2 Лекция

Классификация паровых котлов. Компоновка паровых котлов. Основные параметры паровых котлов. Типы и конструктивные схемы.

2.1 Классификация паровых котлов

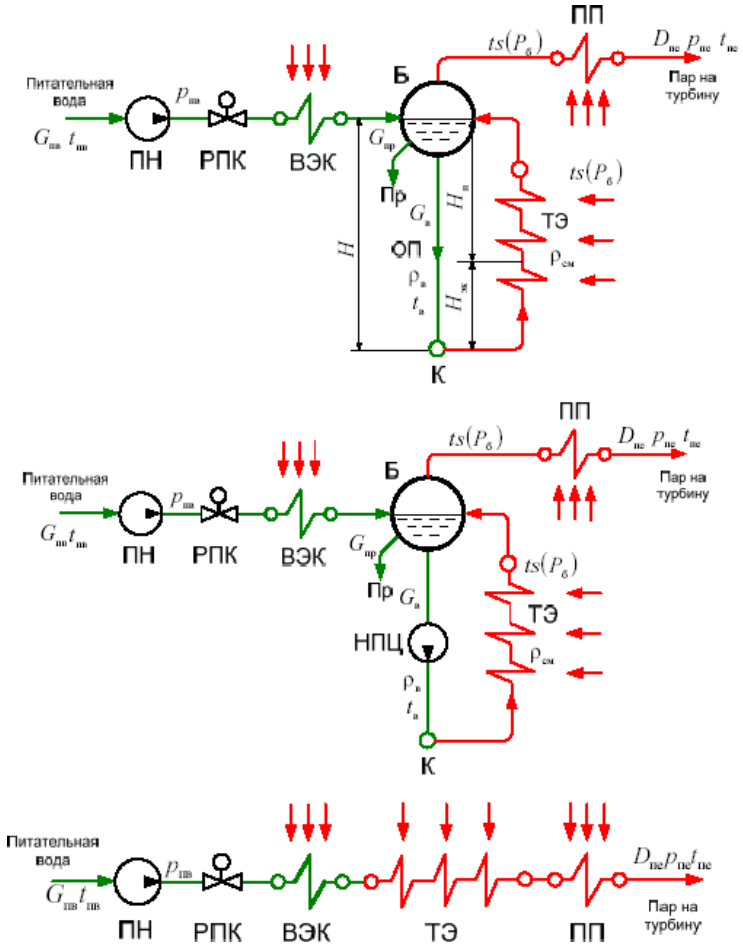
По назначению КУ делятся на *энергетические, производственные и отопительные.* В энергетических КУ вырабатывается пар для привода паровых турбин ТЭС. В производственных КУ пар вырабатывается для различных технологических нужд. Отопительные котельные служат для обеспечения отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

По уровню давления перегретого пара различают котлы с низким (менее 4 МПа), средним (от 4 до 11 МПа), высоким (от 11 до 18 МПа) и сверхкритическим давлением (более 25 МПа).

По уровню давления в газовом тракте различают котлы с естественной, уравновешенной тягой и под наддувом.

По виду пароводяного тракта различают котлы: с естественной циркуляцией, с принудительной циркуляцией и прямоточным движением.

Возможна также классификация: *по виду сжигаемого топлива* (газ, мазут, твердое топливо), *по способу шлакоудаления* (твердое, мокрое), *по типу топки* (вихревая, циклонная, с кипящим слоем).



ПН - питательный насос;
РПК - регулятор питания котла;
ВЭК – водяной экономайзер;
ТЭ - топочные экраны;
ПП - пароперегреватель;
ОП - опускные трубы;
НПЦ - насос принудительной циркуляции;
Б - барабан.

Рисунок 2.1 - Схемы водопарового тракта котла: барабанного с естественной циркуляцией; барабанного с принудительной циркуляцией и прямоточного

2.1.1 Паровые котлы с естественной циркуляцией

Отличительной конструктивной особенностью котла с естественной циркуляцией является наличие барабана, выполняющего роль сепаратора пара из потока пароводяной смеси. Барабан котла вместе с системой необогреваемых опускных труб, и подъемных (экранных) труб образует замкнутый циркуляционный контур, в котором при горении топлива в топке организуется движение воды и пароводяной смеси (см. рисунок 2.2).

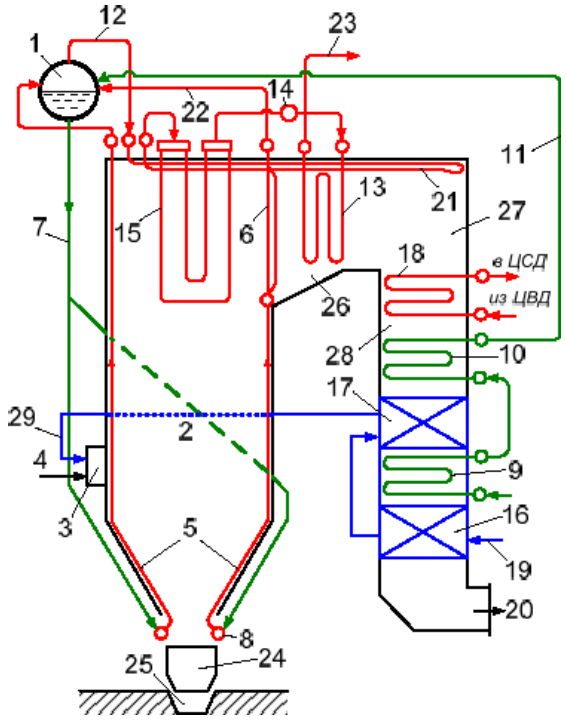
Движение рабочей среды происходит за счет возникновения естественного напора, определяемого разностью гидростатических давлений массы воды и пароводяной смеси в опускных и подъемных трубах и называемого *движущим напором естественной циркуляции* (см. рисунок 2.3):

$$S_{дв} = H_{п} \cdot (\rho_{оп} - \rho_{см}) \cdot g, \qquad (2.1)$$

где $H_{п}$ - высота паро-содержащей части контура, м;

$\rho_{оп}$, $\rho_{см}$ - соответствующая плотность воды в опускных трубах и средняя плотность пароводяной смеси в подъемных трубах, кг/м^3;

g - ускорение свободного падения, м/с^2.



1-барабан; 2-топочная камера; 3-горелка; 4 - первичная пылевоздушная смесь; 5 - топочные экраны; 6 – фестон; 7 - опускные трубы; 8 - коллектор; 9,10 - I-я и II-я ступень водяного экономайзера; 11 - трубопровод; 12-паропровод; 13-конвективный пароперегреватель; 14-пароохладитель; 15- ширмовый пароперегреватель; 16 - I-я ступень воздухоподогревателя; 18 - промежуточный пароперегреватель; 19 - подача холодного воздуха; 20 - уходящие газы; 21- радиационный пароперегреватель; 22 – отводящие трубы; 23 - пар на турбину; 24–шлаковая ванна; 25 - канал гидрошлакоудаления; 26 - горизонтальный газоход; 27 - поворотная камера; 28 - конвективная шахта; 29 - горячий воздух.

Рисунок 2.2 - Схема котла с естественной циркуляцией

Возникающий в контуре циркуляции движущий напор обеспечивает движение рабочей среды в подъемных трубах со скоростью порядка 1 м/с.

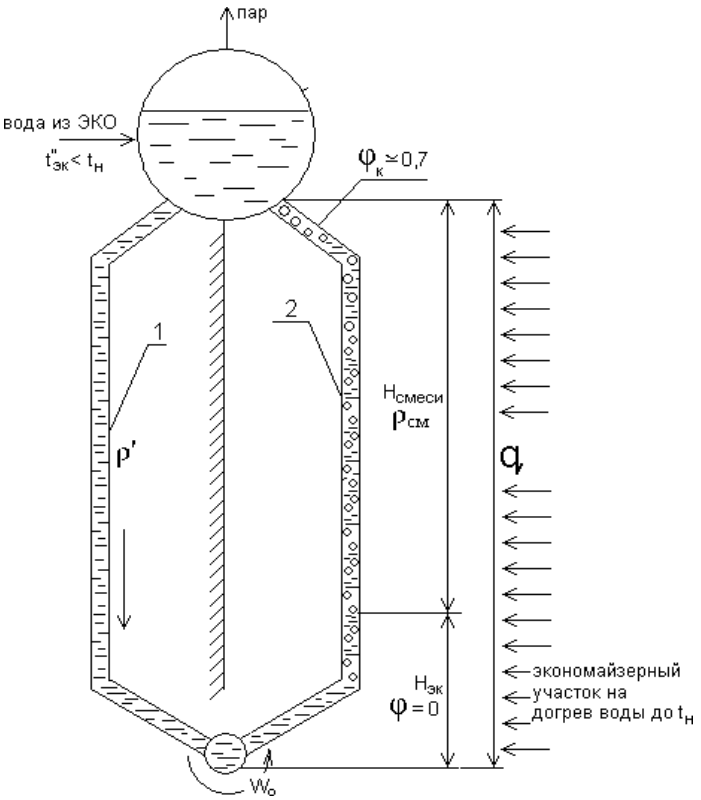
При этом за один проход через подъемные трубы происходит частичное испарение воды (0,25 кг/кг), поэтому полное испарение исходного 1 кг воды произойдет при многократном прохождении контура.

Отношение массового расхода циркулирующей воды к количеству образовавшегося пара в единицу времени - называется *кратностью циркуляции*:

$$k_ц = G_в / G_п \qquad (2.2)$$

В паровых котлах с естественной циркуляцией $k_ц$ составляет от 10 до 30.

Недостатком котлов с естественной циркуляцией является - нарушение циркуляции при $D/D_{ном}<40$ %, что приводит к снижению кратности циркуляции и паропроизводительности.



1 – необогреваемые опускные трубы (ρ');
2 – подъёмные трубы ($\rho_{см}$).

Рисунок 2.3 – Схема контура естественной циркуляции

Гидродинамика контура естественной циркуляции.

Движущий напор расходуется на преодоление сопротивления опускных и подъёмных труб: $S_{пол}=S_{дв}-\Delta P_{под}$, $\Rightarrow$ основное уравнение циркуляции: $S_{дв}=\Delta P_{под}$.. Контур естественной циркуляции может быть: простым, сложным.

Характеристики простого контура естественной циркуляции.

1) $W_0 = \frac{G_{см}}{f_{под} \cdot \rho'}$

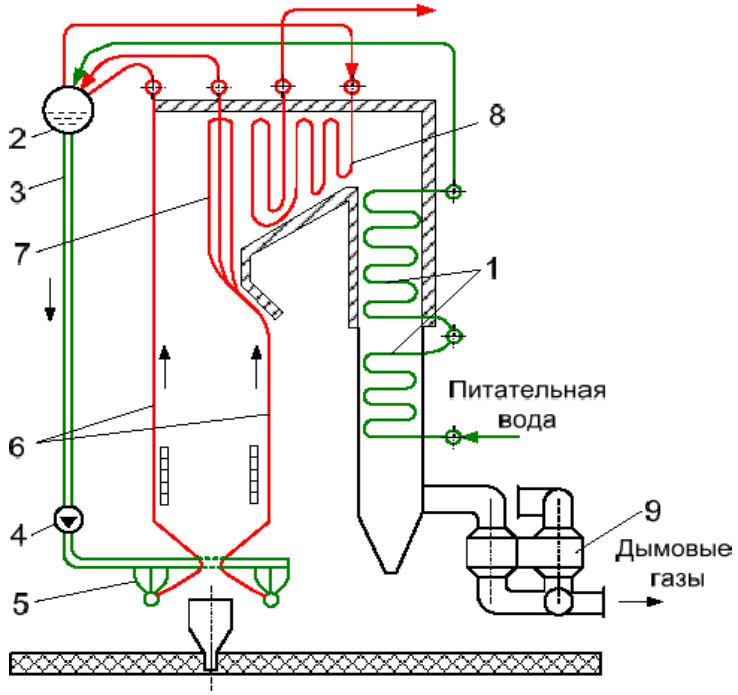
2) $W_o^{действ}$ определяется $G_{воды} \Rightarrow k = \frac{G_в}{G_п} \rightarrow \frac{1}{X''} \rightarrow X''$.

3) $S_{пол} = S_{дв} - \Delta P_{под} = S_{дв} - \sum_1^n \xi_{под} \cdot \frac{W_0^2}{2} \cdot \rho' \cdot \left[1 + x_{ср} \cdot \left(\frac{\vartheta''}{\vartheta'} - 1\right)\right]$;

4) $\Delta P_{под} = \sum_1^n \xi_{оп} \cdot \frac{W_{оп}^2}{2} \cdot \rho' = \sum_1^n \xi_{оп} \cdot \left(\frac{W \cdot f_{под}}{f_{оп}}\right)^2 \cdot \frac{\rho'}{2}$.

2.1.2 Паровые котлы с принудительной циркуляцией

В парообразующих трубах можно организовать принудительное движение рабочей среды за счет специального насоса, установленного на опускных трубах - циркуляционный насос (см. рисунок 2.4). Движущий напор циркуляции в этом случае в несколько раз превышает напор естественной циркуляции. Это позволяет увеличить скорость движения и располагать парообразующие трубы в топке любым образом (наклонно, горизонтально), исходя из размещения котла в ограниченных по высоте помещениях, и более удобно его конструировать. При этом повышается надежность циркуляции рабочей среды. Однако значительным оказывается расход электроэнергии на привод насоса принудительной циркуляции, поэтому в этом случае уменьшается значение $k_ц$=3÷5.



1 – экономайзер; 2 – барабан; 3 - опускные трубы; 4-циркуляционный насос; 5 – раздача воды по контурам циркуляции; 6 – испарительные радиационные поверхности нагрева; 7- фестон; 8- пароперегреватель; 9 – регенеративный воздухоподогреватель.

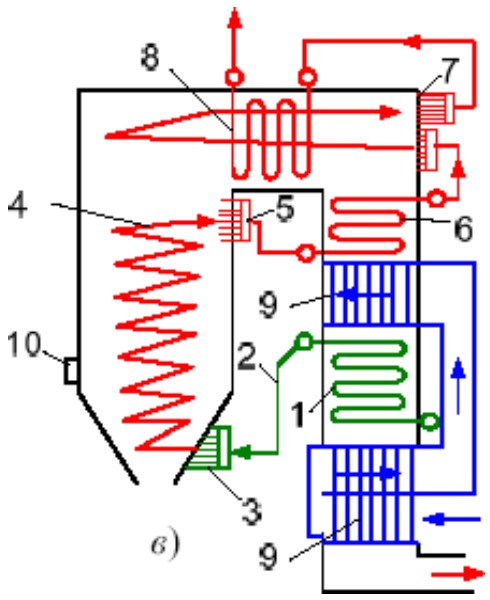
Рисунок 2.4 – Схема котла с принудительной циркуляцией

2.1.3 Прямоточный паровой котел

Прямоточный котел (на примере котла Рамзина) характеризуется последовательным включением и однократным прохождением рабочей средой всех поверхностей нагрева (см. рисунок 2.5). Вода, поступающая в экономайзер, проходит прямотоком одним ходом все поверхности, включая топочные экраны, полностью испаряется, и затем перегретый пар, по паропроводу направляется к турбине. В такой конструкции котла в общем случае отсутствует четкое разделение экономайзерной, парообразующей и перегревательной поверхностей. Поэтому при переменных режимах работы изменяется положение границ между поверхностями нагрева, что влияет на выходные параметры пара и, прежде всего на его температуру. Поддержание параметров пара обеспечивается постоянным соотношением между расходом топлива и расходом воды. В связи с этим прямоточный котел требует применения более совершенной быстродействующей системы автоматического регулирования расходов топлива и воды.

При движении воды и пара в трубах возникает гидравлическое сопротивление, которое преодолевается избыточным напором питательного насоса. Приближенно полное гидравлическое сопротивление рабочего тракта прямоточного котла сверхкритического давления (СКД) составляет $\Delta p_{пк}=(0,2\div0,25)*p_{пп.}$ Поверхность экономайзера в конвективной шахте обеспечивает нагрев поступающей питательной воды до температуры, близкой к насыщению. После прохождения поверхности экономайзера питательная вода поступает в нижние коллекторы топочных экранов. Окончательный догрев воды до кипения происходит в топочном экране.

Полное экранирование стен топочной камеры достигается в этом случае соединением нескольких самостоятельных панелей из труб, по которым организуется последовательное движение рабочей среды.



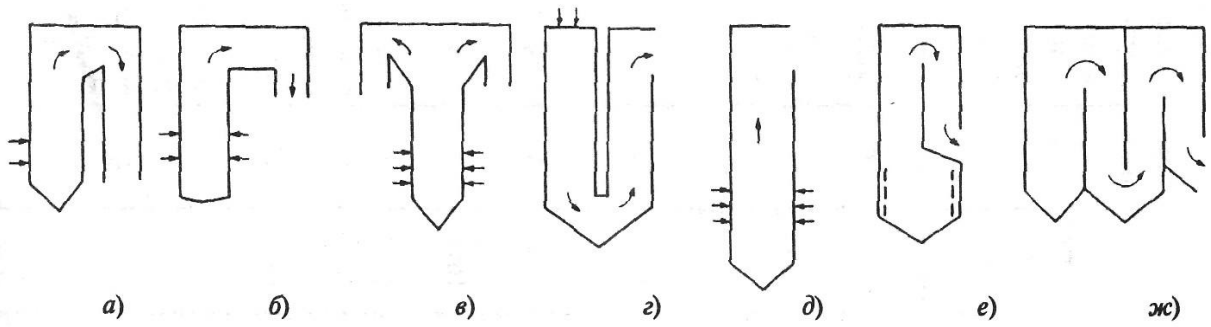
1 – экономайзер; 2 – перепускные необогреваемые трубы; 3 – нижний распределительный коллектор воды; 4- экранные трубы; 5 – верхний сборный коллектор смеси; 6 – вынесенная переходная зона; 7 – настенная часть пароперегревателя; 8 – конвективная часть пароперегревателя; 9 – воздухоподогреватель; 10 – горелка.

Рисунок 2.5 - Схема прямоточного парового котла

По высоте топочная камера разделяется на две или три части с перемешиванием потока рабочей среды (выравниванием температур). В прямоточном котле экранируются панелями из пароперегревательных труб также боковые стены горизонтального газохода, поворотной камеры и потолочное перекрытие котла, после чего пар на котлах большой мощности поступает в полурадиационную (ширмовую) поверхность, расположенную в горизонтальном газоходе, и затем в выходную конвективную поверхность, откуда перегретый пар направляется в паровую турбину. Отсутствие процесса отделения пара от воды в рабочем тракте котла позволяет использовать котел не только при докритическом, но и при сверхкритическом давлении рабочей среды.

2.2 Компоновка паровых котлов

По конструкции в типовом паровом котле выделяются следующие основные элементы: *топочная камера (топка), горизонтальный газоход, конвективная шахта.* Компоновка КУ бывает П, Г, Т, U - *образная, башеная, полубашенная и многоходовая* (см. рисунок 2.6).



а) П – образная, б) Г – образная, в) Т – образная, г) – U – образная,
д) башенная, е) полубашенная, ж) многоходовая.

Рисунок 2.6 – Основные компоновки КУ

При сжигании мазута, природного газа используют *П* и *Г*-образные компоновки котлов. При сжигании твердых топлив: *П* и *Г*- образные компоновки применяют в котлах D≤1600 т/ч; *Т*-образную компоновку применяют для котлов D>1000 т/ч, работающих на твердых топливах.

Для углей с высокоабразивной золой *Т* - образную компоновку используют для котлов, начиная с D>500 т/ч. Для мощных котлов при сжигании газа и мазута или бурых углей может быть использована *башенная* компоновка в сочетании с открытой и полуоткрытой компоновками КУ.

2.3 Основные параметры и обозначения котлов

Паровые котлы характеризуются основными параметрами: *номинальной паропроизводительностью, давлением, температурой пара (основного и промежуточного перегрева) и питательной воды.*

Под *номинальной паропроизводительностью* понимают наибольшую нагрузку (т/ч или кг/с), которую стационарный котел должен обеспечивать в длительной эксплуатации при сжигании основного топлива при номинальных значениях температуры пара и питательной воды.

Номинальными давлением и температурой пара считают те, которые должны быть обеспечены непосредственно перед паропроводом к потребителю пара при номинальной производительности котла.

Номинальная температура питательной воды - это температура, которую необходимо обеспечить перед входом воды в экономайзер (или в другой подогреватель питательной воды, а при их отсутствии - перед входом в барабан котла) при номинальной паропроизводительности.

Условное обозначение типоразмера котла (ГОСТ 3619-89) включаетпоследовательно расположение следующих элементов:



– обозначение *типа котла* (*Е* - котел с естественной циркуляцией, *Еп* - котел с естественной циркуляцией и промежуточным перегревом пара; *П* - прямоточный котел, *Пп* - прямоточный котел с промежуточным перегревом пара);

– значение его *паропроизводительности* в т/ч;

– значение абсолютного *давления пара* в МПа;

– значения *температур пара и промежуточного перегрева пара* в ^{o}C;

– индексы вида топлива и типа топки (*К* - каменный уголь и полуантрацит; *Б* - бурый уголь; *С* – сланцы; *М* – мазут; *Г* – газ; *Т* - камерная топка с твердым шлакоудалением; *В* - вихревая топка; *Ц* - циклонная топка; *Ф* - топка с кипящим слоем, для котлов с наддувом - добавочный индекс Н);

– заводские типоразмеры: *Т* – Таганрогский котельный

завод (например: ТГМП-1202, ТГМЕ-464 , ТПП-210); *П* – Подольский машиностроительный завод (например: П-57, П-67), *БКЗ* - Барнаульский котельный завод (например: БКЗ-75-39-ФБ), *БелКЗ* - Белгородский котельный завод (например: Б–50–40), *БиКЗ* - Бийский котельный завод.