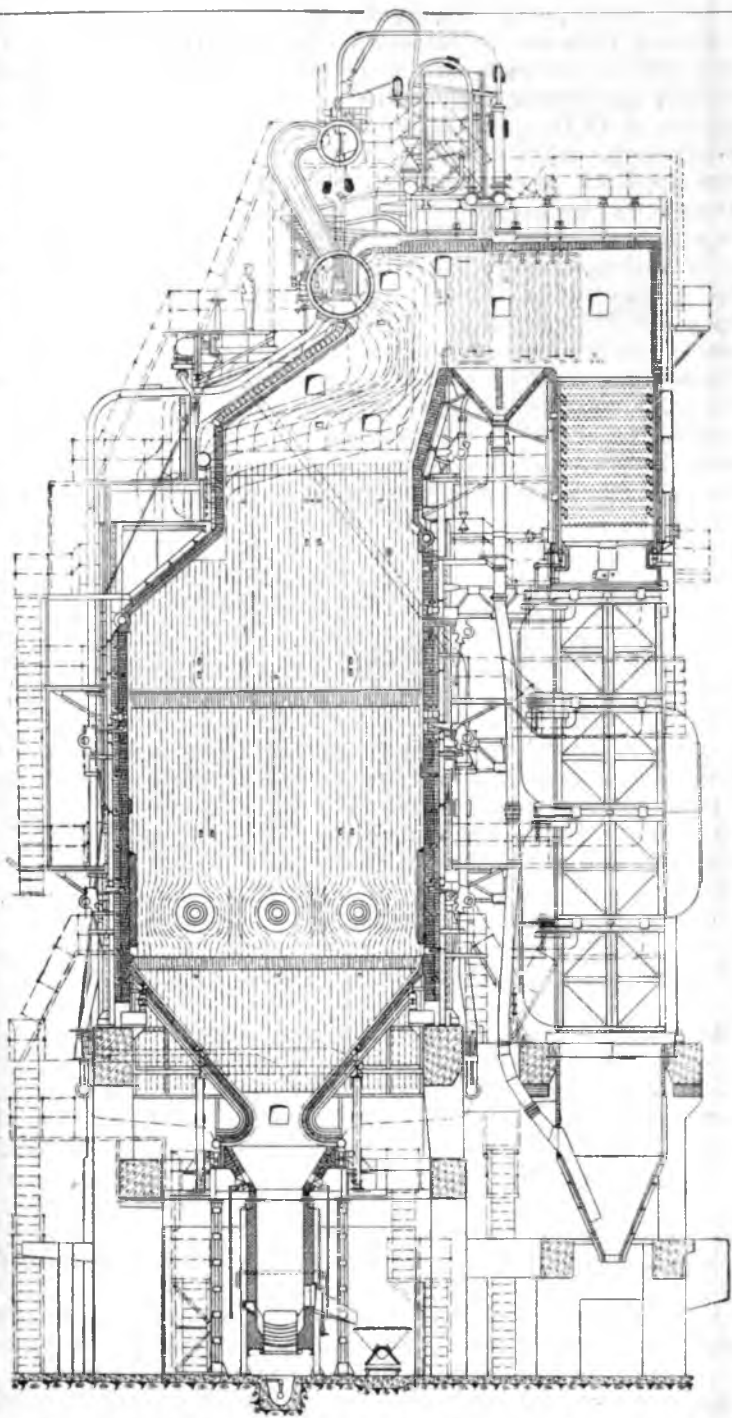
Котел КО-II-150 (фиг. 125) был спроектирован для Березниковской ТЭЦ. Его производительность — 120/150 *т/час* пара при давлении 67 ат и температуре перегрева 450° С. Топка котла — пылеугольная



Фиг. 125. Однobarанный котел ЛМЗ, 120/150 *т/час* — КО-II-150.

с плотным экранированием всех стен ее трубами диаметром 83/76 мм с шагом между ними 100 мм.

Мощный однobarанный котлоагрегат КО-III-200 (фиг. 126) явился дальнейшим развитием двухбаранных котлов ЦКТИ—ТКЗ, о которых было сказано выше. Этот распространенный у нас в стране паровой котел имеет паропроизводительность 160/200 *т/час* при давле-



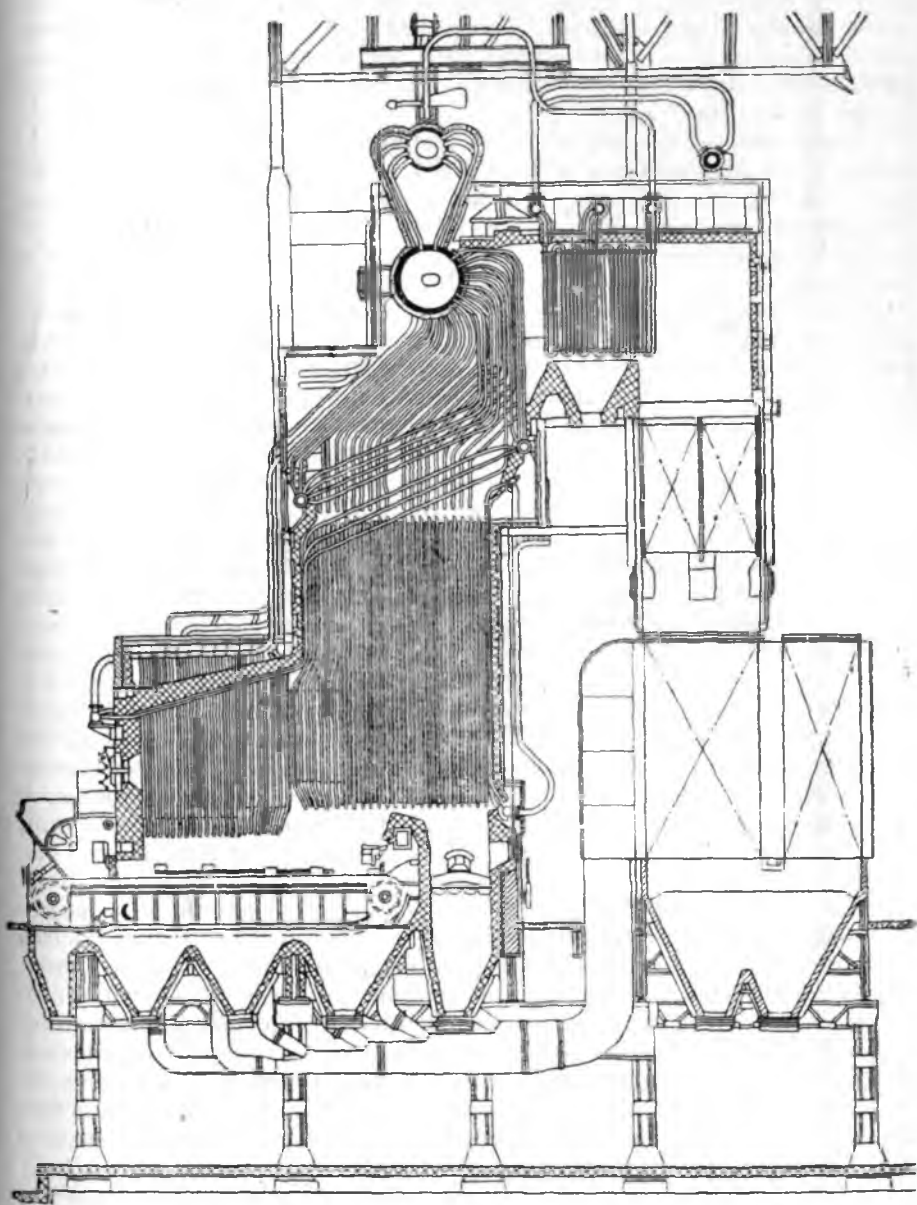
Фиг. 126. Однотрубный котел ЛМЗ 160/200 т/час — КО-III-200.

нии 34 ат и температуре перегрева 425°С. Его внешние конструктивные формы похожи на первый из указанной серии котлоагрегатов котел КО-1, который был подвергнут в ЦКТИ им. Ползунова тщательному экспериментированию с широким применением разработанного в СССР метода моделирования тепловых устройств. Топочная камера этого котла имеет полное экранирование всех стен гладкими трубами диаметром 83/76 мм с шагом на боковых стенках 150 мм и на участках расположения горелок — 160 мм. На фронтальной и задней стенках топочной камеры шаг взят меньшим, а именно 100 мм. В нижней части топочной камеры расположена холодная воронка, выполненная также из тесно поставленных гладких труб диаметром 83/76 мм.

В котле КО-III-200 нет ни секционных камер, ни нижнего барабана. Конвективный пучок его имеет поэтому несколько своеобразную форму. Трубы пучка слабо наклонены к горизонту и перекрывают собой суженную в верхней части топочную камеру, а затем они перед горизонтальной перемычкой между подъемной и опускной шахтами котла круто поднимаются вверх и вступают в верхний барабан котла. Нижние концы кипятильных труб входят своими концами в коллектор небольшого диаметра (377/307 мм). К конвективному пучку относится также часть труб фронтального и заднего экранов, которые в верхней своей части приобретают необходимый изгиб в соответствии с конфигурацией пучка. Размер поверхности нагрева конвективного пучка составляет около 500 м<sup>2</sup>. Диаметр верхнего барабана в этом котле по сравнению с секционным котлом ЦКТИ — ЛМЗ увеличен до 1582/1486 мм. Пароперегреватель висячего типа расположен в горизонтальной перемычке, его поверхность нагрева — около 1200 м<sup>2</sup> при диаметре труб 38/31 мм. В опускной шахте в соответствии с принятой схемой компоновки установлен водяной экономайзер змеевикового типа. Диаметр трубок берется 51/44 или 38/31 мм. Поверхность нагрева водяного экономайзера 800—1000 м<sup>2</sup> в зависимости от топлива. Воздухоподогреватель имеет поверхность нагрева, равную 8200 м<sup>2</sup>.

В сравнении с ранее выпущенными этими же заводами секционными котлами в котле КО-III-200 вес снижен на 30 % (530 т вместо 760 т).

Котел КО-IV-200 (фиг. 127) спроектирован и построен для сжигания фрезерного торфа и сланца в вихревой топке Макарьева. Его производительность также 160/200 т/час при давлении 34 ат и температуре перегрева пара 425°С. Топка, так же как и в котле КО-III-200, полностью экранирована, причем для облегчения сжигания сланцев в нижней части котла остается незаэкранированная часть (шамотный пояс) высотой около 2,0 м. Конвективный пучок поверхностью нагрева 700 м<sup>2</sup> в этом котле компоуется так же, как и в предыдущем. Однако в данном случае, учитывая низкую температуру размягчения сланцевой золы и возможность усиленного шлакования пучка, перед последним в качестве меры защиты поставлен специальный гранулятор. Гранулятор образован отогнутыми трубами фронтального экрана, которые, перекрывая топку, предохраняют пучок от зашлаковывания. Трубы гранулятора входят в коллектор неболь-



Фиг. 127. Однотрубный котел ЛМЗ КО-IV-200 со слоевой топкой.

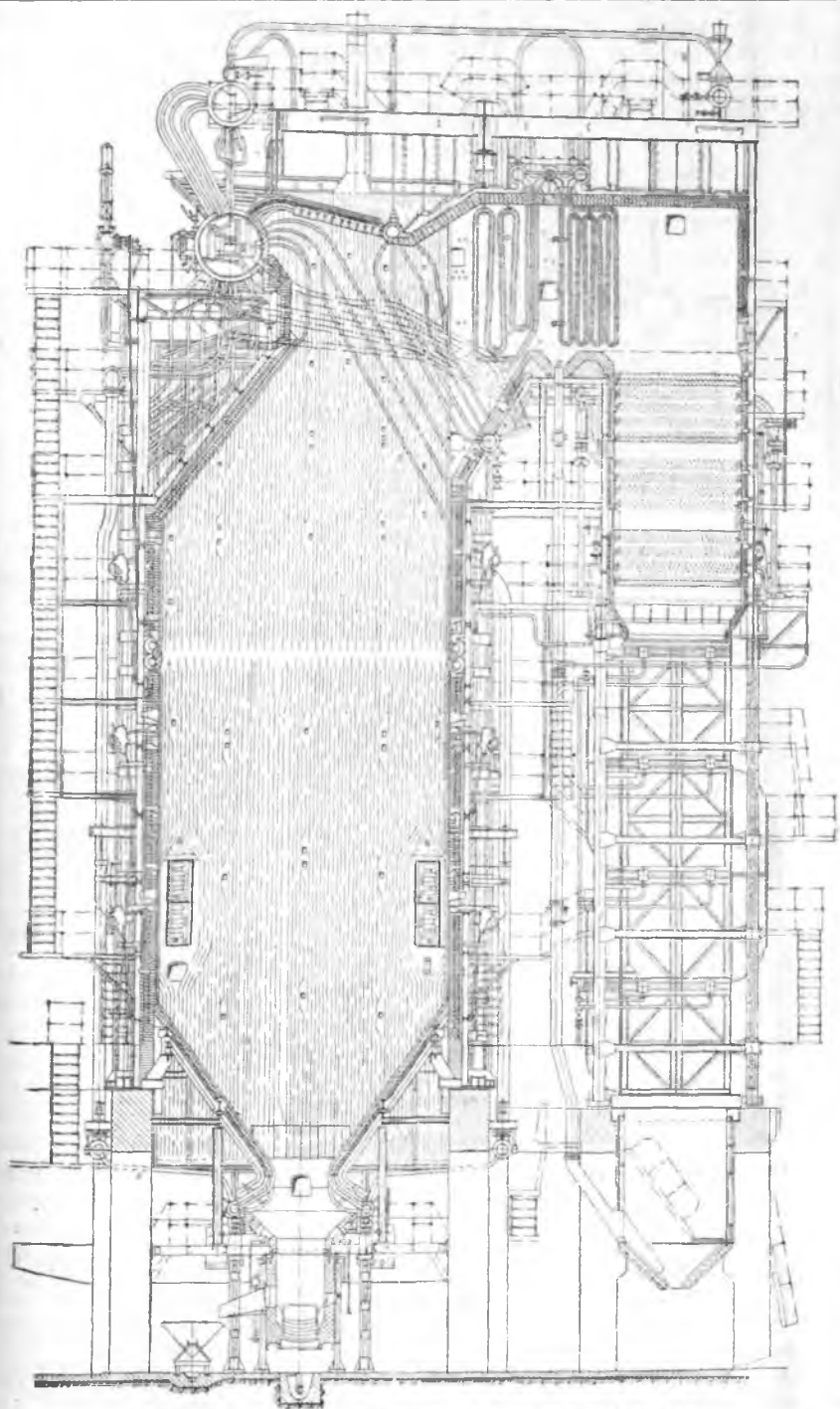
шого диаметра (326/256 мм), а из него идут в верхний барабан, образуя заднюю часть конвективного пучка. Трубы экрана имеют диаметр 83/76 мм, а трубы пучка — 60/54 мм. Пароперегреватель имеет поверхность нагрева около 1000 м<sup>2</sup> при диаметре трубок 38/31 мм. Водяной экономайзер того же размера, что и в котле КО-III-200. Воздухоподогреватель — трубчатый с поверхностью нагрева около 7800 м<sup>2</sup>.

Котел имеет хорошие весовые габаритные показатели. Так в сравнении с трехбарабанным котлом ЛМЗ, смонтированным и работающим на той же станции, под которым также установлена топка Макарьева, вес металла в котле КО-IV-200 снижен на 200 т, т. е. на 28 %, и вес обмуровочного материала — почти вдвое, т. е. 520 т вместо ранее расходовавшейся 1000 т.

Котел типа КО-VI-200 (фиг. 128) производительностью 160/200 т/час при давлении 34 ат и температуре перегрева пара 425° С отличается от указанных котлоагрегатов конструктивным выполнением конвективного пучка. Размеры последнего малы по сравнению с размерами пучков котлов КО-III и КО-IV и составляют всего 220 м<sup>2</sup> (из общей конвективной котельной поверхности нагрева 345 м<sup>2</sup>). Трубы котельного конвективного пучка входят своими концами в верхний и нижний коллекторы небольшого диаметра — 377/307 мм, образуя самостоятельный контур циркуляции. Пар из верхнего коллектора отводится в верхний барабан. Таким образом, котельный конвективный пучок играет роль защитной поверхности нагрева, располагаемой перед пароперегревателем. Дополнительная часть конвективного пучка (125 м<sup>2</sup>) образуется отводящими трубами заднего экрана, которые проходят перед собственно котельным пучком по направлению к верхнему барабану. Топка в этом котле представляет собой мощное сооружение объемом 960 м<sup>3</sup>, высотой 17 м, шириной в свету около 9 м и глубиной 7,2 м. Радиационная поверхность нагрева топки составляет около 565 м<sup>2</sup> при полной поверхности нагрева экранов и холодной воронки 1620 м<sup>2</sup>. В котле КО-III эти размеры составляли соответственно 430 м<sup>2</sup> из 1055 м<sup>2</sup> и в котле КО-IV — 256 м<sup>2</sup> из 450 м<sup>2</sup>.

На этом примере видно, как в своем эволюционном развитии отечественные котлоагрегаты пришли к современным оригинальным конструктивным формам, в которых топка превращена в основной центр производства пара. Идя по линии максимального использования лучистой теплоты и значительного уменьшения металлоемкости котла, наши заводы создали конструкции, в которых обеспечена весьма интенсивная работа котлоагрегата, обеспечено уменьшение его весовых показателей, уменьшение габаритов и одновременно получены высокая эксплуатационная надежность и маневренность агрегата.

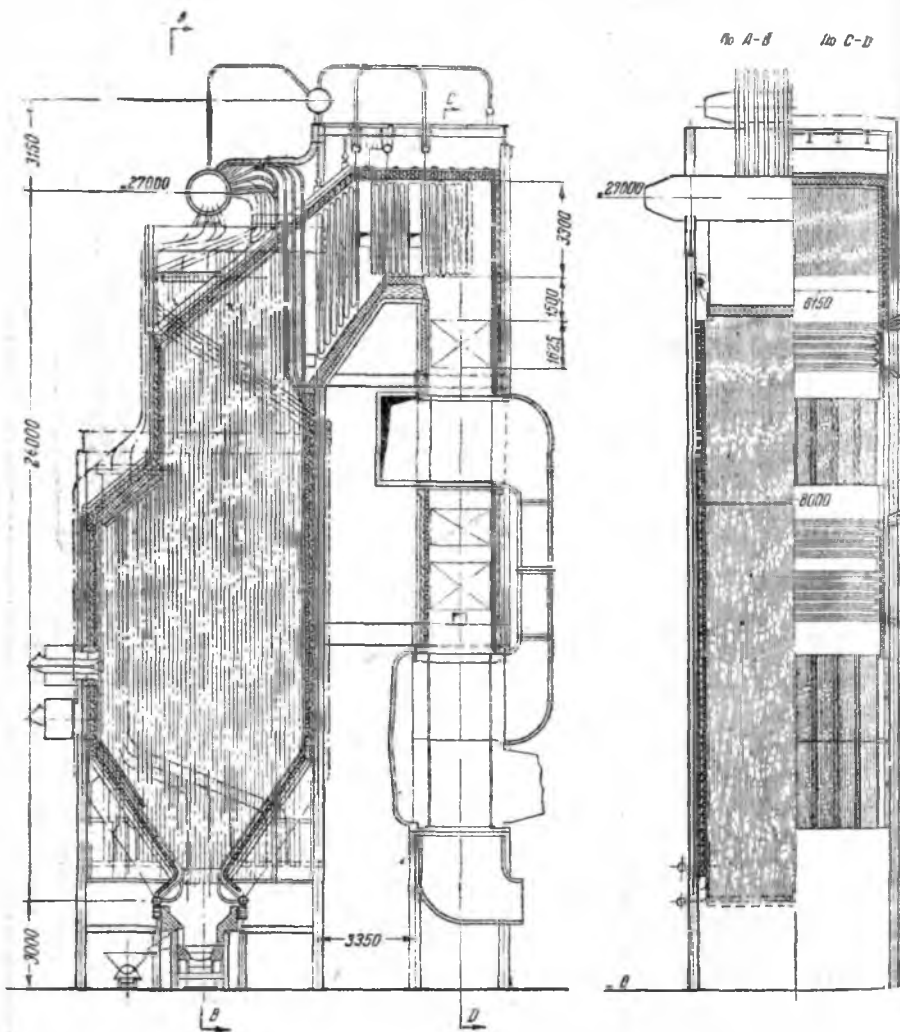
В опускной шахте котла, как обычно, установлены водяной экономайзер и воздухоподогреватель. Первый — змеевикового типа, имеет поверхность нагрева 1470 м<sup>2</sup> при стандартном диаметре труб 38/31 мм и второй — пластинчатого типа, имеет поверхность нагрева 8770 мм<sup>2</sup>. В горизонтальной перемычке установлен пароперегреватель с поверхностью нагрева 1215 м<sup>2</sup> (диаметр труб — 38/31 мм).



Фиг. 128. Однотрубный котел ЛМЗ КО-VI-200.



Перед самой войной 1941—1945 гг. ЦКТИ им. Ползунов<sup>ва</sup> и конструкторское бюро ЛМЗ спроектировали первый отечественный однобарабанный котел высокого давления (фиг. 129) производительностью 90/110 т/час при давлении 100 ат и температуре перегрева:



Фиг. 129. Проект однобарабанного котла высокого давления (1941 г.) ЛМЗ — ЦКТИ. 90/110 т/час, 100 ат.

пара 495° С. Правда, еще в 1930—1932 гг. в одном из конструкторских бюро (ОКБ) был разработан двухбарабанный котел высокого давления. Котел этот имел своеобразную конфигурацию кипяточного пучка. Топка была открытой, не экранированной. Проект котла не был осуществлен, однако это была именно первая попытка применения в СССР котлов барабанного типа для производства пара

высокого давления. Схема и внешняя конфигурация котла высокого давления ЦКТИ-ЛМЗ аналогична схеме ранее описанного котла НЗЛ-60/Ф-35 проекта 1940 г.

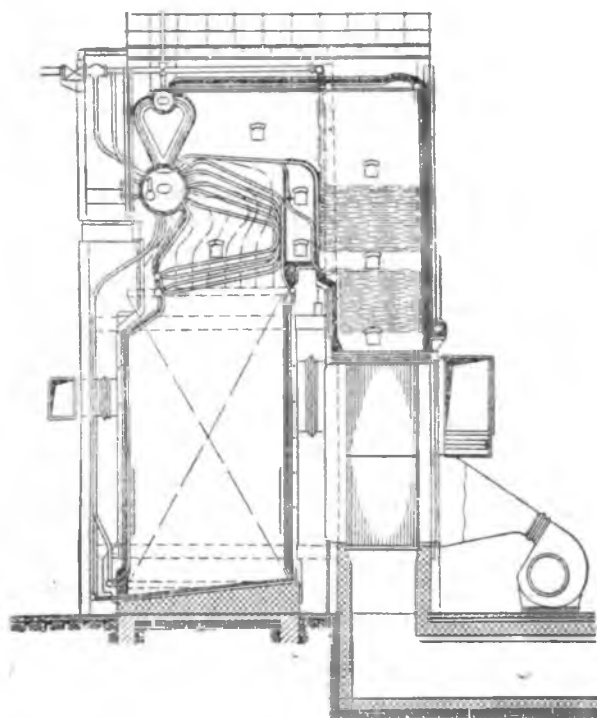
Топка котла полностью экранирована, в верхней своей трети она имеет сужение в глубинном направлении. Внизу топки расположена холодная воронка того же устройства, что и выше. Горизонтальная перемычка по размеру невелика, в ней размещен пароперегреватель. Последний, таким образом, размещен в зоне высоких температур, что является неизбежным при производстве пара высокого давления по условиям теплопередачи и регулирования температуры перегрева пара. Конвективный пучок, как собственно котельный пучок, в этом котле отсутствует. Он состоит здесь из отводящих труб заднего экрана, расположенных перед пароперегревателем в три ряда. Последние стоят вертикально. В этом проекте отечественного котла высокого давления впервые был применен очень удачный принцип установки водяного экономайзера и воздухоподогревателя в «рассечку», т. е. такой принцип, при котором имеются «горячие» и «холодные» части элементов котлоагрегата. При осуществлении указанного принципа размещения вспомогательных экономайзерных поверхностей нагрева котлоагрегата весьма заметно изменяются соотношения температурных напоров в зонах воздухоподогревателя и водяного экономайзера. При такой компоновке можно получить снижение размеров поверхности нагрева воздухоподогревателя, благодаря чему снижается общая затрата металла и улучшаются весовые показатели котлоагрегата.

Этими конструкциями однобарабанных сильно экранированных котлов характеризуется плодотворная совместная работа Конструкторского бюро ЛМЗ и ЦКТИ им. Ползунова в период с 1936 по 1941 гг. Совместная работа Научно-исследовательского института и передового завода оказалась блестящим подтверждением плодотворности принципа творческого содружества ученых и инженеров. В дальнейшем такая работа привела к еще более значительным успехам.

Производство котлоагрегатов на Таганрогском котлостроительном заводе в период 1936—1941 гг. также приобрело большой размах. Заводское конструкторское бюро сумело создать конструкции, завоевавшие широкую известность. Так в начале 1936 г. был спроектирован однобарабанный вертикально-водотрубный котел производительностью  $160/200 \text{ т/час}$  при давлении  $35 \text{ ат}$  и температуре перегрева  $425^\circ \text{ С}$  (фиг. 130). Котел был предназначен для работы на мазуте и природном газе. Топка котлоагрегата и ее под сплошь заэкранированы гладкотрубным экраном, состоящим из труб принятого стандартного размера  $83/76 \text{ мм}$ . Топочная камера имеет большой размер: объем —  $380 \text{ м}^3$ , сечение —  $5,5 \text{ м} \times 7,1 \text{ м}$ . Поверхность нагрева топочных экранов составляет  $690 \text{ м}^2$ . Тепловая нагрузка топки при нормальном режиме работы достигает  $300\,000 \text{ ккал/м}^3\text{час}$ .

Конфигурация котельного пучка в данном котле очень удачна, так как она позволила уменьшить строительную высоту агрегата и создать при этом равномерное распределение потока газов по газоходу. Такой тип котельного пучка был использован в котлах НЗЛ-60/С-35

и других этого же типа, спроектированных Невским заводом в 1937 г. Разница в конфигурации пучков этих котлов состоит лишь в том, что в котлах НЗЛ нижняя часть пучка была образована отводящими трубами заднего экрана, которые перекрывали топку во всем сечении. Промежуточного коллектора нет. В котле же ТКЗ трубы фронтального экрана входят в верхней части топки в экранный коллектор, а из него идут в верхний барабан котла, перекрывая по пути топку два раза: от фронтальной стенки — к задней и от нее — к барабану. Вместе с этим имеется конвективный собственно котельный пучок



той же конфигурации со своим отдельным коллектором. Таким образом в котельном пучке организован самостоятельный отдельный от экранной системы контур циркуляции. К конвективному же пучку принадлежит и отводящая часть труб заднего экрана, которые в своем восходящем движении приобретают такие же гибы как и основной котельный пучок. Котельный пучок имеет размер поверхности нагрева  $350 \text{ м}^2$ .

Пароперегреватель расположен в опускной шахте. Его поверхность нагрева составляет  $1050 \text{ м}^2$ . Водяной экономайзер, выполненный из таких же, как пароперегреватель, труб,

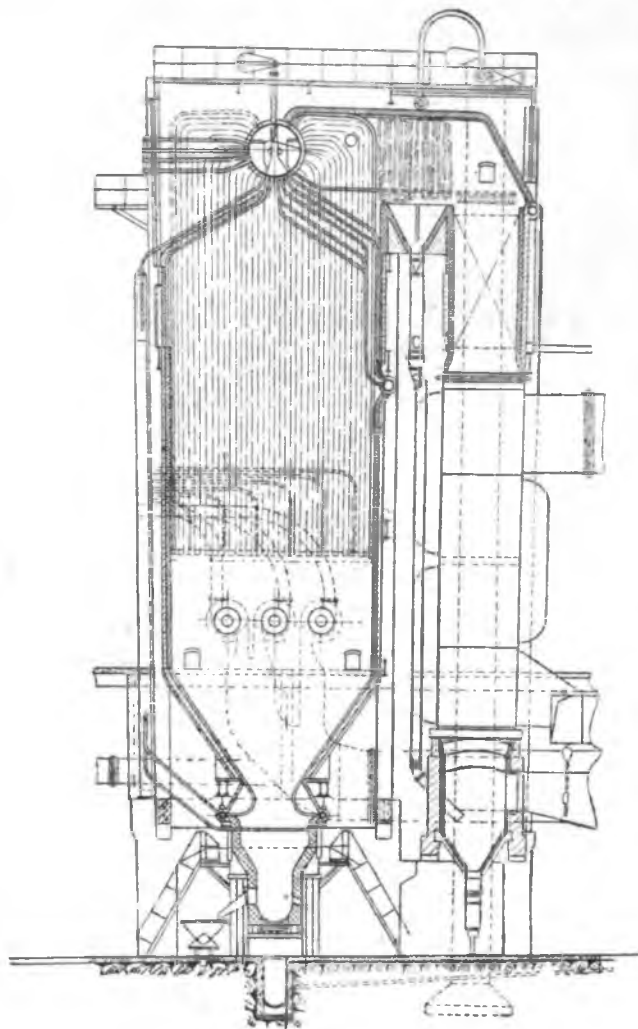
Фиг. 130. Однобарабанный котел ТКЗ с мазутной экранированной топкой, 160/200 *т/час* (1936 г.).

установлен вслед за последним. Поверхность нагрева водяного экономайзера равняется  $750 \text{ м}^2$ .

Котлоагрегаты указанного типа за счет улучшения аэродинамических свойств газоходов и интенсификации теплопередачи в них дали экономию металла 25% по сравнению с двухбарабанными котлами.

Следуя по пути систематического улучшения весовых и тепло-технических характеристик выпускаемых котлоагрегатов, ТКЗ в конце 1936 г. спроектировал однобарабанные котлы экранного типа производительностью 120/150 и 160/200 *т/час* при давлении 35 ат и температуре перегрева  $425^\circ \text{С}$ .

Котел производительностью 120/150 *т/час*, получивший название котла ТКП-1 (фиг. 131), предназначен для работы на угольной пыли главным образом АП). Он имеет ту же П-образную компоновку, что и все современные ему отечественные мощные котлы. В первой шахте



Фиг. 131. Однобарабанный котел Таганрогского завода ТКП-1, 120/150 *т/час*.

расположена полностью экранированная топочная камера, работающая при нормальном режиме с тепловым напряжением до 128 000 *ккал/м<sup>3</sup> час*. Топочные экраны сделаны плавниковыми. Диаметр экранных труб — 83/76 *мм*. Котельный конвективный пучок — небольшой. Он образуется из сравнительно коротких гладких труб заднего экрана диаметра 83/76 *мм*, исходящих из коллектора не-

больших размеров, расположенного в начале верхней трети высоты топki, и перекрывающих половину глубины топki в своем движении к верхнему барабану. Последний расположен над серединой топki вдоль фронта. Вторая половина топki перекрывается перегородкой, лежащей на отводящих трубах фронтового экрана.

Диаметр барабана в этом котле увеличен до 1750/1660 мм. В связи с небольшими размерами конвективной поверхности нагрева и относительно высокими температурами газового потока перед пароперегревателем поверхность нагрева водяного экономайзера сильно возросла. Он расположен в опускной шахте котла сразу же за пароперегревателем. Поверхность нагрева его составляет 830 м<sup>2</sup>, экономайзер — змеевиковый (диаметр трубок 38/31 мм) — кипящего типа. Он дает до 8% пара от общей паропроизводительности котла. В данном типе котла сухопарника нет, и трубы пароперегревателя вальцуются непосредственно в барабан котла и, исходя из него к горизонтальной перемычке, где расположен пароперегреватель, образуют потолок котлоагрегата. Вес металла в этом котле составляет 490 т вместо 596 т в двухбарабанном котле той же производительности, т. е. металлоемкость котла снижена на 33 %.

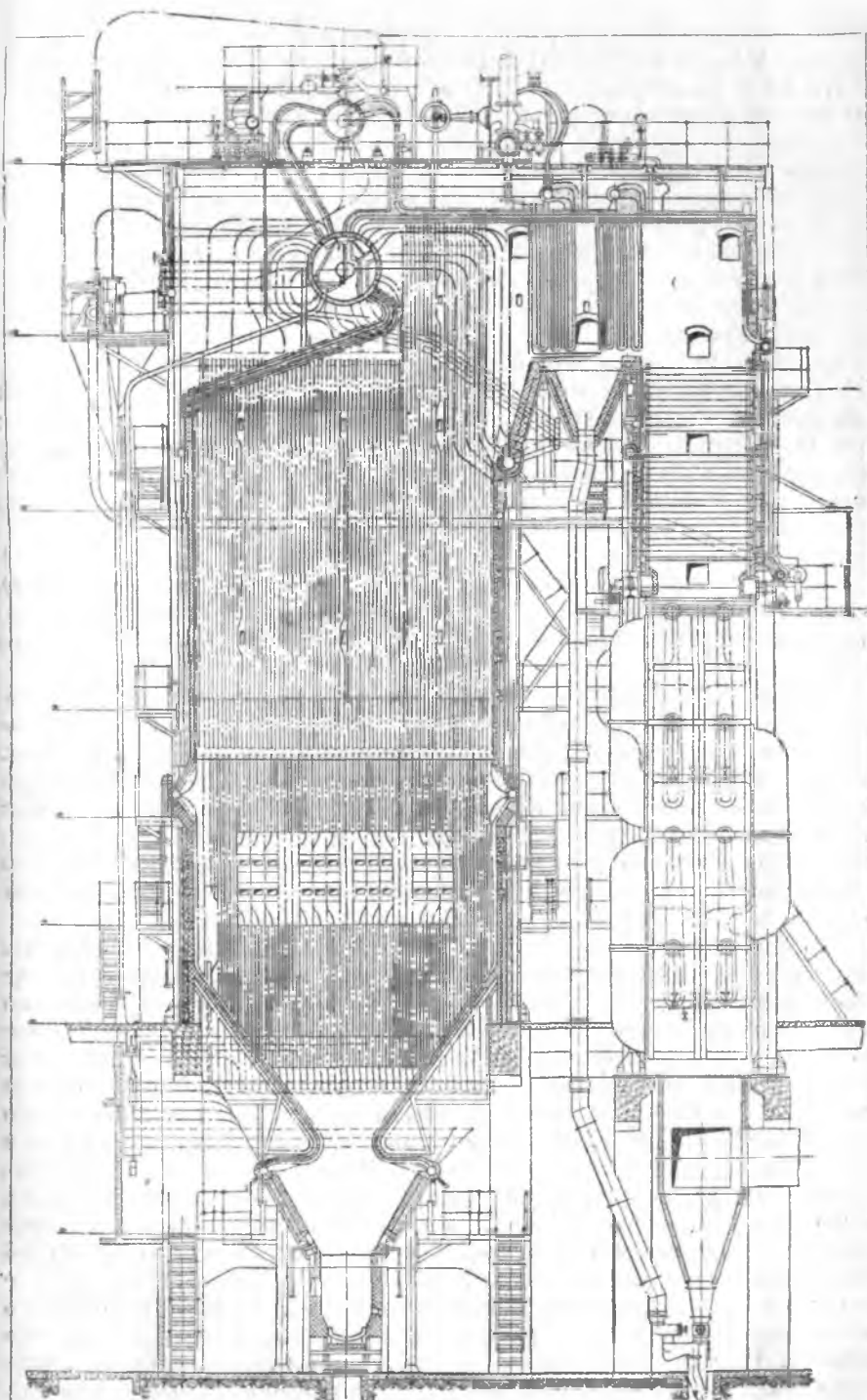
Котел ТКП-2 производительностью 160/200 т/час отличается от котла ТКП-1 только лишь размерами поверхности нагрева и топочной камеры. Что касается их конструктивных особенностей, то они совершенно аналогичны. Схема компоновки их была в дальнейшем использована в котлах НЗЛ-60/Ф-35.

Следующей конструкцией Таганрогского завода явились котлы типа ТКП-3 производительностью 160/200 т/час при давлении 34 ат и температуре перегрева пара 425° С (фиг. 132). По внешнему виду, а равно и по своим теплотехническим качествам, он значительно отличается от предыдущего котла (ТКП-1). В котле ТКП-3 конвективный пучок, образованный кипятельными трубами и трубами заднего экрана, имеет совершенно иное расположение. Трубы от коллектора (диаметр 377/307 мм) идут вертикально вверх, располагаясь перед пароперегревателем, находящимся в горизонтальной перемычке. На уровне потолка трубы кипятельного пучка поворачивают под углом 90° к верхнему барабану и входят в паровое пространство последнего.

Диаметр барабана здесь уменьшен против котла ТКП-1 и составляет 1600/1510 мм. Передние три ряда конвективного пучка составляют отводящие трубы заднего экрана. Питание конвективного, собственно котельного пучка происходит через нижний коллектор. Последний получает питательную воду от внешних опускных циркуляционных труб, идущих от торца верхнего барабана котла.

В связи с тем, что трубы конвективного пучка невелики по размеру, а также вследствие их близости к верхнему барабану, что не позволяет иметь достаточного по величине гидравлического напора, а следовательно, и необходимой скорости циркуляции, последняя очень незначительна. Это заставило подвести к нижнему коллектору конвективного пучка большое количество водоподводящих труб.

Топка котлов ТКП-3 сплошь экранирована гладкими трубами диаметра 83/76 мм. Внизу расположена холодная воронка. Эффектив-



Фиг. 132. Однорыбный котел Таганрогского завода ТКП-3, 160/200 т/час.

ная радиационная поверхность нагрева экранов составляет  $547 \text{ м}^2$  против  $464 \text{ м}^2$  в котле ТКП-2. Полная обогреваемая их поверхность —  $1570 \text{ м}^2$  и строительная —  $2150 \text{ м}^2$ . В котле ТКП-2 эти поверхности составляли соответственно  $850 \text{ м}^2$  и  $1213 \text{ м}^2$ . Радиационная поверхность нагрева конвективного пучка составляет  $53 \text{ м}^2$  при полной обогреваемой поверхности нагрева  $350 \text{ м}^2$ , т. е. 15%. Пароперегреватель при проектировании и монтаже котла имел поверхность нагрева  $1100 \text{ м}^2$ , но в процессе наладки эта величина была снижена до  $750 - 850 \text{ м}^2$ . Водяной экономайзер имеет развитую поверхность нагрева. Она составляет  $1660 \text{ м}^2$ , а воздухоподогреватель трубчатого типа — около  $8100 \text{ м}^2$ .

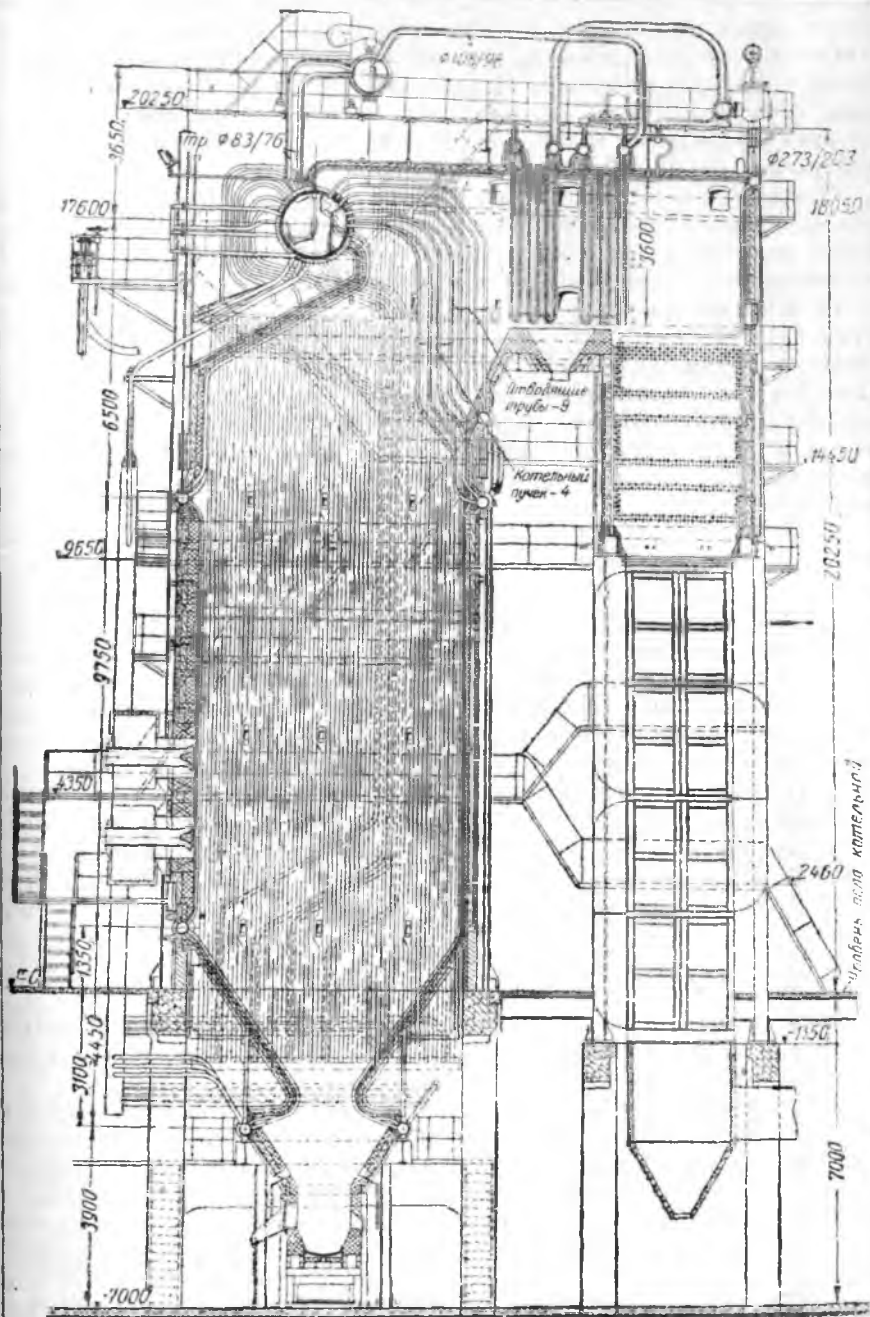
Общий вес металла в котле ТКП-3, включая помосты и лестницы, составляет  $717 \text{ т}$  против  $570 \text{ т}$  в котле ТКП-2.

В дальнейшем были выпущены агрегаты типа ТКМ-6 для работы на мазуте и естественном газе и котлы ТП-7 и ТП-9 для работы на пылевидном топливе типа АШ и Т. Все эти котлоагрегаты аналогичны по общему своему устройству котлу ТКП-8 производительностью на  $90/110 \text{ т/час}$  при давлении  $35 \text{ ат}$  и температуре перегрева пара  $425^\circ \text{С}$  (фиг. 133), известному под названием унифицированного котла ТКЗ.

К началу третьей пятилетки в СССР был накоплен богатейший опыт использования разнообразных видов топлива, и это послужило основой для постановки вопроса о создании унифицированного котла.

Унифицированные котлоагрегаты, рассчитанные на сжигание различных по свойствам топлив в виде антрацитового штыба, подмосковного, челябинского, тощего и карагандинского углей и доменного газа, стали подвергаться все более тщательной разработке. Был создан указанный выше котел типа ТКП-8. Этот котел и его топка являются общими для указанных выше сортов топлива и подлежат лишь минимальным переделкам при переходе с одного топлива на другое. Так, например, при сжигании АШ в нижней части боковых стенок топки выкладывается зажигательный шамотный пояс.

При разработке котла ТКП-8 была учтена необходимость снижения температуры газов на выходе из топки до величины, которая исключает шлакование, а также исключает необходимость размещения хвостовых (экономайзерных) поверхностей нагрева в габаритах, соответствующих габаритам топочной камеры. Размеры топочной камеры котла ТКП-8 составляют: высота —  $16 \text{ м}$ , глубина —  $6 \text{ м}$  и ширина топки —  $6,3 \text{ м}$ . Стены топочной камеры сплошь обшиты гладкотрубным экраном ( $83/76 \text{ мм}$ ), причем задний потолочный и боковые экраны и холодная воронка выполнены с шагом  $100 \text{ мм}$ , что обеспечивает надежную защиту от шлакования без применения ребер (или плавников). Фронтный экран имеет шаг  $125 \text{ мм}$ , что объясняется расположением в данном месте пылевых горелок. Конвективный лучок в котле ТКП-8 имеет такую же конфигурацию, как и лучок котла ТКП-3 и состоит также из коротких кипяточных труб, идущих из нижнего коллектора в верхний барабан котла, и отводящих труб заднего экрана. Разница заключается в том, что, учитывая плохую циркуляцию в котельном пучке, вследствие приведенных выше причин,



Фиг. 133. Однobarанный котел Таганрогского завода ТКП-8,  
90/110 т/час (унифицированный ТКЗ).



а также из-за недостаточного их обогрева, завод поместил котельный пучок ближе к топке, а трубы заднего экрана, образующие часть конвективной поверхности, расположил за конвективным пучком перед пароперегревателем. Вследствие нового размещения котельного пучка длина труб его несколько увеличивается. Вместе с этим должно увеличиться и тепловосприятие поверхности нагрева пучка, что должно было улучшить условия циркуляции.

Однако, как показал опыт, такая схема размещения пучка оказалась неудовлетворительной, и в последующих конструкциях котлов вновь вернулись к схеме, принятой ранее в котле ТКП-3. Это видно на примере выпуска последних послевоенных котлов Таганрогского и Подольского заводов, представляющих собой видоизменение котла ТП-7 и ТП-9, т. е. в котлах ТП-11, ТО-2, ПК-4, ПК-5 и ПК-6. Улучшение циркуляции в котельном пучке в последнем случае было достигнуто за счет снижения мест ввода кипящих труб в барабан котла и за счет изоляции верхней части этих труб от обогрева. Водяной и воздушный экономайзеры в данном котлоагрегате размещены так же, как и в других однобарабанных советских котлах, в опускной шахте.

Аналогичные ТКП-8 в конструктивном отношении котлы ТКМ-6, ТП-7 и ТП-9 имеют следующие размеры и характеристики. Котел ТКМ-6 строился паропроизводительностью  $160/200$  *т/час* при давлении  $35$  ат и температуре перегрева пара  $425^{\circ}$  С. Радиационная поверхность нагрева топочных экранов равна  $305$   $\text{м}^2$  и полная обогреваемая поверхность нагрева —  $980$   $\text{м}^2$ . Радиационная поверхность нагрева котельного пучка невелика —  $44$   $\text{м}^2$ , а полная обогреваемая поверхность нагрева пучка составляет  $300$   $\text{м}^2$ . Поверхность нагрева пароперегревателя равняется  $1100$   $\text{м}^2$ , водяного экономайзера —  $1620$   $\text{м}^2$  и воздухоподогревателя —  $4928$   $\text{м}^2$ .

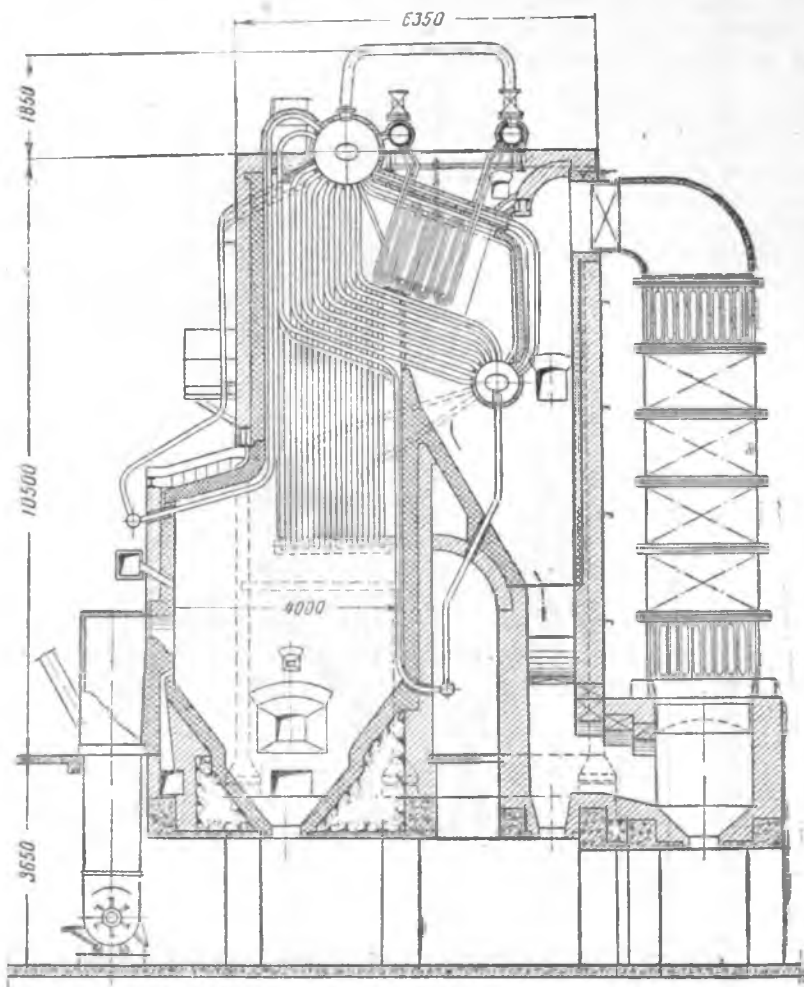
Котлы типа ТП-7 строились на производительность  $120/150$  *т/час*, а котлы ТП-9 — на  $160/200$  *т/час* при тех же параметрах пара, что и в котлах ТКМ-6. Размеры поверхностей нагрева в котле ТП-9 составляют: радиационная экранная —  $493$   $\text{м}^2$ , конвективного пучка полная —  $370$   $\text{м}^2$ , пароперегревателя —  $1100$   $\text{м}^2$  (сокращена при наладке котла до  $750$ — $850$   $\text{м}^2$ ), водяного экономайзера —  $1480$   $\text{м}^2$  и воздухоподогревателя —  $8672$   $\text{м}^2$ .

Наряду с перечисленными выше мощными однобарабанными котлоагрегатами Таганрогский завод выпускал также котлы средней мощности типа МП-16/22 и СП-25/22.

Котел МП-16/22 (фиг. 134) представляет собой вертикально-водотрубный двухбарабанный котел средней мощности производительностью  $16$  *т/час* при давлении  $22$  ат. Топки в этих котлах применяются как слоевые, так и камерные. Котлы типа МП выпускались в довоенный период, будучи спроектированы взамен секционного котла СМ-16/22 (фиг. 86). Топка котла МП-16/22 экранирована. Задняя стенка ее имеет экран по всей площади, боковые стенки, а также фронтальная экранированы наполовину. Нижняя часть последних свободна от экранных поверхностей нагрева. Радиационная поверхность нагрева топки равняется  $37,5$   $\text{м}^2$ , радиационная поверхность нагрева пучка —  $7,0$   $\text{м}^2$ . Общая радиационная поверхность нагрева

в этом котле — 44,5 м<sup>2</sup>. В котлах МП-16/16 она тех же размеров, а в котлах МП-10/16 — всего лишь 27,5 м<sup>2</sup>. Последние, кстати, совершенно аналогичны по устройству с котлом МП-16/22.

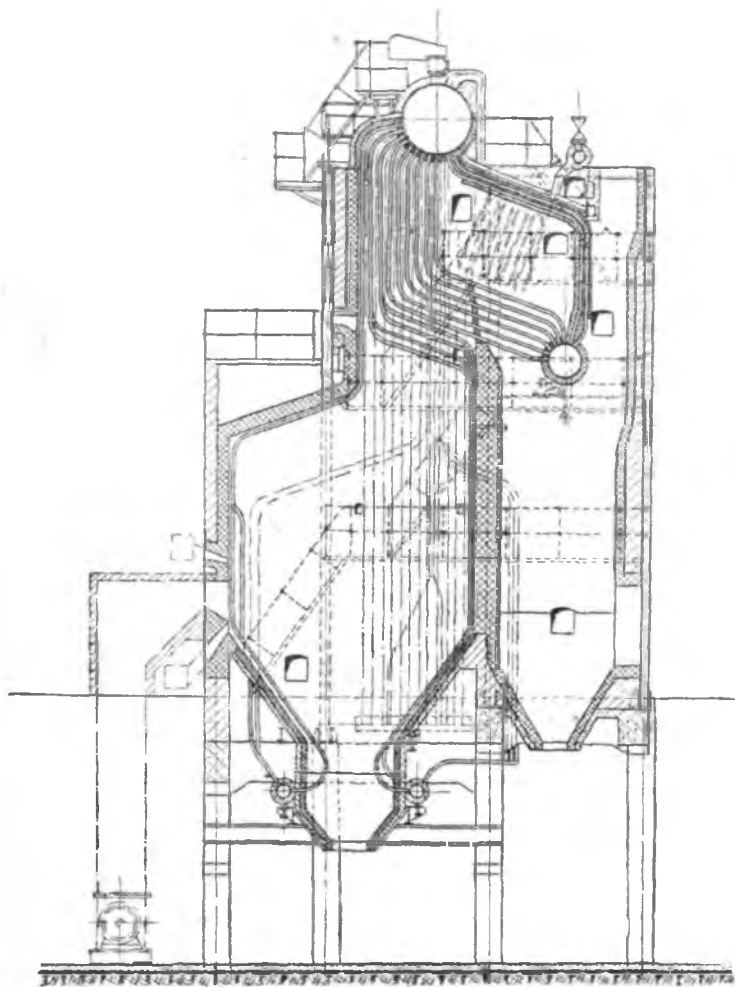
Конвективная поверхность нагрева котла составляет 230 м<sup>2</sup>. Диаметр верхнего барабана больше, чем диаметр нижнего и равен



Диг. 134. Двухбарабанный котел средней мощности Таганрогского завода МП-16/22.

1200 1148 мм. Диаметр нижнего барабана равен 804/766 мм. Длина и верхнего и нижнего барабанов — 5200 мм. Конструктивной особенностью котла типа МП является то, что трубы топочных экранов в них присоединены непосредственно к верхнему барабану, а кипятивильному пучку придана такая конфигурация, что он пересекается потоком горячих газов в перпендикулярном направлении.

Котлы СП-25/22 (фиг. 135) по конфигурации пучка и по другим конструктивным признакам мало чем отличаются от котлов типа МП. В котлах типа СП, выпускавшихся также и со слоевыми и с камерными топками, усилена степень экранирования стен топки, и в нижней части ее помещена холодная воронка; опускные циркуля-



Фиг. 135. Двухбарабанный котел средней мощности Таганрогского завода СП-25/22.

ционные трубы вынесены за пределы газохода, что улучшает в известной степени процесс циркуляции. Котлы типа МП спроектированы ТКЗ совместно с Оргэнерго, в соответствии с предложением инж. Н. А. Семененко и Г. А. Буркова.

В дальнейшем выпускались во время войны котлы типа СП-4 и ТО-1, аналогичные по устройству котлам МП и отличающиеся от них лишь тем, что взамен нижнего барабана в этих котлах поставлены

коллекторы небольшого диаметра, так как это было сделано в котлах КО-П-200 или в котлах типа НЗЛ-49/Ф-35. В связи с такой конструкцией число рядов труб в кипятельном пучке несколько уменьшается, что объясняется, конечно, уменьшением диаметра нижнего коллектора.

В период 1936—1941 гг. прямоточное котлостроение в СССР достигло известных успехов. Так, за это время было запроектировано и построено некоторое количество стационарных прямоточных котлов и котлов другого назначения.

Выше отмечалось, что первый прямоточный парогенератор СППВ-200/140 имел серьезные недостатки, которые потребовали постановки добавочного смесительного коллектора, устраняющего гидродинамическую и тепловую неравномерность в работе параллельно включенных витков. Учитывая эти недостатки, БПК (бюро прямоточного котлостроения) и завод-изготовитель произвели ряд попыток по выпуску улучшенных образцов советского прямоточного котла.

Так появились проекты котла типа СПП-200/35 производительностью 200 м<sup>3</sup>/час при давлении 35 ат и температуре перегрева 430° С и котла типа СППН-200/35, который отличается от котла СПП-200/35 только тем, что рассчитан для работы на нефти, а не на пыли.

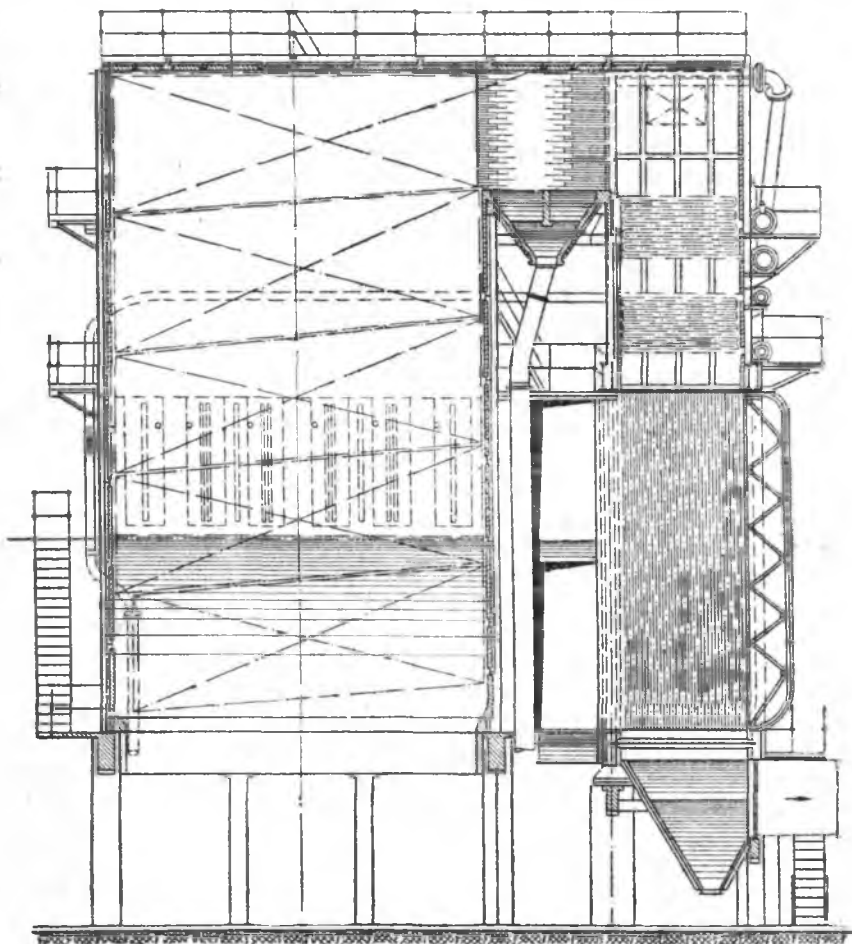
Котел СПП-200/35 (фиг. 136) имеет уже другую конструкцию топочной камеры, чем котел СППВ-200/140. Топочная камера этого котла объемом 720 м<sup>3</sup> сплошь по стенам и по потолку заэкранирована трубами радиационной поверхности нагрева, расположенными с очень тесным шагом. Топочная камера имеет внизу холодную воронку. Экраны в данном котле не делают уже топку на четыре шахты, как раньше. Кроме того, схема компоновки котла принята нормальная П-образная, а не опрокинутая П-образная. Таким образом, в данном котле газы имеют естественное восхождение вверх по топочной камере. Затем по горизонтальной перемышке они передаются в опускающую шахту, а из нее в атмосферу. Кстати, заметим, что эта удачная П-образная компоновка была впервые применена в прямоточных котлах, а от них впоследствии перешла к барабанным котлам. Размеры поверхности нагрева в котле СПП-200/35 таковы: топки — 1049 м<sup>2</sup>, первого газохода — 233 м<sup>2</sup>, пароперегревателя — 555 м<sup>2</sup>, водяного экономайзера — 596 м<sup>2</sup> и воздухоподогревателя — 5140 м<sup>2</sup>. Диаметры труб в топке и первом газоходе — 51/45 и 52/40 мм, в пароперегревателе и водяном экономайзере — 38/32 мм.

Принципиальная часть конструктивного устройства котла СПП-200/35 осталась неизменной.

Что касается котла СППН-200/35, то он является почти полной аналогией предыдущего котла. Конвективные поверхности в нем остались неизменными, в радиационной же части шлаковая (холодная) воронка заменена кирпичным подом. Кроме того, трубки, экранирующие стены топочной камеры по всем стенам, кроме фронтальной, расположены горизонтально. На фронтальной стене они имеют небольшой подъем. Это улучшает в некоторой мере гидродинамические условия работы котла, а также условия крепления труб на стенках. Это переустройство повлекло также и новое размещение

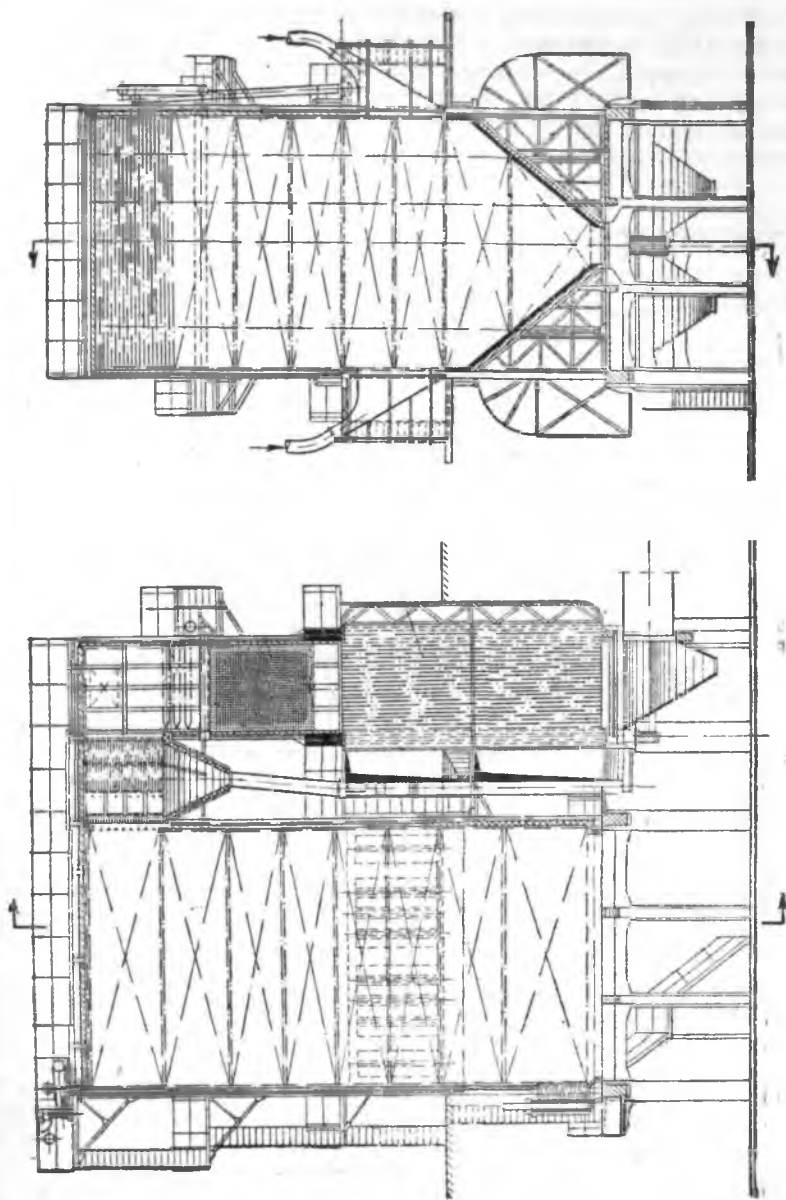
ходного коллектора радиационной части. Он в данном случае поставлен вертикально.

Прямоточный котел типа СПП-200/140 (фиг. 137, принципиальная схема фиг. 138) предназначен для работы на угольной пыли. Он почти полностью аналогичен котлу СПП-200/35. Здесь имеются лишь некоторые изменения в постановке поверхностей нагрева.



Фиг. 136. Прямоточный советский котел СПП-200/35 (200 т/час; 35 ат).

Объем топочной камеры составляет 820 м<sup>3</sup>. Направление газового потока таково же, как и в котле СПП-200/35, а направление водяного потока в котле изменено (см. фиг. 138). Питательная вода, поступающая из регенеративных подогревателей, входит в коллектор радиационной части котла, расположенной у фронтальной стенки в вертикальном положении. Из него вода поступает в ленту (пакет), состоящую из 30 параллельных трубок диаметром 42/30 мм. Трубки в этом котле поставлены так же, как и в котле



Фиг. 137. Прямоточный советский котел с СНН-200/140 200 т/час, 140 атм).

СППН-200/35. Из пакета трубок вода направляется в смесительный вертикально стоящий коллектор, расположенный на правой стороне топочной шахты, а отсюда по соединительной трубе — в нижний коллектор конвективной части, находящейся в опускной шахте. Конвективная часть котла размещена между вторичным пароперегревателем и воздухоподогревателем. Она состоит из 52 вертикально поставленных секций, согнутых из труб диаметром 40/30 мм. Ее поверхность нагрева — 1020 м<sup>2</sup>. В конце конвективной части котла вода превращается полностью в пар и, пройдя через выходной коллектор конвективной части котла и входной коллектор радиационного пароперегревателя, вступает

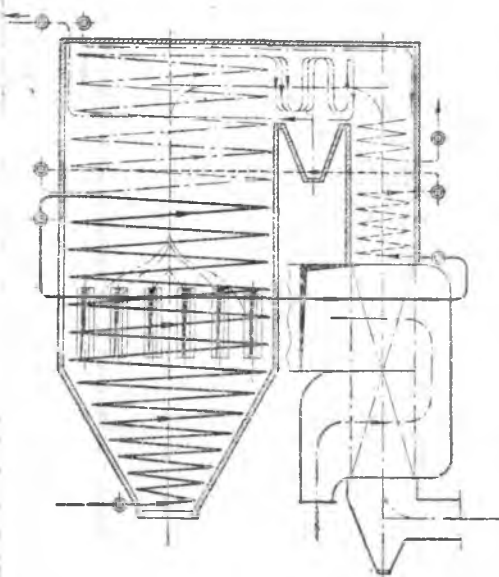


Рис. 138. Принципиальная схема прямо-  
точного котла СПП 200/140.

тем же 30 параллельным трубкам (52/80 мм) в радиационный пароперегреватель, расположенный в верхней части топочной камеры. Далее пар поступает в трубки первого газохода, в конвективный перегреватель, а из него в выходной сборный коллектор и далее в паровую турбину. В этом котле пар имеет давление 140 ат и температуру перегрева 500° С.

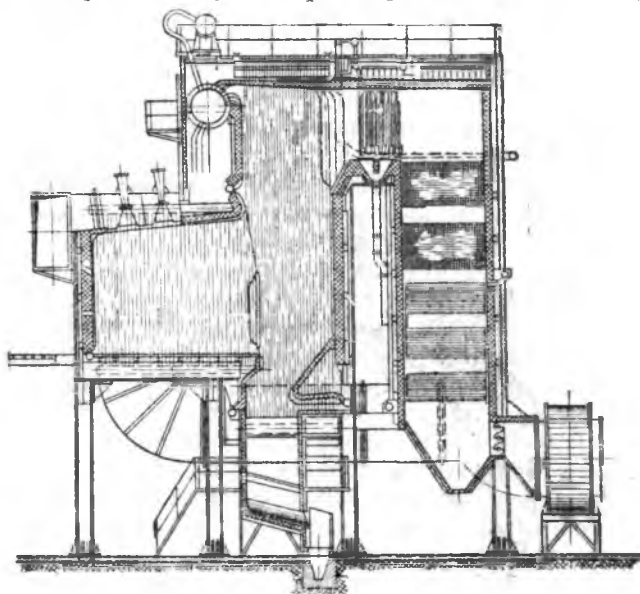
Таким образом, в отличие от котла СПП-200/35, в топочной камере котла СПП-200/140 расположены только радиационный экономайзер, небольшая часть испаряющей зоны (радиационный котел) и радиационный пароперегреватель.

Вторичный пароперегреватель состоит из 92 параллельных трубок диаметром 46/40 мм. Трубки его расположены на потолке котла, экранируя потолочное перекрытие, а затем переходят в опускную шахту, где, переходя в 92 нормальных секции, образуют вторичный пароперегреватель, расположенный в конвективной зоне. Радиационная часть вторичного пароперегревателя составляет 109 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева самого пакета пароперегревателя в конвективной шахте равняется 202 м<sup>2</sup>.

Приведенное подробное описание водяного и парового трактов парогенератора позволяет судить об общем устройстве и об отличии данного котла от первого прямоточного котла.

Наряду с указанными котлами были разработаны проекты сепараторного котла ССН-25/15 производительностью 20/25 т/час при давлении 15 ат; мощного прямоточного парогенератора типа СППНГ-300/140—производительностью 240/300 т/час при давлении 140 ат и температуре перегрева 500° С для работы на нефтегазовом то

пливе и, наконец, котел типа ТПН-3,7/140. Последний котел производительностью 3,7/5,0 т/час при давлении 140 ат предназначен для работы на паровозах. Котел ТПН-3,7/140 (фиг. 48) имеет круглую форму. Внутренний диаметр топочной камеры — 1400 мм; высота котла вместе с дымовой коробкой — 3700 мм. Вода в этом котле поступает вначале в змеевик, состоящий из трубок диаметром 42/30 мм и являющийся радиационной частью котла. Поверхность нагрева последнего равняется 12,7 м<sup>2</sup>. Отсюда вода поступает в конвективную часть котла. Конвективный котел имеет поверхность нагрева 20,2 м<sup>2</sup> и состоит из трубок диаметром 47,5/35 мм. В конвективной части пароводяная эмульсия идет вверх параллельно газовому потоку.



Фиг. 139. Однобарабанный котел ВТИ с секционированной топкой (проект).

Из конвективной части пар поступает в радиационный пароперегреватель, расположенный над потолком топочной камеры, а из него уже в паровую машину. Поверхность нагрева радиационного пароперегревателя составляет 11,1 м<sup>2</sup>.

Из приведенных конструкций прямоточных котлов видно, насколько широк диапазон возможного их применения. Вопросы, выдвинутые практикой эксплуатации этих котлов, могут быть разрешены, и тогда советское прямоточное котлостроение примет иные формы и значительно большие масштабы, так как перспективы применения такого типа котлов в различных областях несомненны.

В заключение рассматриваемого этапа отечественного котлостроения приведем факт появления нового направления в конструировании котлов и топок. На фиг. 139 приведен проект котла ВТИ с так называемой секционной топкой. В этой конструкции топочной камеры использованы принципы построения двухсветных



экранов и жидкого шлакоудаления. Применение этих принципов позволяет заметно улучшить габаритные показатели котлов, а также значительно интенсифицировать работу поверхностей нагрева.

В котле ВТИ топка разделена на две секции. В первой происходит основной процесс горения пылеугольного топлива, причем он организуется таким образом, чтобы здесь из факела выпадала в жидком виде основная масса шлака и удалялась из котла. Во второй части, отделенной от первой двухсветным экраном, происходит догорание топлива. Тепловое напряжение в таких топках значительно возрастает. Конвективная поверхность нагрева в котле ВТИ невелика и образуется она за счет отводящих труб заднего экрана, располагающихся перед пароперегревателем.

Следующий современный этап нашего котлостроения относится к периоду Великой Отечественной войны и послевоенным годам.

1941—1945 гг. наложили определенный отпечаток на котлостроение и придали его развитию особую направленность. Прежде всего следует помнить, что в начальный период войны нашей котлостроительной промышленности и энергетике необходимо было в короткие сроки осуществить перебазирование заводов и станций в восточные районы страны. Эта специфическая и гигантская по объему работа, требовавшая искусства демонтажа, транспортировки и скоростного монтажа в новых условиях, была проделана в исключительно короткие сроки, чем был продемонстрирован высокий уровень нашей техники, способной во главе с людьми решать невиданные до того времени задачи.

Военные трудности и необходимость скорейшего развития энергетической базы обусловили появление новых методов работы по строительству и эксплуатации котлоагрегатов. В частности, вследствие отсутствия производства котельных барабанов было развернуто строительство прямоточных котлов, монтаж которых производился весьма быстрыми темпами и в непосредственной близости от заводов на площадках новостроек.

Последовавшее освобождение временно оккупированных врагом территорий нашей родины поставило задачу быстрого восстановления энергетического хозяйства. Эти срочные работы были выполнены с большим успехом.

Наконец, несмотря на гигантские трудности военного времени, наши котлостроительные заводы и их конструкторские бюро не прекращали творческой работы. Они, учитывая опыт войны, вели настойчивую и систематическую работу по подготовке новых типов отечественных котлоагрегатов.

Послевоенное строительство и развитие энергетической базы, после известной речи товарища Сталина от 9 февраля 1946 г., развертывается в невиданных масштабах. Так, например, к 1950 г. установленная мощность наших электростанций должна составлять 22 400 000 *квт* против, примерно, 11 000 000 *квт* мощности в 1940 г. Таким образом, за пять лет должно быть введено около 12 000 000 *квт* мощности станций. Таких темпов не знала ни одна страна. Следует при этом помнить, что при значи-

тельном возрастании доли гидроэлектроэнергии в общей выработке электрической энергии в стране тепловые станции все еще сохраняют свое господствующее положение. Не менее 85% электроэнергии будет производиться тепловыми станциями. Предстоит широкое внедрение пара высоких, а в ближайшей перспективе и сверхвысоких параметров. Мощность, обеспечиваемая котлами высокого давления, в ближайшее время будет оцениваться не менее, чем 12—14% от всей установленной мощности тепловых станций.

Количество котлов высокого давления, которые будут установлены, достигнет внушительной цифры.

Послевоенный период советского котлостроения начался не только с восстановления, но и, что особенно знаменательно, сразу с дальнейшего быстро нарастающего развития. Еще во время войны было восстановлено нарушенное эвакуацией заводов котельное производство.

Техническая конференция по котлотурбостроению, проведенная в 1943 г., основываясь на решениях XVIII съезда ВКП (б) и успехах советской теплотехники и котлостроения, определила дальнейшее направление развития конструкций и производства котлов, установила минимальное количество типо-размеров и ориентировала нашу промышленность на освоение мощного энергооборудования— 25 000, 50 000 и 100 000 *квт* с решительным переходом на высокие параметры пара (100 *ат* и 500° С на котле). Часть заводов была предназначена для выпуска котлов высокого давления, наряду с этим другие заводы специализировались для выпуска котлов малой и средней мощности.

В 1944 г. начался выпуск барабанных котлов нормального давления на 16 и 20 *т/час* и котлов повышенного давления производительностью 50, 150 и 200 *т/час*. Изготовлены были первые образцы серийного прямоточного котла производительностью 230 *т/час* при давлении 100 *ат* и температуре перегрева 500° С и на 200 *т/час* при давлении 32 *ат*. В 1945 г. был выпущен однобарабанный котел на 150 *т/час* повышенного давления с шахтно-мельничной топкой, т. е. наиболее мощный в СССР котел с данным топочным устройством.

Длительная эксплуатация этого котла показала ряд очень существенных преимуществ шахтно-мельничных топок в компоновке их с котлоагрегатами большой мощности, и поэтому последующее строительство их предусматривает широкое применение указанных топок.

В настоящее время наше отечественное котлостроение перешло к развернутому выпуску однобарабанных котлов высокого давления производительностью 230 *т/час* при давлении 110 *ат* и температуре перегрева 500° С (ТП-230-1) и на те же параметры, но производительностью 240 *т/час* (КО-VII). Вместе с этим выпускаются и прямоточные котлы высокого давления производительностью 220 *т/час* при давлении 100 *ат* (51-СП-220/100). Большое количество мощных котлоагрегатов выпускается рядом заводов производительностью 200 и 150 *т/час* при давлении 35 *ат* (ТП-9, ТО-3, ПК-5, ТП-11, ТО-2, ПК-4, 53-СПС).

Вместо прежних котлов НЗЛ-60/Ф-35 и других котлов средней мощности строятся котлы со слоевой и факельной топкой производительностью 60/75 *т/час* при давлении 35 *ат* и котел ПК-7 производительностью 40/50 *т/час* при давлении 38 *ат*. Наконец, котлы малой мощности выпускаются производительностью до 30 *т/час* при давлении 16 и 22 *ат* (62-СП, СП-4, ТО-1, ТС-30, ТП-30, МП и др.). Приведенный перечень котлов показывает на широкий размах котлостроения, на проведенную стандартизацию параметров пара и мощностей котлов и, наконец, на существенные сдвиги, происшедшие в короткое время в нашем котлостроении.

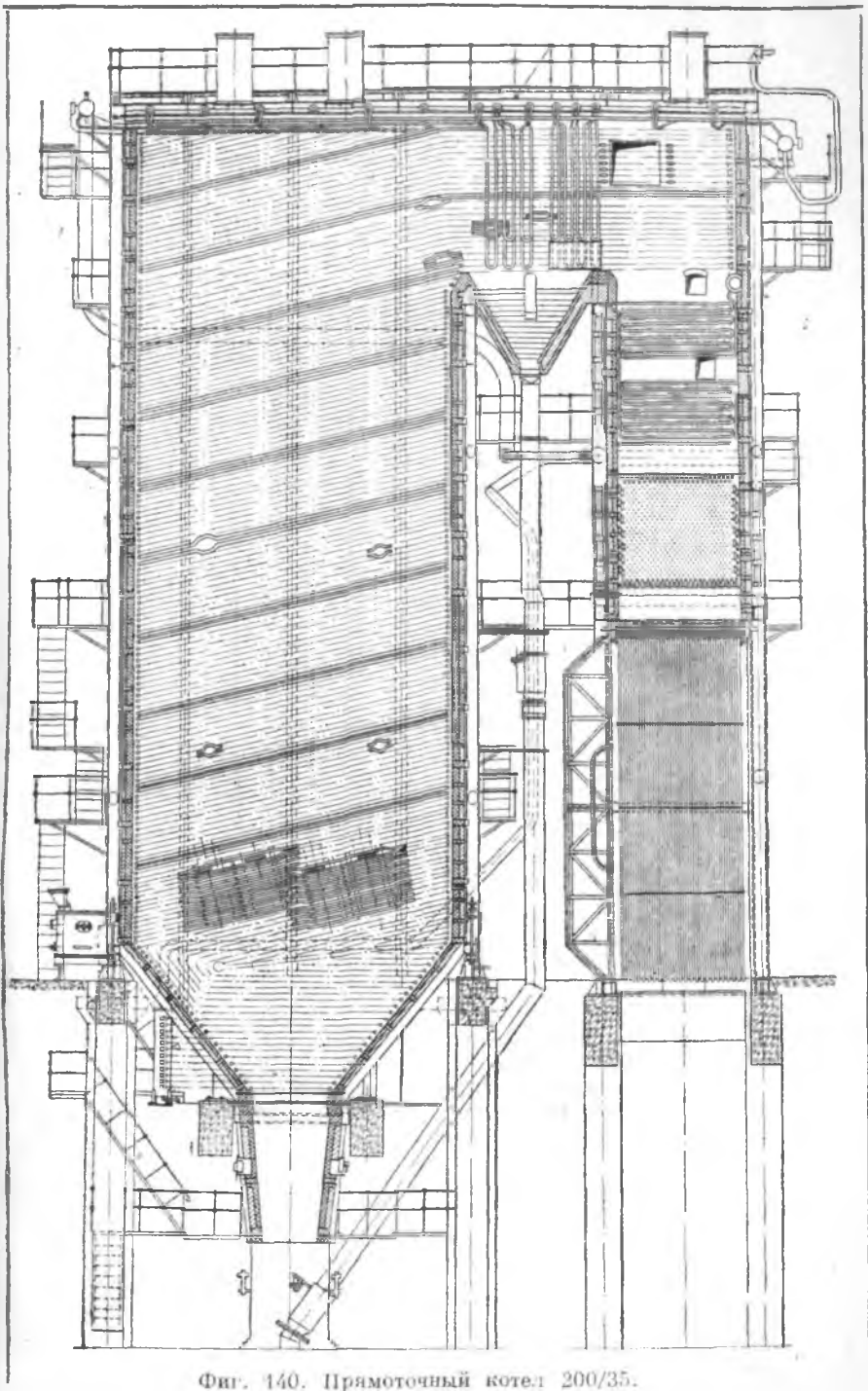
Таким образом, современный период развития отечественного котлостроения характеризуется достижением высших ступеней технического развития, обгоном западноевропейских стран по качественным и количественным показателям. Советское котлостроение становится примером технического совершенства и систематического прогресса для всех стран.

Ниже приводится рассмотрение нескольких конструкций котлов, изготовленных в последние годы.

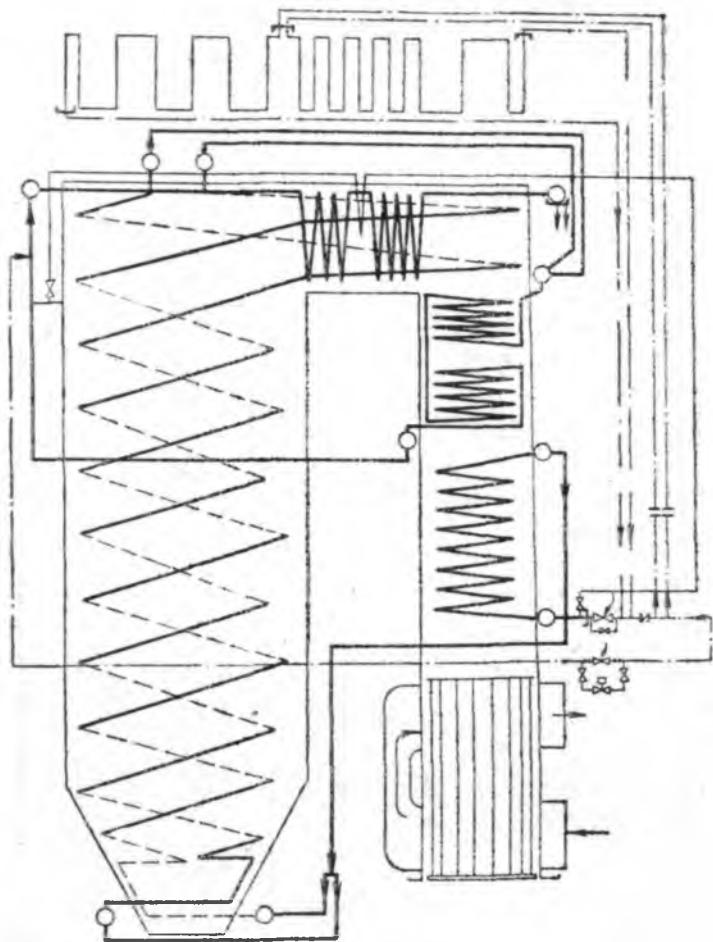
В 1943 г. на одной из электростанций вошел в эксплуатацию прямоточный котел (фиг. 140) производительностью 200 *т/час* при давлении 35 *ат* и температуре перегрева пара 425° С. В этом котле (см. принципиальную схему фиг. 141) переходная зона вынесена в конвективный газоход. Пароперегреватель расположен частично в топке, частично в первом газоходе. Особенностью этого котла является большое количество параллельно включенных витков, принятое для уменьшения гидравлического сопротивления паро-водяного тракта котла. Число витков в радиационной части равно 70, а в пароперегревателе и переходной зоне оно доходит до 177. Навеска труб идет двумя лентами. В отличие от прежних конструкций в этом котле трубы имеют уклон на боковых стенках топки и горизонтально расположены на фронтальной и задней стенках. Эксплуатация этого агрегата показала, что вследствие малых скоростей паро-водяной эмульсии в радиационной части, где начинается образование пара, происходит расслоение эмульсии на два потока (вода и пар). Это приводит к образованию трещин в трубах нижней радиационной части топочной камеры. Явление расслоения было обнаружено, а затем исследовано в ВТИ, ЦКТИ и в Энергетическом институте АН СССР (М. А. Стырикович, С. И. Костерин, Г. Е. Холодовский).

В последующей конструкции прямоточного котла 53-СПС-200/32 (фиг. 142) производительностью 200 *т/час* при давлении 32 *ат* и температуре перегрева 420° С указанные выше недостатки были частично устранены. Скорости движения воды и пара в котле увеличены. В котле предусмотрена установка за переходной зоной двухступенчатого пленочного сепаратора, который дает возможность питания котла водой с более высоким соледержанием. Увеличена экономичность котла.







Аналогичным котлу 53-СПС-200/32 в конструктивном отношении является разработанный прямоточный паровой котел для высокого давления типа 51-СП-220/100 производительностью 220 *т/час* при давлении 100 *ат* и температуре перегрева пара 540° С.



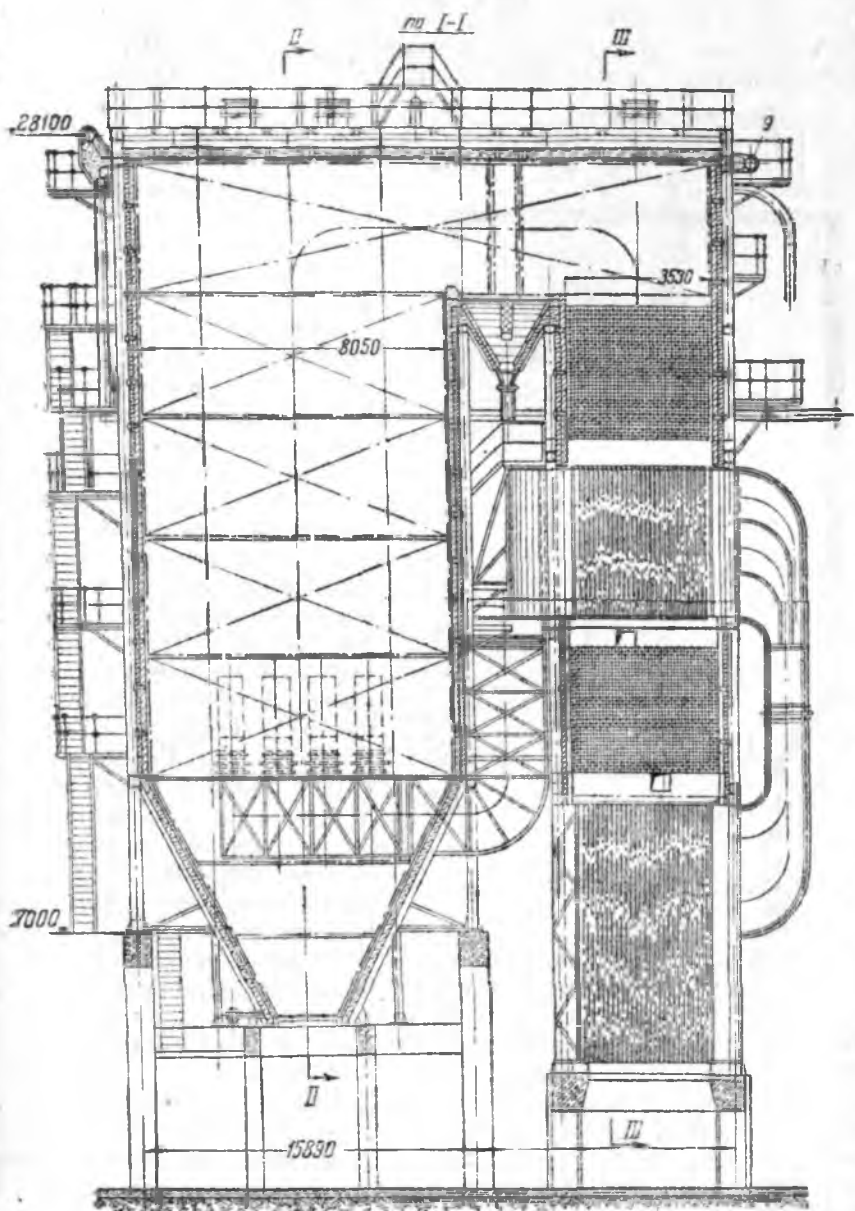
Фиг. 140. Прямоточный котел 200/35.



*Условные обозначения:*

-  — вентиль,
-  — вентиль с сервомотором авторегулирован,
-  — вентиль дроссельный с дистанц. приводом,
-  — шайба измерительная;
-  — шайба дросселирующая;
-  — предохранительный клапан

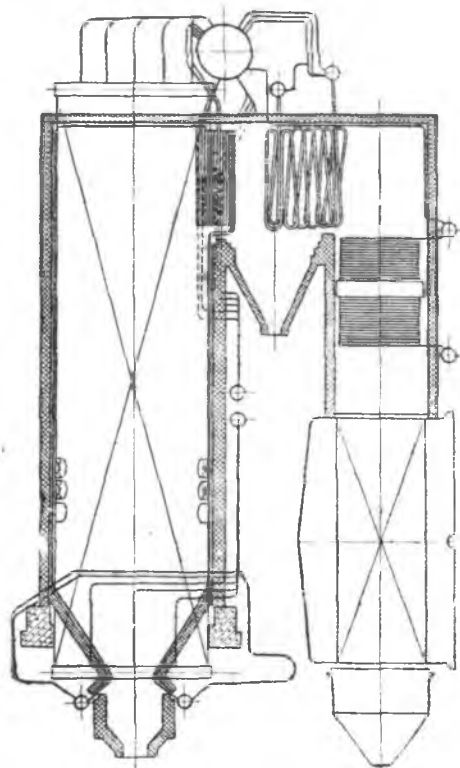
Фиг. 141. Схема прямоточного котла 200/35.



Фиг. 142. Прямоточный котел 53-СПС-200/32.

Наряду с применением котлов прямоточного типа, в которых осуществляется принудительное движение воды и пара по внутрикотловому тракту, в СССР был разработан котел с многократной принудительной циркуляцией. Этот мощный котел (фиг. 143) постройки Невского завода имеет паропроизводительность 120/150 т/час при давлении 35 ат и температуре перегрева пара 425° С. Он был пущен

в работу в конце 1943 г. Котел имеет два циркуляционных насоса. Вода из барабана котла поступает по 10 трубам диаметром 133/123 мм в промежуточный всасывающий коллектор, расположенный ниже барабана на 11 м. С торцов этого коллектора по трубам диаметром 273/251 мм вода забирается насосом. Последний перебрасывает ее через напорный коллектор к 14 трубам (108/98 мм), подающим воду к нижним коллекторам экранов. В котле — четыре циркуляционных контура, являющихся экранами котла: фронтальной и задней, имеющие по 106 параллельных труб каждый, и два боковых, состоящих из 86 труб каждый. Трубы имеют диаметр 38/32 мм. Расположение труб в топке котла — вертикальное. С входных концов трубы имеют дроссельные шайбы (диаметр 11 мм). В холодной воронке трубы снабжены ребрами для того, чтобы



Фиг. 143. Советский котел с многократной принудительной циркуляцией.

образовать сплошное покрытие стенок воронки. Фронтальной экран заканчивается потолочными трубами, экранирующими перекрытие, и первым рядом конвективного пучка, расположенного в опускной шахте. Задний экран заканчивается второй частью (последним рядом) конвективного пучка. После конвективного пучка расположен воздухоподогреватель. Топка котла имеет высоту около 15 м, сечение — 6,54 × 5,1 м. Объем топки — 520 м<sup>3</sup>. Поверхность нагрева: конвективного пучка — 920 м<sup>2</sup>, пароперегревателя — 940 м<sup>2</sup>, водяного экономайзера — 915 м<sup>2</sup> и воздухоподогревателя — 3200 м<sup>2</sup>. Диаметр барабана — 1506 мм, длина — 8200 мм.

В серии барабанных радиационных котлов выделяется конструктивным совершенством и своими эксплуатационными качествами котел типа КО-VII (фиг. 144) производительностью 240 т/час при давлении 110 ат и температуре перегрева пара 500° С.

По этому типу Таганрогский завод в 1945 г. спроектировал котел под маркой ТО-230-1 с максимальной производительностью 230 *т/час* при давлении 100 *ат* и температуре перегрева пара 510° С.

Этот котел выпускается теперь под маркой ТП-230-1. Он имеет шахтно-мельничную топку.

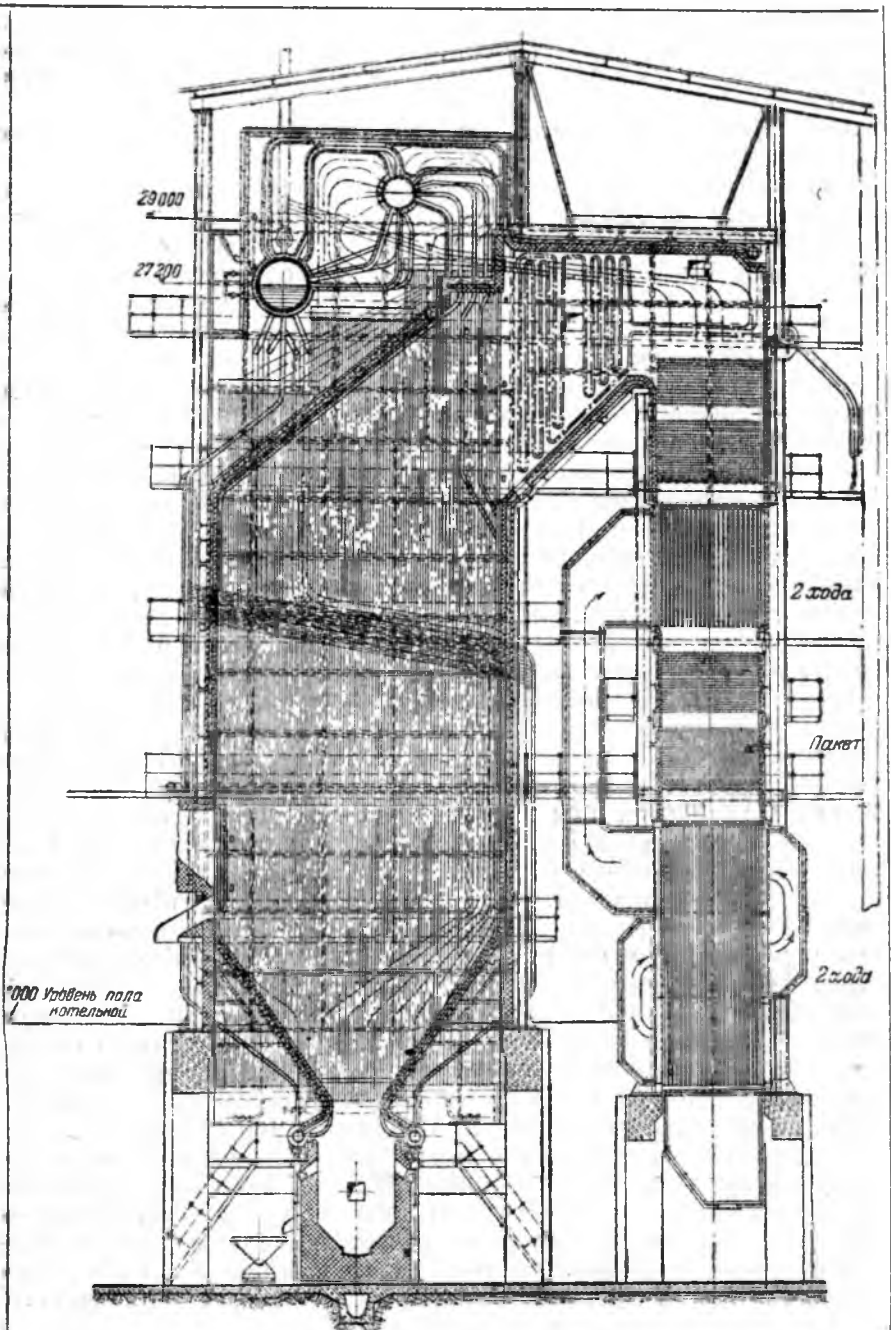
Котел КО-VII является логическим развитием тех конструктивных идей, которые заложены в котле ЦКТИ—ЛМЗ (фиг. 129). Все принципиальные характеристики последнего в котле КО-VII сохранены. Топка котла КО-VII представляет собой мощное техническое сооружение объемом 1210 *м<sup>3</sup>*. Ее ширина — 9,96 *м*, глубина — 7,6 *м* и высота — окло 17 *м*. Эффективная поверхность нагрева экранов составляет 646 *м<sup>2</sup>* (или 705 *м<sup>2</sup>* для бурых углей), полная же поверхность нагрева экранов и холодной воронки равна 1950 *м<sup>2</sup>*. В этом котле в отличие от предыдущих типов сухопарник отсутствует. Вместо него устанавливается разделительный или сепарационный барабан, который называют также предвключенным. К последнему присоединяются все отводящие трубы паробразующих поверхностей нагрева котла, и его роль заключается в предварительном разделении пара и воды перед поступлением их в верхний барабан котла. Поверхность нагрева собственно котла, или конвективный пучок, в данном котле невелика, составляя лишь 170 *м<sup>2</sup>*. Она представляет собой продолжение труб заднего экрана. Последние, располагаясь перед пароперегревателем, защищают его от лучистой теплоты.

В котле КО-VII диаметры экранных труб, а также, следовательно, труб конвективного пучка, имеют меньший размер, чем в котлах КО-VI и др., т. е. 76/64 *мм* вместо 83/76 *мм*, что вполне понятно, так как давление в котле КО-VII равно 110 *ат*, а не 35 *ат*, как в вышеназванных котлоагрегатах. ДИА, метр верхнего барабана равен 1300/1100 *мм*, его длина — 11,4 *м*. Диаметр сепарационного барабана — 990/800 *мм*, длина такая же как и основного барабана. Диаметры экранных коллекторов составляют 325/250 *мм*. Пароперегреватель, расположенный в скошенной части перемычки, состоит из двух частей: первая имеет поверхность нагрева 540 *м<sup>2</sup>* и вторая — 1220 *м<sup>2</sup>*. Диаметр труб первой — 42/30 *мм* и второй части — 38/29 *мм*. Водяной экономайзер и воздухоподогреватель скомпонованы в опускной шахте в рассечку. Поверхность нагрева водяного экономайзера равна 2465 *м<sup>2</sup>* при диаметре труб 38/30 *мм*. Поверхность нагрева воздухоподогревателя — 8600 *м<sup>2</sup>*. Он также трубчатый и состоит из труб диаметром 53/50 *мм*.

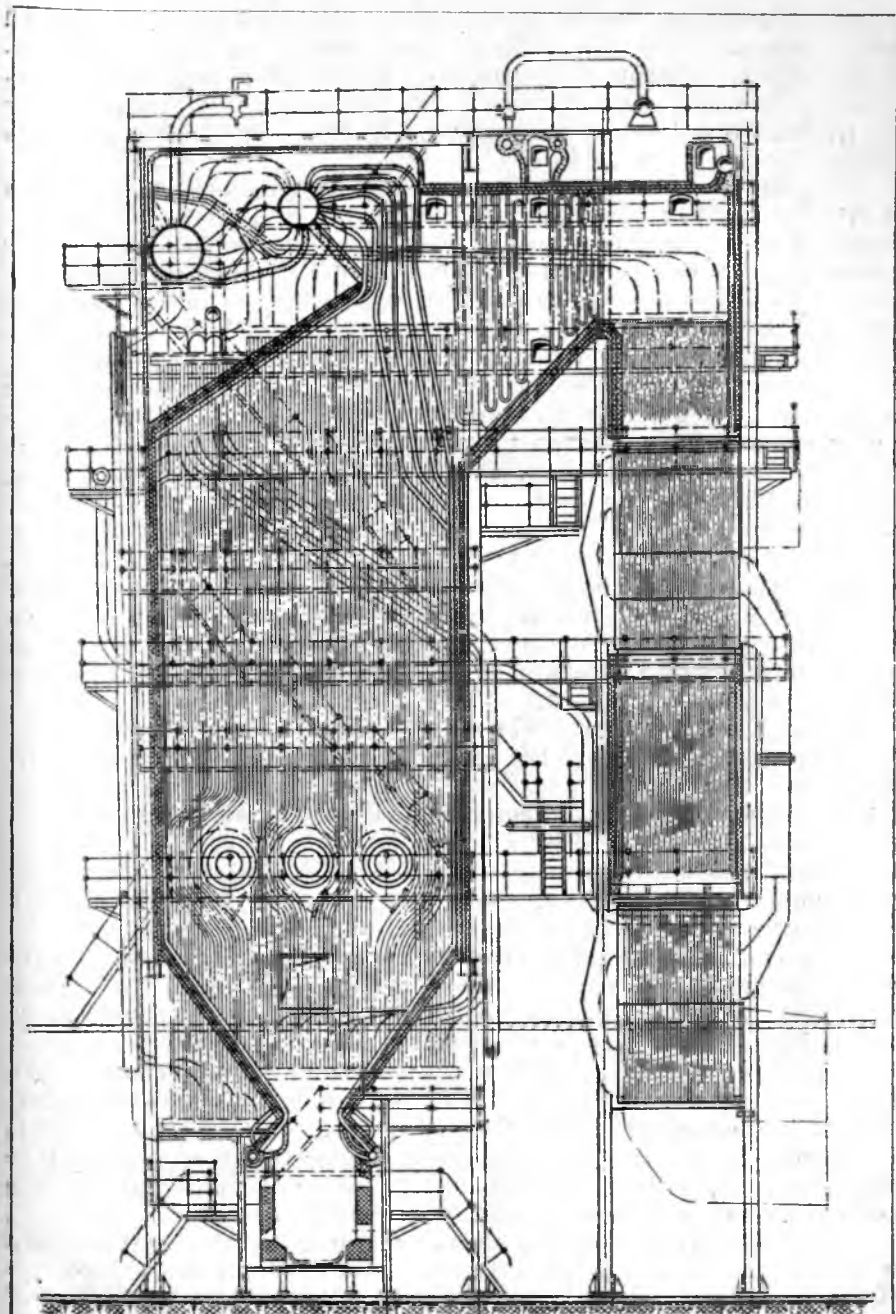
В котле КО-VII, так же как и в других современных отечественных котлоагрегатах, устанавливается, как правило, устройство для ступенчатого испарения, предложенное и разработанное проф. Э. И. Роммом. Наличие этого устройства, а также сепарационного барабана оказывает благоприятное влияние на протекание внутрикотловых процессов и разрешает повысить размер плотного остатка в продувке при высоком давлении пара.

Котел ТП-230-1 (фиг. 145) производительностью 230 *т/час* при давлении 110 *ат* и температуре перегрева 510° С аналогичен котлу КО-VII.





Фиг. 144. Однобарабанный радиационный котел ЛМЗ КО-VII.



Фиг. 145. Однobarанный радиационный котел ТП-230-1 (230 т/час, 110 ат).

Однobarабанные котлы повышенного давления (35 ат, 425° С) производительностью 200 т/час, изготавливаемые теперь двумя отечественными заводами, по устройству и внешнему виду также аналогичны между собой. Поэтому рассматривается из целой серии их (ПК-5, ТП-9, ТО-3-200, ТМ-200-1, ТП-200-1) лишь один, а именно котел ТП-200-1 (фиг. 146).

Устройство этого котла напоминает устройство котлоагрегата ТКП-8, и разница между ними заключается в размерах и в конфигурации конвективного пучка. Этот пучок в котле ТП-200-1 сделан таким же, как он был сделан в котле КО-VI. Состоит он из самостоятельного пучка кипяtilьных труб, исходящих из нижнего коллектора диаметром 377/307 мм и наклонно расположенных перед пароперегревателем. Дополняется этот пучок отводящими трубами заднего экрана. Верхние концы труб конвективного пучка вводятся в верхний барабан, диаметр которого составляет 1600/1510 мм. Топка котла сплошь экранирована гладкими трубами диаметром 83/76 мм и имеет холодную воронку. Размеры топки: глубина — 7110 мм, ширина — 9700 мм и объем — около 1000 м<sup>3</sup>. Общая радиационная поверхность нагрева экранов и конвективного пучка составляет 570 м<sup>2</sup>. Конвективная поверхность нагрева равна 355 м<sup>2</sup>. Пароперегреватель, состоящий из двух частей, имеет большую поверхность нагрева, равную 585 м<sup>2</sup> + 305 м<sup>2</sup> = 890 м<sup>2</sup>. Водяной экономайзер и воздухоподогреватель расположены в опускной шахте в «рассечку». Первый имеет поверхность нагрева, равную 1870 м<sup>2</sup>, а второй трубчатый — 7100 м<sup>2</sup>.

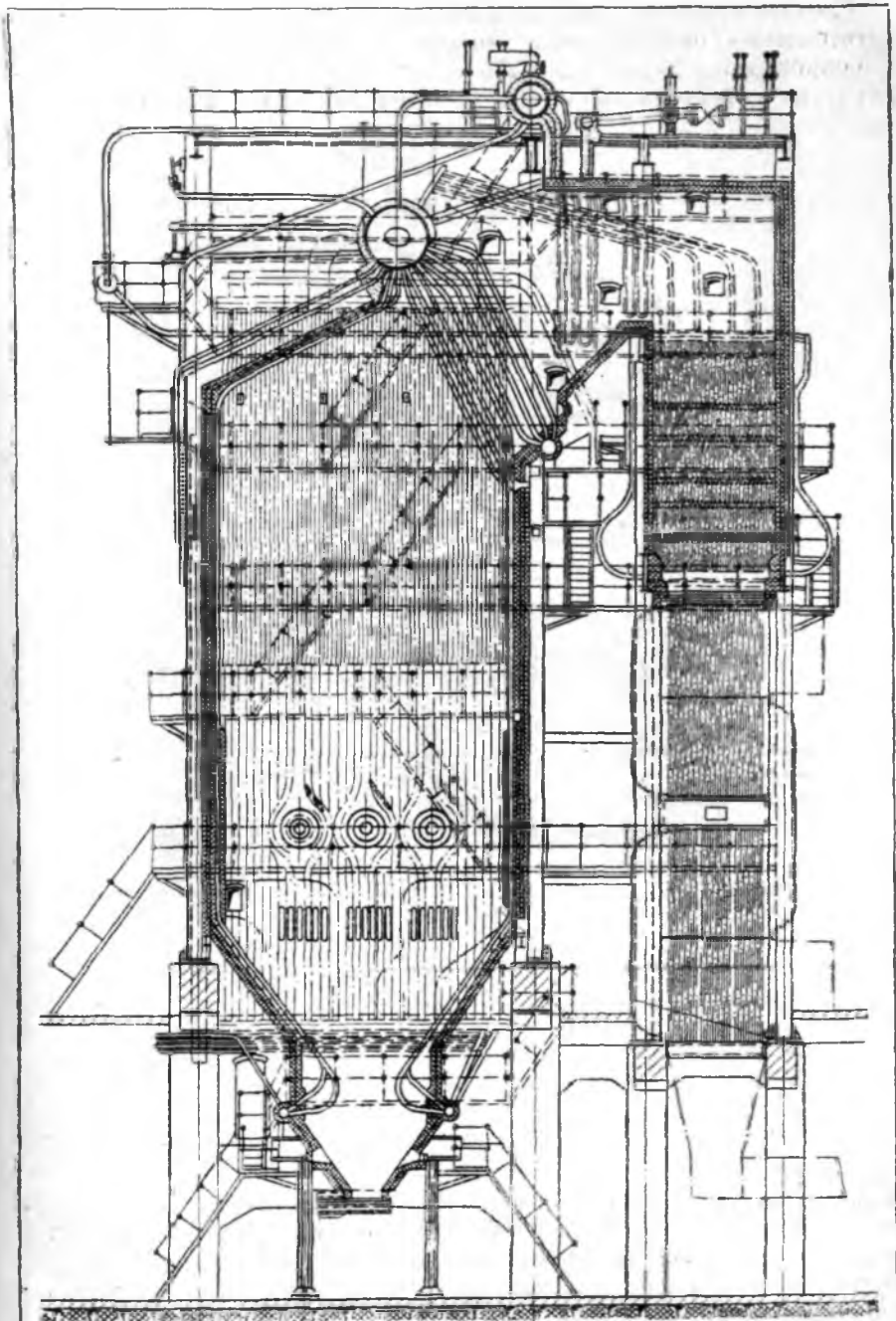
Котел ТМ-200-1 (фиг. 147) по устройству и по размерам аналогичен котлу ТП-200-1. В нем лишь топка имеет меньшую высоту и уменьшены некоторые другие размеры. Конструкция топки этого котла напоминает конструкцию мазутной топки котла, выпущенного ТКЗ в 1936 г. (фиг. 130).

Котел ТП-9 отличается от котла ТП-200-1 формой и расположением конвективного пучка. Последний в котле ТП-9 расположен совершенно так же, как и в котле ТКП-8, т. е. вертикально. Трубы пучка вводятся в верхнюю половину котельного барабана. Аналогично котлу ТКП-8 трубы заднего экрана заканчиваются входом в верхний задний экраный коллектор, а из него уже отводящие трубы идут к барабану и образуют часть конвективного пучка.

Наряду с котлами производительностью 200 т/час нашими заводами выпускаются котлы тех же параметров пара производительностью 150 т/час (ПК-4, ПК-8, ТП-11, ТО-2, ТП-150-1, ТП-170-1).

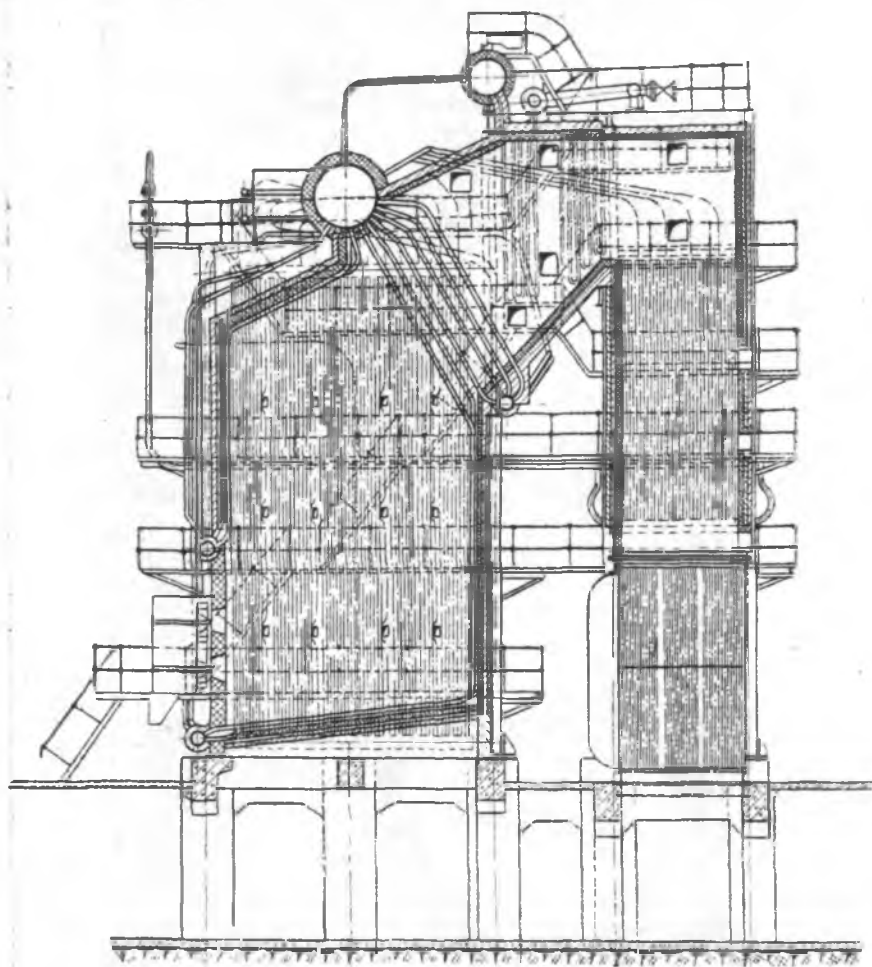
Некоторые из названных котлоагрегатов выпускаются с шахтомельничными топками. Конструкция их аналогична двухоттонным котлоагрегатам и отличие между ними лишь в размерах.

Наконец, к группе котлов повышенного давления, выпускаемых в настоящее время, относятся также котлы производительностью 40/50 и 60/75 т/час (Ф-60/34, С-60/34, ПК-7, ФЖШ 75/35, ЦКТИ 75/39 Ф, ЦКТИ 50 39 Ф, ЦКТИ 50,39 Ст и др.). Котлы типов Ф-60/24 и С-60/34 выполняются по проектам Невского завода. В частности котел Ф-60/34 является аналогией рассмотренному выше котлу НЗЛ-60/Ф-35.



Фиг. 146. Однobarанный радиационный котел ТП-200-1.

Следует отметить, что на одном из наших заводов предпринято изготовление оригинальных котлов с жидким шлакоудалением, паропроизводительностью 60/75 т/час при давлении 35 ат и температуре перегрева пара 425° С. Внешний вид таких котлов на-

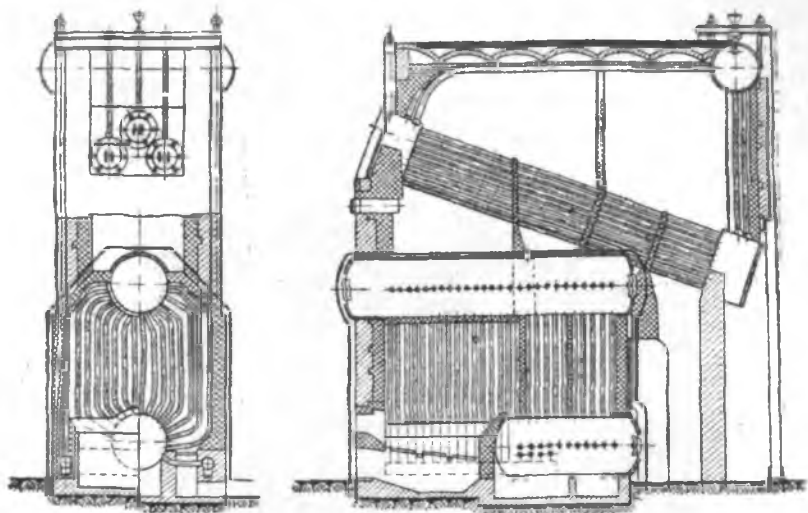


Фиг. 147. Однобарабанный радиационный котел ТМ-200-1;

поминает котел Невского завода НЗЛ-60-С/35. Новые котлы отличаются сильным экранированием топки по всем ее стенкам и особой выкладкой пода топки. Объем топочной камеры составляет 275 м<sup>3</sup>. Полная радиационная поверхность нагрева, состоящая из экранов и части кипяточного пучка, равняется 164 м<sup>2</sup>. Конвективная поверхность нагрева составляет 200 м<sup>2</sup>. Экраны и конвективный пучок состоят из труб одного диаметра (83/76 мм).

Один из котлов средней мощности повышенного давления выпу-

скается под маркой ПК-7. Его производительность 40/50 *т/час* при давлении 38 ат и температуре перегрева пара 425° С. Своим внешним видом и устройством этот котел также напоминает котел Невского завода НЗЛ-60-Ф/35. Топка котла ПК-7 сплошь экранирована гладкими трубами диаметром 60/54 мм. Ее объем равен 192 м<sup>2</sup>



Фиг. 148. Сравнение котла Шухова — Берлина и котла ДКВ (при равной их паропроизводительности).

при глубине 4750 мм и ширине 4760 мм. Конвективный пучок котла, расположенный перед пароперегревателем, образован отводящими трубами заднего экрана, входящими в нижнюю половину котельного барабана (1285/1200 мм). Его поверхность нагрева равна 40 м<sup>2</sup>. Радиационная поверхность нагрева топочных экранов и котельного пучка составляет 168 м<sup>2</sup>. Поверхность нагрева пароперегревателя — 280 м<sup>2</sup>. Водяной экономайзер и воздухоподогреватель расположены здесь последовательно, хотя, как сказано ранее, во многих случаях рекомендуется установка их в рассечку. Поверхности нагрева водяного экономайзера — 405 м<sup>2</sup>, а воздухоподогревателя (трубчатого типа) — 1020 м<sup>2</sup>.

Наряду с вышеуказанными котлоагрегатами в настоящее время нашими заводами выпускаются также вертикально-водотрубные экранированные однобарабанные котлы СП-4 и ТО-1, двухбарабанные котлы ТП-30 и ТС-30, МП-16/16 и МП-16/22, прямоточные 52-СП-30/32 и некоторые другие.

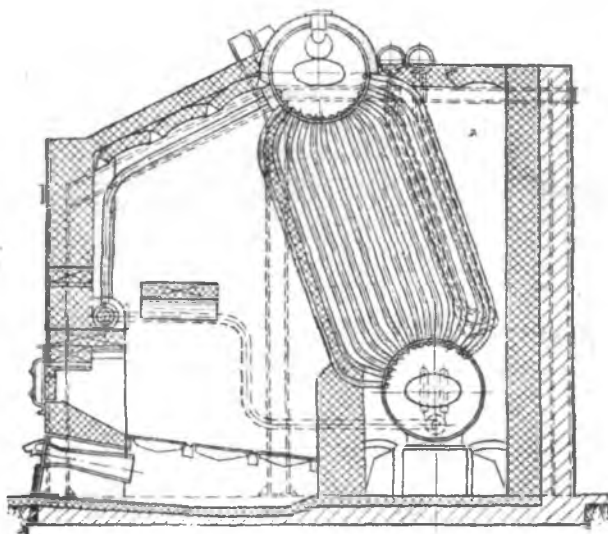
Котлы СП-4 и ТО-1 совершенно аналогичны по устройству и внешнему виду котлу СП-25/22 (фиг. 135). Разница между ними заключается в том, что в котлах типа СП-4 и ТО-1, как уже говорилось выше, нижний барабан заменен коллектором малого диаметра 299/255 мм, что позволило в некоторой степени уменьшить вес котла. Наряду с этим в котле усилено экранирование топки.

Прямоточный котел 52-СП-30/32 аналогичен по устройству мощ-

ному котлу 53-СПС-200/32 (фиг. 142) и отличается от последнего лишь размерами.

Двухбарабанные вертикально-водотрубные котлы типа ТП-30 и ТС-30 производительностью 30 *т/час* при давлении 22 ат и температуре перегрева пара 375° С выпускаются как с шахтно-мельничной толкой, так и со слоевой топкой (с механической решеткой). Устройство их одинаково с котлами типа СП-25/22. Однако их размеры и качественные теплотехнические показатели улучшены.

В заключение приведем некоторые данные по малометражным котлам. В послевоенные годы советская котлостроительная промышленность развернула также массовое строительство котлов малой мощ-

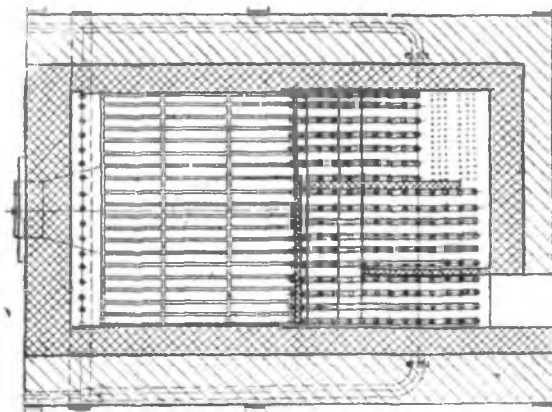


Фиг. 149. Малометражный котел КРШ.

ности и малометражных котлов, необходимость в которых не только не ослабевает, но прогрессивно возрастает, что является одним из ярких показателей развития энергетической базы всех отраслей народного хозяйства. Сейчас уже созданы хорошие образцы котлоагрегатов малой мощности для работы на различных местных сортах топлива с высокой экономичностью.

Строительство малометражных котлов характеризовалось ранее необычайным разнообразием типов и размеров. Они имели весьма широкий диапазон назначений. Дать сколько-нибудь подробное описание этих котлов весьма затруднительно потому, что их производством занимались не только многие котельные и машиностроительные заводы, но и различные мастерские, даже самые небольшие. Малометражное котлостроение было отстающим и только лишь теперь оно приобретает организованные формы и в него вводятся элементы планирования. Современные малометражные котлы небольшой мощности по своим характеристикам и конструктивным признакам во многом приближаются к котлам большой мощности. Раньше

котлы этого класса были в основном газотрубного типа, теперь же эта схема оставлена лишь для некоторых типов стоячих вертикальных котлов. Широко внедрен и является теперь также и в этой области котлостроения доминирующим принципом организации теплотехнической схемы, свойственным водотрубным котлам. Специфические условия работы малометражных котлов определяют их принципиальное отличие от мощных котлоагрегатов. В этих котлах сохранены большой водяной объем и большая аккумулялирующая способность.

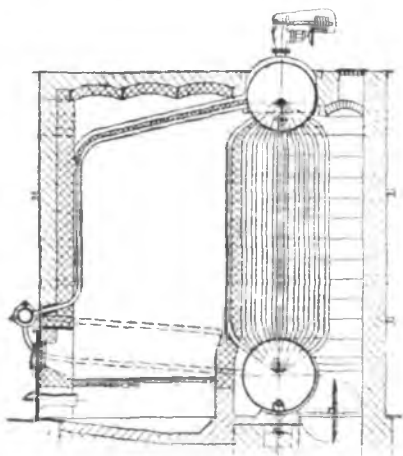


Фиг. 150. Разрез котла КРС.

В них сильно развиты конвективные поверхности нагрева и значительно меньшее место занимают радиационные поверхности нагрева.

За последние годы было создано несколько интересных конструкций котлов, которые удовлетворяют поставленным требованиям. К ним относятся транспортабельные котлы ЦКТИ типа ТК (ТК-3-13), аналогичные им котлы типа ДКВ, КРС, котлы системы инж. Добрина, Казаковцева («карманный котел») и др. Наиболее интересными в конструктивном отношении и в известной мере перспективными из них являются вертикально-водотрубные двухбарабанные котлы типа ДКВ, КРС, ВВД. Приводим их описание.

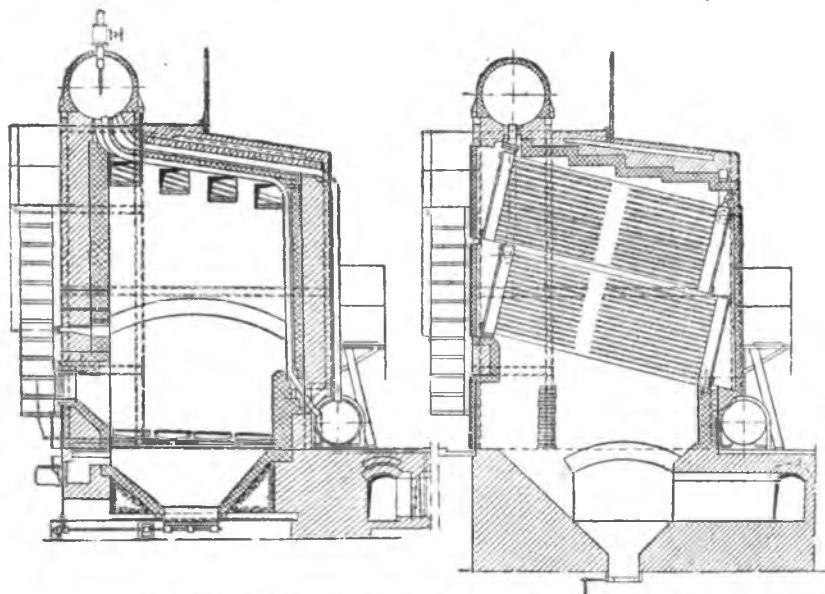
Котел типа ДКВ представляет собой дальнейшую разработку и улучшение транспортабельного котла типа ТК, разработанного до войны в 1937—1940 гг. в ЦКТИ им. П. И. Полязунова. Котлы ДКВ строятся на производительность от 2 до 6,5  $m^3/час$  при давлении 8—13 ат. В более мощных котлах устанавливается пароперегреватель. Котел ДКВ имеет два барабана.



Фиг. 151. Малометражный котел ВВД.



Оба барабана котла — верхний длиной от 3950 до 7415 мм и нижний от 1450 до 3290 мм — расположены вдоль оси котла и соединены развитым пучком труб диаметром 51/46 мм. Кипятильные трубы расположены таким образом, что они омываются поперечным потоком газов. Как видно из фиг. 148, кипяtilьный пучок разделяется вертикальными перегородками на два газохода так, что газы входят в него из топки с одной стороны (на  $\frac{1}{4}$  ширины топки), проходят по пучку дважды и выходят также с одной стороны. Задний экран топки образован из первого ряда кипяtilьного пучка, а боковые экраны образованы одним рядом труб с каждой стороны, идущих от коллекторов, расположенных внизу, к верхнему барабану.



Фиг. 152. Маломерный котел Казаковцева.

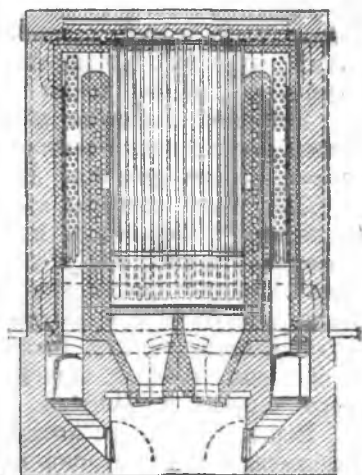
Экранные трубы — того же диаметра, что и кипяtilьные. Общая поверхность нагрева этих котлов — от 124 до 288 м<sup>2</sup>. Пароперегреватель делается из труб диаметром 38/32 мм. При его установке часть труб первого газохода удаляется, а на их место ставится пакет труб пароперегревателя. Котлы типа ТК весьма компактны и легко транспортируемы. Из сравнения габаритов котлов ДКВ и котла В. Г. Шухова в модификации завода «Парострой» типа А одной производительности, приведенного на фиг. 148, очевидно значительное преимущество первого.

Котел типа КРШ отличается от предыдущего расположением барабанов, устройством экранов и кипяtilьного пучка. Котлы этого типа строятся на производительность от 2 до 6,5 т/час при давлении 8—13 ат, т. е. так же, как и котел типа ДКВ. Котел типа КРШ на 4 т/час показан на фиг. 149, 150. В этом котле оба барабана почти одинаковы по размерам в длину и равны по размеру диаметра; они расположены вдоль фронта котла (т. е. поперек его

оси). Кипятильные трубы диаметром 51/46 мм составляют пучок, разделенный на два газохода. Здесь так же, как и в котле ДКВ, газы омывают кипящий пучок поперечным потоком. Топка этого котла экранирована гладкими трубами диаметром 51/46 мм по полку, фронтальной и задней стенкам. Боковые стенки не экранированы. В случае установки пароперегревателя, так же как и выше, часть кипящего пучка вырезается и заменяется пароперегревателем.

Котлы типа ВВД представляют собой почти полную аналогию котла КРШ. Их отличие от последнего заключается в установке верхнего и нижнего барабанов и устройстве вместо двух трех газоходов в конвективном пучке. Они строятся производительностью от 2 до 10 *m/час* и на давление 13 ат. Один из котлов ВВД приведен на фиг. 151.

Особым устройством отличается котел системы инж. Казаковцева (фиг. 152, 153). Это — также двухбарабанный котел. В нем, однако, к концам барабанов с каждой стороны присоединены по две секции, группирующие пучок трубок, которые образуют конвективную поверхность нагрева котла. Топочная камера экранирована лишь по потолку и задней стенке. Газы, покидая топку, вступают в конвективные газоходы через специально сделанные в обмуровке окна. Экран состоит из труб диаметром 76/70 мм, а конвективный пучок — из трубок 51/46 мм. Барабаны котла имеют различные размеры длины и диаметра. Секции котла — стальные, плоскостенные, сечением 125 × 200 мм, высотой 1200 мм. Кипятильные трубы в секциях расположены в шахматном порядке.



Фиг. 153. Разрез котла Казаковцева.

Приведенные конструкции не исчерпывают многообразия типов и размеров малометражных котлов, однако они характеризуют значительные сдвиги, происшедшие также и в этой части советского котлостроения. Необходимо лишь подчеркнуть, что в этой области, связанной с огромным количеством установок, потребляющих весьма большое количество топлива, предстоит сделать еще очень многое.

\* \* \*

Внимательное изучение истории истории техники показывает, что русское котлостроение даже в период до 1917 г. стояло на уровне котлостроения передовых стран. Более того, ряд конструкций котлов получил мировое признание и с них брали пример, ибо они были выдающимися произведениями русской технической мысли. Это относится к котлам системы инж. А. Лукина, инж. В. Г. Шухова, к паровозным котлам паровозов серий: Э и С<sup>У</sup>, к некоторым судовым котлам и др.

Теоретические исследования и экспериментальные работы русских инженеров и ученых, начиная от М. В. Ломоносова и И. И. Ползунова, превосходили все современные им заграничные работы. Это теперь является неопровержимым историческим фактом. В последующем периоде своего развития отечественное котлостроение и теплотехника обогатились новыми успехами. Эти успехи принесла целая плеяда исследователей, включающая такие имена, как отец и сын Черепановы, Вышнеградский, Менделеев, Столетов, Деш, Шухов, Кирш, Гриневецкий, Нольтейн, Лопушинский, Раевский, В. И. Калашников, Арцулов, Гуляев и др., опыт и достижения которых далеко распространились за пределы нашей страны.

Знаменательный этап развития отечественного котлостроения начался во второй сталинской пятилетке, когда перед всеми отраслями народного хозяйства СССР товарищем Сталиным были поставлены задачи овладения новой техникой.

Широкое развитие энергетической базы СССР вызвало исключительное по своим темпам развитие энергомашиностроения и, в частности, котлостроения. В течение короткого исторического срока в СССР были созданы выдающиеся по своим техническим и экономическим показателям котлоагрегаты, такие, например, как замечательная серия КЮ и котлы ТКП, значительно опередившие лучшие западноевропейские и американские котлы. Особенно больших успехов наша котлостроительная промышленность достигла в последний период после исторической речи товарища Сталина 9 февраля 1946 г. перед избирателями Сталинского избирательного округа г. Москвы.

Перед советским котлостроением поставлена задача обеспечения агрегатами вновь строящихся многочисленных тепловых электростанций. Известно, что по плану послевоенной пятилетки вводятся в строй электроцентрали общей мощностью 12 млн. *квт*. Значительную часть этой мощности дадут тепловые электростанции. При этом качественно новым и решающим фактором является значительный по своим масштабам ввод тепловых станций, работающих на высоких параметрах пара. В течение послевоенной пятилетки предусмотрено выпустить паровых котлов высокого давления на суммарную паропроизводительность в несколько десятков тысяч тонн пара в час. Начат серийный выпуск мощных барабанных и прямоточных котлов на 100 *ат* и 500° С. Предстоит выпустить промышленные образцы котлов на параметры пара еще более высокие (до 180 *ат* и 550° С), а также ртутный парогенератор для бинарной установки мощностью 10 000 *квт*.

В топочной технике предстоят существенные сдвиги в создании механических и полумеханических топков, а также выпуск топков с жидким шлакоудалением. Одной из серьезных задач является освоение в котлах высокозольного топлива, использование которого отразится как на конструкции топочного устройства, так и на конструктивном оформлении котлоагрегата. Естественно, что и переход на сверхвысокие параметры пара в известной мере отразится на устройстве топки. Очевидно, будет завершена разработка секцио-

нированных топок с установкой ширмовых экранов из труб пароперегревателя.

Наконец, предстоит дальнейшая разработка котлов с принудительной циркуляцией в направлении применения их для больших мощностей и высоких давлений.

Все эти технические задачи, связанные с крупнейшей народнохозяйственной проблемой усиления энергетической базы страны, требуют развития научных исследований в области внутрикотловых процессов (циркуляция, сепарация, очистка пара), физико-химических процессов горения топлива, интенсификации теплообмена, прочности и устойчивости металлов, проблемы питательной воды и т. д. Достигнутые уже советской наукой успехи в области паротехники во многих случаях превосходят достижения зарубежной науки.

В основе наших успехов лежат замечательные преимущества советской системы, неослабные заботы Партии и Правительства о науке и все более широкое творческое содружество ученых и новаторов промышленности.

Неисчерпаемый арсенал опыта и знаний, созданный выдающимися отечественными паротехниками в течение почти двухвековой истории развития этой важной отрасли народного хозяйства, весьма значительный опыт, накопленный советским котлостроением за годы Советской власти, исключительное развитие энергетических отраслей науки и, наконец, выдающиеся успехи нашей паротехники в последние послевоенные годы являются базой дальнейшего развития советского котлостроения.

Наряду с другими отраслями промышленности и техники развитие паротехники является одним из факторов решения вдохновенных задач, поставленных товарищем Сталиным в гениальной программе создания материально-технической базы коммунистического общества.



## ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Маркс, Энгельс, Ленин, Сталин, О технике, Гостехтеоретиздат, 1934.
2. В. И. Ленин, т. XXII, 3-е изд.
3. В. Аничков, Судовые паровые установки, Гостехиздат, 1940.
4. Антуфьев, Козаченко, Теплообмен между газами и пучком труб, омываемых поперечным потоком, «Советское котлоурбостроение» № 5, 1937.
5. П. Бараш, Развитие судовых паровых котлов, ОНТИ, 1937.
6. А. Брандт, Очерк истории паровой машины и применения паровых двигателей в России, Труды СПб института инженеров путей сообщения, 1892.
7. Л. Арнольд, Типы судовых водотрубных котлов, изд. «Морской Флот», 1946.
8. И. Брауде, Котел ЛМЗ имени Сталина производительностью 160/250  $m^3$ /час на давление 34 ат типа КО-III-200, «Советское котлоурбостроение» № 6, 1937.
9. К. Буслей, Судовые механизмы, устройство, действие и уход за ними, СПб. 1893.
10. И. Бутаков, Успехи тепловой части электростанций за последние 20 лет, «Вестник инженеров и техников» № 3, 1935.
11. ВТИ, Технические предпосылки топливоснабжения в 3-й пятилетке, изд. Всесоюзного Теплотехнического института, 1938.
12. А. Воейков, Первая паровая машина в Европе в описании ее изобретателя И. Ползунова, 1763 г., «Русская Старина», ноябрь—декабрь 1883.
13. ВТИ, Проблемы высокого давления в третьей пятилетке, «Теплосиловое хозяйство» № 3, 1938.
14. ВТИ, Советская котельная техника и ее ближайшие задачи, «Теплосиловое хозяйство» № 3, 1938.
15. Г. Ф. Делп, Курс паровых котлов, СПб. 1908.
16. Двадцать лет советской энергетики, «Советское котлоурбостроение» № 11—12, 1937.
17. В. В. Данилевский, И. И. Ползунов, — Труды и жизнь, изд. АН СССР, 1940.
18. В. В. Данилевский, Очерки истории техники XVIII—XIX вв., изд. АН СССР, 1934.
19. В. В. Данилевский, Русская техника, изд. АН СССР, 1948.
20. П. Забаринский, Первые огневые машины в Кронштадтском порту, 1936.
21. Задачи энергомашиностроения в третьей пятилетке, «Советское котлоурбостроение» № 5, 1939.
22. А. П. Гавриленко, Паровые котлы, М. 1908.
23. В. Донченко, Вопросы развития энергетики в новом перспективном периоде, «Теплосиловое хозяйство» № 12, 1940.
24. П. Ереинов, Введение паровых двигателей на внутренних водных путях России, СПб. 1878.
25. Итоги 1936 г. и задачи котлоурбинной промышленности в 1937 г. «Советское котлоурбостроение» № 2, 1937.
26. Д. Ильинский, В. Иваницкий, Очерк истории русской паровозостроительной и вагоностроительной промышленности, Трансжелдориздат, 1929.

27. Н. И. Кацянский, Основные направления техники развития котлотурбинной промышленности в третьей пятилетке, «Советское котлотурбостроение» № 5, 1939.

28. В. Карелин, О русских паровых машинах в сельских мельницах, 1848.

29. Г. Ф. Кнорре. Н. Семенов — Девятков, Курс паровых котлов, ч. I, Гостехиздат, 1934.

30. Г. Ф. Кнорре, М. А. Стырикович, В. И. Шутков, Курс паровых котлов, Госэнергоиздат, ч. II, 1939.

31. Е. М. Казарновский, Однотрубные котлы ЛМЗ КО-II, «Советское котлотурбостроение» № 5, 1937.

32. Котельные установки, т. I, под ред. акад. М. В. Киричева, Госэнергоиздат, 1941.

33. Котельные установки, т. II, под ред. Э. И. Ромма, Госэнергоиздат, 1945.

34. К. В. Кириш, Заводские топки, изд. Всесоюзного Теплотехнического института, 1927.

35. К. В. Кириш, Котельные установки, изд. Всесоюзного Теплотехнического института, 1929.

36. С. Я. Корницкий, Унификация паровых котлов, Госэнергоиздат, 1947.

37. Б. Г. Кузнецов, История энергетической техники, Энергоиздат, 1938.

38. С. И. Кузьмин, Паровозы высокого давления, Трансжелдориздат, 1936.

39. Н. И. Карташов, История паровоза, ОНТИ, 1937.

40. С. Кучеренко и др., Паровозы высокого давления, Трансжелдориздат, 1932.

41. Н. Лабзин, Машины и аппараты, историко-статистический обзор промышленности России, ч. II, 1886.

42. П. Любомиров, Очерки по истории русской промышленности, Госпланиздат, 1947.

43. В. Лунеев, Советское котлостроение за 20 лет, «Тепловое хозяйство» № 12, 1940.

44. К. Д. Лавренико, Внедрение пара высоких параметров на электростанциях, «Электрические станции» № 3, 1947.

45. В. Д. Лонткевич, Паровозы высокого давления, «Вестник инженер» № 11 и 12, 1928.

46. П. Мордовиц, Русское военное судостроение в течение последних 25 лет (1855—1880 гг.), «Морской сборник» № 8—10, 1880.

47. Б. Н. Меншуткин, М. В. Ломоносов, изд. АН СССР, 1947.

48. А. Моисеев, Е. Ницкевич, 10 лет советского котлостроения (1924—1934), «Советское котлотурбостроение» № 4, 1935.

49. Д. И. Мокрицкий, История паровозостроения СССР, Трансжелдориздат, 1939.

50. В. Ноев, Пути советского котлостроения за 20 лет, «Теплосиловое хозяйство» № 12, 1940.

51. Ю. Покровский, Очерк по истории металлургии, Гостехиздат, 1936.

52. Пути развития тепловыработки в третьей пятилетке, «Советское котлотурбостроение» № 6, 1937.

53. План ГОЭЛРО и его выполнение, «Тепло и сила» № 12, 1935.

54. М. Г. Первухин, Ленинский завет электрификации СССР, «Известия ВТИ» № 1—2, 1940.

55. А. И. Предтеченский, Курс паровых котлов, Харьков 1898.

56. Паровые водотрубные котлы в Японии, «Тепло и сила» № 6, 1924.

57. А. Радциг, Д. Уатт и изобретение паровой машины, Гостехиздат 1924.

58. Л. К. Рамзин, Прямоточное котлостроение в СССР, «Советское котлотурбостроение» № 1, 1937; № 11—12, 1936.

59. К. Раков, Пар высокого давления, Госэнергоиздат. 1940.
60. К. Раков, Энергетические проблемы послевоенной пятилетки «За экономию топлива» № 5—6, 1946.
61. Сазонов, Некоторые соображения относительно скорости циркуляции в водотрубных котлах. 1893.
62. В. Сбродов, Конструкция современных прямоточных котлов, «Тепло и сила» № 10, 1936.
63. М. А. Стырикович, Теплотехнические основы конструирования котельных агрегатов, «Советское котлотурбостроение» № 3, 1934.
64. М. А. Стырикович, Перспективы проектирования котлоагрегатов, «Теплосиловое хозяйство» № 12, 1940.
65. Теплоэнергетика в третьей пятилетке, «Советское котлотурбостроение» № 7, 1937.
66. Торжественное общее собрание членов Импер. Русского технич. общества по случаю пятидесятилетия от начала железных дорог в России, «Железнодорожное дело» № 15, 1886.
67. Труды научно-технической сессии по котлостроению, Госэнергоиздат, 1948.
68. ЦКТИ, Программа технического прогресса котлотурбостроения СССР, изд. Центрального Котлотурбинного института, 1938.
69. С. М. Шухер, План ГОЭЛРО и использование местных топлив, «Теплосиловое хозяйство» № 12, 1940.
70. В. П. Шретер, Паровые котлы, Госэнергоиздат, 1939.
71. Б. М. Шолкович, Новые типы мощных котлов ТКЗ, «Советское котлотурбостроение» № 8, 1937.
72. Я. В. Шотлендер, История паровоза за 100 лет, СПб. 1913.
73. В. Шутов, С. Бродерзон, Н. Барштейн, Котлы с принудительной циркуляцией и перспективы их применения в СССР, «Советское котлотурбостроение» № 11, 1937.
74. В. Шутов, Первый советский котел с принудительной циркуляцией, «Советское котлотурбостроение» № 3, 1936.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . . 5

**Глава I. Общие сведения по истории развития теплотехники и котлостроения . . . . . 7**

Попытки использования силы пара в древности. Машины И. Ползунова, Ньюкомена, Д. Уатта. Появление паровых повозок. Паровоз Е. А. и М. Е. Черепановых. Появление электрической энергии. Первые электрические станции. Типы стационарных, судовых и паровозных котлов XVIII и начала XIX в. Развитие поверхности нагрева котлов (внутренней и внешней). Появление горизонтально- и вертикально-водотрубных котлов. Интенсификация работы котлов (увеличение параметров, воздухоподогрев, водоподогрев). Появление метода сжигания угля в виде пыли. Развитие и внедрение пылесжигания. Экранирование топок. Увеличение удельной и абсолютной мощности котлов. Концентрация производства электроэнергии. Переход к крупным (районным) электростанциям. Новые типы современных котлов (радиационные). Переход к высоким параметрам пара. Развитие научно-исследовательских работ по внутрикотловым процессам и по теплообмену.

Развитие паровозостроения и увеличение мощности паровоза, переход на высокий перегрев, попытки использования пара высокого давления, водоподогрев, воздухоподогрев.

Развитие судовых котлов и интенсификация их работы: интенсификация теплообмена, увеличение единичной мощности, увеличение теплового напряжения топки, переход к высоким параметрам пара.

Появление первых паросиловых установок в России (начало XVIII в.). И. И. Ползунов — его универсальная машина. Последователи и ученики И. И. Ползунова. Строительство паросиловых установок в России в XVIII в. и в начале XIX в. Создание цилиндрического котла в России. Некоторые сведения о развитии машиностроения, строительства железных дорог и пароходов. Паровоз Е. А. и М. Е. Черепановых. Развитие паровозостроения в XIX в. Развитие парового морского и речного флотов. Появление первых электростанций (90-е годы XIX в.). Начало турбостроения в России (1904 г.). Стационарное котлостроение в России до 1917 г. Основные типы котлов. Советское котлостроение до завершения первой пятилетки. Котлостроение СССР в годы второй и третьей пятилеток. Современное отечественное котлостроение. Краткая характеристика развития конструктивных форм парового котла.

**Глава II. Котлы с большим водяным объемом . . . . . 48**

Простой цилиндрический котел. Батарейные котлы. Котлы с подогревателями и кипятильниками. Котлы с поперечными кипятильниками. Жаротрубные котлы. Циркуляция в жаротрубных кот-



лах. Побудителя циркуляции. Волнистые жаровые трубы. Котлы с дымогарными трубами. Ребристые дымогарные трубы. Паровозные котлы. Котлы комбинированные. Основная идея комбинирования; типы и характеристика комбинированных котлов. Котлы типа Менье. Тишбейна, Ферберна. Локомобильные котлы с жаротрубной и плоскостенной топкой, с выдвинжим пучком труб. Судовые пролетные и оборотные котлы. Современный жарогазотрубный котел. Вертикальные (стоячие) котлы.

### Глава III. Паровозные котлы . . . . . 81

Паровоз Е. А. и М. Е. Черепановых. Начало русского паровозостроения. Ранние конструкции паровозных котлов. Прекращение заказа паровозов за границей (1866 г.) и развертывание отечественного паровозостроения. Первый товарный паровоз нормального типа (0-4-0). Введение стандартного размера диаметра дымогарных труб. Паровозы серий Ц и Ш. Сочлененный паровоз по проекту Е. Нольтейна (1897 г.). Пассажирские паровозы серии П. Появление пароперегрева на паровозах (1902 г.). Развитие паровозных топков и переход на низкосортные энергетические угли. Появление камер догорания. Кипятильные трубы в топках. Паровозы серии Щ и Ы. Переход к новым типам мощных товарных паровозов: тип 0-5-0 серии Э, 1-5-0 серии Е. Мощные современные локомотивы серии ФД. Паровозы с тендер-конденсатором (СО). Отечественные быстроходные пассажирские паровозы (серии Б, К, У, С, СУ, Л). Мощный пассажирский паровоз серии ИС. Попытки применения водотрубных котлов для паровозов. Попытки применения пара высокого давления в паровозах. Заключение.

### Глава IV. Судовые котлы . . . . . 110

Первые паросиловые установки на судах. Первые типы судовых котлов: цилиндрические, лабиринтные, галлейные. Давление пара в этих котлах. Конструкция котлов. Коробчатые котлы. Коробчатые котлы с оборотными дымогарными трубами. Овальные котлы с оборотными трубками. Мокродонные котлы с оборотными трубками. Ножные коробчатые котлы. Цилиндрические оборотные котлы, одинарные и двоянные, с одной или несколькими топками (жаровыми трубами). Цилиндрические котлы речного флота с приставными или полуприставными топками. Пролетные котлы, локомотивные судовые котлы. Катерные котлы. Комбинированные (огневодотрубные) судовые котлы. Судовые водотрубные котлы. Котлы типа Бельвиля и Долголенко. Камерные горизонтально-водотрубные судовые котлы. Секционные горизонтально-водотрубные судовые котлы. Современные секционные котлы морского типа. Вертикально-водотрубные котлы шатрового типа (треугольные). Советские вертикально-водотрубные котлы: двухпроточные, симметричные и несимметричные, двухпроточные котлы с экранированной топкой и котлы с центральным экраном. Однопроточные котлы с вертикальным и горизонтальным расположением перегревателей.

### Глава V. Горизонтально-водотрубные котлы . . . . . 149

Двухкамерные котлы конструкции инж. А. Лукина. Котлы Луганского, Краматорского и Днепровского заводов. Котлы Приемского (Сормовский завод) и котлы Сумского завода.

Горизонтально-водотрубные котлы В. Г. Шухова: нормального типа, с большим объемом, с поперечным барабаном. Котлы завода Нарострой (Шухова—Берлина).

Горизонтально-водотрубные секционные котлы морского типа отечественной конструкции. Котлы типа СМ (ТКЗ).

Общая характеристика развития отечественных вертикально-водотрубных котлов с момента их появления (1905—1906 гг.) до начала советского котлостроения (1924 г.) и периода первой пятилетки. Вертикально-водотрубные котлы с прямыми трубами типа Гарбе (одинарные и двойные). Гарбе — Наваль, Гарбе — ЮМТ, котлы Луганского завода (одинарные и двойные), трехбарабанные котлы Луганского завода, котлы типа Гарбе — Кестнер двухбарабанные и четырехбарабанные (одинарные и двойные).

Вертикально-водотрубные котлы с изогнутыми кинжальными трубами Брянского завода, Металлического завода в С.-Петербурге (двух-, трех- и четырехбарабанные). Пятибарабанные котлы Невского завода. Котлы Коломенского и Сумского заводов. Трехбарабанный котел Всесоюзного Теплотехнического института им. Ф. Дзержинского (проект 1928 г.). Вертикально-водотрубные котлы периода первой пятилетки: четырехбарабанные котлы Ленинградского механического завода (ЛМЗ) 1500 м<sup>2</sup>. Котлы Невского завода (НМЗ-5, ПЗЛ-3 и ПЗЛ-2).

Характеристика советского котлостроения периода 1930—1935 гг.

Трехбарабанные вертикально-водотрубные котлы ЛМЗ (1500—2500 м<sup>2</sup>) с слоевой и камерной топкой. Котлы Невского завода (ПЗЛ) двух- и трехбарабанные. Однобарабанный секционный котел ЦККБ — ЛМЗ 160/200 м/час. Двухбарабанный котел ЦККБ — ПЗЛ 60/75 м/час. Двухбарабанный котел ЦКТИ — ТКЗ 120/150 м/час. Советский прямоточный котел СПИВ 200/140.

Характеристика советского котлостроения в период 1936—1941 гг.

Котлы Невского завода имени В. И. Ленина: ПЗЛ-40/Ф-35, ПЗЛ-60/Ф-35, ПЗЛ-60/С-35. Котлы Ленинградского металлического завода имени И. В. Сталина: КО-II-150, КО-III-200, КО-IV-200, КО-VI-200, Котел ЛМЗ — ЦКТИ 90/110 м/час. Котлы ТКЗ «Красный Котельщик»: ТКЗ, ТКП-1, ТКП-3, ТКП-8. Котлы средней мощности: МП-16/22, СП-25/22. Прямоточные советские котлы СПИ 200/35, СПИ 200/140. Проект котла с секционированной топкой. (Всесоюзный Теплотехнический институт им. Ф. Дзержинского).

Характеристика современного советского котлостроения.

Прямоточный советский котел 53-СНС 200/32. Котел с принудительной циркуляцией — МП 150/35. Котел КО-VII-200 Ленинградского металлического завода имени И. В. Сталина. Котлы ТП-230-1, ТП-200-1, ТМ-200-1, ТП-150-1. Котлы средней мощности ТС-30, ТП-30 и др.

Современные малометражные котлы: ДКВ, КРН, ВВД, Казаковцева и др.



Технический редактор *Е. Н. Матвеева*  
Корректоры *Ф. М. Ланина* и  
*Н. А. Хворов-Данилов*  
Обложка художника  
*А. Е. Гребенищикова*

---

Сдано в произв. 6 XII 1949 г.  
Подпис. к печати 30.VI 1950 г.  
Т-04857 Тираж 3000 экз.  
Бумажи. л. 8,88.  
Печ. л. 17,75 +3 вклейки  
Уч.-изд. л. 21,5. Бумага 60×92<sup>1/16</sup>  
Заказ 1381.

---

1-я типография Машгиза.  
Ленинград, ул. Моисеенко, 10

ОБЛ. ИЗОТОРГ  
 г. Петродар  
 НОВАЯ ЦЕНА  
 руб. / коп. 50  
 195 г.  
 одиц-в

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

<i>Страница</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>	<i>По чьей вине</i>
21	20 снизу	Е. А. и И. Е. Черепановы	Е. А. и М. Е. Черепановы	Авт.
196	18 сверху	U-образный	И-образный	Тип.

Матвеев, „История отечественного котлостроения“.