

Паровые котлы тепловых электростанций (ТЭС)

02.11.2011 Теория вода, котел, пар, теплоэнергетика, ТЭЦТimg

Паровые котлы и паровые турбины являются основными агрегатами тепловой электростанции (ТЭС).

Паровой котел — это устройство, имеющее систему поверхностей нагрева для получения пара из непрерывно поступающей в него питательной воды путем использования теплоты, выделяющейся при сгорании органического топлива (рис. 1).

В современных паровых котлах организуется **факельное сжигание топлива в камерной топке**, представляющей собой призматическую вертикальную шахту. Факельный способ сжигания характеризуется непрерывным движением топлива вместе с воздухом и продуктами сгорания в топочной камере.

Топливо и необходимый для его сжигания воздух вводятся в топку котла через специальные устройства — **горелки**. Топка в верхней части соединяется с призматической вертикальной шахтой (иногда с двумя), называемой по основному виду проходящего теплообмена **конвективной шахтой**.

В топке, горизонтальном газоходе и конвективной шахте находятся поверхности нагрева, выполняемые в виде системы труб, в которых движется рабочая среда. В зависимости от преимущественного способа передачи тепла к поверхностям нагрева их можно подразделить на следующие виды: **радиационные, радиационно-конвективные, конвективные**.

В топочной камере по всему периметру и по всей высоте стен обычно расположены трубные плоские системы — **топочные экраны**, являющиеся радиационными поверхностями нагрева.

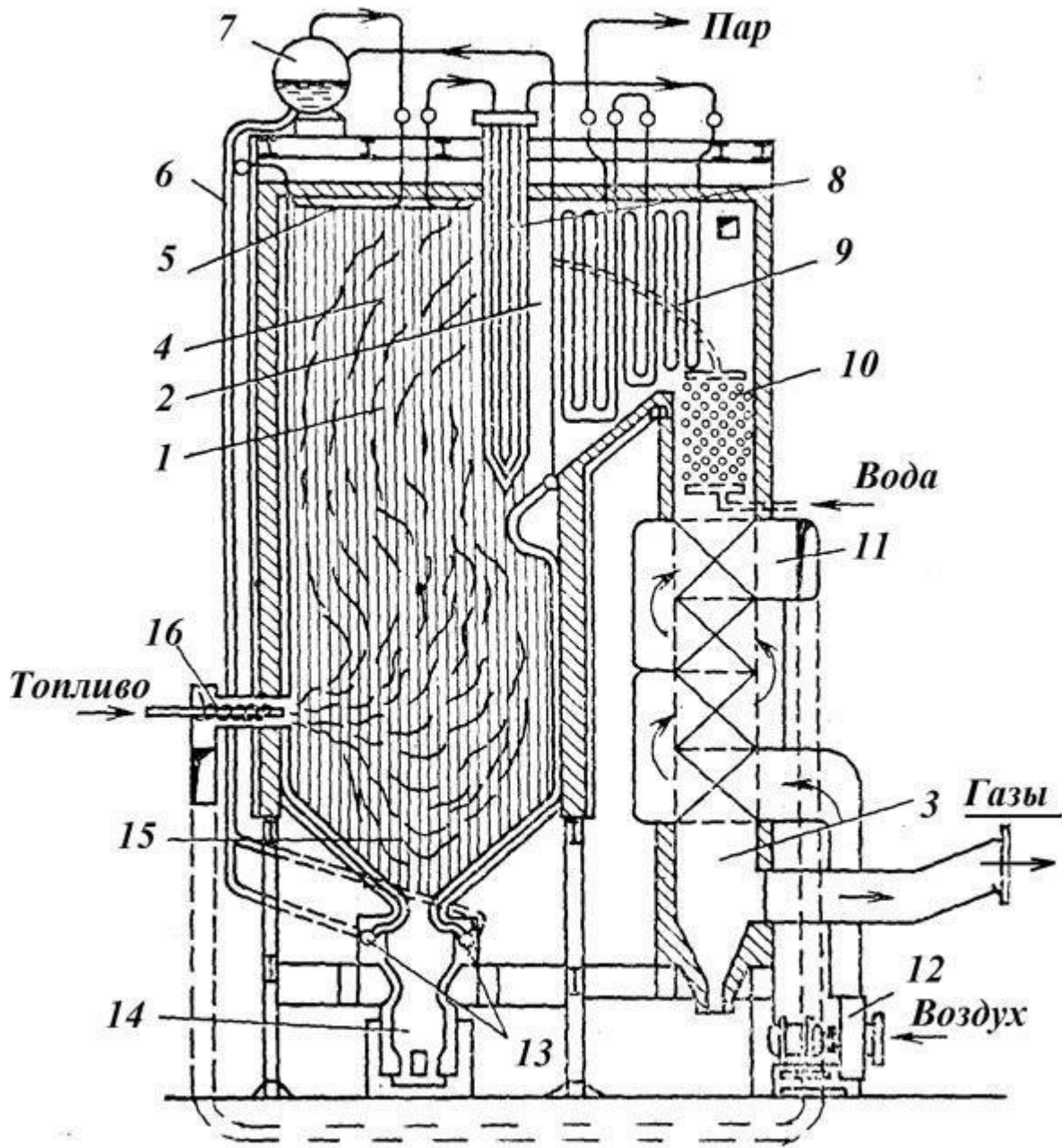


Рис. 1. Схема парового котла ТЭС.

1 — топочная камера (топка); 2 — горизонтальный газоход; 3 — конвективная шахта; 4 — топочные экраны; 5 — потолочные экраны; 6 — спускные трубы; 7 — барабан; 8 — радиационно-конвективный пароперегреватель; 9 — конвективный пароперегреватель; 10 — водяной экономайзер; 11 — воздухоподогреватель; 12 — дутьевой вентилятор; 13 — нижние коллекторы экранов; 14 — шлаковый комод; 15 — холодная коронка; 16 — горелки. На схеме не показаны золоуловитель и дымосос.

В современных конструкциях котлов топочные экраны изготавливают либо из обычных труб (рис. 2, а), либо

из **плавниковых труб**, сваренных между собой по плавникам и образующих сплошную **газоплотную оболочку** (рис. 2,б).

Аппарат, в котором вода нагревается до температуры насыщения, называется **экономайзером**; образование пара происходит в парообразующей (испарительной) поверхности нагрева, а его перегрев — в **пароперегревателе**.

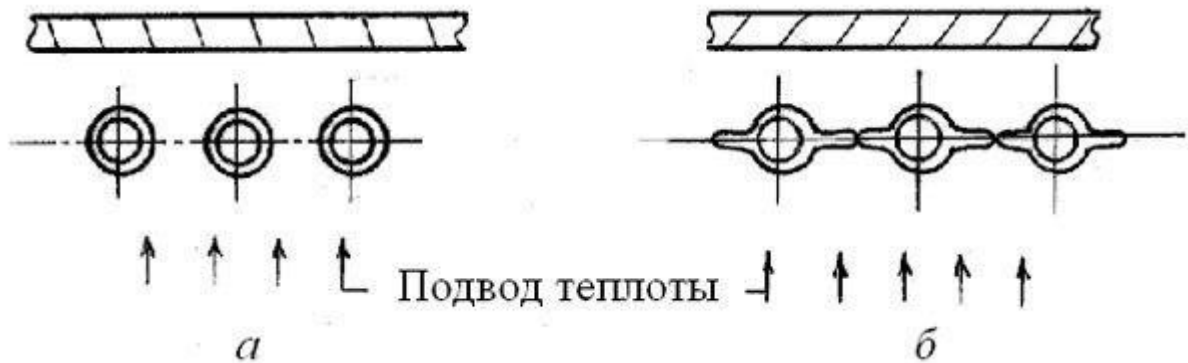


Рис. 2. Схема выполнения топочных экранов
а — из обычных труб; б — из плавниковых труб

Система трубных элементов котла, в которых движутся питательная вода, пароводяная смесь и перегретый пар, образует, как уже указывалось, его **водопаровой тракт**.

Для непрерывного отвода теплоты и обеспечения приемлемого температурного режима металла поверхностей нагрева организуется непрерывное движение в них рабочей среды. При этом вода в экономайзере и пар в пароперегревателе проходят через них однократно. Движение же рабочей среды через парообразующие (испарительные) поверхности нагрева может быть как однократным, так и многократным.

В первом случае котел называется **прямоточным**, а во втором — котлом с **многократной циркуляцией** (рис. 3).

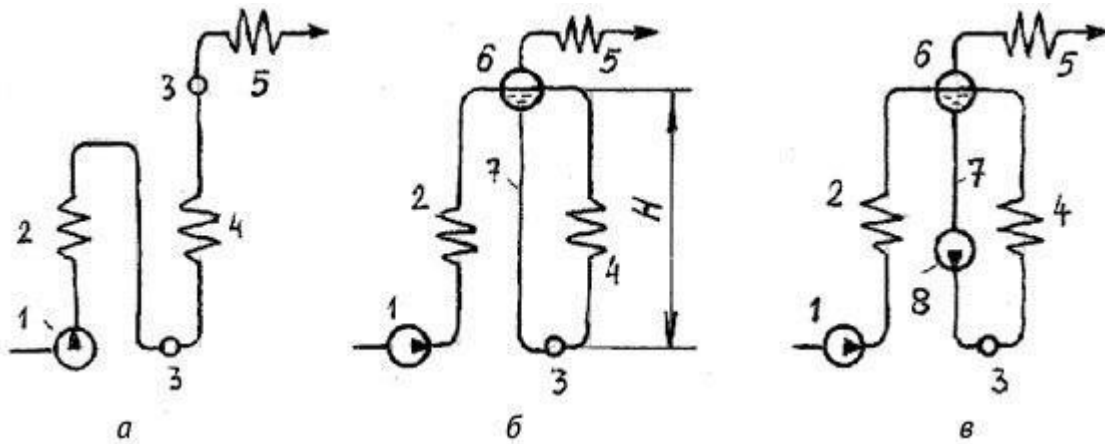


Рис. 3. Схема водопаровых трактов котлов
 а — прямоточная схема; б — схема с естественной циркуляцией; в — схема с многократно-принудительной циркуляцией; 1 — питательный насос; 2 — экономайзер; 3 — коллектор; 4 — парообразующие трубы; 5 — пароперегреватель; 6 — барабан; 7 — опускные трубы; 8 — насос многократно-принудительной циркуляции.

Водопаровой тракт прямоточного котла представляет собой разомкнутую гидравлическую систему, во всех элементах которой рабочая среда движется под напором, создаваемым **питательным насосом**. В прямоточных котлах нет четкого разделения экономайзерной, парообразующей и пароперегревательных зон. Прямоточные котлы работают на докритическом и сверхкритическом давлении.

В котлах с многократной циркуляцией существует замкнутый контур, образованный системой обогреваемых и необогреваемых труб, объединенных сверху **барабаном**, а внизу — **коллектором**. Барабан представляет собой цилиндрический горизонтальный сосуд, имеющий водяной и паровой объемы, которые разделяются поверхностью, называемой **зеркалом испарения**. Коллектор — это заглушенная с торцов труба большого диаметра, в которую по длине ввариваются трубы меньшего диаметра.

В котлах с **естественной циркуляцией** (рис. 3,б) питательная вода, подаваемая насосом, подогревается в экономайзере и поступает в барабан. Из барабана по опускным необогреваемым трубам вода поступает в нижний коллектор, откуда распределяется в обогреваемые трубы, в которых

закипает. Необогреваемые трубы заполнены водой, имеющей плотность ρ' , а обогреваемые трубы заполнены пароводяной смесью, имеющей плотность $\rho_{см}$, средняя плотность которой меньше ρ' . Нижняя точка контура — коллектор — с одной стороны подвергается давлению столба воды, заполняющей необогреваемые трубы, равному $H\rho'g$, а с другой — давлению $H\rho_{см}g$ столба пароводяной смеси. Возникающая разность давлений $H(\rho' - \rho_{см})g$ вызывает движение в контуре и называется **движущим напором естественной циркуляции** $S_{дв}$ (Па):

$$S_{дв} = H(\rho' - \rho_{см})g,$$

где H — высота контура; g — ускорение свободного падения.

В отличие от однократного движения воды в экономайзере и пара в пароперегревателе движение рабочего тела в циркуляционном контуре является многократным, так как при проходе через парообразующие трубы вода испаряется не полностью и паросодержание смеси на выходе из них составляет 3-20%.

Отношение массового расхода циркулирующей в контуре воды к количеству образовавшегося пара в единицу времени называется кратностью циркуляции

$$R = m_v/m_p.$$

В котлах с естественной циркуляцией $R = 5-33$, а в котлах с принудительной циркуляцией — $R = 3-10$.

В барабане образовавшийся пар отделяется от капель воды и поступает в пароперегреватель и далее в турбину.

В котлах с многократной принудительной циркуляцией (рис. 3,в) для улучшения циркуляции устанавливается дополнительно **циркуляционный насос**. Это позволяет лучше компоновать поверхности нагрева котла, допуская движение пароводяной смеси не только по вертикальным парогенерирующим трубам, но также по наклонным и горизонтальным.

Поскольку наличие в парообразующих поверхностях двух фаз — воды и пара — возможно лишь при докритическом давлении, барабанные котлы работают при давлениях меньше критических.

Температура в топке в зоне горения факела достигает 1400-1600°C. Поэтому стены топочной камеры выкладывают из огнеупорного материала, а их наружная поверхность покрывается тепловой изоляцией. Частично охладившиеся в топке продукты сгорания с температурой 900-1200°C поступают в горизонтальный газоход котла, где омывают пароперегреватель, а затем направляются в конвективную шахту, в которой размещаются **промежуточный пароперегреватель, водяной экономайзер** и последняя по ходу газов поверхность нагрева — **воздухоподогреватель**, в котором воздух подогревается перед его подачей в топку котла. Продукты сгорания за этой поверхностью называются **уходящими газами**: они имеют температуру 110-160°C. Поскольку дальнейшая утилизация тепла при такой низкой температуре нерентабельна, уходящие газы с помощью дымососа удаляются в дымовую трубу.

Большинство топок котлов работает под небольшим разрежением 20-30 Па (2 — 3 мм вод.ст.) в верхней части топочной камеры. По ходу продуктов сгорания разрежение в газовом тракте увеличивается и составляет перед дымососами 2000-3000 Па, что вызывает поступление атмосферного воздуха через неплотности в стенах котла. Они разбавляют и охлаждают продукты сгорания, понижают эффективность использования тепла; кроме того, при этом увеличивается нагрузка дымососов и растет расход электроэнергии на их привод.

В последнее время создаются котлы, работающие под наддувом, когда топочная камера и газоходы работают под избыточным давлением, создаваемым вентиляторами, а дымососы не устанавливаются. Для работы котла под наддувом он должен выполняться **газоплотным**.

Поверхности нагрева котлов выполняются из сталей различных марок в зависимости от параметров (давления, температуры и др.) и характера движущейся в них среды, а также от уровня

температур и агрессивности продуктов сгорания, с которыми они и находятся в контакте.

Важное значение для надежной работы котла имеет качество питательной воды. В котел непрерывно поступает с ней некоторое количество взвешенных твёрдых частиц и растворенных солей, а также окислов железа и меди, образующихся в результате коррозии оборудования электростанций. Очень небольшая часть солей уносится вырабатываемым паром. В котлах с многократной циркуляцией основное количество солей и почти все твердые частицы задерживаются, из-за чего их содержание в котловой воде постепенно увеличивается. При кипении воды в котле соли выпадают из раствора и на внутренней поверхности обогреваемых труб появляется накипь, которая плохо проводит тепло. В результате покрытые изнутри слоем накипи трубы недостаточно охлаждаются движущейся в них средой, нагреваются из-за этого продуктами сгорания до высокой температуры, теряют свою прочность и могут разрушиться под действием внутреннего давления. Поэтому часть воды с повышенной концентрацией солей необходимо удалять из котла. На восполнение удаленного количества воды подается питательная вода с меньшей концентрацией примесей. Такой процесс замены воды в замкнутом контуре называется **непрерывной продувкой**. Чаще всего непрерывная продувка производится из барабана котла.

В прямоточных котлах из-за отсутствия барабана нет непрерывной продувки. Поэтому к качеству питательной воды этих котлов предъявляются особенно высокие требования. Они обеспечиваются путем очистки турбинного конденсата после конденсатора в специальных **конденсатоочистительных установках** и соответствующей обработкой добавочной воды на водоподготовительных установках.

Вырабатываемый современным котлом пар является, вероятно, одним из наиболее чистых продуктов, производимых промышленностью в больших количествах.

Так, например, для прямоточного котла, работающего на сверхкритическом давлении, содержание загрязнений не должно превышать 30-40 мкг/кг пара.

Современные электростанции работают с достаточно высоким КПД. Теплота, затраченная на подогрев питательной воды, ее испарение и получение перегретого пара, — это полезно использованная теплота Q_1 .

Основная потеря тепла в котле происходит с уходящими газами Q_2 . Кроме того, могут быть потери Q_3 от химической неполноты сгорания, обусловленные наличием в уходящих газах CO , H_2 , CH_4 ; потери с механическим недожогом твердого топлива Q_4 , связанные с наличием в золе частичек несгоревшего углерода; потери в окружающую среду через ограждающие котел и газоходы конструкции Q_5 ; и, наконец, потери с физической теплотой шлака Q_6 .

Обозначая $q_1 = Q_1 / Q$, $q_2 = Q_2 / Q$ и т.д., получаем КПД котла:

$$\eta_k = Q_1 / Q = q_1 = 1 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6),$$

где Q — количество тепла, выделяющегося при полном сгорании топлива.

Потеря тепла с уходящими газами составляет 5-8% и уменьшается с уменьшением избытка воздуха. Меньшие потери соответствуют практически горению без избытка воздуха, когда воздуха в топку подается лишь на 2-3% больше, чем теоретически необходимо для горения.

Отношение действительного объема воздуха V_d , подаваемого в топку, к теоретически необходимому V_T для сгорания топлива называется коэффициентом избытка воздуха:

$$\alpha = V_d / V_T \geq 1.$$

Уменьшение α может привести к неполному сгоранию топлива, т.е. к возрастанию потерь с химическим и механическим недожогом. Поэтому принимая q_5 и q_6 постоянными, устанавливают такой избыток воздуха α , при котором сумма потерь

$$q_2 + q_3 + q_4 \rightarrow \min.$$

Оптимальные избытки воздуха поддерживаются с помощью электронных автоматических регуляторов процесса горения,

изменяющих подачу топлива и воздуха при изменениях нагрузки котла, обеспечивая при этом наиболее экономичный режим его работы. КПД современных котлов составляет 90-94%.

Все элементы котла: поверхности нагрева, коллекторы, барабаны, трубопроводы, обмуровка, помосты и лестницы обслуживания — монтируются на каркасе, представляющем собой рамную конструкцию. Каркас опирается на фундамент или подвешивается к балкам, т.е. опирается на несущие конструкции здания. Масса котла вместе с каркасом довольно значительна. Так, например, суммарная нагрузка, передаваемая на фундаменты через колонны каркаса котла паропроизводительностью $D=950$ т/ч, составляет 6000 т. Стены котла покрываются изнутри огнеупорными материалами, а снаружи — тепловой изоляцией.

Применение газоплотных экранов приводит к экономии металла на изготовление поверхностей нагрева; кроме того, в этом случае вместо огнеупорной кирпичной обмуровки стены покрываются лишь мягкой тепловой изоляцией, что позволяет на 30-50% уменьшить массу котла.

Энергетические стационарные котлы, выпускаемые промышленностью России, маркируются следующим образом: Е — паровой котел с естественной циркуляцией без промежуточного перегрева пара; Еп — паровой котел с естественной циркуляцией с промежуточным перегревом пара; Пп- прямоточный паровой котел с промежуточным перегревом пара. За буквенным обозначением следуют цифры: первая — паропроизводительность (т/ч), вторая — давление пара (кгс/см²). Например, ПК — 1600 — 255 означает : паровой котел с камерной топкой с сухим шлакоудалением, паропроизводительностью 1600 т/ч, давление пара 255 кгс/см².

Источник: Полещук И.З., Цирельман Н.М. Введение в теплоэнергетику: Учебное пособие / Уфимский государственный авиационный технический университет. — Уфа, 2003.