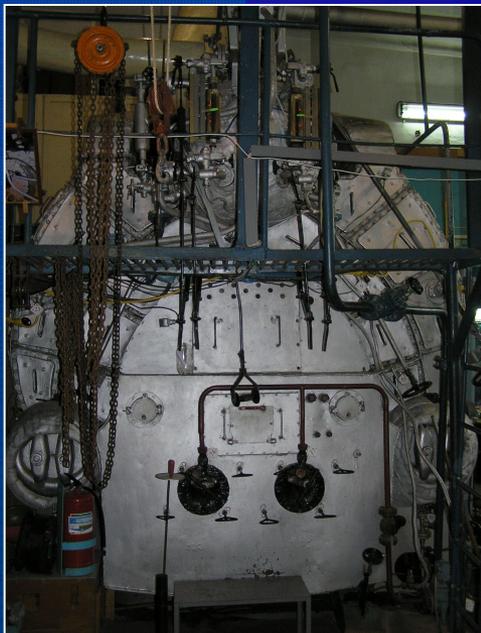


# СУДОВЫЕ ПАРОВЫЕ КОТЛЫ. ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ



1. Назначение и классификация судовых паровых котлов.
2. Основные характеристики паровых котлов.
3. Конструктивные особенности и принцип действия различных типов паровых котлов.



## **ЛИТЕРАТУРА:**

---

- 1. Болдырев О.Н. Судовые энергетические установки. Часть II. Котлотурбинные энергетические установки. Учебное пособие. – Северодвинск: Севмашвтуз, 2004. – 188 с.**

## НАЗНАЧЕНИЕ СУДОВОЙ КОТЛОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

**Судовая котлотурбинная энергетическая установка (СКТУ) - комплекс технических средств, предназначенных для выработки пара заданных параметров и преобразования энергии пара в механическую, электрическую и другие виды энергии для обеспечения движения и маневрирования судна, а также выполнения задач, характерных для данного класса судна.**

**Судовые ПТУ являются наиболее сложными среди всего многообразия других видов СЭУ.**

**Судовые ПТУ имеют отдельные генерирующую и исполнительную части. В качестве генерирующей части в ПТУ используется котельная или ядерная установка, предназначенная для выработки пара заданных параметров. В качестве исполнительной части используется ПТУ, предназначенная для преобразования потенциальной энергии пара в механическую энергию вращения линии вала судна.**

## НАЗНАЧЕНИЕ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

**Паровой котел** - теплообменный аппарат, предназначенный для превращения воды в пар заданных параметров за счет тепловой энергии, выделяющейся при сжигании органического топлива.

Принцип действия парового котла определяется сущностью рабочих процессов, происходящих в нем. Рабочие процессы в паровых котлах протекают в воздушно-газовом тракте, в пароводяном тракте, и тесно взаимосвязаны друг с другом.

Существует два основных источника получения теплоты в паровом котле:

- Непосредственное сжигание органического топлива в топке котла (основной способ). При этом образуется большой объем горячих продуктов сгорания (дымовых газов), которые являются теплоносителем, передающим теплоту нагреваемой и испаряемой воде и перегреваемому пару;
- Использование теплоты отработавших газов других типов тепловых двигателей: дизельного двигателя или

# КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Судовые паровые котлы классифицируют по следующим признакам.

**По назначению:**

- главные, обеспечивающие паром главный двигатель (паровую турбину) и все потребители пара на ходу судна (корабля);
- вспомогательные, обеспечивающие паром все потребители судна на стоянке при неработающих главных котлах, а также используемые для ввода в действие главных котлов. На судах с ГТУ и ДЭУ вспомогательные котлы работают и на ходовых режимах для обеспечения паром всех потребителей судна.

**По способу использования:**

- автономные, имеющие собственную топливную систему и систему подвода воздуха, и использующие для выработки пара теплоту продуктов сгорания, образующихся при сжигании органического топлива в топке;
- утилизационные, использующие теплоту выхлопных газов ДЭУ или ГТУ;
- комбинированные, в которых подогрев воды и ее испарение могут осуществляться как от собственной топливной и воздушной систем, так и от теплоты продуктов сгорания других типов ЭУ.

# КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

## По конструкции:

- водотрубные, в которых вода и пароводяная смесь движутся внутри труб, омываемых снаружи горячими газами;
- огнетрубные, в которых горячие газы движутся внутри труб, омываемых снаружи водой;
- комбинированные, имеющие в своем составе водотрубную и огнетрубную части.

## По принципу организации движения воды и пароводяной смеси:

- котлы с естественной циркуляцией (ЕЦ), в которых движение воды и пароводяной смеси по контуру циркуляции происходит за счет разности плотностей питательной воды и образующейся при испарении воды пароводяной смеси;
- котлы с принудительной циркуляцией (ПЦ), в которых движение воды и пароводяной смеси в контуре циркуляции происходит за счет работы специального циркуляционного насоса.

## В свою очередь паровые котлы с ПЦ по кратности циркуляции делятся на:

- прямоточные;
- с принудительной циркуляцией малой кратности (ПЦ МК);
- с многократной принудительной циркуляцией (МПЦ).

# КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

## По способу организации движения воздуха:

- котлы с вентиляторным дутьем (открытым и закрытым), в топке которых топливо сгорает при давлении, незначительно превышающем атмосферное, а подача воздуха в топку осуществляется котельным вентилятором;
- котлы с компрессорным наддувом (высоконапорные котлы), в топке которых топливо сгорает при давлении, существенно превышающем атмосферное: 0,2...0,4 МПа (2...4 кгс/см<sup>2</sup>), а нагнетание воздуха в топку производится с помощью специального компрессорного агрегата.

## По типу используемого топлива:

- котлы, работающие на твердом топливе (уголь и угольная пыль);
- котлы, работающие на жидком топливе (мазуты, дизельное топливо);
- котлы, работающие на газообразном топливе (природные и синтетические газы).

Для работы судовых и корабельных паровых котлов обычно применяется жидкое топливо: мазуты или (значительно реже) дизельные топлива. В исключительных случаях на судах-газовозах с ПТУ могут

# КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

По расположению топочных устройств:

- котлы с однофронтовым отоплением, в которых топочные устройства располагаются на одном, переднем (со стороны обслуживания) фронте котла;
- с двухфронтовым отоплением, в которых топочные устройства расположены на переднем и заднем фронтах котла;
- с потолочным расположением топочных устройств;
- с боковым расположением топочных устройств;

Судовые паровые котлы также могут классифицироваться и по другим признакам, характеризующим их конструктивные особенности.

По типу применяемых поверхностей нагрева:

- испарительных пучков труб, экономайзера, воздухоподогревателя и пароперегревателя.

По наличию или отсутствию хвостовых поверхностей нагрева (экономайзеров и воздухоподогревателей).

По взаимному размещению поверхностей нагрева.

По количеству коллекторов.

По организации топочного процесса, и др.

## СУДОВАЯ КОТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Как правило, на судне размещают несколько котлоагрегатов. Один или несколько котлоагрегатов, обеспечивающих выработку пара заданных параметров, вместе с обслуживающими их системами, вспомогательными механизмами и устройствами, называются судовой котельной установкой.



## **ПРОЦЕССЫ В СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛАХ**

**Рабочий процесс, происходящий в паровом котле, весьма сложен. Его можно рассматривать состоящим из отдельных процессов, происходящих в воздушно-газовом и пароводяном трактах котла.**

**В воздушно-газовом тракте котла происходит непрерывный подвод воздуха и топлива, горение топлива и отвод продуктов сгорания (дымовых газов), которые являются основным теплоносителем. Горение топлива и движение продуктов сгорания по газоходам обеспечивают протекание основного процесса, связанного с тепловыделением и передачей теплоты поверхностям нагрева котла. При движении воздуха и газов в ВГТ котла возникает сопротивление, на преодоление которого требуется определенный расход энергии, затрачиваемой котельным вентилятором (компрессорным) агрегатом.**

**В пароводяном тракте котла происходят процессы подвода питательной воды, нагрев ее до кипения, парообразование, перегрев пара и отвод его к потребителям.**

**Оценку различных типов паровых котлов производят по их**

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

**Паропроизводительность** –  $D$ , [ $m^3/ч$ ] ( $кг/ч$ ) – количество пара, вырабатываемое котлом в единицу времени;

Паропроизводительность является главным показателем, характеризующим нагрузку котла.

В зависимости от мощности ПТУ судна паропроизводительность современных главных котлов может составлять от 10 до 100  $m^3/ч$  и более, вспомогательных котлов – от 0,5 до 15  $m^3/ч$ .

Так как в современных котлах может производиться отбор не только перегретого, но и насыщенного пара, в этом случае общая паропроизводительность котла равна сумме паропроизводительностей по перегретому и насыщенному (охлажденному) пару:

$$D = D_{ПЕ} + D_{НАС}$$

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

**Рабочее давление пара в котле** –  $p_K$ , [МПа] ( $\text{кгс/см}^2$ ) – это избыточное давление пара:

- в паровом коллекторе котла с ЕЦ;
- в сепараторе котла с МПЦ;
- за главным стопорным клапаном прямоточного котла.

Рабочее давление пара современных главных судовых паровых котлов находится в пределах от 2,5 до 9,0 МПа ( $25 \dots 90 \text{ кгс/см}^2$ );

**Температура перегретого пара** –  $t_{\text{ПЕ}}$ , [°C] – температура пара за пароперегревателем котла;

Температура перегретого пара, вырабатываемого современными главными судовыми котлами, составляет от 350 до 540 °C.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

**Коэффициент полезного действия котла** –  $\eta_K$ , [%] – отношение полезно использованной теплоты, ушедшей на производство и перегрев пара, к подведенной теплоте в топке котла:

$$\eta_K = \frac{D_{ПЕ} (i_{ПЕ} - i_{ПВ}) + D_{НАС} (i_X - i_{ПВ})}{B Q_H^P}$$

где:  $D_{ПЕ}, D_{НАС}$  – паропроизводительность котла по перегретому и насыщенному пару, [кг/ч];

$i_{ПВ}, i_X, i_{ПЕ}$  – энтальпии питательной воды, насыщенного и перегретого пара соответственно, [кДж/кг];

$Q_H^P$  – низшая теплота сгорания топлива, [кДж/кг];

$B$  – расход топлива, [кг/ч].

**КПД** парового котла характеризует его экономичность и совершенство протекающих в нем процессов горения топлива, теплообмена, полноты использования теплоты продуктов сгорания. Для современных судовых паровых котлов значение КПД находится в следующих пределах:

- главные котлы с вентиляторным дутьем – 72...80 %;
- котлы с развитыми хвостовыми поверхностями нагрева – 92...94 %;
- котлы с промежуточным перегревом пара – 96...97 %;
- высоконапорные котлы – 83...92 %.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

**Расход топлива в единицу времени** –  $B$ , [кг/ч] – также, как и паропроизводительность, характеризует нагрузку котла; Существенное значение для судовых котлов имеет способность их работы в течение длительного времени с перегрузкой и значительной недогрузкой. При выходе из строя одного главного котла, оставшиеся должны за счет перегрузки обеспечить паропроизводительность установки, достаточную для дачи судном заданной скорости хода.

**Температура питательной воды** –  $t_{ПВ}$ , [°C] – температура воды, подаваемой в котел. Этот параметр имеет существенное значение, так как его величина взаимосвязана с другими характеристиками котла: расходом топлива, паропроизводительностью, температурой перегретого пара, КПД. Температура питательной воды определяется тепловой схемой установки и используемым способом регенеративного подогрева питательной воды. Основным показателем при этом является величина недогрева питательной воды до кипения, обеспечивающая надежную работу экономайзера котла.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Об эксплуатационных свойствах паровых котлов можно судить по следующему ряду показателей:

*маневренности*, характеризующейся скоростью подъема давления пара в котле из холодного состояния, состояния горячего резерва, и скоростью изменения нагрузки котла;

*надежности действия* во всех условиях повседневной деятельности судна и повседневной и боевой деятельности корабля;

*скрытности действия*, характеризующейся бездымностью, бесшумностью работы и достижением минимального уровня теплового поля, создаваемого при работе котла;

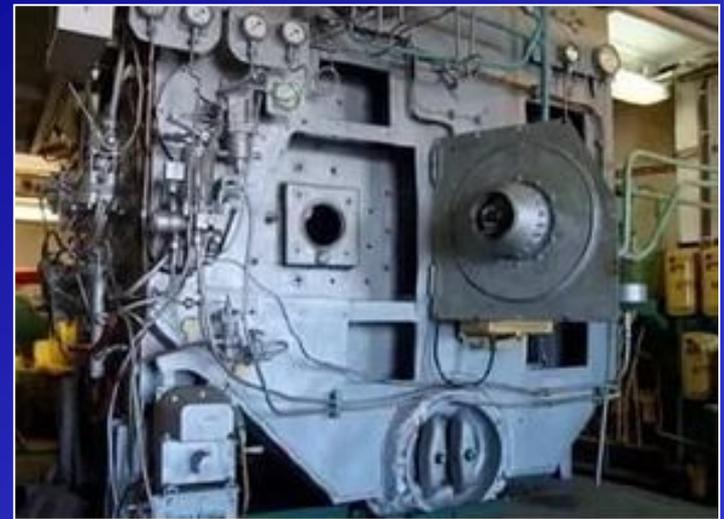
*живучести*, характеризующейся способностью котла противостоять ударным нагрузкам, работать при наличии кренов и дифферентов;

*простотой* устройства, эксплуатации и ремонта, *доступностью* ремонта отдельных элементов в условиях судна;

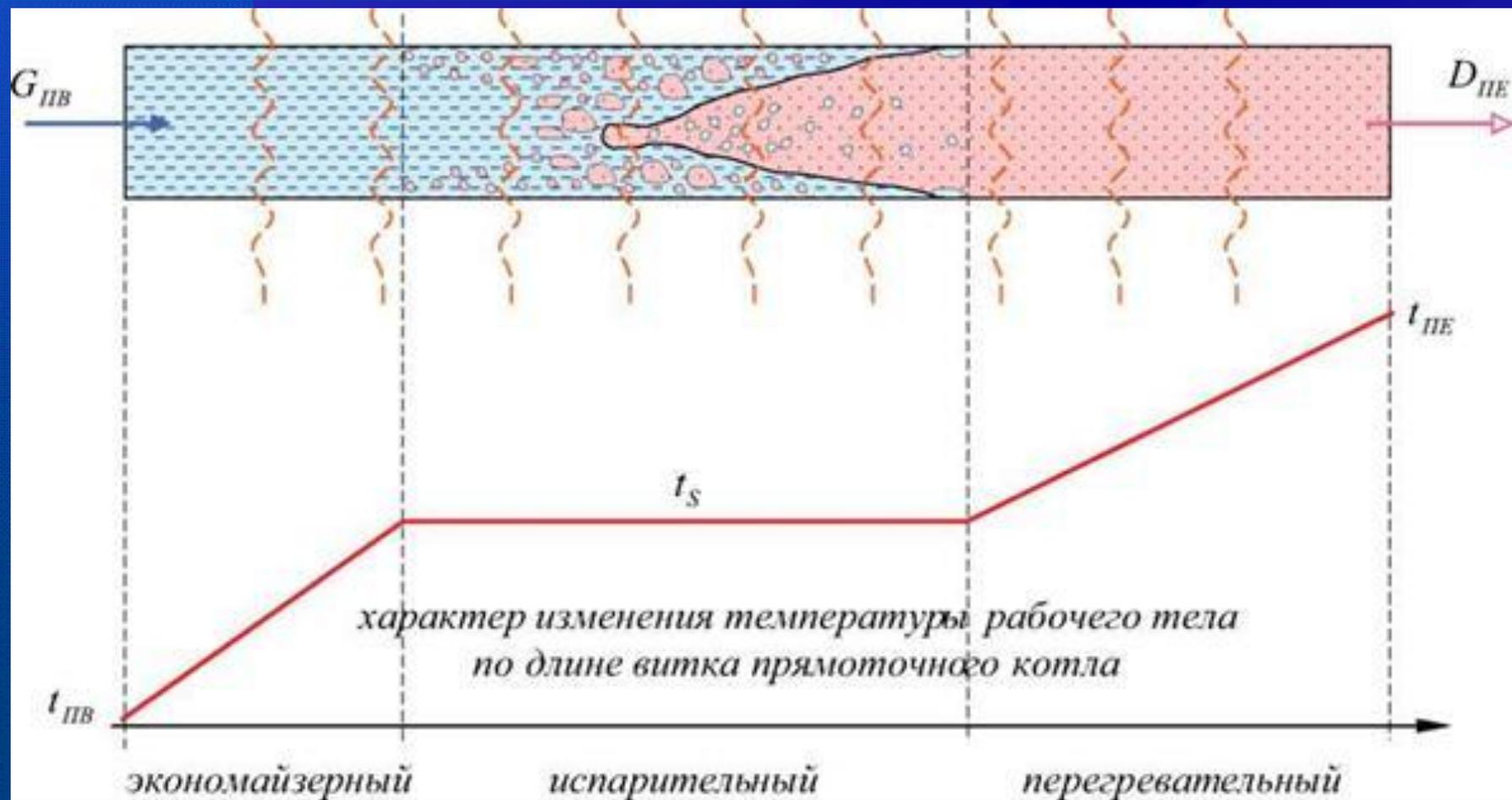
*сроком службы.*

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

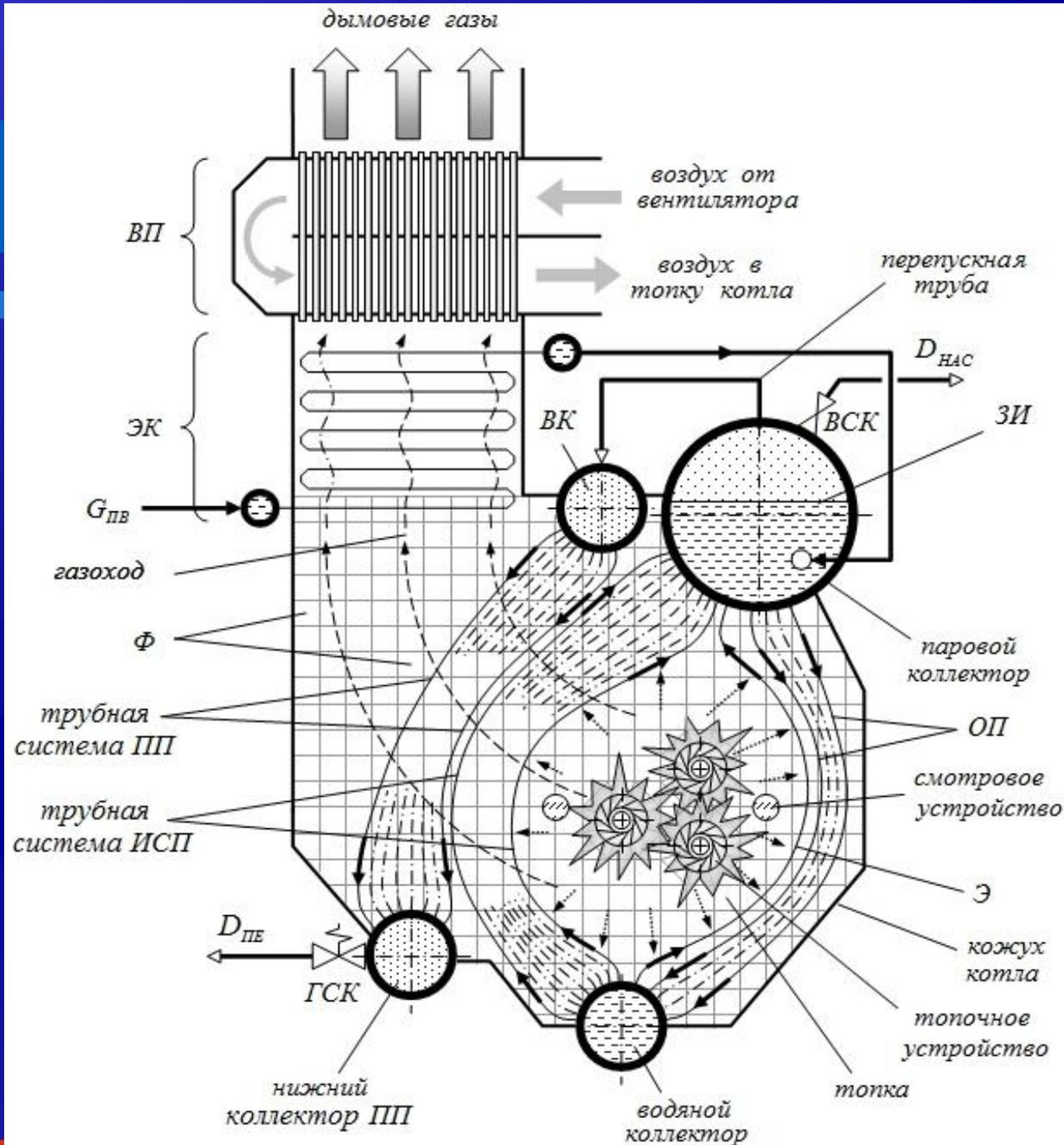
Создать конструкцию универсального судового котла, имеющего высокими все перечисленные показатели невозможно, так как многие из рассмотренных показателей противоречат друг другу. По этой причине не может существовать универсального типа паровых котлов, пригодных для любых типов КТЭУ и любых условий эксплуатации. Выбор приоритета того или иного показателя зависит от типа судна и тепловой схемы установки, в которой этот котел работает.



# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРОСТЕЙШЕГО ОДНОВИТКОВОГО ПРЯМОТОЧНОГО ПАРОВОГО КОТЛА

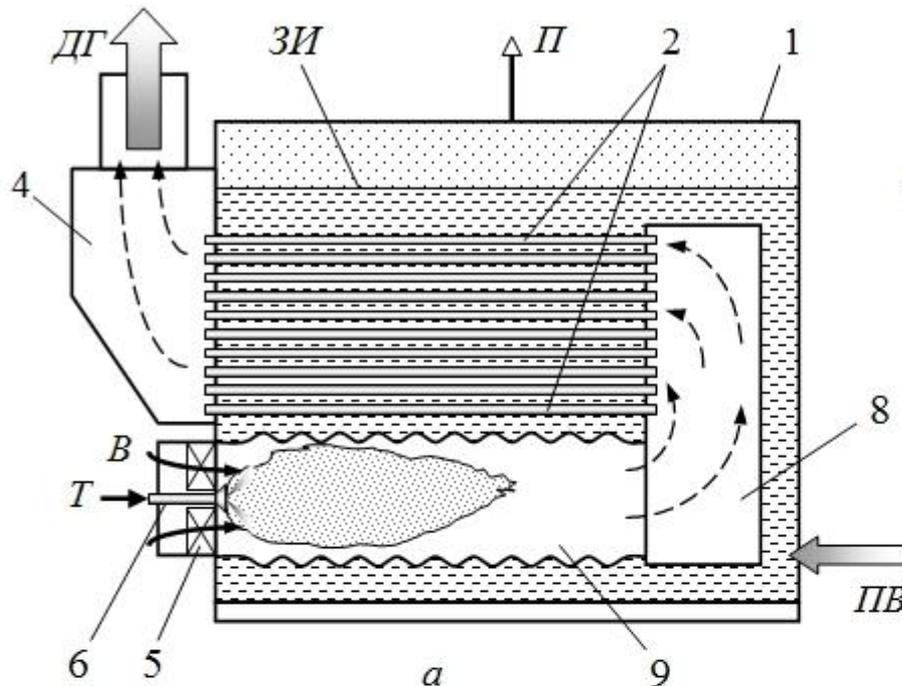


# ВОДОТРУБНЫЙ КОТЕЛ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ



ВП – воздухоподогреватель;  
 ЭК – водяной экономайзер;  
 ПП – пароперегреватель;  
 ИСП – конвективный испарительный  
 (парообразующий) пучок труб;  
 Э – экранный пучок труб;  
 ОП – опускной пучок труб;  
 ГСК – главный стопорный клапан;  
 ВСК – вспомогательный стопорный  
 клапан;  
 ЗИ – зеркало испарения;  
 ВК – верхний коллектор  
 пароперегревателя;  
 Ф – футеровка котла (кладка из  
 огнеупорного кирпича);  
 $G_{ПВ}$  – подача питательной воды;  
 $D_{ПЕ}$  – отбор перегретого пара;  
 $D_{НАС}$  – отбор насыщенного пара

# ОГNETРУБНЫЕ ПАРОВЫЕ КОТЛЫ



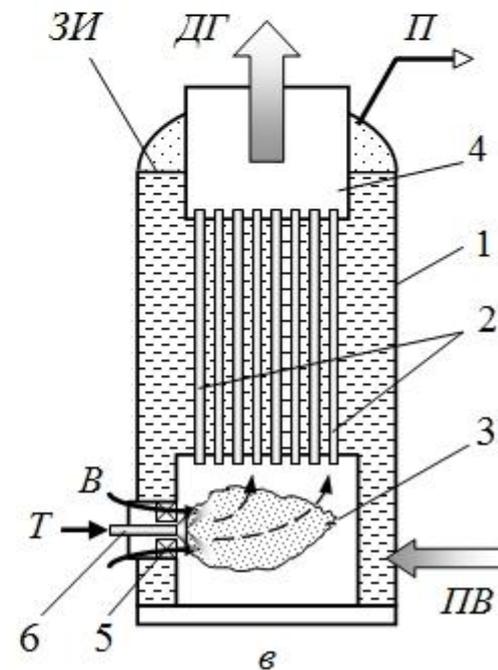
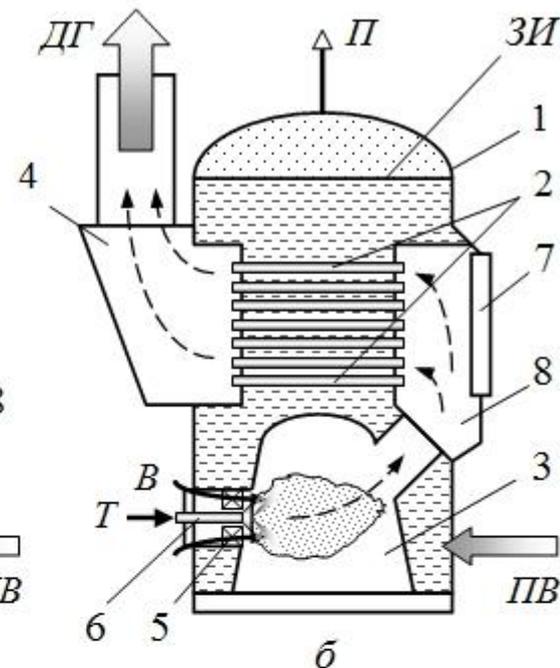
**а** – оборотный  
огнетрубный котел;

**б** – вертикальный  
огнетрубный котел  
с горизонтальными  
трубами;

**в** – вертикальный  
огнетрубный котел  
с вертикальными  
трубами

- 1 – корпус котла;
- 2 – дымогарные трубки;
- 3 – топка (камера сгорания);
- 4 – дымовая коробка;
- 5 – воздухонаправляющее устройство;
- 6 – топливная форсунка;
- 7 – съемные щитки;
- 8 – огневая камера;
- 9 – жаровая труба.

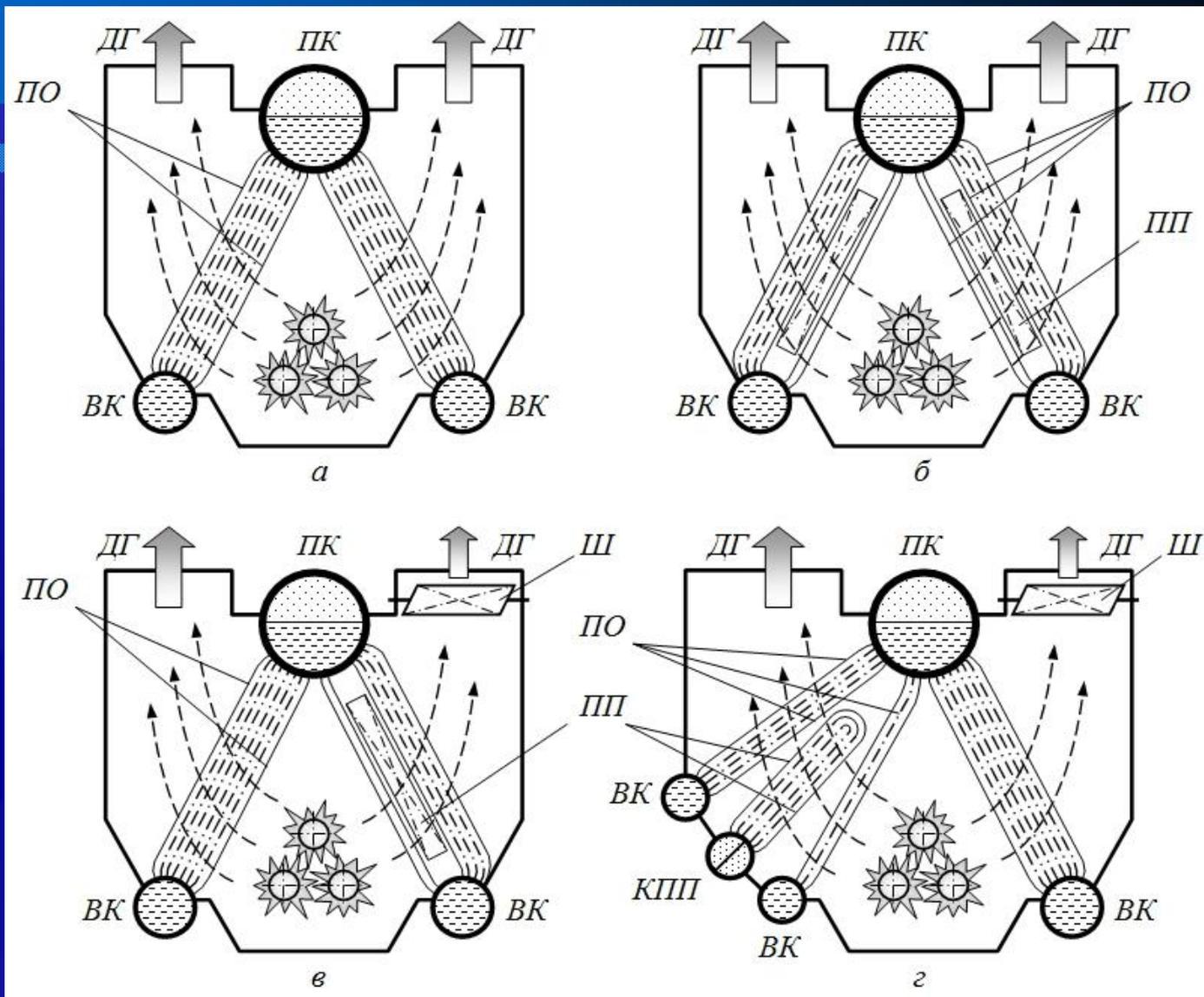
ПВ – подача питательной воды;  
Т – подача топлива;  
В – подача воздуха;  
П – отбор насыщенного пара;  
ДГ – выброс дымовых газов;  
ЗИ – зеркало испарения



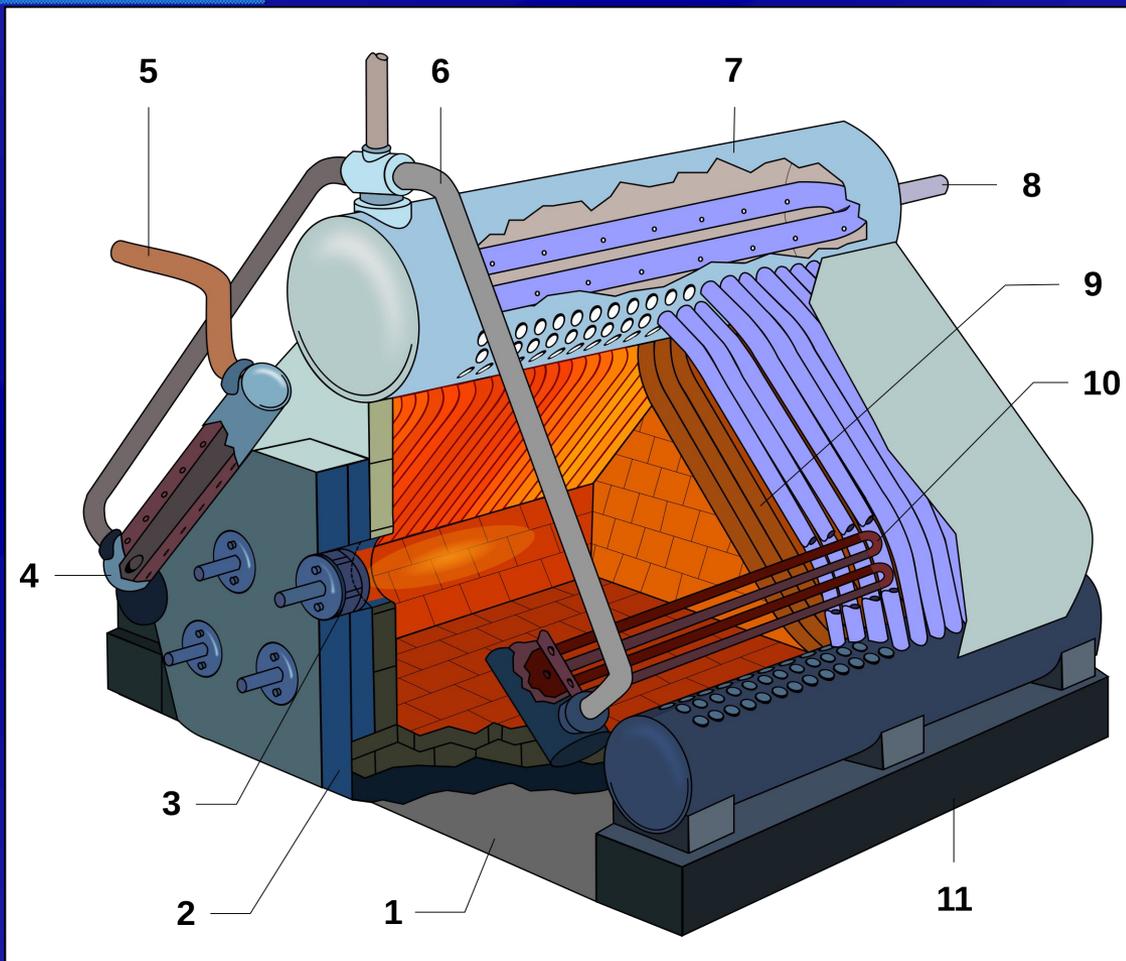
# ТРЕХКОЛЛЕКТОРНЫЕ ДВУХПРОТОЧНЫЕ ВОДОТРУБНЫЕ КОТЛЫ

- а – симметричная схема котла без ППЕ;
- б – симметричная схема с горизонтальными ППЕ, размещенными внутри испарительных пучков;
- в – асимметричная схема с одним горизонтальным ППЕ;
- г – асимметричная схема с вертикальным петлевым ППЕ

ПК – паровой коллектор;  
ВК – водяной коллектор;  
КПП – коллектор вертикального ППЕ;  
ПО – парообразующие (испарительные) поверхности нагрева;  
ПП – поверхность нагрева ППЕ;  
ДГ – дымовые газы;  
Ш – газовый шибер



# ТРЕХКОЛЛЕКТОРНЫЙ ДВУХПРОТОЧНЫЙ ВОДОТРУБНЫЙ КОТЕЛ



## ТОПЛИВО ДЛЯ СУДОВЫХ КОТЛОВ

**Мазут** – основной вид топлива, используемого для сжигания в топках судовых паровых котлах.

Мазут - остаточный высокосмолистый и высоковязкий продукт, получаемый при прямой перегонке нефти и крекинге.

Состав мазута и его характеристики зависят от качества исходной сырой нефти, так как нефти различных месторождений сильно отличаются друг от друга по своему минеральному составу.



Для судовых паровых котлов используют:

топочные мазуты марок: 20, 40, 60, 80 и 100 – ГОСТ 10585-99;

флотские мазуты марок: Ф-5, Ф-12 и Ф-20 – ГОСТ 10585-99.

Для корабельных паровых котлов используются исключительно высококачественные флотские мазуты марок Ф-12, Ф-20 и высокосернистый флотский мазут марки Ф-5, а также их смеси. Вязкость этих мазутов (при 50 °С) составляет 12, 20 и 5 °ВУ (градусов условной вязкости), соответственно.

Учитывая, что хороший распыл мазута возможен при вязкости не выше 4 °ВУ, для всех видов мазутов, применяемых в судовых и корабельных КУ, необходим предварительный подогрев, осуществляемый в паровых топливоподогревателях.

Удельная низшая теплота сгорания мазута:  $Q_p^H = 40500$  кДж/кг