

НЕПРЕРЫВНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Б. А. Соколов

УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПАРОВЫХ И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ



Б. А. СОКОЛОВ

УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПАРОВЫХ И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Допущено
Экспертным советом
по профессиональному образованию
в качестве учебного пособия
для использования в учебном процессе
образовательных учреждений,
реализующих программы
профессиональной подготовки



Москва
Издательский центр «Академия»
2008

C594

Серия «Непрерывное профессиональное образование»

Рецензенты:

преподаватель НОУ «Тушинский учебный комбинат» *А.А.Шпицман*;
специалист Центра подготовки кадров Мосэнерго *Е.В.Маркин*

Соколов Б.А.

C594 Устройство и эксплуатация паровых и водогрейных котлов малой и средней мощности : учеб. пособие / Б.А.Соколов. — М. : Издательский центр «Академия». — 2008. — 64 с.

ISBN 978-5-7695-4102-5

В учебном пособии предлагается применение компетентностного подхода к подготовке операторов котельных.

Дана классификация котельных агрегатов. Рассмотрены основные элементы и конструкции паровых и водогрейных котлов, широко используемых в отопительных, отопительно-производственных и производственных котельных, и принципы их действия. Большое внимание уделено вопросам эксплуатации котельных агрегатов.

Для ускоренной подготовки операторов котельных. Может быть использовано при подготовке слесарей ремонтников, а также руководителями и специалистами энергетических служб предприятий.

УДК 621.18(075.9)

ББК 31.38я721

Учебное издание

Соколов Борис Александрович

**Устройство и эксплуатация паровых и водогрейных котлов
малой и средней мощности**

Учебное пособие

Редактор *В.А.Савенков*. Художественный редактор *Л.В.Жебровская*

Дизайн серии: *К.А.Крюков*. Компьютерная верстка: *В.А.Крыжко*

Корректоры *С.Ю.Свиридова, Т.Н.Морозова*

Изд. № 101109770. Подписано в печать 28.04.2008. Формат 70×100/16. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная. Бумага офс. № 1. Усл. печ. л. 5,2. Тираж 4 000 экз. Заказ № 26678.

Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.004796.07.04 от 20.07.2004.

117342, Москва, ул. Булгерова, 17-Б, к. 360. Тел./факс: (495) 330-1092, 334-8337.

Отпечатано с электронных носителей издательства

в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат». www.sarpk.ru

410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Соколов Б.А., 2008

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2008

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2008

ISBN 978-5-7695-4102-5

К читателю

Современные паровые и водогрейные котлы широко используются для отопления и горячего водоснабжения жилых и административных зданий, производственных цехов, различных подсобных помещений и прочих хозяйственных строений. Предлагаемое учебное пособие поможет вам получить квалифицированные теоретические знания и практические навыки по их устройству и эксплуатации.

Благодаря учебному пособию вы будете **знать**:

- классификацию котлов;
- устройство и принцип работы паровых и водогрейных котлов;
- назначение и устройство основных элементов котельных установок;
- основы эксплуатации котлов.

Благодаря учебному пособию вы будете **уметь**:

- осуществлять подготовку к пуску, пуск, плановый и аварийный остановки котла;
- выполнять основные операции по обслуживанию котла во время его работы.

Котельные агрегаты для производства пара или горячей воды различаются многообразием конструктивных форм, принципов действия, используемых видов топлива и с учетом этого имеют разную производительность. В зависимости от назначения котельные агрегаты (котлы) подразделяют на отопительные, производственные, отопительно-производственные и энергетические.

Отопительные (водогрейные) котлы устанавливают в отопительных котельных, они вырабатывают горячую воду с температурой 90...200 °С, которая используется для обеспечения тепловой энергией систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Промышленные котлы, устанавливаемые в производственных и отопительно-производственных котельных (соответственно это **производственные** и **отопительно-производственные** котлы), вырабатывают насыщенный или перегретый пар с температурой до 450 °С и давлением до 4 МПа, который используется в технологических процессах разных отраслей промышленности, а также для обеспечения тепловой энергией систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Энергетические котлы имеют большую мощность (до 1 000 МВт) и устанавливаются на электростанциях, где вырабатывают перегретый пар с температурой до 600 °С и давлением до 25 МПа, используемый для производства электрической и тепловой энергии.

Работа паровых котлов характеризуется номинальной паропроизводительностью и параметрами вырабатываемого пара (давлением и температурой перегрева). **Номинальная паропроизводительность** — наибольшая производительность, которую паровой котел должен обеспечивать в условиях длительной эксплуатации при номинальных значениях параметров пара и питательной воды¹. По паропроизводительности промышленные котлы условно можно разделить на **паровые котлы малой** (до 25 т/ч), **средней** (35...75 т/ч) и **большой** (более 100 т/ч) **мощности**.

Работа водогрейных котлов характеризуется номинальной теплопроизводительностью, давлением и температурой входящей и выходящей из него воды. **Номинальная теплопроизводительность** — наибольшая теплопроизводительность, которую водогрейный котел обеспечивает в условиях длительной эксплуатации при номинальных значениях параметров входящей и выходящей из него

¹ **Питательная вода** — вода, подаваемая на вход котла, в отличие от **котловой воды**, которая циркулирует в системе котла.

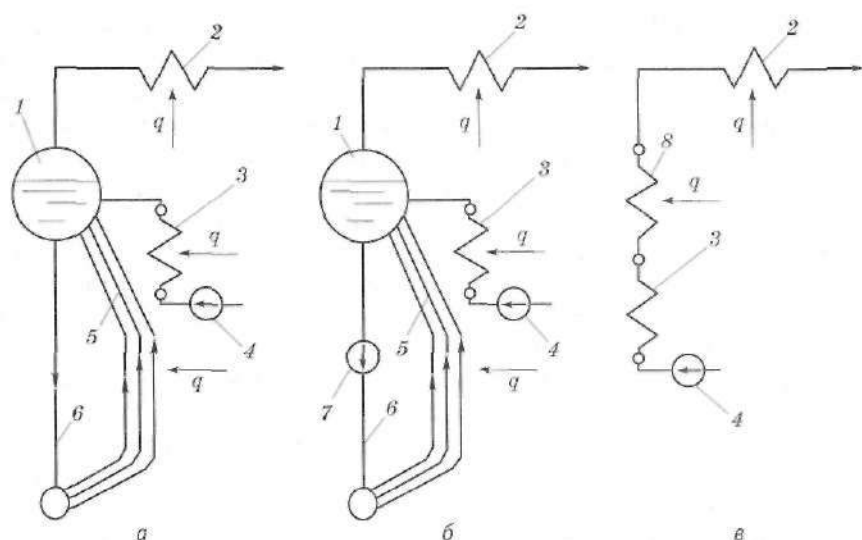


Рис. 1.1. Схемы движения воды, пароводяной смеси и пара в котлах с циркуляцией теплоносителя:

а — естественной; *б* — принудительной многократной; *в* — принудительной прямоточной; 1 — барабан; 2 — пароперегреватель; 3 — водяной экономайзер; 4 — питательный насос; 5 — обогреваемые (подъемные) трубы; 6 — опускные трубы; 7 — циркуляционный насос; 8 — испарительная поверхность нагрева; q — тепловой поток, действующий в направлении, показанном стрелкой

воды. По производимой тепловой энергии **водогрейные котлы** бывают *малой* (до 10 Гкал/ч), *средней* (20...30 Гкал/ч) и *большой* (50 Гкал/ч и более) **теплопроизводительности**¹.

По способу организации движения теплоносителя — воды, пароводяной смеси и пара — различают две группы котлов: с естественной (рис. 1.1, *а*) и принудительной (рис. 1.1, *б*, *в*) циркуляцией теплоносителя. Агрегаты второй группы в свою очередь разделяются на котлы с многократной принудительной циркуляцией (см. рис. 1.1, *б*) и прямоточные (см. рис. 1.1, *в*).

В современных отопительных и отопительно-производственных котельных для производства пара используются в основном паровые котлы с естественной циркуляцией теплоносителя, а для производства горячей воды — водогрейные котлы с принудительной циркуляцией теплоносителя (воды), работающие по прямоточному принципу.

Паровые котлы с естественной циркуляцией теплоносителя выполняются из вертикальных труб, расположенных между двумя коллекторами (барабанами). Одна часть труб, называемых подъемными, обогревается факелом и

¹ В технической документации и в специальной литературе используется также измерение теплопроизводительности в единицах СИ, т.е. следующая градация котлов: *малой* (до 11,7 МВт), *средней* (23,4...35,0 МВт) и *большой* (58,5 МВт и более) **теплопроизводительности**. Коэффициент перевода единиц измерения равен: 1 Гкал/ч = 1,17 МВт, так как 1 кал = 4,19 = 4,2 Дж, 1 ч = 3600 с, 1 Дж/с = 1 Вт.

продуктами горения (ПГ) топлива (q — падающий тепловой поток), другая часть труб, называемых опускными, обычно не обогревается и находится вне котла. В обогреваемых трубах вода нагревается до кипения, частично испаряется, и образующаяся пароводяная смесь поступает в барабан котла для разделения на пар и воду. Далее вода по опускным необогреваемым трубам из барабана поступает в нижний коллектор (в некоторых котлах в нижний барабан).

Движение теплоносителя в паровых котлах с естественной циркуляцией осуществляется за счет движущего напора, создаваемого разностью весов столбов воды в опускных и пароводяной смеси в подъемных трубах. **Кратность циркуляции** (отношение расхода котловой воды, проходящей через циркуляционный контур, к количеству пара, производимого в нем) в паровых котлах с естественной циркуляцией котловой воды может быть в пределах 10...100.

В паровых котлах с многократной принудительной циркуляцией поверхности нагрева выполняются в виде змеевиков, образующих циркуляционные контуры. Движение воды и пароводяной смеси в таких контурах осуществляется с помощью циркуляционного насоса. Кратность циркуляции в паровых котлах с многократной циркуляцией котловой воды может быть в пределах 5...10.

В прямоточных паровых котлах кратность циркуляции составляет единицу, т.е. питательная вода по мере нагревания последовательно превращается в пароводяную смесь, насыщенный и перегретый пар. В водогрейных котлах сетевая вода при движении по контуру циркуляции нагревается за один заход от начальной до конечной температуры.

В соответствии с ГОСТ 3619—82 паровые котлы разделяются на котлы *низкого* (0,88; 1,36; 2,36 МПа), *среднего* (3 и 9 МПа), *высокого* (9,8 и 13,6 МПа) *давления* и *энергетические котлы сверхкритического* (25 МПа) *давления*.

По виду используемого топлива котельные агрегаты подразделяются на *газовые*; *жидкотопливные*, работающие на мазуте, дизельном топливе, печном бытовом топливе; *твердотопливные*, работающие на бурых и каменных углях, антрацитах, торфе, горючих сланцах, дровах и древесной щепе; *комбинированные*, работающие на нескольких видах топлива (газ — мазут, газ — твердое топливо и др.).

По компоновке котельные агрегаты разделяются на *П-, Т-образные, башенные, горизонтальные*.

По уровню давления (разрежения) продуктов горения в газовом тракте различают котлы *с естественной тягой, с уравновешенной тягой, с наддувом и высоконапорные*.

В котлах с естественной тягой во всем дымовом тракте имеет место разрежение, и движение ПГ осуществляется под действием движущего напора, создаваемого за счет разности плотностей атмосферного воздуха и ПГ в дымовой трубе.

В котлах с наддувом в топке поддерживается давление 0,5...1,0 кПа (50...100 мм вод. ст.) и сопротивление дымового тракта преодолевается с по-

мощью дутьевых вентиляторов. В высоконапорных котлах избыточное давление в газовом тракте превышает 0,1 МПа (1 атм).

По конструкции котлы бывают *секционные, жаротрубные, жарогазотрубные, водотрубные, горизонтально-водотрубные, вертикально-водотрубные; по виду материалов* поверхностей нагрева — *чугунные и стальные*.

По транспортабельности котлы могут быть *стационарными* (установлены на неподвижном фундаменте) и *передвижными* (транспортабельными).

Для маркировки паровых котлов используют следующие их обозначения: Е — естественная циркуляция; П — прямоточные; Пр — паровые стационарные с принудительной циркуляцией без перегрева пара. При описании типовых котлов указывается следующее: первое число — паропроизводительность котла, т/ч; второе число — давление пара, МПа или кгс/см²; далее буквами обозначено используемое топливо. Например, котел Е-2,5-13-ГМ — паровой газомазутный котел с естественной циркуляцией паропроизводительностью 2,5 т/ч и давлением пара 1,3 МПа (13 кгс/см²).

Заводы-производители часто используют другие системы маркировки. Например, котел ДКВР-10-13 — двухбарабанный, водотрубный реконструированный с паропроизводительностью 10 т/ч и давлением пара 1,3 МПа (13 кгс/см²).

В маркировке водогрейных котлов используются их основные параметры: теплопроизводительность, Гкал/ч (МВт); температура воды на входе и на выходе из котла, °С; давление воды на выходе из котла, МПа или кгс/см².

Например, котел КВ-ГМ-30-150 — водогрейный, газомазутный с теплопроизводительностью 30 Гкал/ч (35 МВт) и температурой воды на выходе из котла 150 °С.

2

Основные элементы паровых и водогрейных котлов

2.1

Топки для сжигания газообразных и жидких топлив

При сжигании газа и жидкого топлива используются, как правило, камерные топки, когда пространство топки ограничено фронтальной, задней, боковыми стенами, а также подом и сводом. Вдоль стен топки располагаются испарительные поверхности нагрева — *кипяtilьные трубы* $\varnothing 50 \dots 80$ мм, воспринимающие излучаемую теплоту от факела и ПГ. При сжигании газообразного и жидкого топлива под камерной топкой обычно не экранируют.

Верхние концы труб ввальцованы в барабан, а нижние — присоединены к коллекторам путем вальцовки или сварки. У ряда котлов кипяtilьные трубы заднего экрана перед присоединением их к барабану разводят в верхней части топки в несколько рядов в шахматном порядке в виде фесто́на.

Расположение горелок в топке может быть фронтальным, на боковых стенах, а также в углах топки. В местах установки горелок стены либо не экранируют, либо экранируют таким образом, чтобы кипяtilьные трубы при разведении не перекрывали амбразуры горелок.

Для обслуживания топки и газоходов используется так называемая *гарнитура котла*: лазы, закрываемые дверцы, гляделки, взрывные клапаны, шиберы, поворотные заслонки, обдувочные аппараты, дробеочистка.

Дверцы, лазы в обмуровке предназначены для осмотра и производства ремонтных работ при останове котла. Для наблюдения за процессом горения топлива в топочной камере и состоянием газоходов служат *глядельки*. *Взрывные предохранительные клапаны* используются для защиты обмуровки от разрушения при хлопках в топочной камере и газоходах котла и устанавливаются в верхних частях топочной камеры, последнего газохода агрегата, экономайзера, в боковых стенах котла и в его своде.

Схема размещения, число и размеры предохранительных клапанов выбираются проектной организацией из расчета 250 см^2 площади взрывного клапана на 1 м^3 объема топки или газоходов котла. Взрывные клапаны представляют собой рамки из углового железа круглой или квадратной формы, закрытые листовым асбестом толщиной $2,0 \dots 2,5$ мм, которые плотно закреплены в соответствующих проемах в кладке топки и дымоходах котла. В случае взрыва под давлением образовавшихся газов асбестовый картон проры-

вается, и газы получают выход наружу. При этом давление газов падает и возможность опасного разрушения снижается. В момент взрыва створка клапана после разрушения картона открывается, а после выхода газов наружу через газоотводящий короб под действием своего веса или специальных грузов закрывается.

Для регулирования тяги и перекрывания борова служат чугунные **дымовые шиберы** или **поворотные заслонки**. При использовании газообразного топлива для предотвращения скопления горючих газов в топках, дымоходах и боровах котельной установки во время перерыва в работе необходимо, чтобы в них всегда поддерживалась небольшая тяга. Для этого в каждом отдельном борова котла на пути к сборному борову должен быть свой шибер с отверстием в верхней части диаметром не менее 50 мм. **Обдувочные аппараты** и **дробеочистка** предназначены для очистки поверхностей нагрева от загрязнений.

2.2

Каркас и обмуровка котла

Каркас котла — это металлическая конструкция, опирающаяся на бетонный фундамент, поддерживающая барабан котла и трубную систему с водой, лестницы, а иногда и обмуровку. В настоящее время чаще всего применяют опорные (несущие) и обвязочные каркасы. Паровые и водогрейные котлы малой мощности обычно имеют обвязочные каркасы, служащие для укрепления обмуровки, гарнитуры и других деталей. Масса металлической части котлов через стойки или рамы передается на фундамент.

Котлы вертикального типа средней и большой мощности обычно имеют несущий каркас, который состоит из вертикальных колонн, горизонтальных балок, горизонтальных ферм, связей-раскосов и балок потолочного перекрытия. Колонны крупных котлов изготавливают из сварных профильных балок большого размера. Для уменьшения нагрузки на фундамент под колонны устанавливают опорные башмаки. Горизонтальные фермы, балки и связи-раскосы применяют для придания поперечной устойчивости колоннам и повышения жесткости каркаса.

Обмуровка котла служит для ограждения топочной камеры и газоходов от окружающей среды и для направления движения потока дымовых газов в пределах котельной установки. Обмуровка работает при высоких температурах, рассчитана на условия эксплуатации при резком их изменении. Обмуровка должна обеспечивать минимальные тепловые потери в окружающую среду, быть плотной, механически прочной. Условно принято подразделять обмуровки на тяжелые, облегченные и легкие. По способам крепления их делят на свободностоящие (на фундаментах), накаркасные (опирающиеся на каркас) и натрубные.

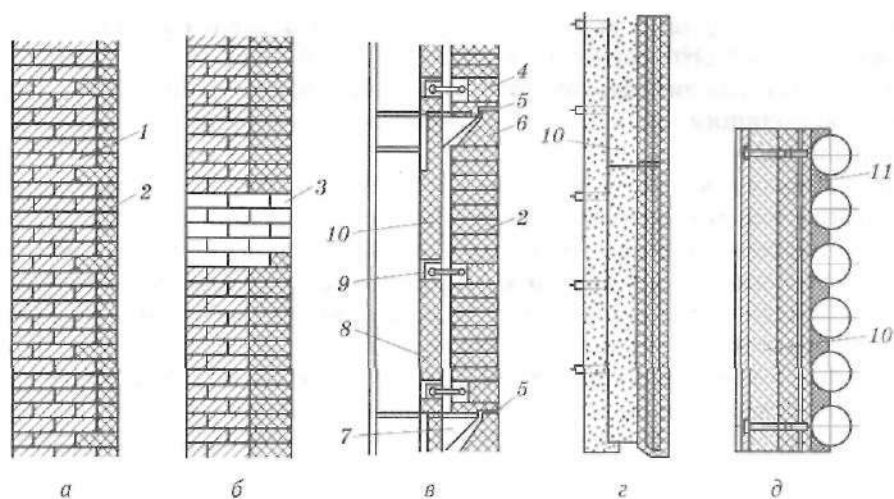


Рис. 2.1. Обмуровка котла:

a — свободная; *б* — массивная; *в* — облегченная накаркасная; *г* — щитовая; *д* — трубная; 1, 2 — красный и шамотный кирпичи; 3 — перевязочный ярус; 4, 6 — шамотные и фасонные шамотные кирпичи; 5 — температурный шов; 7 — кронштейн; 8 — металлическая обшивка; 9 — разгрузочный пояс; 10 — теплоизоляционный слой; 11 — хромитовая или шамотная масса

Внутренняя часть свободной обмуровки (рис. 2.1, *a*) котла, обращенная в сторону высоких температур, называется **футеровкой** и выполняется из огнеупорного кирпича.

Наружная часть обмуровки, называемая **облицовкой**, выполняется из строительного кирпича.

Кирпичную массивную обмуровку (рис. 2.1, *б*) с перевязочным ярусом из огнеупорного кирпича выполняют в паровых котлах небольшой производительности. Для котлов производительностью 50...75 т/ч и выше применяют облегченную накаркасную обмуровку (рис. 2.1, *в*), состоящую из слоев шамотного и шамотного фасонного кирпича, образующих футеровку, и слоя легковесной теплоизолирующей шамотной массы.

Обмуровка опирается на разгрузочные кронштейны, установленные через каждые 2,5...3,0 м.

Щитовую обмуровку (рис. 2.1, *г*) выполняют в виде отдельных прямоугольных щитов, которые укрепляют на каркасе котла. Щит делают многослойным из огнеупорного бетона, армированного стальной сеткой, и теплоизолирующих слоев.

Трубная обмуровка (рис. 2.1, *д*) крепится непосредственно к трубам и состоит из слоя хромитовой или шамотной массы и изоляционного слоя из минераловатных матрасов, на которые нанесена газонепроницаемая магнезильная обмазка.

Барабаны паровых котлов имеют многоцелевое назначение, в них осуществляют:

- разделение пароводяной смеси, поступающей из подъемных обогреваемых труб, на пар и воду, и сбор пара;
- прием питательной воды из водяного экономайзера либо непосредственно из питательной магистрали;
- внутрикотловая обработка воды (термическое и химическое умягчение воды);
- непрерывная продувка;
- осушка пара от капелек котловой воды;
- промывка пара от растворенных в нем солей;
- защита от превышения давления пара.

Барабаны котлов изготовляют из котельной стали со штампованными днищами и лазом. Внутреннюю часть объема барабана, заполненную до определенного уровня водой, называют *водяным объемом*, а заполненную паром при работе котла — *паровым объемом*. Поверхность кипящей воды в барабане на границе водяного и парового объемов называется *зеркалом испарения*. В паровом котле горячими газами омывается только та часть барабана, которая с внутренней стороны охлаждается водой. Линия, отделяющая обогреваемую газами поверхность от необогреваемой, называется *огневой линией*.

Пароводяная смесь поступает по подъемным кипячительным трубам, ввальцованным в днище барабана. Из барабана вода по опускным трубам подается в нижние коллекторы.

На поверхности зеркала испарения возникают выбросы, при этом в пар может попасть значительное количество капелек котловой воды, что снижает качество пара в результате повышения его содесодержания. Капли котловой воды испаряются, а соли, содержащиеся в них, осаждаются на внутренней поверхности пароперегревателя, ухудшая теплообмен. В результате этого повышается температура стенок пароперегревателя, что может привести к их пережогу. Соли могут также откладываться в арматуре паропроводов и привести к нарушению ее плотности.

Для равномерного поступления пара в паровое пространство барабана и снижения его влажности служат сепарационные устройства. На рис. 2.2 показано сепарационное устройство с погружным дырчатым листом 7. Ввод 5 пароводяной смеси в барабан перекрывается глухим щитом 6, который гасит кинетическую энергию струй и направляет их под уровень воды в барабан. На 50...75 мм ниже уровня воды расположен погружной дырчатый лист 7, обеспечивающий равномерное поступление пара в паровое пространство. Питательная вода подается по трубопроводу через отверстия, имеющиеся в нем, по всей длине барабана.

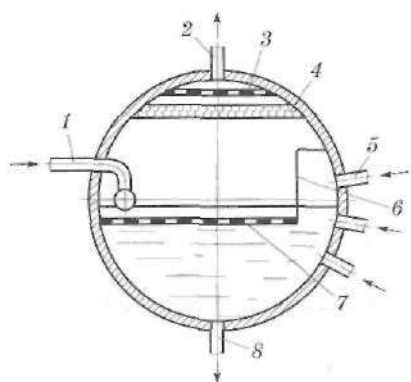


Рис. 2.2. Сепарационные устройства барабана:

1 — трубопровод для ввода питательной воды; 2 — пароводящая труба; 3 — дырчатый лист для осушки пара; 4 — жалюзийный сепаратор; 5 — ввод пароводящей смеси в барабан (поступление смеси показано стрелками); 6 — щит; 7 — погружной дырчатый лист; 8 — опускная труба

Пар попадает в паровое пространство, в котором из него под действием силы тяжести выпадают крупные капли воды, и далее пар поступает в жалюзийный сепаратор 4. При резких поворотах потока пара в жалюзийном сепараторе под действием сил инерции из пара выделяются капельки котловой воды. Последней ступенью осушки пара является дырчатый лист 3, после которого осушенный пар поступает в пароводящие трубы 2. Для вывода воды предусмотрены опускные трубы 8.

Для снижения возможности отложения накипи на испарительных поверхностях нагрева применяется внутрикотловая обработка воды: фосфатирование, щелочение, использование комплексонов. При **фосфатировании** в котловой воде создаются условия, при которых накипеобразователи выделяются в форме неприкипающего шлама. Для этого в барабан котла через специальный трубопровод вводят 6...8%-ный раствор ортофосфата натрия¹ Na_3PO_4 или триполифосфата пентанатрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$. При **щелочении** котловой воды накипеобразователи выпадают в виде шлама, состоящего из CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$. **Обработка** воды **комплексонами** может обеспечить безнакипный и бесшламовый режимы котловой воды. В качестве комплексона может быть использована натриевая соль — трилон Б.

Поддержание допустимого по нормам соледержания в котловой воде осуществляется **продувкой котла**, т. е. удалением из него некоторой части котловой воды, всегда имеющей более высокую концентрацию солей, чем питательная вода. Различают периодическую и непрерывную продувки. В котлах малой мощности обычно ограничиваются применением периодической продувки, в котлах средней и большой мощностей применяют непрерывную и периодическую продувки.

Периодическая продувка применяется для удаления шлама и проводится из нижних коллекторов и барабанов котлов, являющихся шламоотстойниками.

¹ Традиционное название — тринатрийфосфат.

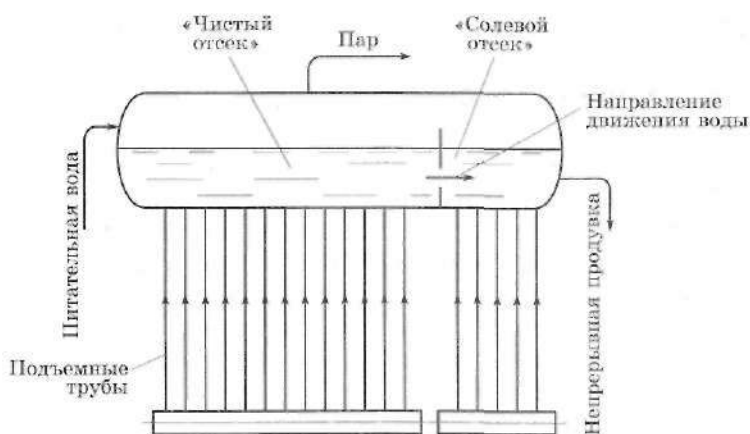


Рис. 2.3. Схема ступенчатого испарения воды

Непрерывная продувка предназначена для удаления избыточной щелочности и снижения соледержания котловой воды, и проводится из верхнего барабана. Для сокращения расхода воды на продувку, снижения тепловых потерь при обеспечении заданного качества пара в котлах используется метод ступенчатого испарения воды.

При проведении *ступенчатого испарения воды* барабан котла делят перегородкой на отсеки (рис. 2.3), имеющие самостоятельные контуры циркуляции. В так называемый «чистый отсек» поступает питательная вода. Вода этого отсека, проходя через контур циркуляции, испаряется, в результате чего соледержание котловой воды в «чистом отсеке» повышается. Поддержание соледержания в этом отсеке на определенном уровне достигается при перетекании котловой воды из «чистого отсека» через специальное отверстие-диффузор в нижней части перегородки в соседний так называемый «солевой отсек», из которого ведется непрерывная продувка воды. В «солевом отсеке» также имеется контур циркуляции, в котором испаряется вода. Пар обеих ступеней испарения смешивается в паровом пространстве и выходит из барабана через ряд труб, расположенных в его верхней части.

С повышением давления увеличивается способность пара растворять некоторые примеси котловой воды (кремниевая кислота, оксиды металлов). Для снижения содержания примесей в паре в котлах применяется промывка пара питательной водой. При этом содержание кремниевой кислоты в паре снижается в десятки раз. Для наблюдения за уровнем воды в барабане устанавливаются не менее двух водоуказательных приборов прямого действия. Для защиты барабана от превышения давления на нем устанавливаются два предохранительных клапана. Предохранительные клапаны выпускают излишний пар из барабана при превышении давления 10 % расчетного.

Получение перегретого пара из сухого насыщенного осуществляется в пароперегревателе. Пароперегреватель — один из наиболее ответственных элементов котельного агрегата, так как из всех поверхностей нагрева он находится в наиболее тяжелых температурных условиях. По способу теплообмена пароперегреватели подразделяются на конвективные, радиационно-конвективные и радиационные. В котельных агрегатах низкого и среднего давлений используются конвективные пароперегреватели с вертикальным или горизонтальным расположением труб.

В зависимости от направлений движения газов и пара возможны три основные схемы включения пароперегревателя в газовый поток: прямоточная (рис. 2.4, а) — ПГ и пар движутся в одном направлении; противоточная (рис. 2.4, б) — ПГ и пар движутся в противоположных направлениях; смешанная (рис. 2.4, в) — в одной части змеевиков пароперегревателя ПГ и пар движутся прямоточно, а в другой — противоточно.

В *прямоточной* схеме включения пароперегревателя в газовый поток наиболее высокая температура ПГ находится в области наиболее низкой температуры пара, что в принципе должно обеспечивать низкие температуры нагрева металла пароперегревателя. Однако при наличии капелек котловой воды, поступающих с насыщенным паром из сепарационных устройств барабана, соли, содержащиеся в этих каплях, будут осаждаться на первых рядах змеевиков, приводя к резкому повышению температуры нагрева металла. При такой схеме движения теплоносителей *температурный напор* (усредненная по поверхности разность температур греющей и нагреваемой сред) минимален и требуется увеличение поверхности пароперегревателя.

При *противоточной* схеме движения змеевики, обогреваемые ПГ с наиболее высокой температурой, встречают уже перегретый пар и охлаждаются

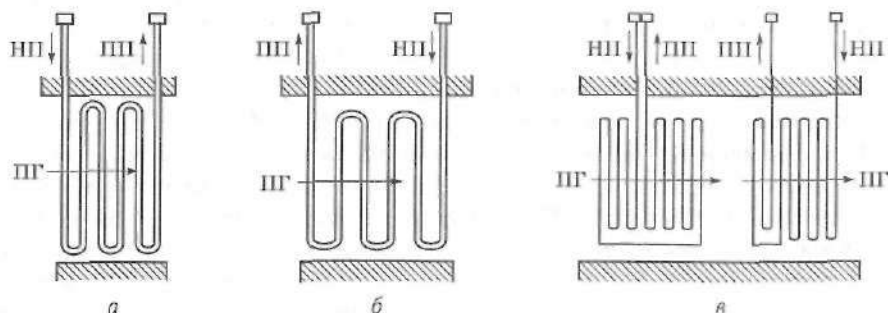


Рис. 2.4. Схемы включения пароперегревателей в газовый поток:

а — прямоточная; б — противоточная; в — смешанная; стрелками показано движение насыщенного пара (НП), перегретого пара (ПП) и продуктов горения (ПГ) топлива

при этом недостаточно. В результате металл змеевиков пароперегревателя работает в наиболее тяжелых температурных условиях. Вместе с тем, температурный напор в этой схеме максимальный и необходимая поверхность теплообмена минимальна, что делает пароперегреватели с такой схемой движения весьма компактными.

Оптимальной по условиям надежности работы является *смешанная схема* включения пароперегревателя, при которой первая по ходу пара часть па-

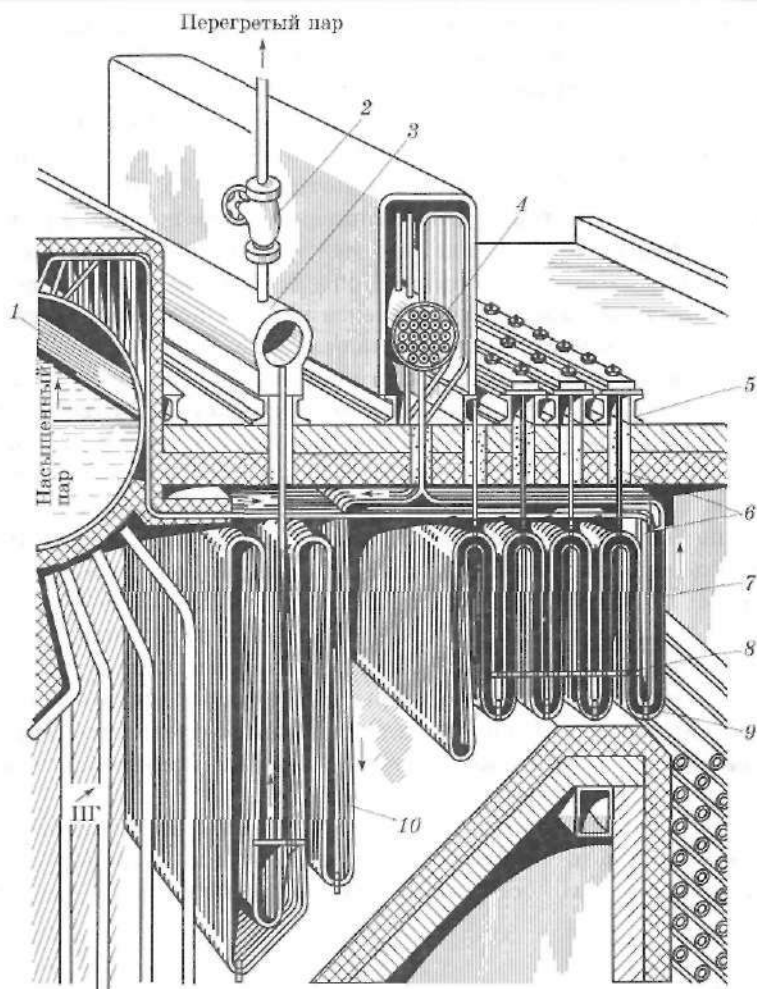


Рис. 2.5. Вертикальный конвективный пароперегреватель:

1 — барабан котла; 2 — главная паровая задвижка; 3 — выходной коллектор перегретого пара; 4 — промежуточный коллектор с поверхностным пароохладителем; 5 — балка для подвески змеевиков; 6 — подвески змеевиков; 7 — змеевики первой ступени пароперегревателя; 8 — дистанционная планка; 9 — дистанционная гребенка; 10 — змеевики второй ступени пароперегревателя, ПГ — продукты горения; стрелками показано движение пара

роперегревателя выполняется противоточной, а завершение перегрева пара происходит во второй его части при прямоточном движении теплоносителей. При этом в части змеевиков, расположенных в области наибольшей тепловой нагрузки пароперегревателя в начале газохода, будет умеренная температура пара, а завершение перегрева пара происходит при меньшей тепловой нагрузке.

Вертикальный конвективный пароперегреватель (рис. 2.5) обычно устанавливаются в горизонтальном соединительном газоходе между топкой и конвективной шахтой котла. Пароперегреватель изготавливается из труб с внутренним диаметром 20...30 мм, образующих змеевики, вальцованные или приваренные к коллекторам 3 и 4. Насыщенный пар из барабана 1 котла по потолочным трубам поступает в змеевики 7 первой ступени пароперегревателя. На этой ступени пар вначале движется противоточно, а затем прямоточно по отношению к ПГ. Из первой ступени частично перегретый пар направляется в промежуточный коллектор 4, в котором расположен поверхностный пароохладитель — регулятор перегрева пара. В змеевики регулятора перегрева пара подается питательная вода, а в межтрубное пространство — пар, который частично охлаждается, омывая более холодные трубы змеевиков. Регулирование перегрева пара осуществляется изменением количества питательной воды, пропускаемой через пароохладитель.

Далее частично охлажденный пар поступает в змеевики 10 второй ступени пароперегревателя. Здесь пар движется сначала противоточно, а затем прямоточно по отношению к ПГ. Перегретый пар из второй ступени пароперегревателя движется в выходной коллектор 3, на котором имеется главная паровая задвижка 2. Змеевики пароперегревателя с помощью подвесок 6 прикреплены к потолочным балкам 5. Заданное расстояние между отдельными змеевиками поддерживается с помощью дистанционных планок 8 и дистанционных гребенок 9.

В котлах с давлением пара до 2,4 МПа температуру пара не регулируют. В котлах с давлением пара 3,9 МПа и выше температуру пара регулируют разными способами, например, вырывают конденсат в пар; используют поверхностные пароохладители или с помощью газового регулирования изменяют расход ПГ через пароперегреватель, или перемещают положение факела в топке с помощью поворотных горелок.

Пароперегреватель должен быть оснащен манометром, предохранительным клапаном, запорным вентилям для отключения пароперегревателя от паровой магистрали, прибором для измерения температуры перегретого пара.

2.5 Водяные экономайзеры

В водяном экономайзере используется теплота горячих ПГ, образующихся при сжигании топлива, для предварительного подогрева или частичного

испарения питательной воды, поступающей в барабан котла. В зависимости от температуры подогрева воды различают экономайзеры некипящего и кипящего типов. В *экономайзерах некипящего типа* по условиям надежности их работы подогрев воды ведется до температуры на 20 °С ниже температуры насыщенного пара в паровом котле или температуры кипения воды при рабочем давлении в водогрейном котле. В *экономайзерах кипящего типа* наряду с подогревом воды происходит частичное (до 15 мас. %) ее испарение.

В зависимости от металла, из которого изготавливают экономайзеры, они бывают чугунные и стальные. *Чугунные экономайзеры* используют при давлении в барабане котла не более 2,4 МПа, а *стальные* могут применяться при лю-

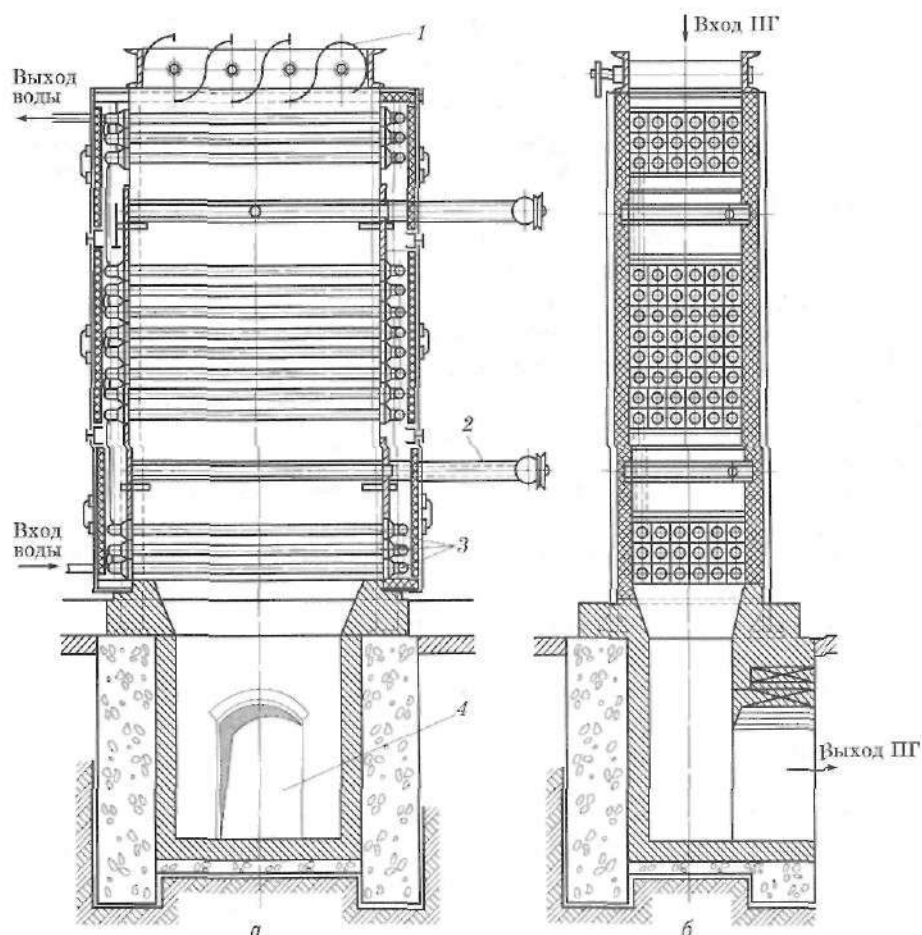


Рис. 2.6. Блочный одноколонковый чугунный водяной экономайзер некипящего типа:

а — продольный разрез; *б* — вид спереди; 1 — заслонки; 2 — обдувочное устройство; 3 — чугунные оребренные трубы; 4 — газозод; ПГ — продукты горения

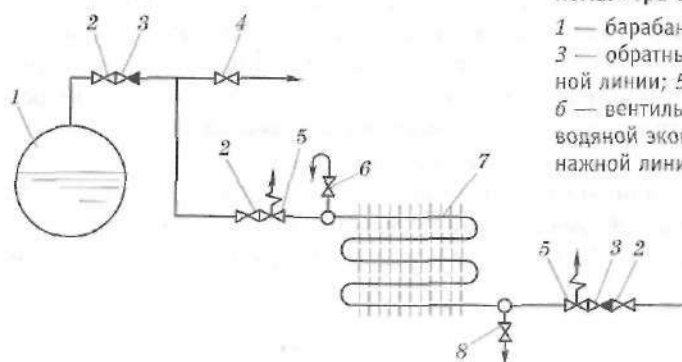


Рис. 2.7. Схема включения чугунного экономайзера с устройством сгонной линии:

1 — барабан котла; 2 — запорный вентиль; 3 — обратный клапан; 4 — вентиль на сгонной линии; 5 — предохранительный клапан; 6 — вентиль воздушника; 7 — чугунный водяной экономайзер; 8 — вентиль на дренажной линии

бых давлениях. Приведенный на рис. 2.6 блочный одноколонковый чугунный водяной экономайзер некипящего типа выполнен из чугунных оребренных труб 3, соединенных между собой посредством так называемых соединительных калачей. Питательная вода проходит по трубам снизу вверх, а ПГ — через зазоры между ребрами труб. В чугунных экономайзерах недопустим нагрев воды до кипения, так как чугун не выдержит возможные гидравлические удары и разрушится. Для очистки поверхности нагрева в водяных экономайзерах предусмотрены обдувочные устройства 2.

В соответствии с требованиями Ростехнадзора экономайзеры некипящего типа должны быть отключаемыми как по водяному тракту, так и по тракту ПГ, т. е. должны иметь обводные линии.

Устройство обводного газохода для отключения индивидуального водяного экономайзера по тракту ПГ необязательно при наличии сгонной линии, обеспечивающей возможность постоянного пропускания воды через экономайзер в деаэратор в случае повышения температуры после него. Сгонной линией пользуются при растопке котла. Схема включения чугунного экономайзера с устройством сгонной линии приведена на рис. 2.7.

На входе воды в экономайзер и выходе из него должны быть установлены два предохранительных клапана 5 и два запорных вентиля 2. Кроме того, необходим манометр, воздушник для удаления воздуха при заполнении системы водой (см. вентиль 6 воздушника), вентиль 8 на дренажной линии для слива воды из экономайзера, обратные клапаны 3.

Стальные экономайзеры (рис. 2.8, а) изготавливаются из труб $\varnothing 28...38$ мм в виде змеевиков 2, вальцованных или сваренных в коллекторы 1 и размещаемых за пределами газохода. Змеевики располагают в шахматном порядке и подвешивают с помощью подвесок или опирают на опорные балки 3. Для выдерживания заданного шага между змеевиками используются дистанционные гребенки 4.

Схема включения стального экономайзера кипящего типа приведена на рис. 2.8, б. Такие экономайзеры выполняются неотключаемыми по водяно-

му и дымовому трактам. Во избежание превращения всей воды, находящейся в экономайзере, в пар при растопке котла и его отключении предусмотрено устройство рециркуляционной линии, которая соединяет входной коллектор 9 экономайзера с барабаном 5 котла и обеспечивает движение воды в экономайзере в период растопки и в период останова, когда питательная вода

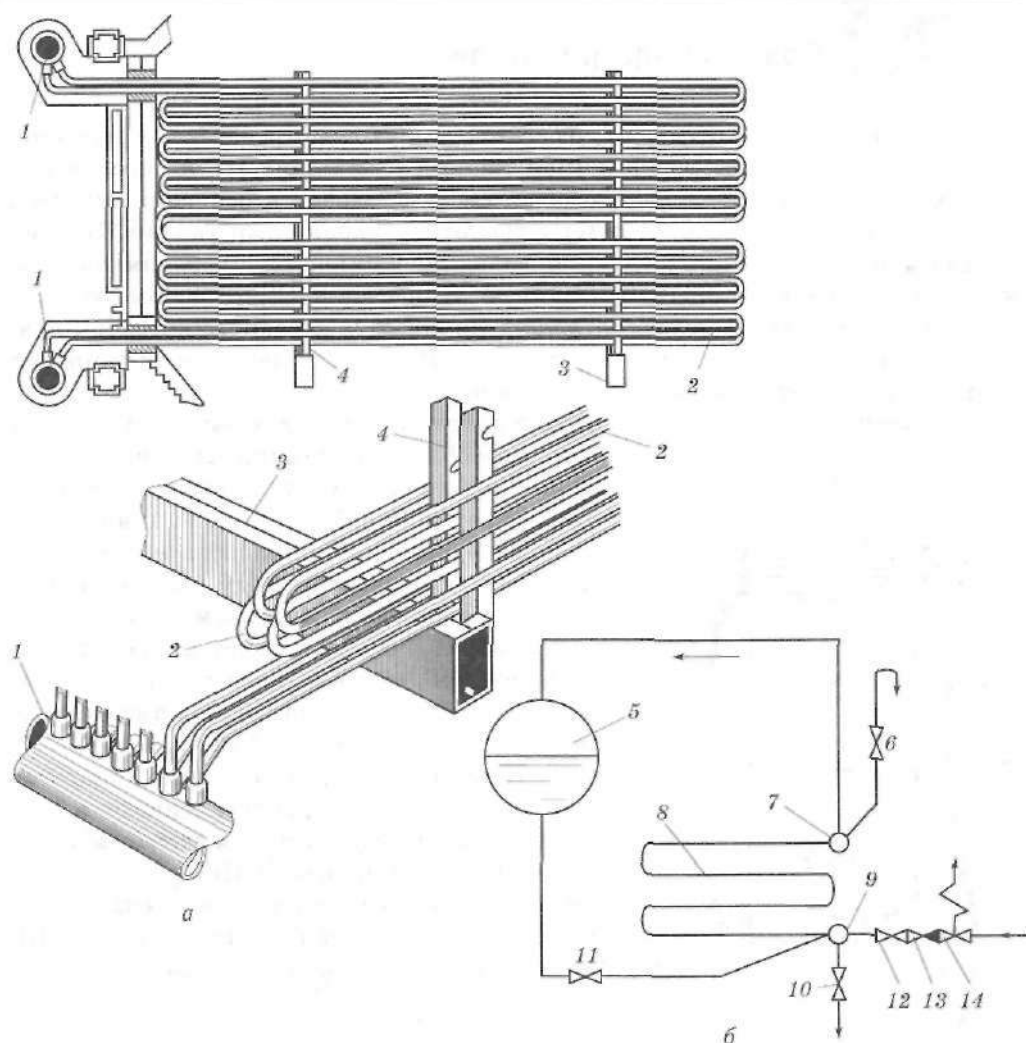


Рис. 2.8. Стальной трубчатый экономайзер:

a — общий вид; *б* — схема включения экономайзера кипящего типа; 1 — коллекторы; 2 — змеевик; 3 — опорная балка; 4 — дистанционная гребенка; 5 — барабан; 6 — вентиль воздушника; 7 — выходной коллектор подогретой воды; 8 — экономайзер; 9 — входной коллектор; 10 — вентиль на дренажной линии; 11 — вентиль на линии рециркуляции; 12 — запорный вентиль; 13 — обратный клапан; 14 — предохранительный клапан

в экономайзер не подается. На линии рециркуляции имеется вентиль 11, который открывается при растопке и отключении котла и закрывается при включении котла в паровую магистраль.

2.6 Воздухоподогреватели

В современных котельных агрегатах воздухоподогреватель играет весьма существенную роль, воспринимая теплоту отходящих ПГ и передавая ее воздуху. Благодаря воздухоподогревателю уменьшается основная заметная статья теплового баланса — потери теплоты с уходящими газами. При использовании подогретого воздуха повышается температура горения топлива, интенсифицируется процесс сжигания, повышается КПД котла. Вместе с тем при установке воздухоподогревателя увеличивается аэродинамическое сопротивление воздушного и дымового трактов. Для преодоления этих сопротивлений используют дымосос и вентилятор.

Температуру подогрева воздуха выбирают в зависимости от вида топлива и способа его сжигания. Для природного газа и мазута температура горячего воздуха составляет 200...250 °С. При наличии в котельном агрегате экономайзера и воздухоподогревателя первым по ходу газа устанавливается экономайзер, а вторым — воздухоподогреватель, что позволяет более глубоко охладить ПГ, так как температура холодного воздуха ниже температуры питательной воды на входе в экономайзер.

По принципу действия воздухоподогреватели разделяют на рекуперативные и регенеративные. В *рекуперативном воздухоподогревателе* передача теплоты от ПГ к воздуху происходит через металлическую стенку трубы (по одну сторону такой стенки движутся ПГ, а по другую — нагреваемый воздух).

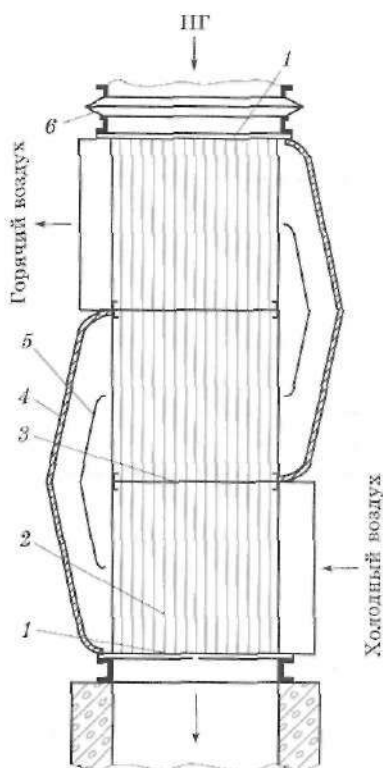


Рис. 2.9. Рекуперативный стальной трубчатый воздухоподогреватель:

1 — трубные доски; 2 — трубы; 3 — перегородка; 4 — кожух; 5 — направляющая лопатка; 6 — линзовый компенсатор; ПГ — продукты горения

В *регенеративном воздухоподогревателе* передача теплоты от ПГ к нагреваемому воздуху осуществляется при непосредственном контакте воздуха с поверхностью нагрева, которая перед этим контактировала с горячими ПГ, т.е. в регенераторе происходит попеременное нагревание и охлаждение одной и той же поверхности нагрева.

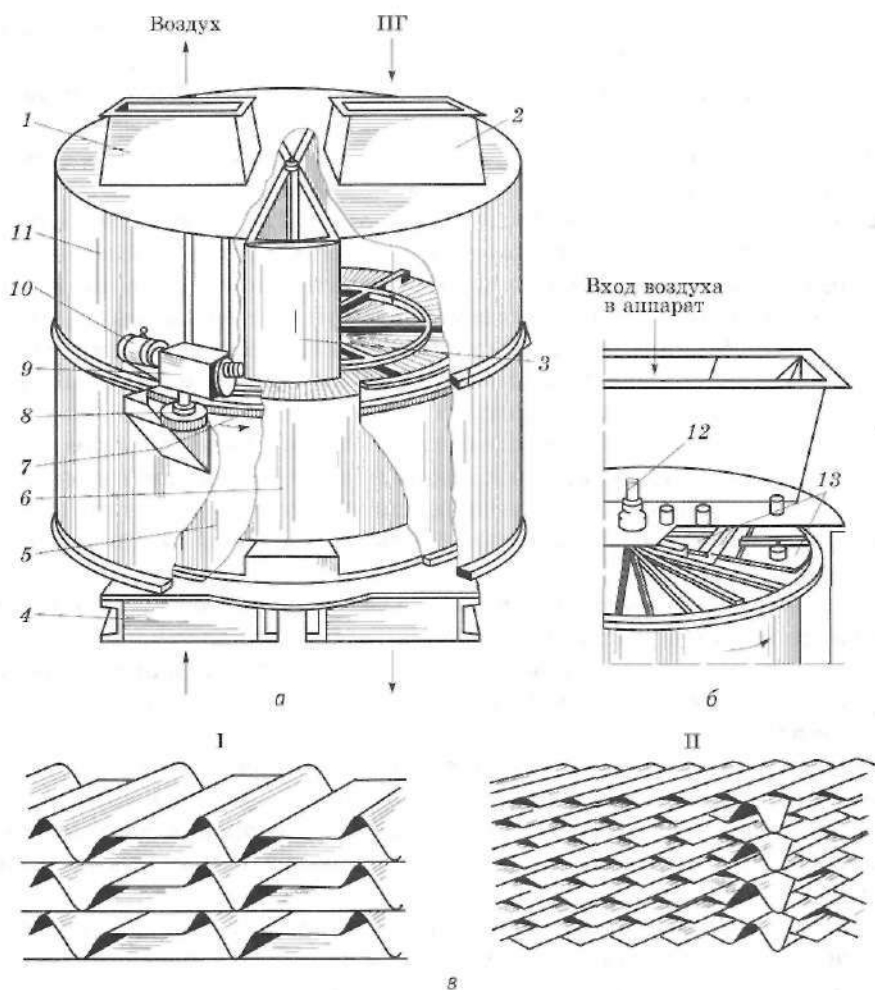


Рис. 2.10. Регенеративный воздухоподогреватель:

a — общий вид; *б* — схема размещения радиальных уплотнений; *в* — листовая набивка (I — гладкая; II — интенсифицированная); 1, 2 — воздушный и газовый патрубки; 3 — разделительная перегородка; 4 — опорная рама; 5 — ротор; 6 — набивка; 7, 8 — зубчатое колесо и шестерня; 9 — редуктор; 10 — электродвигатель; 11 — корпус; 12 — вал; 13 — уплотнительные плиты; ПГ — продукты горения

На рис. 2.9 приведен рекуперативный стальной трубчатый воздухоподогреватель, в котором к двум трубным доскам 1 толщиной 20...30 мм приварены стальные трубы с наружным диаметром 33...40 мм и толщиной стенки 1,2...1,5 мм. Продукты горения движутся внутри труб 2 сверху вниз, а воздух поперечным потоком обтекает расположенные в шахматном порядке трубы снаружи.

Воздухоподогреватель может быть разделен поперечными перегородками 3 по воздушной стороне на два, три, четыре и даже пять ходов. Снаружи секции заключены в кожух 4 из листового железа, покрытый тепловой изоляцией толщиной 60...70 мм. В воздушных перепускных коробах предусмотрены направляющие лопатки 5 для более равномерного обтекания воздухом труб воздухоподогревателя.

Для компенсации температурных удлинений труб и кожуха в воздухоподогревателе предусмотрен линзовый компенсатор 6.

Регенеративный воздухоподогреватель (рис. 2.10) имеет металлический корпус 11, внутри которого на валу 12 вращается ротор 5 с набивкой 6 из тонких (0,6...1,0 мм) стальных гофрированных и плоских листов, образующих каналы малого эквивалентного диаметра ($d_0 = 4...5$ мм) для прохода воздуха и ПГ. Набивка, служащая поверхностью теплообмена, заполняет пустотелый ротор, разделенный сплошными перегородками на изолированные один от другого секторы. На корпусе, опирающемся на раму 4, установлены воздушный 1 и газовый 2 патрубки соответственно для подвода воздуха и отвода ПГ, привод зубчатого колеса 7, включающий в себя шестерню 8, редуктор 9 и электродвигатель 10, а также разделительные перегородки 3, под которыми расположены уплотнительные плиты, обеспечивающие радиальное уплотнение.

Ротор медленно вращается в неподвижном корпусе (частота вращения 2...6 мин⁻¹), пластины ротора нагреваются газом при прохождении их под газовыми патрубками, а после поворота ротора, при прохождении горячих пластин ротора под воздушными патрубками, отдает теплоту проходящему холодному воздуху.

Регенеративные воздухоподогреватели более компактны, чем рекуперативные (трубчатые) воздухоподогреватели, имеют меньшую металлоемкость и сопротивление по сравнению с трубчатыми, их коррозия меньше сказывается на работе котла. Площадь поверхности нагрева 1 м³ набивки составляет 200...250 м².

В то же время из-за наличия вращающихся деталей в регенеративных воздухоподогревателях требуются установка сложных и ненадежных в работе уплотнений, приводящих к повышенному перетоку воздуха в газовую среду, постоянный контроль за охлаждением вала ротора и подшипников, усложнены условия эксплуатации из-за забивания золой межпластиночных зазоров, особенно при работе на высокозольных топливах. Вследствие коробления набивки подогрев воздуха в регенеративных подогревателях ограничен температурой 300 °С.

3.1 Паровой котел МЗК-7АГ

Вертикально-цилиндрический паровой котел МЗК-7АГ Московского завода котлоагрегатов — это котел с естественной циркуляцией. Котел состоит из верхнего 13 (рис. 3.1) и нижнего 10 кольцевых коллекторов, соединенных между собой вертикальными трубами 11, расположенными по концентрическим окружностям в шахматном порядке. Внутренний кольцевой ряд образует цилиндрическую топочную камеру. Шаг труб обеспечивает их крепление в трубных решетках вальцовкой или сваркой. Для обеспечения работы котла под наддувом при избыточном давлении 200 ... 500 Па (20 ... 50 кгс/м²) топочная камера 12 выполняется газоотстойной за счет применения плавниковых труб, сваренных между собой по плавникам.

Часть экранных труб, между которыми выходят ПГ, установлены более редко и не имеет плавников. Радиационная поверхность топки и последующие ряды труб, образующие конвективную поверхность, выполнены из труб с наружным диаметром 38 мм.

Верхний кольцевой коллектор 13 имеет съемную крышку 1, обеспечивающую доступ для осмотра, очистки и ремонта поверхностей нагрева и коллекторов. Нижний кольцевой коллектор образован нижней трубной решеткой и штампованным упорным кольцом. Питательная вода поступает в верхний кольцевой коллектор, опускается по менее обогреваемым конвективным трубам в нижний кольцевой коллектор, а по экранным трубам пароводяная смесь поступает в верхний коллектор, где происходит отделение пара от воды.

Отвод пара осуществляется из верхнего кольцевого коллектора через парозапорный вентиль, установленный на верхней крышке котла. Там же установлены два предохранительных клапана. На боковой поверхности верхнего кольцевого коллектора установлены два водоуказательных прибора и манометр. Продувка котла из нижней кольцевой камеры ведется через вентиль 9.

Котел снабжен питательным насосом и дутьевым вентилятором. Воздух для горения подается вентилятором через патрубок в воздушный кольцевой канал, образованный внутренней жаростойкой и наружной обшивками, являющимися одновременно и тепловой изоляцией котла. Нагретый воздух из кольцевого канала через воздухопровод и воздушный регистр 8 подается в горелку 3 котла. На воздушном регистре предусмотрена поворотная заслон-

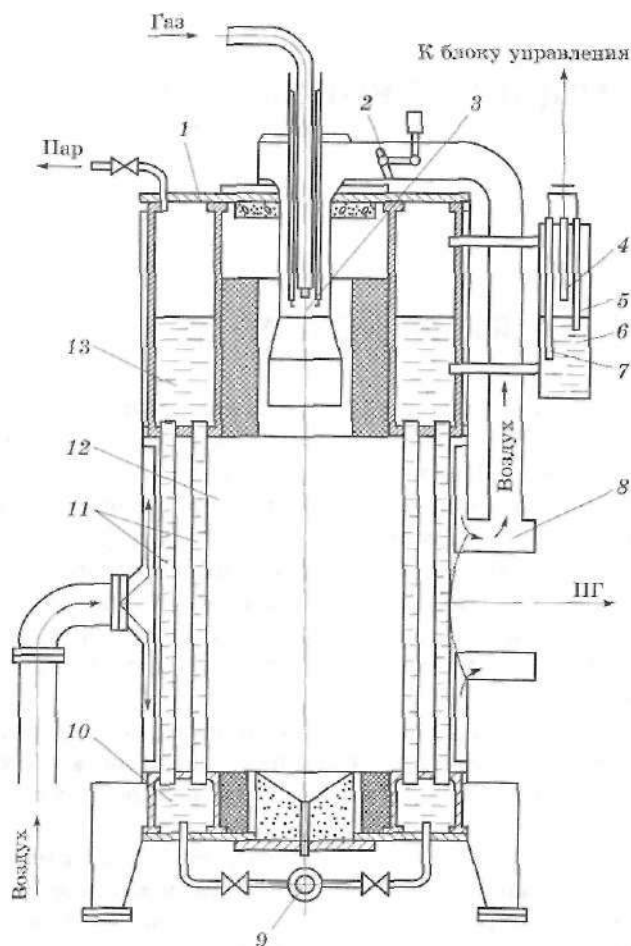


Рис. 3.1. Паровой котел МЗК-7АГ:

1 — крышка; 2 — поворотная заслонка; 3 — горелка; 4, 5, 7 — электроды соответственно верхнего, нижнего и аварийного уровней воды; 6 — уровнемерная колонка; 8 — воздушный регистр; 9 — вентиль продувки котла; 10, 13 — нижний и верхний кольцевые коллекторы; 11 — трубы; 12 — топочная камера; ПГ — продукты горения

ка, осуществляющая двухпозиционное регулирование подачи воздуха в зависимости от количества расходуемого топлива.

Короткофакельная смесительная газовая горелка состоит из центральной трубы, по которой подается газ, запального устройства и двух электродов. Продукты горения через два окна, образованные трубами, двумя потоками расходятся по газоходу кольцеобразной формы в противоположные стороны. Омывая на своем пути конвективные трубы, потоки соединяются на противоположной входу стороне и отводится в дымовую трубу.

3.2 Паровой котел серии Е-1-9

Вертикально-водотрубный паровой котел Е-1-9-Г (рис. 3.2) состоит из топки 8, топочных экранов, двух барабанов (верхнего 1 и нижнего 9) и котельного пучка 10 труб. Топка экранирована фронтальным 5, переходящим

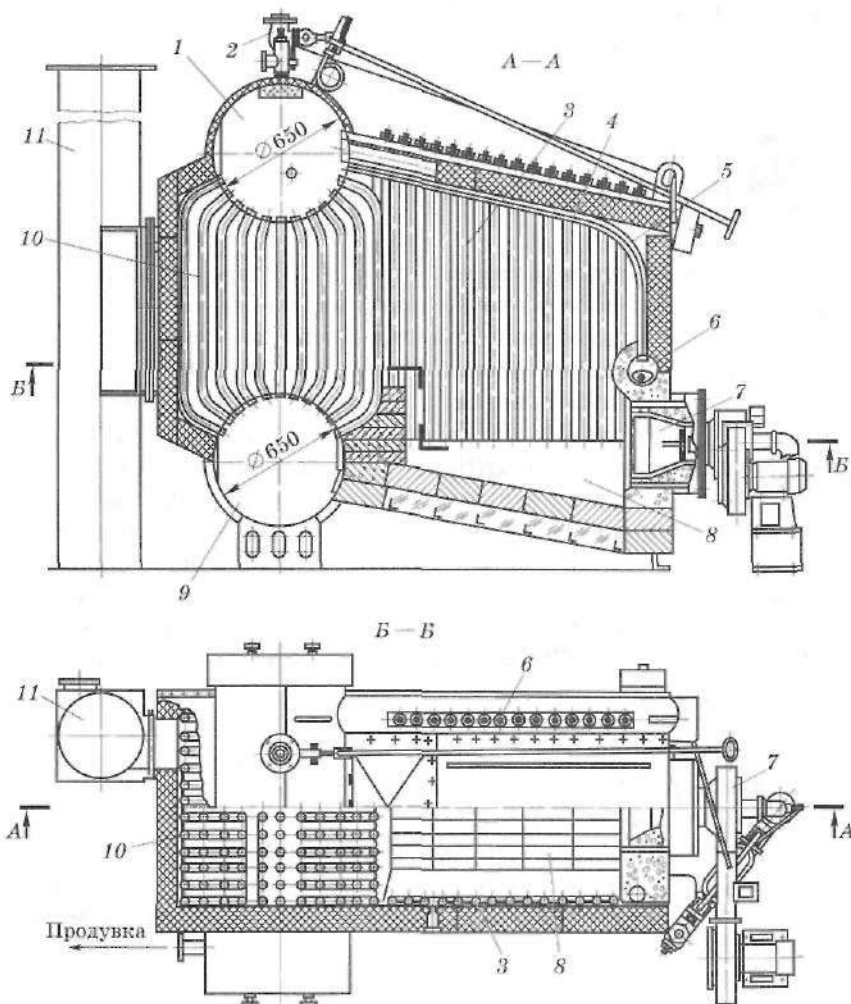


Рис. 3.2. Вертикально-водотрубный паровой котел Е-1-9-Г:

1, 9 — верхний и нижний барабаны; 2 — главный паровой вентиль; 3 — боковой экран; 4 — потолочный экран; 5 — фронтальный экран; 6 — коллектор; 7 — горелка; 8 — топка; 10 — котельный пучок труб; 11 — дымовая труба

в потолочный 4 экраном, а также боковыми экранами 3. Трубы экранов и котельного пучка имеют $\varnothing 51 \times 2,5$ мм и включены в контуры циркуляции с помощью фронтального и четырех боковых коллекторов 6, сваренных в барабаны.

Горелка 7 расположена в нижней части фронтальной стены. Продукты горения проходят топку, поступают в котельный пучок труб, разделенный металлической перегородкой, что обеспечивает необходимую скорость газового потока, и через газоход в верхней части задней стены направляются в дымовую трубу 11. Продувка котла осуществляется из нижнего барабана. Котел имеет КПД 86 %.

3.3 Паровые котлы типа ДКВР

Вертикально-водотрубные котлы типа ДКВР предназначены для выработки насыщенного и перегретого пара с температурой 250; 370 и 440 °С, имеют несколько типоразмеров с рабочим давлением пара 1,4; 2,4; 3,9 МПа и номинальной производительностью 2,5; 4; 6,5; 10; 20; 35 т/ч. Котлы типа ДКВР являются унифицированными, они представляют собой двухбарабанные вертикально-водотрубные котлы с естественной циркуляцией. По длине верхнего барабана котлы типа ДКВР имеют две модификации — с длинным барабаном и укороченным. У котлов паропроизводительностью 2,5; 4; 6,5 и 10 т/ч раннего выпуска верхний барабан значительно длиннее нижнего. У котлов паропроизводительностью 10 т/ч последней модификации и большей мощности верхний барабан значительно укорочен. Котлы типа ДКВР комплектуются топочными устройствами, соответствующими тому или иному виду топлива. Котлы ДКВР-2,5-13; -4-13 и -6,5-13 имеют одинаковое конструктивное оформление.

На рис. 3.3 приведен котел ДКВР-6,5-13, который имеет два барабана, изготовленные из стали 16ГС — верхний 2 и нижний 13, одинакового внутреннего диаметра 1 000 мм. Нижний барабан укорочен на размер топки. Котел имеет экранированную топку 1 и развитый кипяtilьный пучок 10 труб. Топочные экраны и трубы кипяtilьного пучка выполнены из труб $\varnothing 51 \times 2,5$ мм. Топочная камера разделена кирпичной стенкой 15 на собственно топку 1 и камеру дожигаания 8, устраняющую опасность затягивания пламени в пучок кипяtilьных труб, а также снижающую потери от химической неполноты сгорания.

Ход движения ПГ топлива в котле ДКВР-6,5-13, как и в других котлах этого типа, схематично показан на рис. 3.4, а. Продукты горения из топки выходят через окно, расположенное в правом углу стенки топки, и поступают в камеру дожигаания. С помощью двух перегородок 9 (см. рис. 3.3) — шамотной (первая по ходу ПГ) и чугунной — внутри котла созданы два газохода,

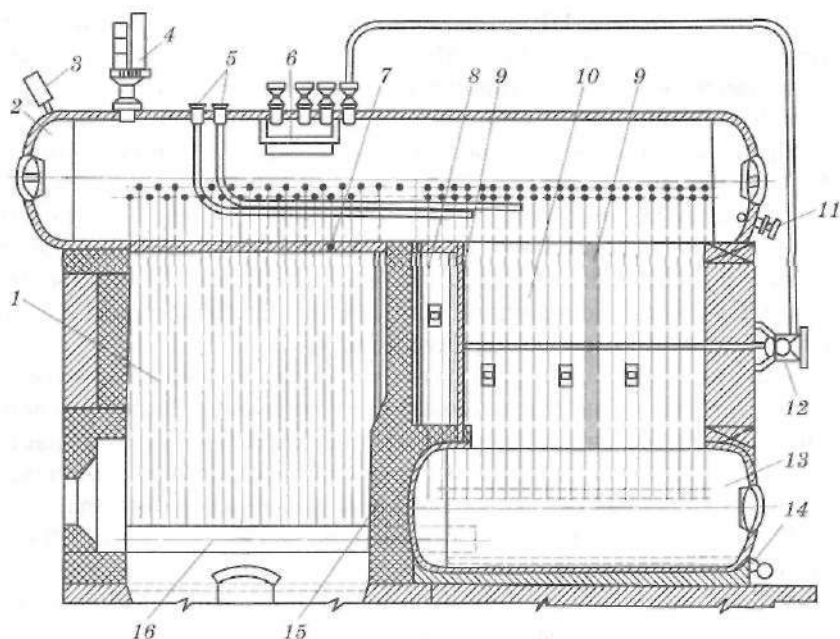


Рис. 3.3. Паровой котел ДКВР-6,5-13:

1 — толка; 2 — верхний барабан; 3 — манометр; 4 — предохранительный клапан; 5 — питательные трубопроводы; 6 — сепарационное устройство; 7 — легкоплавкая пробка; 8 — камера дожига; 9 — перегородка; 10 — кипятильный пучок труб; 11 — трубопровод непрерывной продувки; 12 — обдувочное устройство; 13 — нижний барабан; 14 — трубопровод периодической продувки; 15 — кирпичная стенка; 16 — коллектор

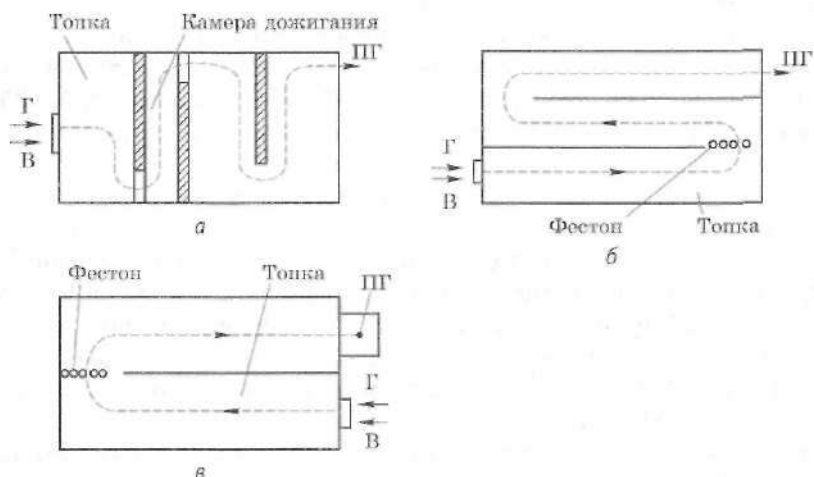


Рис. 3.4. Схема движения продуктов горения в котлах ДКВР-6,5-13 (а), ДЕ-4, -6,5, -10 (б) и ДЕ-16, -25 (в):

Г — газ; В — воздух; ПГ — продукты горения

по которым могут пройти ПГ, поперечно омывающие трубы конвективного пучка. После камеры дожигания ПГ выходят из котла через специальное окно, расположенное с левой стороны в задней стенке котла.

Верхний барабан в передней части соединен с двумя коллекторами 16 трубами, образующими два боковых точечных экрана. Одним концом экранные трубы ввальцованы в верхний барабан, а другим приварены к коллекторам $\varnothing 108 \times 4$ мм. В задней части верхний барабан соединен с нижним барабаном пучком кипяtilьных труб, которые образуют развитую конвективную поверхность нагрева. Расположение труб коридорное с одинаковым шагом 110 мм в продольном и поперечном направлениях. Коллекторы соединены с нижним барабаном с помощью перепускных труб.

Питательная вода подается в котел по двум перфорированным (с боковыми отверстиями) трубам (питательные трубопроводы 5) под уровень воды в верхний барабан. По опускным трубам вода из барабана поступает в коллекторы 16, а по боковым экранным трубам пароводяная смесь поднимается в верхний барабан, образуя, таким образом, два контура естественной циркуляции. Третий контур циркуляции образуют верхний и нижний барабаны котла и кипяtilьный пучок.

Опускными трубами этого контура являются трубы наименее обогреваемых последних рядов по ходу ПГ кипяtilьного пучка.

Вода по опускным трубам поступает из верхнего барабана в нижний, а пароводяная смесь по остальным трубам котельного пучка, имеющим повышенную тепловую нагрузку, поднимается в верхний барабан. В верхнем барабане котла происходит разделение пароводяной смеси на пар и воду. Для снижения соледержания и влажности пара в верхнем барабане установлено сепарационное устройство 6 из жалюзи и дырчатого листа, улавливающее капельки уносимой с паром котловой воды.

При необходимости производства перегретого пара пароперегреватель устанавливают после второго или третьего ряда труб кипяtilьного пучка, заменяя часть его труб. Для давления 1,4 МПа и перегрева 225... 250 °С пароперегреватель выполняют в виде одной вертикальной петли, а для давления 2,4 МПа — в виде нескольких петель из труб $\varnothing 32 \times 3$ мм.

В нижней части верхнего барабана имеются трубопровод 11, через который осуществляется непрерывная продувка котла с целью снижения соледержания котловой воды и поддержания его на заданном уровне, а также две контрольные легкоплавкие пробки 7, сигнализирующие об упуске воды.

Нижний барабан является пламоотстойником; из него по перфорированной трубе ведется периодическая продувка котла (см. трубопровод 14 периодической продувки). Кроме того, в нижнем барабане имеется линия для слива воды и устройство для подогрева паром в период растопки котла.

На верхнем барабане установлены два водоказательных стекла, манометр 3, предохранительные клапаны 4, имеется патрубок для отбора пара на собственные нужды, парозапорный вентиль. Для защиты обмуровки и газопроводов от разрушения при взрывах котла в верхних частях точки и кипяtilьного пучка расположены взрывные предохранительные клапаны.

Для очистки паружных поверхностей труб от загрязнений котел оборудуют обдувочным устройством 12 — вращающейся трубой с соплами. Обдувка проводится паром. Котел не имеет несущего каркаса. Трубнобарабанная система его размещается на опорной раме.

Паровые котлы производительностью 10; 20; 30 т/ч имеют рабочее давление 1,4; 2,4 и 3,9 МПа и выполняются как с пароперегревателем, так и без него. Обмуровка котлов типа ДКВР выполняется из шамотного и обыкновенного кирпича или облегченная из термоизоляционных плит.

Все котлы типа ДКВР работают на химически очищенной и деаэрированной воде. Коэффициент полезного действия этих котлов при сжигании газа и мазута 90 %.

3.4 Паровые котлы типа ДЕ

Вертикально-водотрубные котлы типа ДЕ (Д-образные с естественной циркуляцией) предназначены для выработки насыщенного и перегретого пара с температурой 225 °С. Имеются типоразмеры котлов типа ДЕ с рабочим давлением пара 1,4 МПа и номинальной производительностью 4; 6,5; 10; 16 и 25 т/ч. Котлы предназначены для сжигания газа и мазута. Характерной конструктивной особенностью котлов типа ДЕ (рис. 3.5) является расположение топки 9 сбоку от конвективного пучка 11, что предотвращает обогрев верхнего барабана 1 и значительно уменьшает площадь ограждающих поверхностей.

Топка 9 котла полностью экранирована и отделена от конвективного пучка газоплотной перегородкой 7, выполненной, как и все тепловоспринимающие поверхности котла, из труб $\varnothing 51 \times 2,5$ мм. В задней части перегородки имеется окно (фестон) для прохода ПГ в конвективный пучок, который образован коридорно расположенными вертикальными трубами. Трубы правого экрана 8, покрывающего также пол и потолок топки, а также левого бокового экрана (газоплотная перегородка 7 и фестон) и конвективного пучка ввальцованы непосредственно в верхний 1 и нижний 10 барабаны.

Трубы заднего экрана крепятся сваркой к нижнему и верхнему коллекторам $\varnothing 159 \times 6$ мм. Фронтальный экран котлов ДЕ-4; -6,5; -10 аналогичен заднему и отличается лишь отсутствием части труб в середине (для размещения амбразуры горелки 6 и лаза, совмещенного со взрывным клапаном).

На фронтальной стене котлов типа ДЕ установлено по одной газомазутной горелке.

Движение ПГ в котлах типа ДЕ схематично показано на рис. 3.4, б, в.

Котлы производительностью 4; 6,5 и 10 т/ч не имеют ступенчатой системы испарения в отличие от котлов производительностью 16 и 25 т/ч, в которых используется ступенчатая система испарения с внутривалабанным

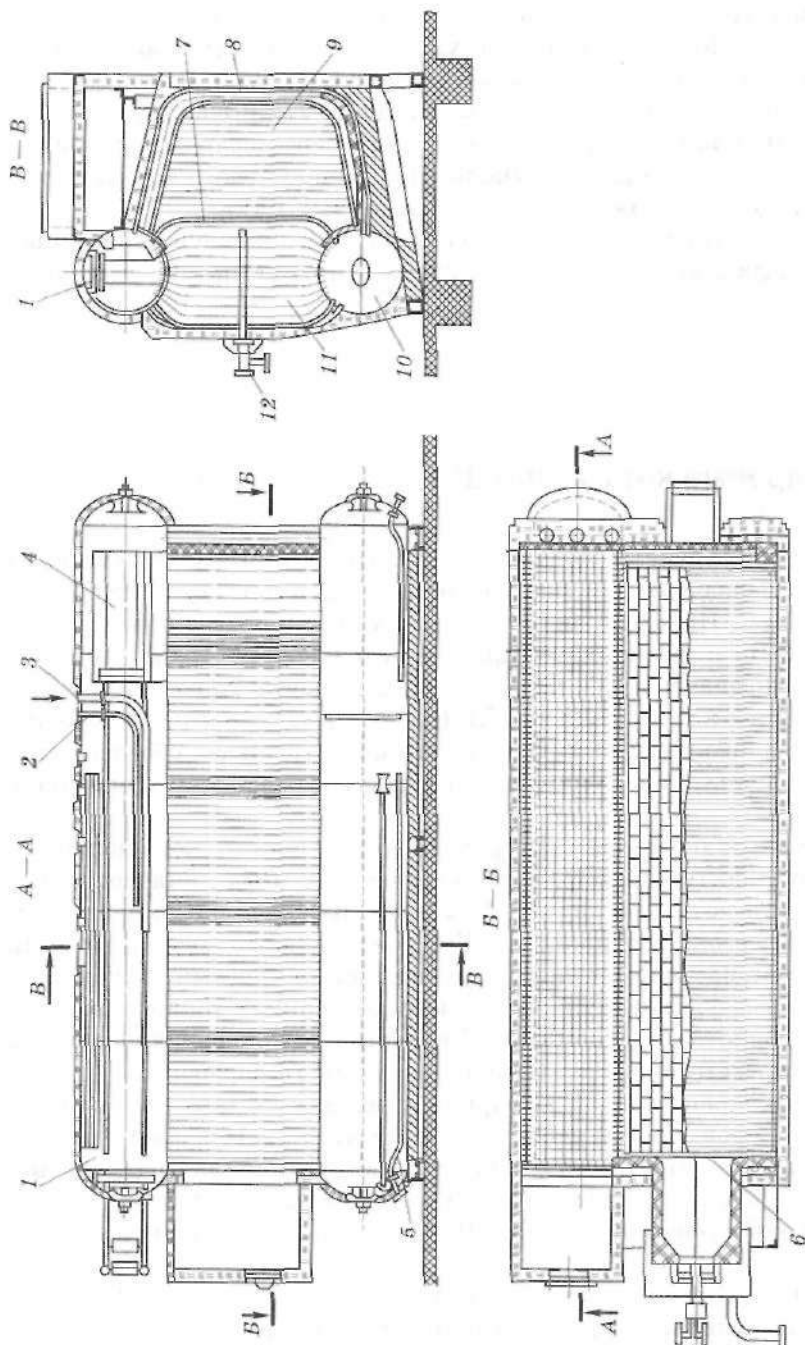


Рис. 3.5. Паровой котел типа ДЕ:

1, 10 — верхний и нижний барабаны; 2 — трубопровод для фосфатирования; 3 — трубопровод для подвода питательной воды; 4 — солевой отсек барабана; 5 — трубопровод для продувки; 6 — горелка; 7 — газоплотная перегородка; 8 — правый экран; 9 — толка; 11 — конвективный пучок; 12 — обдувочное устройство

солевым отсеком 4 (см. рис. 3.5). Во вторую ступень испарения выделены первые по ходу ПГ ряды труб конвективного пучка. Опускная система контура солевого отсека состоит из необогреваемых труб $\varnothing 159 \times 4,5$ мм (две трубы у котла паропроизводительностью 16 т/ч и три трубы у котла паропроизводительностью 25 т/ч). Опускная система первой ступени испарения состоит из последних по ходу ПГ труб конвективного пучка.

В качестве сепарационных устройств первой ступени испарения используют установленные в верхнем барабане щитки и козырьки, направляющие пароводяную смесь из экранных труб на уровень воды. Для выравнивания скоростей пара по всей длине барабан котла снабжают дырчатым пароприемным потолком. На всех котлах, кроме котла 4 т/ч, перед пароприемным потолком устанавливается горизонтальный жалюзийный сепаратор. Питательная вода поступает в водяное пространство барабана по трубопроводу 3. Для осуществления внутрикотловой обработки воды по трубопроводу 2 для фосфатирования в верхний барабан вводится водный раствор Na_3PO_4 , который, вступая в химическую реакцию с растворенными в котловой воде солями, переводит их в нерастворимое состояние. Образующийся осадок в виде шлама по опускающим трубам поступает в нижний барабан.

В нижнем барабане расположены перфорированные трубы, через которые для котлов паропроизводительностью 4...10 т/ч осуществляется вся продувка котла (см. трубопровод 5 для продувки). На котлах паропроизводительностью 16...25 т/ч через эти трубы осуществляется только периодическая продувка котла, непрерывная продувка ведется из солевого отсека верхнего барабана.

Для контроля за работой котла в верхнем барабане размещаются котловой манометр, два водоуказательных стекла. Кроме того, на верхнем барабане установлены два предохранительных клапана, главный парозапорный вентиль, трубопроводы отбора пара на собственные нужды. Котлы оснащены обдувочными аппаратами для очистки поверхностей нагрева от загрязнений. Обмуровка боковых стен котла выполнена натрубной и состоит из шамотобетона, нанесенного на сетку, и изоляционных плит. Для уменьшения подсосов в газовый тракт котла снаружи натрубная обмуровка покрывается металлической обшивкой, которая приваривается к обвязочному каркасу. Хвостовыми поверхностями нагрева котла являются отдельно стоящие стандартные чугунные экономайзеры. В зависимости от паропроизводительности КПД котла изменяется в пределах 90,3...92,8% при работе на газовом топливе и 88,7...91,4% при работе на мазуте.

Промышленность выпускает широкий ассортимент унифицированных по конструкции водогрейных котлов. Их характеризуют по теплопроизводительности, температуре и давлению воды, а также по роду металла, из которого они изготовлены.

Чугунные водогрейные котлы выпускаются на теплопроизводительность 1,16...1,74 МВт (1...1,5 Гкал/ч), давление 0,7 МПа и температуру горячей воды до 115 °С. Стальные водогрейные котлы изготавливаются в соответствии с шкалой теплопроизводительности на 4,7; 7,6; 11,7; 23,4; 35; 58,5; 117 и 210,6 МВт (4; 6,5; 10; 20; 30; 50; 100; 180 Гкал/ч).

Водогрейные котлы теплопроизводительностью до 35 МВт (30 Гкал/ч) обычно обеспечивают работу только в основном режиме с подогревом воды до 150 °С при давлении воды на входе в котел 1,6 МПа. Для котлов мощностью выше 35 МВт (30 Гкал/ч) предусматривается возможность работы как в основном, так и в пиковых режимах с подогревом воды до 200 °С при максимальном давлении ее на входе в котел 2,5 МПа.

4.1

Водогрейные котлы типа ТВГ

Котлы типа ТВГ — это теплофикационные водогрейные котлы, они выпускаются теплопроизводительностью 4,7 и 9,4 МВт (4 и 8 Гкал/ч), являются секционными сварными котлами, предназначенными для работы на газе с нагревом воды не выше 150 °С. На рис. 4.1 приведен теплофикационный водогрейный котел ТВГ-8. Радиационная поверхность 12 топки и конвективная поверхность 11 нагрева состоят из отдельных секций, выполненных из труб $\varnothing 51 \times 2,5$ мм.

Трубы в секциях конвективной поверхности расположены горизонтально, а в секциях радиационной поверхности — вертикально.

Радиационная поверхность состоит из фронтально-потолочного экрана и пяти секций экранов, три из которых двойного облучения (двухсветные экраны 14).

Котел оборудован подовыми горелками 15, которые размещены между секциями радиационной поверхности. Воздух от вентилятора поступает в воздушный канал 13, откуда подается в подподовые каналы 16, соединенные

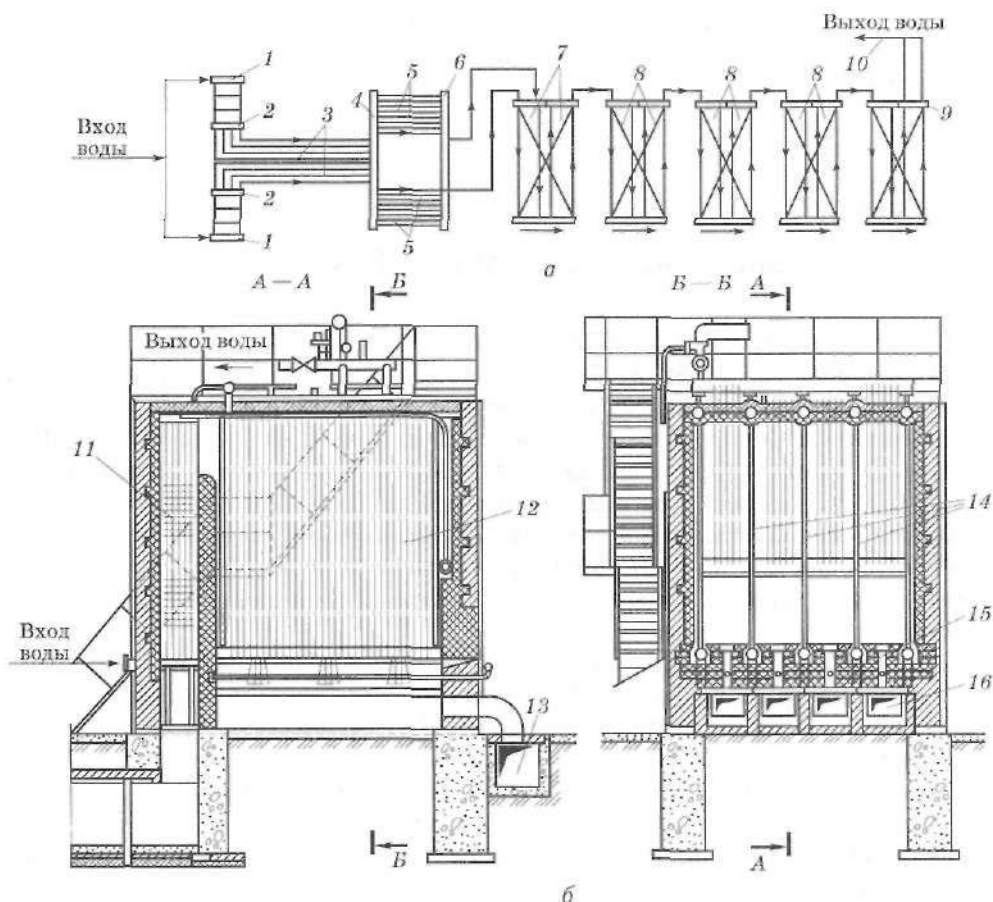


Рис. 4.1. Водогрейный котел ТВГ-8:

a — схема циркуляции воды; *б* — устройство котла; 1, 2 — нижние и верхние коллекторы конвективной поверхности; 3, 5 — потолочно-фронтальные трубы; 4, 6 — нижний и верхний коллекторы потолочного экрана; 7 — левый боковой экран; 8, 14 — двухсветные экраны; 9 — правый боковой экран; 10 — выход воды в теплосеть; 11 — конвективная поверхность нагрева; 12 — радиационная поверхность топки; 13 — воздушный канал; 15 — горелки; 16 — подподовые каналы

с горелками. Продукты горения топлива движутся вдоль труб радиационной поверхности, проходят через окно в задней части топки и поступают в опускную шахту, омывая конвективную поверхность поперечным потоком.

Вода для подогрева поступает в два нижних коллектора 1 конвективной поверхности. Пройдя последнюю, вода собирается в верхних коллекторах конвективной поверхности 2 и далее по нескольким потолочно-фронтальным трубам 3 направляется в нижний коллектор 4 потолочного экрана, откуда по потолочно-фронтальным трубам 5 поступает в верхний коллектор 6 этого экрана. После этого вода последовательно проходит экраны: левый боковой 7,

три двухсветных 14 и правый боковой 9. Нагретая вода через коллектор правого бокового экрана попадает через выход 10 в теплосеть. Котлы типа ТВГ имеют КПД 91,5 %.

4.2

Водогрейные котлы типа ПТВМ

Водогрейные котлы типа ПТВМ выпускаются средней и большой теплопроизводительности 35; 58 и 116 МВт (30, 50 и 100 Гкал/ч), работают на газообразном и жидком топливах. Эти котлы бывают с П-образной компоновкой и башенной конструкцией. Давление воды на входе в котел 2,5 МПа (25 кгс/см²). Температура воды на входе в котел в основном режиме 70 °С, в пиковом 104 °С. Температура воды на выходе из котла 150 °С.

Пиковый теплофикационный водогрейный газомазутный котел ПТВМ-30 теплопроизводительностью 35 МВт (30 Гкал/ч) имеет П-образную компоновку, в которой топка 5 (рис. 4.2) и конвективная шахта 2 соединены поворотной камерой 6.

Все стены топки котла, а также задняя стена и потолок конвективной шахты экранированы трубами $\varnothing 60 \times 3$ мм с шагом $S = 64$ мм. Боковые стены конвективной шахты закрыты трубами $\varnothing 84 \times 4$ мм с шагом $S = 128$ мм.

Конвективная поверхность нагрева котла, выполненная из труб $\varnothing 28 \times 3$ мм, состоит из двух пакетов. Змеевики конвективной части собраны в ленты по шесть-семь штук, которые присоединены к вертикальным стойкам.

Котел оборудован шестью газомазутными горелками 4, установленными по три встречно на каждой боковой стене топки. Диапазон регулирования нагрузки котлов составляет 30...100 % номинальной производительности. Регулирование производительности осуществляется путем изменения числа работающих горелок. Для очистки внешних поверхностей нагрева предусмотрено дробеочистительное устройство 1. Дробь поднимается в верхний бункер с помощью пневмотранспорта от специальной воздуходувки. Тяга в котле обеспечивается дымососом, а подача воздуха — двумя вентиляторами.

Трубная система котла опирается на рамку каркаса. Облегченная обмуровка котла общей толщиной 110 мм крепится непосредственно к экранным трубам. Водогрейный котел ПТВМ-30 имеет КПД 91 % при работе на газе и 88 % при работе на мазуте.

Водогрейные котлы ПТВМ-50 и -100 (рис. 4.3) имеют башенную компоновку и выполнены в виде прямоугольной шахты, в нижней части которой находится экранированная топка 3. Экранная поверхность, изготовленная из труб $\varnothing 60 \times 3$ мм, состоит из двух боковых, фронтального и заднего экранов. Сверху (над топкой) размещена конвективная поверхность нагрева 2, выполненная в виде змеевиковых пакетов из труб $\varnothing 28 \times 3$ мм. Трубы змеевиков приварены к вертикальным коллекторам.

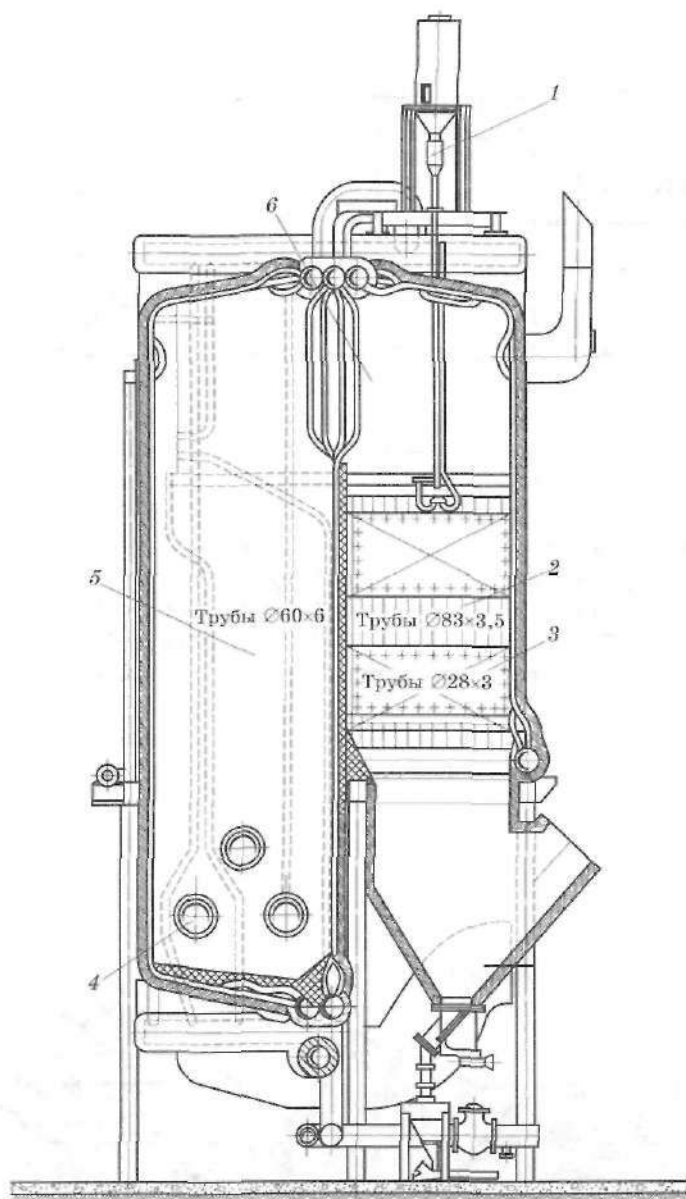


Рис. 4.2. Пиковый теплофикационный водогрейный котел ПТВМ-30 (КВГМ-30-150М):

1 — дробеочистительное устройство; 2 — конвективная шахта; 3 — конвективная поверхность нагрева; 4 — газомазутная горелка; 5 — топка; 6 — поворотная камера

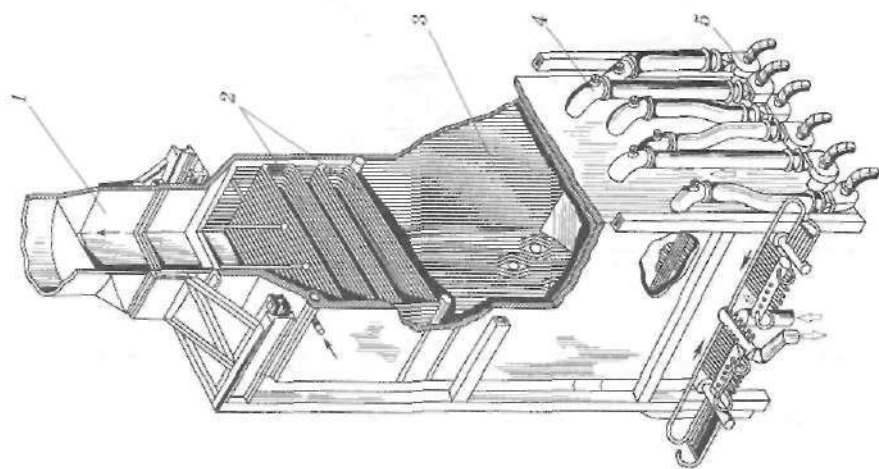


Рис. 4.3. Водогрейные котлы ПТВМ-50 и -100:

1 — дымовая труба; 2 — конвективные поверхности нагрева; 3 — толка; 4 — газомазутная горелка; 5 — вентилятор; — ПГ; — движение воды

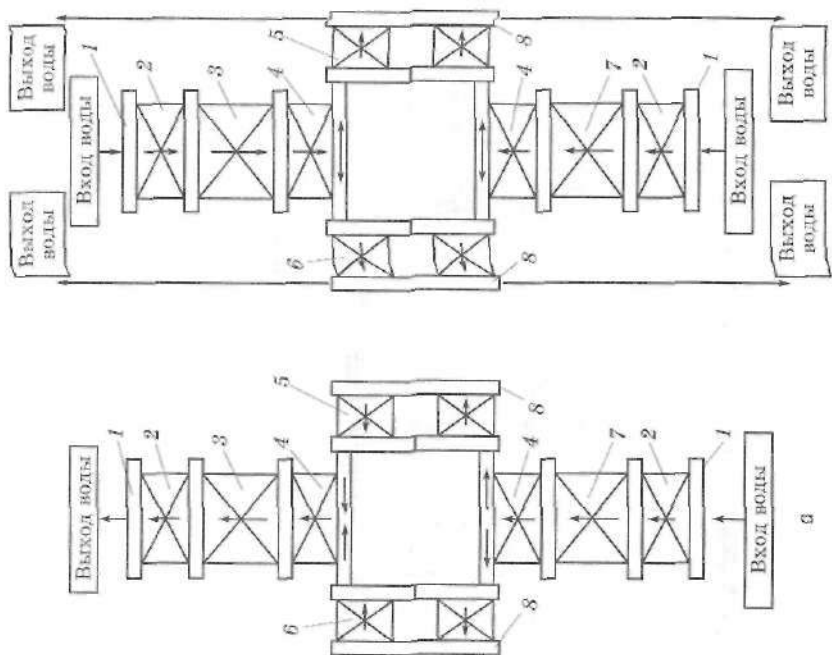


Рис. 4.4. Схема движения воды в водогрейном котле ПТВМ-50:

а — основной режим; б — пиковый режим; 1 — подводящие и отводящие коллекторы; 2 — соединительные трубы; 3 — фронтальный экран; 4 — конвективный пучок труб; 5, 6 — левый и правый боковые экраны; 7 — задний экран; 8 — коллекторы контуров

Топка котла ПТВМ-50 оборудована двенадцатью газомазутными горелками 4 с индивидуальными дутьевыми вентиляторами. Горелки расположены на боковых стенах (по шесть штук на каждой стороне) в два яруса по высоте. Котел ПТВМ-100 имеет шестнадцать газомазутных горелок с индивидуальными вентиляторами. Над каждым котлом установлена опирающаяся на каркас дымовая труба 1, которая обеспечивает естественную тягу. Котлы устанавливаются полуоткрыто, поэтому в помещении размещается лишь нижняя часть (горелки, арматура, вентиляторы и т. д.), а все остальные элементы котла расположены на открытом воздухе.

Циркуляция воды в котле обеспечивается насосами. Расход воды зависит от режима работы котла. В котле ПТВМ-50 при работе в зимний период (основной режим) применяется четырехходовая схема циркуляции воды (рис. 4.4, а), а в летний (пиковый режим) — двухходовая (рис. 4.4, б).

При четырехходовой схеме циркуляции вода из теплосети подводится в один нижний коллектор и последовательно проходит через все элементы поверхности нагрева котла, совершая подъемно-опускные движения, после чего также через нижний коллектор отводится в тепловую сеть. При двухходовой схеме вода поступает одновременно в два нижних коллектора и, перемещаясь по поверхности нагрева (как показано стрелками на рис. 4.4, б), нагревается, после чего направляется в тепловую сеть.

При двухходовой схеме циркуляции через котел пропускается почти в 2 раза больше воды, чем при четырехходовой в зимний период. Это объясняется тем, что при этом режиме работы котла нагревается большее количество воды, чем в зимний период, и она поступает в котел с более высокой температурой (110 вместо 70 °С).

4.3 Водогрейные котлы типа КВ-ГМ

Стальные прямоточные котлы типа КВ-ГМ конструктивно подразделяются на четыре унифицированных варианта в зависимости от теплопроизводительности: 4,7 и 7,6; 1,7, 23,2 и 35; 58,5 и 117; 210,6 МВт (4 и 6,5; 10, 20 и 30; 50 и 100; 180 Гкал/ч). Котлы не имеют несущего каркаса. Обмуровка у них облегченная трехслойная (шамотобетон, минераловатные плиты и магниальная обмазка) крепится к трубам топки и конвективной части. Котлы КВ-ГМ-4 и -6,5, как и котлы теплопроизводительностью 11,7; 23,4 и 35 МВт (10; 20 и 30 Гкал/ч), имеют единый профиль и различаются глубиной камеры топки и конвективной части. Котлы КВ-ГМ-50 и -100 по конструкции сходны между собой и различаются только размерами.

Водогрейные котлы КВ-ГМ-4 и -6,5 (рис. 4.5) имеют топку 6, которая полностью экранирована трубами $\varnothing 60 \times 3,0$ мм, и конвективную поверхность 5. Боковые экраны, верх и под топку образованы одинаковыми Г-образными

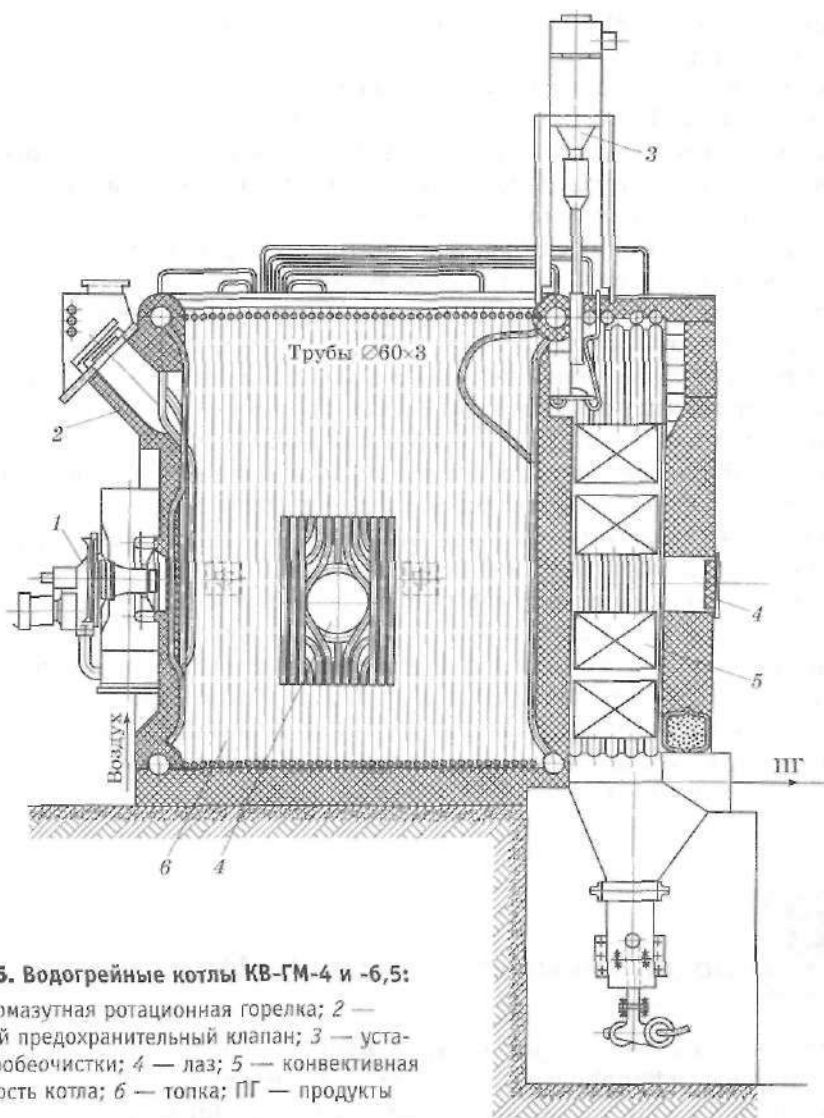


Рис. 4.5. Водогрейные котлы КВ-ГМ-4 и -6,5:

1 — газомазутная ротационная горелка; 2 — взрывной предохранительный клапан; 3 — установка дробеочистки; 4 — лаз; 5 — конвективная поверхность котла; 6 — топка; ПГ — продукты горения

трубами. На фронтальной стене котла установлены газомазутная ротационная горелка 1 и взрывной предохранительный клапан 2. Неэкранированные поверхности фронтальной стены закрыты огнеупорной кладкой, примыкающей к воздушному коробу горелки.

На левой боковой стенке котла имеется лаз 4 в топку. Отдельные трубы заднего экрана в верхней части выдвинуты в топку и сварены между со-

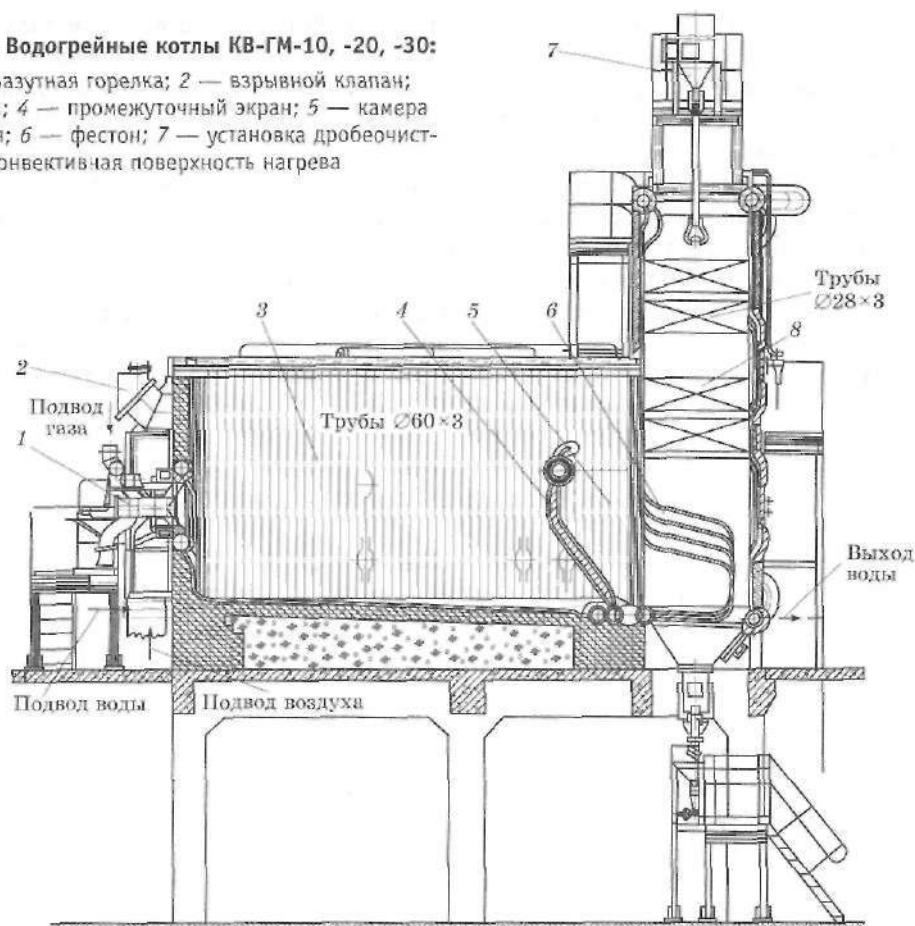
бой при помощи вставок для устранения попадания в топку дрови при работе установки 3 дробеочистки, используемой для очистки конвективных поверхностей от загрязнения.

Все трубы экранов выведены в верхние и нижние коллекторы $\varnothing 159 \times 7$ мм, внутри которых имеются глухие перегородки, служащие для направления потока воды. Топка отделена от конвективной части перегородкой из огнеупорной кирпичной кладки. Продукты горения поступают в верхнюю часть топки, откуда через фестон — в конвективную часть, проходят ее сверху вниз и через боковой отвод покидают котельный агрегат.

Конвективная поверхность 5 котла состоит из двух пакетов, каждый из которых набирается из U-образных ширм, выполненных из труб $\varnothing 28 \times 3,0$ мм. Ширмы расположены параллельно фронтальной стене котла в шахматном порядке. Боковые стены конвективной части экранированы трубами $\varnothing 83 \times 3,5$ мм, имеющими плавники, и являются коллекторами (стояками) для труб конвек-

Рис. 4.6. Водогрейные котлы КВ-ГМ-10, -20, -30:

1 — газомазутная горелка; 2 — взрывной клапан;
3 — топка; 4 — промежуточный экран; 5 — камера дожигания;
6 — фестон; 7 — установка дробеочистки;
8 — конвективная поверхность нагрева



тивных пакетов. Потолок конвективной части также экранирован трубами $\varnothing 83 \times 3,5$ мм. Задняя стена не экранирована и имеет лазы 4 вверху и внизу. Вес котла передается на нижние коллекторы, имеющие опоры. Коэффициент полезного действия котла КВ-ГМ-4 равен 90,5 % при работе на газе и 86,4 % при работе на мазуте, а котла КВ-ГМ-6,5 — 91,1 % при работе на газе и 87 % на мазуте.

Водогрейные котлы КВ-ГМ-10, -20 и -30 (рис. 4.6) имеют топку 3, экранированную трубами $\varnothing 60 \times 3$ мм, в которой расположены фронтальный, два боковых и промежуточный 4 экраны, закрывающие полностью (за исключением части фронтальной стены, где установлены взрывной клапан 2 и газомазутная горелка 1 с ротационной форсункой) стены и под топки. Экранные трубы привариваются к коллекторам $\varnothing 219 \times 10$ мм. Промежуточный экран выполнен из труб, расположенных в два ряда для образования камеры 5 дожигания.

Конвективная поверхность 8 нагрева включает в себя два конвективных пучка и расположена в вертикальной шахте с полностью экранированными стенами. Конвективные пучки набраны из U-образных шпирм, расположенных в шахматном порядке, выполненных из труб $\varnothing 28 \times 3$ мм. Задняя и передняя стены шахты экранированы вертикальными трубами $\varnothing 60 \times 3$ мм, боковые стены — трубами $\varnothing 85 \times 3$ мм, которые служат стойками для шпирм конвективных пакетов.

Передняя стена шахты, являющаяся одновременно задней стеной топки, выполнена цельносварной. В нижней части стены трубы разведены в четырехрядный фестон 6. Трубы, образующие переднюю, боковую и заднюю стены конвективной шахты, сварены в камеры $\varnothing 219 \times 10$ мм.

Продукты горения из топки проходят в камеру 5 дожигания, откуда через фестон — в конвективную шахту и из нее через отверстие в верхней части покидают котел. Для очистки конвективных поверхностей предусмотрена установка 7 дробеочистки.

Энергетическая эффективность котельных агрегатов оценивается КПД. При работе на газообразном и жидком топливах КПД зависит в основном от потерь теплоты с уходящими газами $q_{y.g.}$. При полном сжигании топлива потери теплоты от химической неполноты сгорания $q_{x.n}$ равны нулю, а потери теплоты через паружные ограждения в окружающую среду $q_{n.o}$ для современных котлов сведены к минимуму и составляют доли процента. Подсосы воздуха в дымовый тракт современного котельного агрегата практически отсутствуют.

Современная котельная техника малой и средней мощности развивается в следующих направлениях:

- повышение энергетической эффективности путем всемерного снижения тепловых потерь и наиболее полного использования энергетического потенциала топлива;
- уменьшение габаритных размеров котельной установки, интенсификация процессов сжигания топлива и теплообмена в топке и поверхностях нагрева;
- снижение вредных выбросов (CO , NO_x , SO_x);
- повышение надежности работы котельной установки.

При снижении температуры ШГ до такой степени, при которой происходит конденсация содержащихся в них водяных паров, достигается двойной эффект: с одной стороны, выделяемая скрытая теплота конденсации водяных паров существенно повышает используемый энергетический потенциал топлива, который усваивается хвостовыми поверхностями нагрева котла, а с другой, уменьшаются потери $q_{y.g.}$.

Такие котлы, получившие название *низкотемпературные* (при отсутствии конденсации водяных паров продуктов сгорания) или *конденсационные* (при наличии конденсации водяных паров), выпускают фирмы Viessmann, Ecoflame и др. Основным недостатком конденсационных котлов является присутствие агрессивной среды при растворении CO_2 в образующемся конденсате, которая вызывает интенсивную коррозию поверхностей нагрева, а потому необходимость нейтрализации данного раствора. Опасность коррозии многократно возрастает при использовании серосодержащего топлива, при сжигании которого образуются оксиды серы, усугубляющие агрессивное действие кислой среды.

Защита от коррозии может быть обеспечена при выполнении элементов котла из коррозионно-стойких сталей, легированных хромом, никелем и

молибденем. Применение дорогих материалов значительно повышает стоимость котлов, хотя при этом существенно возрастает их экономичность. Так, при работе на природном газе КПД котла приближается к максимально возможному на 11 %. Содержание водяных паров в ПГ при сжигании жидкого топлива меньше, чем при сжигании газа, поэтому и дополнительный выигрыш за счет использования теплоты их конденсации меньше и составляет 5...7 %.

Исключительно важное значение для эффективности работы котельной установки имеют горелочные устройства. В настоящее время на российском рынке их ассортимент наряду с отечественными производителями (ООО «Сормово», ОАО «Старорусприбор», ООО «Каменский завод газоиспользующего оборудования» и др.) пополняют большое число иностранных фирм (Baltur и Ecoflame (Италия), Benton (Швеция), De Ditrich (Франция), Korting, Saacke, Weisshaupt (Германия) и др.), производящих современную котельную технику и газогорелочное оборудование.

Для современных газовых и жидкотопливных горелок характерны высокая эффективность сжигания топлива, экономичность, высокие экологические характеристики, высокая степень автоматизации.

Управление работой горелок и контроль безопасности осуществляются специальными устройствами — менеджерами горения. С их помощью выполняются контроль герметичности магнитных клапанов, электронно-связанное управление соотношения топливо — воздух, связь с персональным компьютером, на котором отображается последовательность работы и настройка параметров работы.

Тепловая мощность горелок регулируется разными способами в зависимости от используемого топлива, типоразмера горелок и конкретных условий организации процесса. Наиболее качественное ведение процесса достигается при модулируемом способе регулирования тепловой мощности горелок.

Регулирование расхода воздуха у горелок ряда типов осуществляется посредством изменения частоты вращения вентилятора, что обеспечивает наиболее экономичный режим работы горелки при снижении уровня потребления электрической мощности.

Выбросы оксидов азота зависят от вида используемого топлива, мощности горелки и плотности q_v , МВт/м³, тепловыделения в камере горения. Для газовых горелок с пониженным образованием NO_x эмиссия оксидов азота составляет 80...100 мг/м³, для жидкотопливных горелок — 120...150 мг/м³.

Новая технология сжигания реализуется, например, в котлах с пульсирующим горением (рис. 5.1). Камера горения 4 такого котла представляет собой акустическую систему с высокой степенью турбулизации ПГ. В камере горения котлов с пульсирующим горением горелки, а следовательно, и факел отсутствуют. Подача газа и воздуха осуществляется прерывисто с частотой примерно 50 раз в секунду через специальные газопульсирующие 1 и воздушно-пульсирующие 2 клапаны, в результате процесс горения происходит во всем топочном объеме. При подобном сжигании топлива в топке повышается давление, увеличивается скорость ПГ, что приводит к существенной ин-

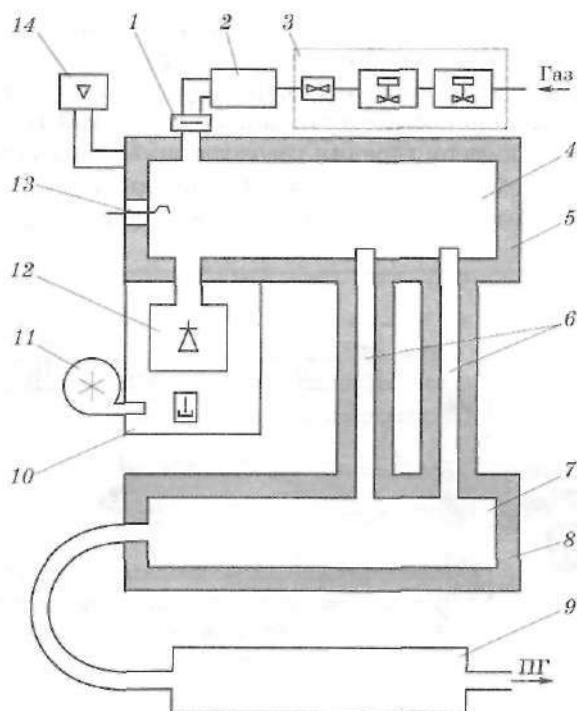


Рис. 5.1. Схема котла пульсирующего горения:

1 — газопульсирующий клапан; 2 — ресивер газовый; 3 — газовая линейка; 4 — камера горения; 5 — водяная рубашка камеры горения; 6 — резонансно-выхлопные трубы в водяной рубашке; 7 — коллектор выхлопной; 8 — водяная рубашка выхлопного коллектора; 9 — глушитель выхлопа; 10 — ресивер воздушный; 11 — вентилятор; 12 — воздушно-пульсирующий клапан; 13 — запальная свеча; 14 — клапан предохранительный; ПГ — продукты горения

тенсификации процесса теплообмена, возможности уменьшения массы и габаритных размеров котла.

Продукты горения под избыточным давлением выходят из камеры горения, по резонансно-выхлопным трубам 6 поступают в выхлопной коллектор 7 и, проходя через глушитель 9 выхлопа, выбрасываются через дымовую трубу наружу. Нагреваемая вода движется противотоком по отношению к ПГ по водяным рубашкам выхлопного коллектора 8, резонансно-выхлопных труб 6 и камеры горения 4. После розжига котел начинает работать в автоколебательном режиме, не требующем дальнейшего наддува вентилятором 11 и электроподжига запальной свечи 13. Всасывание очередной порции газозвушной смеси происходит под действием периодически возникающего разрежения, а воспламенение каждой порции смеси обеспечивается остаточным пламенем, которое постоянно присутствует в зоне завихрения в конце камеры горения.

Котлам пульсирующего горения не нужна дымовая тяга, и работать они могут при весьма низком давлении газового топлива — менее 0,7 кПа (70 мм вод. ст.). Потребляемая мощность электрооборудования котла не зависит от его теплопроизводительности и составляет не более 100 Вт.

Поступающая в камеру горения газозудная смесь сгорает почти полностью, поэтому ПГ содержат CO 95 мг/м³, оксиды азота 35 мг/м³. По сравнению с аналогами, работающими по принципу факельного горения, котлы

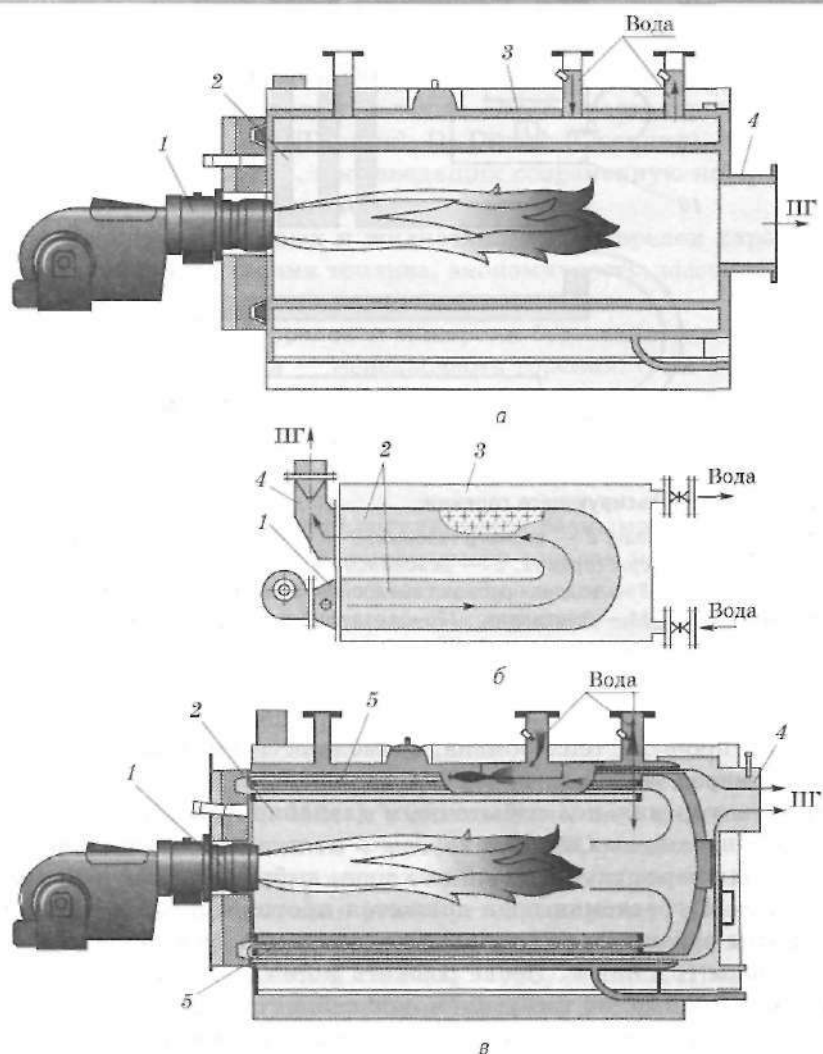
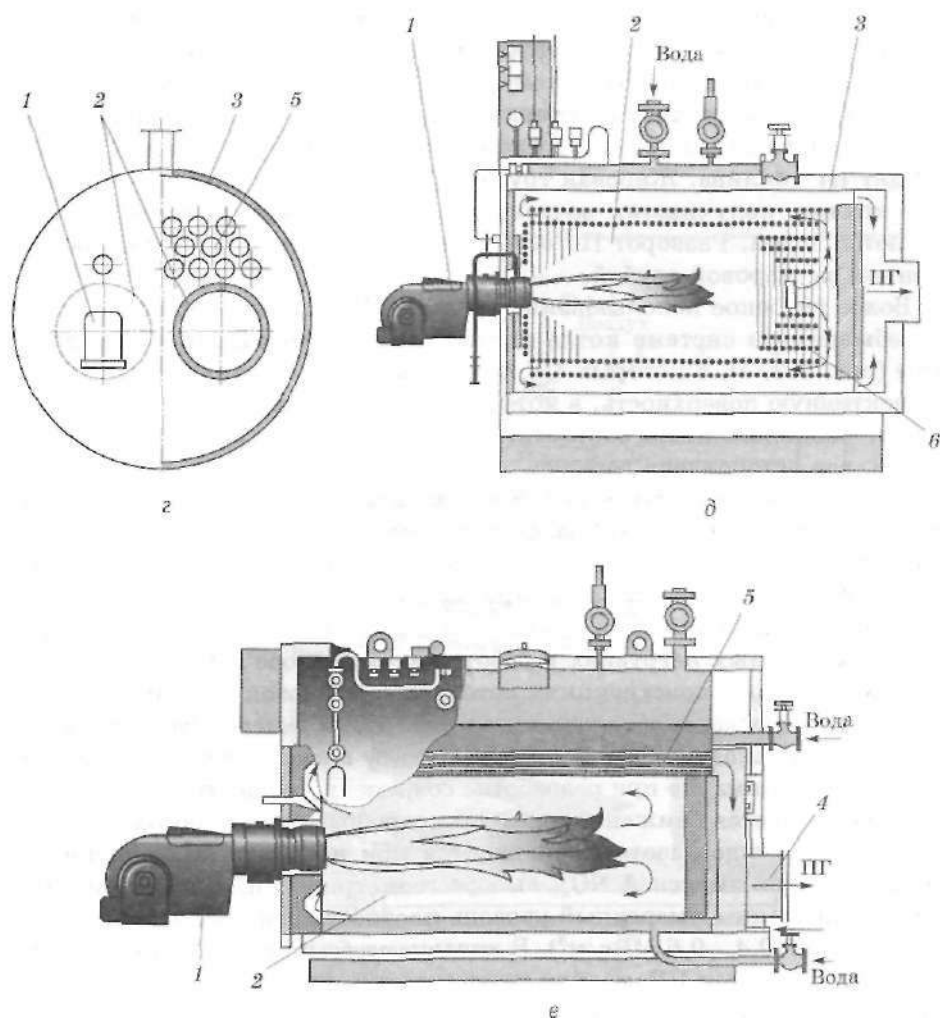


Рис. 5.2. Типы жаро- и газотрубных котлов:

а — жаротрубный; *б* — жаротрубный с U-образной жаровой трубой; *в* — трехходовой жарогазо-воздушной нагрева; *г* — жарогазотрубный с инверсионной топкой; 1 — горелка; 2 — жаровая труба; кованая поверхность нагрева; ПГ — продукты горения

с пульсирующим горением выгодно отличаются небольшими размерами и массой.

Анализ котельной техники малой и средней мощности отечественных и зарубежных производителей показывает, что наибольшее распространение в настоящее время находят горизонтальные жаротрубные и газотрубные котельные агрегаты для производства пара и горячей воды, основные типы которых приведены на рис. 5.2.



трубный; *г* — жаротрубный с двумя жаровыми трубами; *д* — водотрубный с змеевиковой поверх-
 3 — корпус; 4 — патрубок к дымовой трубе; 5 — конвективная поверхность нагрева; 6 — змееви-

Жаротрубный котел (рис. 5.2, а) выполняется в виде цилиндра, заполненного водой, внутри которого расположена жаровая труба, выполняющая функции топки. Горелка устанавливается в торцевой части жаровой трубы. Передача теплоты от факела и ПГ к стенам жаровой трубы осуществляется преимущественно путем излучения. Пройдя жаровую трубу, ПГ, отдав теплоту воде, направляются в дымовую трубу.

В жаротрубном котле (рис. 5.2, б) жаровая труба имеет U-образную форму. Этим достигаются некоторое увеличение поверхности нагрева, а также необходимое соотношение между длиной и высотой котла.

Интенсификация теплообмена от продуктов горения к поверхностям нагрева достигается в жарогазотрубных котлах путем установки радиационной и конвективной поверхностей нагрева. В жаровой трубе таких котлов осуществляется радиационный теплообмен, а конвективный теплообмен — в трубах небольшого диаметра, через которые с достаточно большой скоростью проходят ПГ топлива. Жаровая труба и конвективная поверхность нагрева в таких котлах, получивших название *двухходовые жарогазотрубные*, снаружи омываются водой. Разворот ПГ осуществляется в поворотной камере, расположенной за жаровой трубой.

Более глубокое использование теплоты ПГ за счет увеличения времени их пребывания в системе котла достигается в *трехходовых жарогазотрубных котлах* (рис. 5.2, в), в которых ПГ последовательно проходят жаровую трубу и конвективную поверхность, в которую они поступают через две поворотные камеры, расположенные соответственно за жаровой трубой и в передней крышке, где установлена горелка.

Известны *котлы с двумя жаровыми трубами* (рис. 5.2, г), каждая из которых имеет самостоятельное отопление с помощью горелок. Наличие двух жаровых труб позволяет увеличить мощность котельной установки, а также более эффективно проводить регулирование ее производительности. На малых нагрузках подача топлива на одну из жаровых труб может быть отключена, на средних и малых нагрузках в работе находятся обе жаровые трубы.

В водотрубных конструкциях котельных установок вода находится внутри труб. Так в котле, изображенном на рис. 5.2, д, *поверхность нагрева* выполнена *в виде змеевиков, образующих жаровую трубу и конвективную поверхность*.

Большое внимание при разработке современных конструкций котельных установок уделяется снижению вредных газообразных выбросов оксидов азота. Выбросы оксидов азота уменьшаются при использовании специальных горелок с низкой эмиссией NO_x , выборе геометрических характеристик топки, обеспечивающих умеренный уровень плотности тепловыделения при сжигании топлива ($0,4 \dots 0,6 \text{ МВт/м}^3$). В *жарогазотрубных котлах с инверсионной топкой* (рис. 5.2, е) поток ПГ, пройдя камеру топки, упирается в заднюю ее стенку и, развернувшись, движется в обратном направлении к передней стенке, откуда через промежуточную камеру поступает в конвективную часть котла, выполненную из труб малого диаметра. В результате такой организации движения происходит подмешивание ПГ к факелу и, как результат, снижение его температуры, а следовательно, и уменьшение образования оксидов азота.

В настоящее время для умягчения и обессоливания подпиточной воды используются весьма сложные установки, для работы которых зачастую требуются дорогостоящие компоненты. Кроме того, приходится платить и за сбросы солевого концентрата, который оказывает губительное влияние на окружающую среду.

Вакуумный водогрейный котел японской фирмы Takuma (рис. 5.3) — это герметичная емкость, наполненная определенным количеством хорошо очищенной воды. Топка 8 котла представляет собой жаровую трубу, находящуюся ниже уровня жидкости.

Выше уровня воды в паровом пространстве установлены два теплообменника, из которых один включен в отопительный контур 3, а другой работает в контуре горячего воздуховоснабжения 4.

За счет небольшого вакуума, автоматически поддерживаемого внутри котла, вода закипает в нем при температуре ниже обычных 100 °С. Испарив-

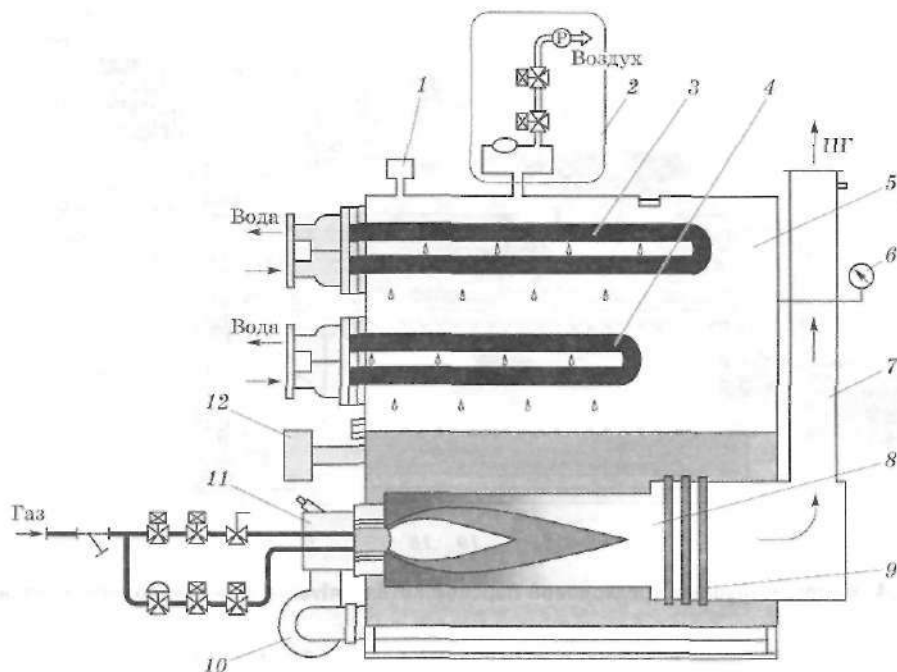


Рис. 5.3. Вакуумный водогрейный котел японской фирмы Takuma:

1 — предохранительный клапан; 2 — блок автоматического удаления воздуха; 3 — теплообменник отопительного контура; 4 — теплообменник контура горячего воздуховоснабжения; 5 — паровое пространство котла; 6 — мановакуумметр; 7 — дымовая труба; 8 — топка в виде жаровой трубы; 9 — конвективная поверхность нагрева; 10 — вентилятор; 11 — горелка; 12 — блок управления; ПГ — продукты горения

шись, вода конденсируется на теплообменниках и поступает обратно в систему. Так как очищенная вода не выводится из агрегата, обеспечить необходимое ее количество несложно. Таким образом решается проблема химической подготовки котловой воды, качество которой является неперемным условием надежной и долгой работы котельного агрегата.

Отопительные котлы американской фирмы Teledyne Laars — это водотрубные установки с горизонтальным теплообменником из оребренных медных труб. Особенностью таких котлов, получивших название **гидронные**, является возможность использования их на неподготовленной сетевой воде. В этих котлах обеспечивается высокая скорость (более 2 м/с) протекания воды через теплообменник, с тем чтобы солевые отложения в случае использования жесткой воды не успевали откладываться в теплообменнике котла в виде накипи. Необходимость высокой скорости привела разработчиков к решению максимально уменьшить объем водяной части котла, так как в про-

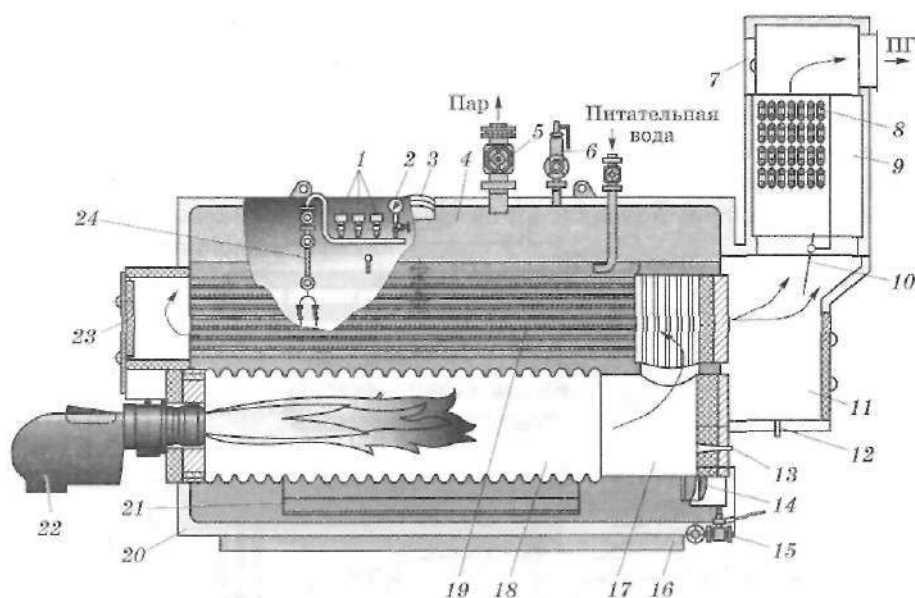


Рис. 5.4. Жарогазотрубный трехходовой паровой котел Universal международной компании LOOS:

1 — импульсы к регулятору давления; 2 — манометр; 3 — люк для осмотра парового пространства котла; 4 — сепаратор пара; 5 — паровой вентиль; 6 — предохранительный клапан; 7 — люк в газоход; 8 — водяной экономайзер; 9 — обводной газоход (байпас) экономайзера; 10 — дымовая заслонка байпаса; 11 — сборная камера продуктов горения; 12 — дренажная труба для конденсата из ПГ; 13 — гляделка; 14 — люк в водяное пространство котла; 15 — продувочный кран; 16 — опорная рама; 17 — поворотная камера ПГ; 18 — топка в виде жаровой трубы (топочная камера); 19 — конвективная газотрубная поверхность нагрева; 20 — тепловая изоляция; 21 — секции для рециркуляции воды; 22 — горелка модулируемого регулирования; 23 — люк в поворотную камеру; 24 — водомерное стекло; ПГ — продукты горения

тивном случае нужен слишком мощный циркуляционный насос, потребляющий большое количество электроэнергии.

В последнее время на российском рынке котельного оборудования появилась разнообразная котельная техника производства зарубежных фирм и совместного их производства с российскими предприятиями. На рис. 5.4 приведен *жарогазотрубный трехходовой паровой котел* Universal международной компании LOOS. Котел имеет топку, выполненную в виде жаровой трубы 18, омываемую с боковых сторон водой. В переднем торце имеется откидывающаяся дверца с двухслойной тепловой изоляцией, в которой установлена горелка 22 модулируемого регулирования. Из жаровой трубы ПГ поступают в конвективную газотрубную поверхность 19 нагрева, в которой совершают двухходовое движение, а затем из сборной камеры 11 направляются в газоход, где установлен водяной экономайзер 8. Для регулирования температуры подогреваемой воды часть ПГ может быть направлена мимо водяного экономайзера по обводному газоходу 9 (байпасу). Расход ПГ через водяной экономайзер регулируется с помощью дымовой заслонки 10.

Подвод воды в котел осуществляется по патрубку, расположенному в верхней части котла, а отвод пара — через паровой вентиль 5. Наружные поверхности котла имеют тепловую изоляцию 20. Для осмотра внутреннего состояния парового и водяного пространств котла предусмотрены люки 3 и 14. Для слива конденсата, образующегося из ПГ, служит дренажная труба 12. Котел устанавливается на опорную раму 16.

Относительно большой объем топки, а следовательно, и небольшая плотность тепловыделения в топке (0,4 ... 0,6 МВт/м³) обеспечивают полное сгорание топлива. Организацией трехходового движения ПГ достигается высокая эффективность радиационного теплообмена в жаровой трубе и конвективного теплообмена в газотрубной части котла. Тепловая мощность котлов такого типа 11,2 ... 29,9 МВт, КПД котла в стандартном исполнении 95,9 %.

6

Эксплуатация котельных установок

6.1

Общие положения

Эксплуатация паровых и водогрейных котлов ведется в соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов Ростехнадзора РФ, Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей (ПТЭС), Правилами безопасности систем газораспределения и газопотребления, инструкциями заводов-изготовителей, местными инструкциями: должностными, определяющими права и обязанности персонала; техническими, которыми определяются условия безопасной и экономичной работы котлов и отдельных их элементов в разные периоды эксплуатации; по технике безопасности, в которых указываются необходимые мероприятия, обеспечивающие условия безопасной работы персонала; аварийными, в которых указываются мероприятия по предотвращению развития и ликвидации аварий; другими нормативно-техническими документами.

Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов распространяются на паровые котлы с давлением более 0,07 МПа и водогрейные котлы с температурой воды не ниже 115 °С. В них определены требования к конструкции, изготовлению, ремонту и материалу указанного оборудования, указана номенклатура и количество арматуры, измерительной техники, защит, приборов автоматики, а также приведены требования к обслуживающему оборудованию.

Котельная установка относится к весьма опасным производственным объектам, и поэтому на нее распространяются требования Федеральных законов РФ от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» определяет правовые и экономические основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности организации, эксплуатирующей опасные производственные объекты, к локализации и ликвидации последствий указанных аварий.

Федеральный закон «О техническом регулировании» регулирует отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации,

хранения, перевозки, реализации и утилизации. В законе излагаются требования к содержанию и применению технических регламентов, принципы стандартизации, правила разработки и утверждения стандартов, организация обязательной сертификации, аккредитация органов по сертификации и осуществления государственного контроля за соблюдением технических регламентов.

В соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» основой промышленной безопасности являются лицензирование видов деятельности (проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, изготовление, монтаж, наладка, ремонт и т. д.) в области промышленной безопасности; сертификация технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте; экспертиза промышленной безопасности технических устройств; требования промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта (обеспечение укомплектованности штата работников опасного производственного объекта, удовлетворяющих соответствующим квалификационным требованиям; наличие на опасном производственном объекте нормативных правовых актов и нормативных технических документов, устанавливающих правила ведения работ на опасном производственном объекте; организация и осуществление производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности; обеспечение наличия и функционирования необходимых приборов и систем контроля за производственными процессами; обеспечение проведения экспертизы промышленной безопасности зданий, диагностики и испытания технических устройств в установленные сроки и т. д.).

Эксплуатация паровых и водогрейных котлов и котельного оборудования заключается в обслуживании котельных агрегатов, вспомогательного оборудования (дымососов, вентиляторов, насосов, газоходов и дымовых труб).

В соответствии с ПТЭ персонал котельной должен обеспечить надежную работу всего основного и вспомогательного оборудования, возможность достижения номинальной производительности, параметров пара и воды. В ПТЭ изложены основные требования к эксплуатации котлов и вспомогательного оборудования (расточки, остановки, основные режимы работы, условия немедленного останова работы оборудования).

В инструкциях приводятся технические характеристики и подробное описание оборудования, порядок и сроки технического обслуживания, контроля, ремонтов; даются предельные значения и отклонения параметров, рекомендации по безопасному обслуживанию и правила безопасной работы обслуживающего персонала.

Сложность оборудования заставляет предъявлять высокие требования к обслуживающему персоналу котельной. Все вновь принимаемые рабочие, не имеющие производственной специальности или меняющие ее, обязаны пройти профессионально-техническую подготовку в объеме требований квалификационной характеристики в соответствии с единым тарифно-квалификационным справочником (ЕТКС).

Лица, получившие теоретическую и производственную подготовку, проходят стажировку и проверку знаний на предприятиях, где они будут рабо-

тать. В процессе стажировки изучается оборудование котельной, производственные инструкции и действующие схемы, правила техники безопасности и пожарной безопасности, правила Ростехнадзора, должностные инструкции. После этого стажер может быть допущен к дублированию — исполнению обязанностей на рабочем месте под наблюдением и руководством опытного работника. Срок дублирования — не менее 10 рабочих смен. Особое внимание уделяется проблеме профессиональной пригодности, физиологической, психологической подготовленности работника. Принимаются на работу люди, достигшие 18-летнего возраста, после положительного медицинского заключения. В дальнейшем медицинское освидетельствование должно проводиться один раз в два года.

Обслуживающему персоналу необходимо углублять и совершенствовать знания, выпыпать свою квалификацию в постоянных организованно проводимых занятиях по повышению квалификации. Кроме того, для операторов должна проводиться ежегодная проверка знаний безопасных методов труда и приемов выполнения работ, и один раз в два года — по ПТЭ, Правилам пожарной безопасности, производственным и должностным инструкциям.

6.2

Подготовка котельного агрегата и вспомогательного оборудования к пуску

Пуск котельного агрегата в работу проводится после его монтажа при вводе в эксплуатацию, а также после реконструкции, ремонта, плановых и внеплановых остановок. Это сложный процесс, проведение которого связано с выполнением большого числа разнообразных действий, требующих четкого распределения обязанностей персонала, координации его действий, высокой оперативности и технической дисциплины. К пуску котельного агрегата допускается наиболее квалифицированный персонал. Руководит операциями по пуску начальник смены или старший оператор.

Перед растопкой котла проводится детальный осмотр узлов агрегата с целью проверки их исправности и готовности установки к работе, в частности детально осматривают топку, радиационные и конвективные поверхности нагрева, пароперегреватель, водяной экономайзер, воздушный подогреватель, обмуровку, взрывные клапаны, обшивку, коллекторы, трубопроводы и арматуру, газо- и мазутопроводы, горелки, подвески, опоры, защитные и дистанционирующие элементы. При осмотре поверхностей нагрева в котле визуально контролируется отсутствие трещин, свищей, отдулин, следов коррозии и загрязнения труб. Все посторонние предметы и мусор из топки и газопроводов должны быть убраны, а лазы газозвушного тракта плотно закрыты.

Проверяются снятие заглушек на газопроводе, паровой, водяной, продувочной и дренажной линиях; исправность приводов и легкость хода шиберов, осевых направляющих аппаратов дымососов и вентиляторов; управле-

мость ими с главного щита; заземление электродвигателей; наличие масла в подшипниках; подача воды на их охлаждение; наличие ограждающих кожухов на вращающихся механизмах, свобода их вращения. После осмотра вспомогательного оборудования их механизмы должны быть включены вхолостую, при этом не должно быть стука, вибрации, чрезмерного нагрева подшипников, электродвигателей.

Проводится проверка исправности водяной и паровой арматуры котла, водоуказательных приборов, исправности действия дистанционных приводов. Проверяются работа запально-защитных устройств, исправность предохранительных клапанов, а также готовность к включению контрольно-измерительных приборов, автоматических регуляторов, блокировок, защит, средств оперативной связи, освещения, средств пожаротушения. Выявленные при проверке неисправности должны быть устранены до пуска котла. При неисправности защит, действующих на останов котла, пуск его запрещается.

После проверки оборудования начинается подготовка к пуску газовоздушного и водопарового трактов, растопочного, паро- и газомазутного хозяйства, обдувки котла и т. д. Открываются запорные общие и индивидуальные шиберы (на воздуховодах, горелках, форсунках), закрываются направляющие аппараты вентиляторов, дымососов, регулирующие воздушные шиберы.

Перед заполнением котла водой проверяется закрывание главного парозапорного вентиля, всех дренажных и продувочных вентиляей; открываются воздушники барабана и водяного экономайзера; включаются в рабочее положение водоуказательные стекла, вентили по воде и пару сниженных указателей уровня; манометр на барабане должен быть в рабочем состоянии; открываются запорные устройства на питательных трубопроводах перед водяным экономайзером; регулировочные устройства должны быть плотно закрыты.

У котлов с чугунным экономайзером открывается шибер прямого хода для пропуски ПГ мимо экономайзера. При отсутствии обводного газохода вода через экономайзер должна непрерывно прокачиваться и направляться по сгонной линии в деаэратор. У котлов со стальным экономайзером открывается вентиль на линии рециркуляции.

Для подачи воды в котел необходимо открыть питательный вентиль и заполнить водой водяной экономайзер; при появлении воды закрыть воздушник на выходном коллекторе экономайзера. Котел заполнить водой до растопочного уровня. Во избежание нарушения плотности вальцовочных соединений и термических деформаций от неравномерного прогрева не допускается заполнение котла водой с температурой выше 90°C в летнее время и $50 \dots 60^{\circ}\text{C}$ в зимний период.

После заполнения котла водой необходимо убедиться в плотности арматуры путем прощупывания спускных дренажных труб. Если в течение 0,5 ч после заполнения котла водой при закрытом питательном клапане не произойдет снижения или повышения уровня воды в барабане котла, можно продолжать операции по подготовке котла к пуску. При наличии устройства для парового обогрева нижнего барабана открывается подача пара от работающих котлов и ведется подогрев воды в котле до температуры $90 \dots 100^{\circ}\text{C}$.

Перед растопкой работающего на газе котла из холодного состояния проводится предпусковая проверка герметичности затворов запорных устройств перед горелками и предохранительно-запорных клапанов (контрольная опрессовка). Порядок и методы предпусковой проверки устанавливаются производственной инструкцией. На автоматических и блочных газовых горелках, которыми в настоящее время оснащаются многие котельные агрегаты, устанавливаются приборы для автоматической проверки герметичности.

При подготовке к растопке котла, работающего на газе, газопровод до запорных устройств на горелки должен быть продут газом через продувочные свечи. Для этого необходимо открыть ПЗК на проход и приоткрыть запорное устройство на опуске, и в течение времени, указанного в производственной инструкции, вести продувку газопровода через продувочную свечу.

Окончание продувки определяется с помощью газоанализатора по содержанию кислорода в газопроводе. В продутом газопроводе содержание кислорода не должно превышать 1 %.

Перед включением газовых горелок или растопочных мазутных форсунок необходимо провести вентиляцию топки и газоходов, сначала используя естественную тягу, а затем — принудительную. При естественной вентиляции полностью открывают шиберы газового тракта и заслонки для регулирования подачи воздуха на горелки. Для принудительной вентиляции включают в работу дымосос, а затем вентилятор и в течение 10...15 мин при совместной их работе осуществляется вентиляция дымового тракта котельного агрегата.

6.3 Пуск парового котла

Пуск котла в работу может проводиться только по письменному распоряжению начальника котельной. В зависимости от степени охлаждения котла после предшествующего останова различают пуски из холодного, неостывшего, горячего состояний и из горячего резерва. Каждый вид пуска имеет свою определенную технологию. Пуск из холодного состояния проводится через 3—4 сут и более после останова при полном охлаждении котла и потере в нем давления.

Надежность розжига газовых горелок с принудительной подачей воздуха зависит, главным образом, от плотности шиберов, регулирующих подачу воздуха в горелку. Розжиг каждой из установленных горелок должен проводиться от индивидуального запальника, установленного в запальном отверстии. Устойчивость пламени запальника зависит от разрежения в топке и плотности шибера, регулирующего подачу воздуха в горелку. Перед вводом запальника в топку необходимо убедиться в плотном закрытии шибера, регулирующего подачу воздуха, и отрегулировать разрежение в верхней части топки в соответствии с рекомендуемым для растопки значением. Пламя за-

пальника должно быть сбоку и в непосредственной близости от амбразуры или над ней.

При устойчивой работе запальника подача газа в горелку проводится плавно, чтобы давление газа не превышало 10...15 % номинального. Воспламенение газа, выходящего из горелки, должно происходить немедленно. Если газ, выходящий из горелки, сразу же не воспламеняется, необходимо быстро прекратить его подачу к горелке и запальнику и для удаления газа из точки провентилировать ее в течение 10...15 мин. Повторный розжиг горелки разрешается только после устранения причин, препятствующих ее нормальному пуску.

После воспламенения газа, выходящего из горелки, регулируют подачу воздуха таким образом, чтобы светимость факела уменьшилась, но не произошло отрыва его от горелки. Для повышения производительности горелки сначала увеличивают на 10...15 % давление газа, а затем соответственно давление воздуха, после чего восстанавливают заданное значение разрежения в точке. При устойчивой работе первой горелки приступают к последовательному розжигу остальных горелок.

Для котлов, работающих на мазуте, после завершения вентиляции точки и газоходов (при работе дымососа и вентиляторов) поочередно разжигают мазутные форсунки. Так, например, перед зажиганием форсунки с паровым распылением мазута необходимо закрыть полностью лючки и гляделки, подачу воздуха на форсунку, отрегулировать разрежение в верхней части точки, установив его равным 10...20 Па, и убедиться, что установилась требуемая температура подогрева мазута. Затем следует вставить в запальное отверстие мазутный растопочный факел. При устойчивом горении факела в форсунку сначала подается немного воздуха и пара, а затем и мазут путем постепенного открывания регулировочного вентиля. При воспламенении мазута необходимо отрегулировать горение, изменяя подачу мазута, пара и воздуха. При устойчивом горении растопочный факел удаляется.

При растопке котла осуществляют контроль за уровнем воды в барабане по водоуказательным колонкам и по сниженным указателям уровня. На котлах с давлением до 4 МПа водомерные колонки продуваются при давлении 0,1 МПа и вторично перед включением котла в общий паропровод. Во время подъема давления уровень воды в барабане повышается. При превышении уровня воды сверх допустимого предела необходимо спустить часть воды из котла через линию периодической продувки. При понижении уровня воды вследствие продувки котла и пароперегревателя необходимо произвести подпитку.

В процессе растопки котла из холодного состояния необходимо следить за тепловым расширением экранов, барабана, коллекторов и трубопроводов по установленным на них реперам. При отставании прогрева какого-либо экрана его следует продуть через дренажи нижних коллекторов в течение 25 с.

При повышении давления пара в котле выше атмосферного из воздухоотводчиков начнет выходить пар, после чего необходимо закрыть вентили воздухоотводчиков и продуть котловые манометры. Прогрев соединительных паропрово-

дов от котла к главному паропроводу проводится одновременно с растопкой котла. Во время прогрева паропровода нельзя допускать появления гидравлических ударов и при их возникновении необходимо приостановить прогрев, выяснить причину гидравлических ударов и устранить ее.

Котел включают в общий паропровод при температуре, близкой к расчетной, и при достижении в нем давления на 0,05 ... 0,1 МПа меньшего, чем давление в общем паропроводе. Запорные устройства на паропроводе открывают очень медленно для исключения возможности появления гидравлических ударов. Если во время включения котла в общий паропровод возникают толчки и гидравлические удары, следует немедленно приостановить включение котла, ослабить горение в топке, увеличить продувку пароперегревателя и усилить дренаж паропровода.

6.4

Обслуживание котельной установки во время работы

Процесс обслуживания котельной установки заключается в контроле ее работы и управления органами и вспомогательными механизмами с целью регулирования рабочего процесса в котле.

Контроль работы котла осуществляется с помощью контрольно-измерительных приборов, расположенных на самом агрегате и на тепловом щите. Регулирование работы агрегата ведется средствами управления с электроприводами непосредственно на месте их установки или дистанционными приводами. Дистанционное управление посредством электроприводов осуществляется с пульта управления котла.

Важнейшими задачами обслуживания паровых котлов являются поддержание заданного давления пара и заданной производительности (нагрузки) котла в соответствии с указаниями режимной карты, пример которой приведен в табл. 6.1; поддержание заданной температуры перегретого пара; равномерное питание котла водой и поддержание нормального уровня воды в барабане; обеспечение нормальной чистоты насыщенного пара; уход за всем оборудованием котла.

При работе водогрейного котла необходимо обеспечивать температурный график отпуска тепловой энергии, которым руководствуется в своей работе оператор при установлении режимных параметров работы котла. Примерный температурный график отпуска тепловой энергии приведен в табл. 6.2.

Поддержание давления пара и производительности котла. Основной задачей персонала, обслуживающего котел, является поддержание наиболее экономичных режимов сжигания топлива. Так, максимальный КПД котла, работающего на газообразном и жидком топливах, достигается при минимальных суммарных тепловых потерях с уходящими газами и от химической неполноты сгорания. Потери теплоты с уходящими газами зависят от коэффици-

ента избытка воздуха в топке, от уровня подсосов воздуха по газоходам котла и температуры уходящих газов, а потери теплоты от химической неполноты сгорания — от коэффициента избытка воздуха на выходе из топки α_T и от распределения воздуха и газа по горелкам.

Таким образом, при обслуживании котельной установки оператор должен следить за температурой и коэффициентом α_T избытка воздуха на выхо-

Таблица 6.1. Примерная режимная карта работы парового котла ДКВР-10-13

Утверждаю
 Главный инженер предприятия
 « » _____ 2008 г.

№ п/п	Параметр	Единица измерения	Паропроизводительность, т/ч		
			3,5	6,6	8,0
1	Давление пара в барабане котла	МПа	1,3	1,3	1,3
2	Число работающих горелок	—	2	2	2
3	Давление газа перед горелками	Па	600	1 500	2 000
4	Давление первичного воздуха перед горелками	Па	100	300	550
5	Давление вторичного воздуха перед горелками	Па	50	230	300
6	Разрежение в топке котла	Па	30	30	30
7	Температура питательной воды	°С	100	100	100
8	Давление питательной воды	МПа	1,4	1,4	1,4
9	Содержание CO ₂ за котлом	%	9,2	9,4	9,6
10	Содержание O ₂ за котлом	%	4,0	3,8	3,6
11	Содержание CO за котлом	%	0	0	0
12	Коэффициент избытка воздуха за котлом	—	1,24	1,22	1,21
13	Температура уходящих газов	°С	140	150	160
14	Потери теплоты с уходящими газами	%	6,3	6,82	7,19
15	Потери теплоты от химической неполноты сгорания	%	0	0	0
16	Потери теплоты через наружные ограждения	%	4,27	2,33	1,87
17	КПД котла брутто	%	89,43	90,58	90,84
18	Расход теплоты на собственные нужды	м ³ /ч	0,74	0,42	0,36
19	КПД котла нетто	%	88,69	90,16	90,48
20	Расход топлива	м ³ /ч	268	497	602

Примечание. Тип горелок — газомазутные типа ГМГ-2,5.

Режимную карту составил _____

Должность работника наладочной организации _____

Таблица 6.2. Примерный температурный график отпуска тепловой энергии

Температура наружного воздуха, °С	Температура воды на выходе из котла, °С	Температура наружного воздуха, °С	Температура воды на выходе из котла, °С
-25	150	-5	101
-20	144	0	86
-15	129	+5	74
-10	114	+10	56

де из точки (по содержанию O_2 или CO_2 в ШГ), давлением газа и воздуха перед горелками. Для обеспечения наибольшей экономичности работы котла необходимо поддерживать точечный режим в соответствии с режимной картой, которая составляется на основе специальных испытаний котла, в результате которых устанавливается наибольший КПД для каждой из исследуемых нагрузок.

Поддержание нормального давления пара в котле осуществляется путем регулирования работы топки. Повышение давления пара выше нормы свидетельствует об избыточной паропроизводительности котла и для ее снижения требуется уменьшить подачу газа и воздуха в топку. Напротив, снижение давления пара указывает на недостаточную паропроизводительность котла, и для ее повышения необходимо увеличить подачу газа и воздуха. Регулирование давления пара в котле непосредственно связано с регулированием паропроизводительности котла и осуществляется путем изменения расхода топлива и воздуха, подаваемых в топку, и установления надлежащей тяги.

Поддержание нормальной температуры пара. При работе котла с постоянной во времени нагрузкой отклонения температуры перегретого пара от среднего значения невелики и регулирование его температуры практически не требуется.

Необходимость в регулировании температуры перегретого пара возникает при установлении оптимального режима горения или изменении нагрузки котла. Повышение температуры перегретого пара может произойти вследствие увеличения нагрузки котла; избытка воздуха в топке; понижения температуры питательной воды; уменьшения расхода охлаждающей воды через пароохладитель.

Питание котла водой. При работе котла необходимо поддерживать его нормальное питание водой, т.е. обеспечивать материальный баланс по воде и пару. Питание котла водой регулируется автоматическим или ручным способом. При автоматическом регулировании равномерное питание котла водой обеспечивается в соответствии с расходом пара путем поддержания заданного уровня воды в барабане.

При ручном способе регулирования контроль правильности работы регуляторов питания оператор выполняет по приборам, указывающим уровень воды в барабане (водомерные стекла, сниженные указатели уровня). Нормальный уровень воды в водоуказательных стеклах — это слегка колеблющийся уровень на середине стекла. Совершенно спокойный уровень воды в них может быть признаком засорения водоуказательных стекол. Не следует допус-

кату приближения уровня к предельным положениям во избежание его упуска из видимой зоны водоуказательного стекла.

Водный режим котла. Работа котла без повреждения его элементов вследствие отложений накипи, шлама и повышения щелочности котловой воды до опасных пределов обеспечивается водным режимом. Поддержание заданного содержания котловой воды достигается непрерывной продувкой. Для удаления шлама из нижних точек проводится периодическая продувка.

С непрерывной продувкой теряется значительное количество теплоты. При давлении пара 1,0...1,3 МПа на каждый 1 % продувки, теплота которой не используется, приходится расход топлива 0,3 %. Использование теплоты непрерывной продувки возможно в специально устанавливаемых сепараторах получения вторичного пара. Из общего коллектора непрерывной продувки вода поступает в сепаратор, где в результате снижения давления часть ее закипает. Образующийся пар направляется в деаэрактор, а вода — для подогрева сырой воды, поступающей на участок химической водоподготовки.

Сроки и длительность периодических продувок устанавливаются производственной инструкцией. Перед продувкой следует убедиться в исправной работе питательных насосов, в наличии воды в питательных баках, подпитать котел до верхнего уровня по водоуказательному стеклу. Продувка осуществляется в следующем порядке: открываются сначала второй по ходу, а затем первый вентили на продувочной трубе; после прогрева продувочного трубопровода ведется собственно продувка, во время которой непрерывно контролируется по водоуказательному стеклу уровень воды в барабане котла. При гидравлических ударах в продувочном трубопроводе продувочный вентиль нужно немедленно прикрыть до прекращения гидравлических ударов в трубопроводе, а затем снова постепенно открыть. По окончании продувки вентили закрывают — сначала первый по ходу воды, а затем второй.

Обслуживание оборудования котла. В период работы котла необходимо следить за состоянием запорной и регулирующей арматуры, подтягивать сальники в случае их ослабления. При неисправности прокладок и неплотностях арматуры назначают ее ремонт. Исправность предохранительных клапанов проверяется ежемесячно путем осторожного их открывания («подрыва»).

Проверку исправности манометра выполняют ежемесячно установкой его стрелки на «ноль» («посадка на нолю») путем медленного перекрытия трехходового крана манометра и соединения его с атмосферой. Убедившись, что стрелка манометра сошла на «ноль», осторожно возвращают трехходовой кран в рабочее положение, стремясь не упустить воду из сифонной трубки во избежание перегрева пружины и порчи манометра. Для проверки манометра периодически (не реже одного раза в 6 мес) сравнивают его показания с показаниями контрольного манометра.

Исправность действия водоуказательного стекла (ВС) проверяется продувкой в следующем порядке: открывается продувочный кран, одновременно продуваются ВС, водяная и паровая трубки; закрывается водяной кран, при этом продуваются паровая трубка и ВС; открывается водяной кран и закрывается паровой кран, при этом продуваются водяная трубка и ВС; от-

крывается паровой кран и закрывается продувочный кран, т. е. ВС устанавливается в рабочее положение, и проверяется уровень воды в барабане.

Все действия по продувке надлежит проводить медленно, при защите глаз очками и обязательно при надетых рукавицах.

Во время работы котла необходимо внимательно следить за плотностью газовой арматуры и газопроводов. Периодически, не менее одного раза в смену, выполняется проверка на утечку газа по содержанию метана в помещении; в случае наличия метана в воздухе более 1 %, необходимо выявить места утечки и принять меры по их ликвидации.

Необходимо следить за состоянием обмуровки котла, плотностью лазов и лючков, осматривая их при обходе. Также и по показаниям кислородометра судят о возможных подсосах по тракту. Следует также прислушиваться к звуку в топке и газоходах, приоткрывая лючки. Возможные повреждения труб сопровождаются усиленным шумом.

Периодически необходимо проверять работу дымососов, вентиляторов, насосов котлов. Температуру статоров электродвигателей и подшипников проверяют на ощупь; шум вращающихся машин должен быть монотонным, без резких ударов, свидетельствующих о задевании, и без вибраций, которые проверяются также на ощупь у основания подшипников и опорных плит; гайки фундаментных болтов электродвигателей, насосов, дымососов и вентиляторов должны быть плотно затянуты.

Через каждые 2 ч необходимо проводить запись показаний контрольно-измерительных приборов в сменный журнал.

Особенности обслуживания водогрейных котлов. При работе водогрейного котла температура воды на входе в котел должна быть выше температуры точки росы, т. е. не менее 60 °С. Это достигается смешением выходящей из котла воды с обратной сетевой водой, т. е. путем рециркуляции горячей воды, что предусматривается схемой включения водогрейного котла в сеть.

Горячая вода из выходного коллектора котла рециркуляционным насосом подается во входной коллектор и, смешиваясь с обратной сетевой водой, подогревает ее. Заданная температура воды в теплосети при этом достигается направлением в нее обратной воды по перемычке. При регулировании расхода воды, подаваемой на рециркуляцию, необходимо следить за тем, чтобы расход воды через водогрейный котел всегда был больше минимально допустимого по условиям вскипания.

6.5 Плановый останов котла

Технология останова, объем и последовательность операций определяются типом котла, используемым топливом и видом останова. Плановый останов котла осуществляется по письменному распоряжению начальника котельной.

По конечному тепловому состоянию котла различают два вида остановов — без расхолаживания оборудования и с его расхолаживанием. **Останов без расхолаживания оборудования** проводится при выводе котла в горячий резерв и для проведения небольших работ, как правило, снаружи котла. **Останов с расхолаживанием** проводится для проведения ремонтных работ повышенной продолжительности, причем полнота охлаждения зависит от вида предполагаемого ремонта.

При **нахождении котла в горячем резерве** необходимо принять меры к более длительному сохранению в нем давления и максимальному аккумулярованию в оборудовании теплоты. Для этого после проведения вентиляции топки и газоходов проводится уплотнение газовоздушного тракта путем закрывания шиберов и направляющих аппаратов дымососов и дутьевых вентиляторов. Запрещается держать в горячем резерве котельный агрегат без отключения его от паропровода. Для поддержания давления в котле разрешается периодическая его подтопка. При **нахождении котла в горячем резерве** его дежурный персонал должен постоянно находиться на рабочих местах.

При **останове котла** необходимо уменьшить подачу топлива и дутья, поддерживая разрежение в топке; при этом контролируется уровень воды в барабане по водоуказательным стеклам. Для уменьшения подачи газообразного и жидкого топлива постепенно снижают давление воздуха, а затем газа и мазута перед горелками, поддерживая необходимое разрежение на выходе из топки. По достижении предельных минимальных значений давления топлива по очереди гасят горелки.

После прекращения подачи топлива на котел закрывают главную паровую задвижку, т. е. отключают котел от паровой магистрали, и открывают продувку пароперегревателя. В течение определенного времени, в соответствии с производственной инструкцией, проводят вентиляцию топки и газоходов, после чего останавливают вентиляторы, а затем дымосос, закрывают дымовые шиберы и лопатки осевых направляющих аппаратов дымососов и вентиляторов.

Барабан котла наполняют до верхней отметки в водомерном стекле и поддерживают такой уровень до спуска воды. Спуск воды из остановленного барабанного котла разрешается после снижения давления в нем до атмосферного. После останова котла не разрешается до его расхолаживания открывать люки и лазы.

6.6 Аварийный останов котла

В процессе эксплуатации котла в нем могут возникать повреждения, неполадки, создающие опасные ситуации, чреватые выходом из строя оборудования или котла в целом, разрушениями с большими материальными и человеческими жертвами. В зависимости от степени повреждений они могут

быть устранены как без останова котла, так и с обязательным и немедленным его останомом.

Основой правильного проведения операций по ликвидации аварии является сохранение оборудования и предотвращение крупных его разрушений в условиях исключения травмирования персонала. Оборудование, имеющее дефекты, представляющие угрозу для жизни персонала, должно быть немедленно остановлено. Если авария произошла на стыке двух смен, рабочий персонал принимающей смены привлекается к ликвидации аварии и выполняет распоряжения персонала смены, ликвидирующей аварию.

Обязательный немедленный останов котла персонал проводит при недопустимом повышении или понижении уровня воды в барабане, а также выходе из строя указательных приборов (вызванном неполадками регуляторов питания, повреждениями регулирующей арматуры, приборов теплового контроля, защиты, автоматики, исчезновении питания и т. д.); отказах всех расходомеров питательной воды; остановах всех питательных насосов; недопустимом повышении давления в пароводяном тракте и отказе хотя бы одного предохранительного клапана; разрыве труб пароводяного тракта или появлении трещин, вздутий, пропусков в сварных швах основных элементов котла, в паропроводах, арматуре.

Кроме того, котлы обязательно останавливают при прекращении горения и недопустимом понижении или повышении давления газа и понижении давления мазута за регулирующим клапаном; при недопустимом понижении воздуха перед горелками и разрежения в топке котла, вызванных соответственно останомом всех вентиляторов и дымососов; взрывах в топке, в газоходах, разогреве докрасна несущих балок каркаса и обвалах обмуровки; пожаре, угрожающем персоналу, оборудованию, питанию дистанционного управления отключающей арматуры и соответствующих систем защит; исчезновении напряжения в линиях дистанционного и автоматического управления и контрольно-измерительных приборов.

Водогрейные котлы также должны быть остановлены при снижении расхода воды и давления перед котлом ниже минимально допустимого значения.

6.7

Неполадки и аварии в котельной. Повреждения элементов котельного агрегата

Аварии из-за перепитки и упуска воды в котле. При значительной перепитке барабана котловая вода вместе с паром забрасывается в пароперегреватель, откуда она (если не успеет испариться) может быть вынесена в паропровод. Двигаясь вместе с паром с очень большой скоростью, вода является причиной возникновения гидравлических ударов, которые иногда бывают настолько большой силы, что могут вызвать повреждения паропроводов.

При глубоком упуске воды в котле ниже допускаемого уровня металл кипяtilьных и экранных труб и частей барабанов, обогреваемых горячими газами, перегревается, вследствие чего теряет свою прочность, деформируется, а иногда и разрывается. Взрыв барабана котла обычно сопровождается большими разрушениями с тяжелыми последствиями.

В случае *значительного снижения уровня воды в котле*, т. е. «ухода» уровня ниже низшего допускаемого при нормальном давлении воды в питательной линии и пара, необходимо продуть ВС и убедиться в правильности их показаний; проверить работу регулятора питания; проверить исправность питательных насосов и в случае их повреждения включить резервные; закрыть вентиль непрерывной продувки и проверить плотность всех продувочных вентилях котла; проверить визуальнo и на слух, нет ли течи в швах, трубах, люках (по шуму). Если уровень продолжает снижаться и достиг уровня на 25 мм выше нижней кромки ВС, то необходимо выполнить аварийный останов котла.

При перепитке котла, когда уровень воды поднялся до высшего допускаемого уровня при нормальном давлении в котле и в питательной линии, необходимо продуть ВС и убедиться в правильности их показаний; проверить работу автоматического регулятора питания. При дальнейшем повышении уровня воды продолжить уменьшение питания котла водой, т. е. усилить непрерывную продувку. Одновременно осторожно открыть периодическую продувку, но как только уровень воды начнет снижаться продувку прекратить.

Если уровень воды «ушел» за верхнюю кромку ВС, необходимо провести аварийное отключение котла.

Повреждения кипяtilьных и экранных труб, питательных и паровых трубопроводов. Опыт эксплуатации паровых котлов показывает, что повреждения кипяtilьных и экранных труб происходят чаще всего из-за нарушений водного режима, вызванных неудовлетворительной работой химической водоподготовки, неправильного режима фосфатирования и т. д. Причинами разрывов труб также могут быть превышение давления, нарушение температурных условий их работы, коррозия или изнашивание труб, некачественное изготовление и монтаж.

Учитывая повышенную опасность разрушающих действий при разрывах, необходимо регулярно проверять состояние трубопроводов. Преимущественно нарушения имеют место на участках гибов, вблизи установки арматуры, в местах переходов с одной толщины на другую, в местах сварных стыков.

Внешними признаками разрыва кипяtilьных или экранных труб являются быстрое снижение уровня воды в барабанах котлов, несмотря на усиленное питание их водой; значительное расхождение между массой питательной воды, поступающей в котел, и массой пара, вырабатываемого котлом, что определяется по показаниям приборов; сильный шум пара в камере топки или газоходах котла; повышение давления в топке и выбивание газов из неплотностей обмуровки и люков гляделок.

Оглавление

К читателю	3
Глава 1. Классификация котельных агрегатов	4
Глава 2. Основные элементы паровых и водогрейных котлов	8
2.1. Топки для сжигания газообразных и жидких топлив	8
2.2. Каркас и обмуровка котла	9
2.3. Барабаны паровых котлов	11
2.4. Пароперегреватели котлов	14
2.5. Водяные экономайзеры	16
2.6. Воздухоподогреватели	20
Глава 3. Паровые котлы	23
3.1. Паровой котел МЗК-7АГ	23
3.2. Паровой котел серии Е-1-9	25
3.3. Паровые котлы типа ДКВР	26
3.4. Паровые котлы типа ДЕ	29
Глава 4. Водогрейные котлы	32
4.1. Водогрейные котлы типа ТВГ	32
4.2. Водогрейные котлы типа ПТВМ	34
4.3. Водогрейные котлы типа КВ-ГМ	37
Глава 5. Направления совершенствования котельной техники малой и средней мощности	41
Глава 6. Эксплуатация котельных установок	50
6.1. Общие положения	50
6.2. Подготовка котельного агрегата и вспомогательного оборудования к пуску	52
6.3. Пуск парового котла	54
6.4. Обслуживание котельной установки во время работы	56
6.5. Плановый останов котла	60
6.6. Аварийный останов котла	61
6.7. Неполадки и аварии в котельной. Повреждения элементов котельного агрегата	62