Котельные установки и парогенераторы

Основное понятие о котельном агрегате

Основные элементы котельной установки – котел, топочное устройство (топка), питательные и тягодутьевые устройства.

Топочное устройство служит для сжигания топлива и превращения его химической энергии в тепло нагретых газов.

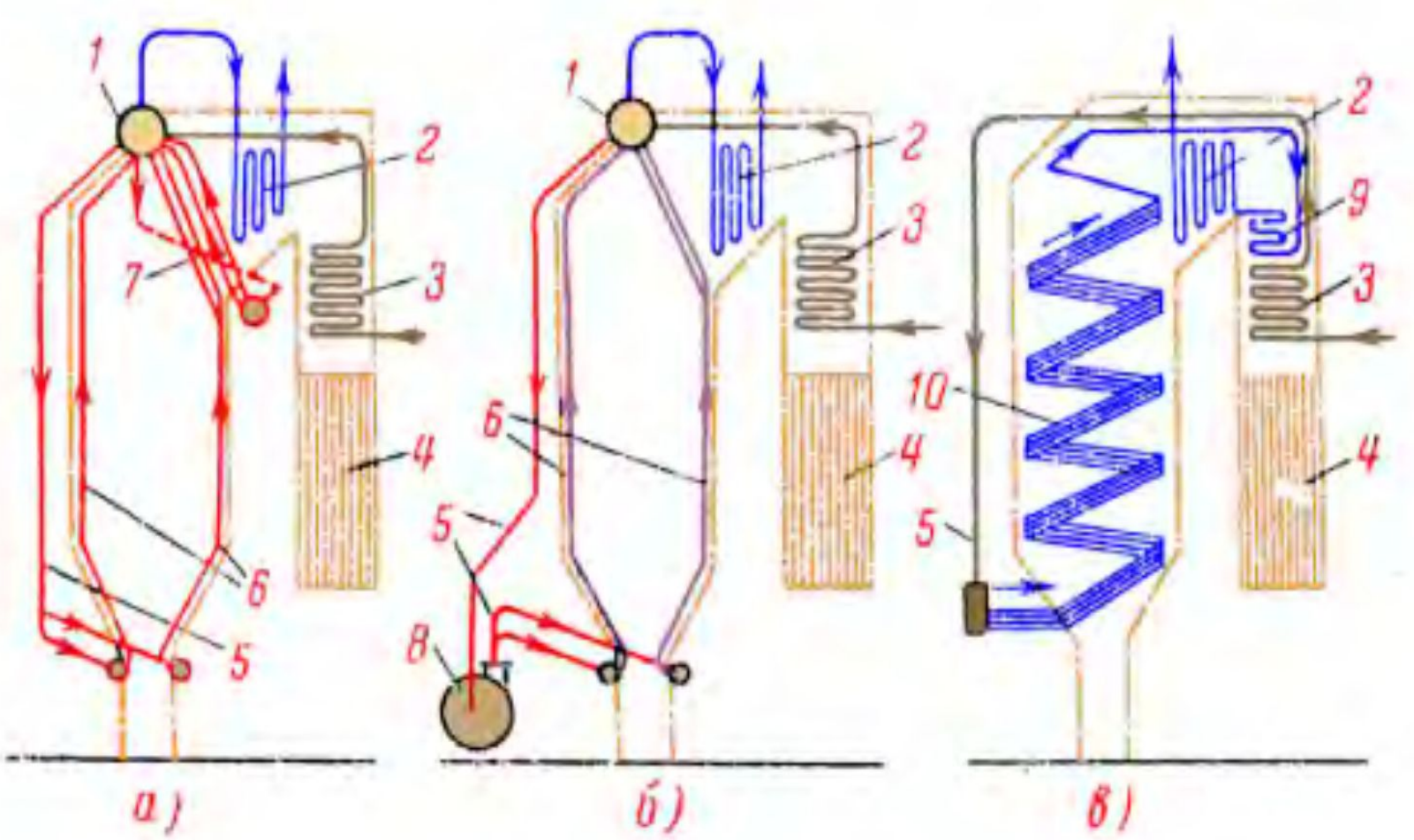
Питательные устройства (насосы, инжекторы) предназначены для подачи воды в котел.

Тягодутьевое устройство состоит из дутьевых вентиляторов, системы газовоздуховодов, дымососов и дымовой трубы, с помощью которых обеспечиваются подача необходимого количества воздуха в топку и движение продуктов сгорания по газоходам котла, а также удаление их в атмосферу.

Вспомогательные элементы (в основном современные КА): водяной экономайзер и воздухоподогреватель, приборы теплового контроля и средства автоматизации.

При сжигании твердого топлива в котельных, имеются **системы шлако- и золоудаления** для удаления очаговых остатков топлива, а также золоуловители – отделяющие золу из дымовых газов.

Схемы основных типов котлов



а и *б* – соответственно котлы с естественной и принудительной циркуляцией воды; *в* – прямоточный котел Рамзина; 1 – барабан; 2 – пароперегреватель; 3 – экономайзер; 4 – трубчатый воздухоподогреватель; 5 – необогреваемые водоотпускные трубы; 6 – экранные испарительные трубы; 7 – конвективный трубный пакет (пучок); 8 – циркуляционный насос; 9 – переходная зона котла Рамзина; 10 – испарительные трубы (радиационная часть) котла Рамзина

Основные элементы паровых и водогрейных котлов

Топочная камера (топка), ограничена фронтальной, задней, боковыми стенами, подом и сводом в которой во взвешенном состоянии сжигается органическое топливо и создается наиболее высокая температура продуктов сгорания. Тепловоспринимающие поверхности в виде труб (топочные экраны) расположены на ограждающих камеру стенах из огнеупорных материалов и получают теплоту из газового объема за счет радиации или горящего факела (радиационный теплообмен).

Пароперегреватели

Получение перегретого пара из сухого насыщенного осуществляется в пароперегревателе.

Горизонтальный газоход

В объеме этого газохода располагаются поверхности пароперегревателя, в которых происходит радиационно - конвективный (на выходе из топки), и конвективный теплообмен между газовыми продуктами сгорания (газами) и рабочей средой внутри труб.

Конвективная шахта

Объем шахты заполнен плотными пакетами поверхностей промежуточного пароперегревателя и экономайзера; Вид теплообмена конвективный.

Водяной экономайзер (ВЭ).

В экономайзере питательная вода перед подачей в котел подогревается дымовыми газами за счет использования теплоты продуктов сгорания топлива. **Экономайзеры** подразделяют на два типа — некипящие и кипящие.

В некипящих экономайзерах подогрев воды ведут до температуры на 20 °С ниже температуры насыщенного пара в паровом котле.

В кипящих экономайзерах происходит не только подогрев воды, но и частичное (до 15 %) ее испарение.

Барабаны паровых котлов.

-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.

Воздухоподогреватель

В котельных агрегатах воздухоподогреватель уменьшает потери теплоты с уходящими газами. При использовании подогретого воздуха повышается температура горения топлива, интенсифицируется процесс сжигания, повышается коэффициент полезного действия котельного агрегата. Продукты сгорания после воздухоподогревателя называются уходящими газами, их температура составляет 120…160°С. **Дальнейшая утилизация теплоты продуктов сгорания в рамках котельной технологии становится экономически нецелесообразной.**

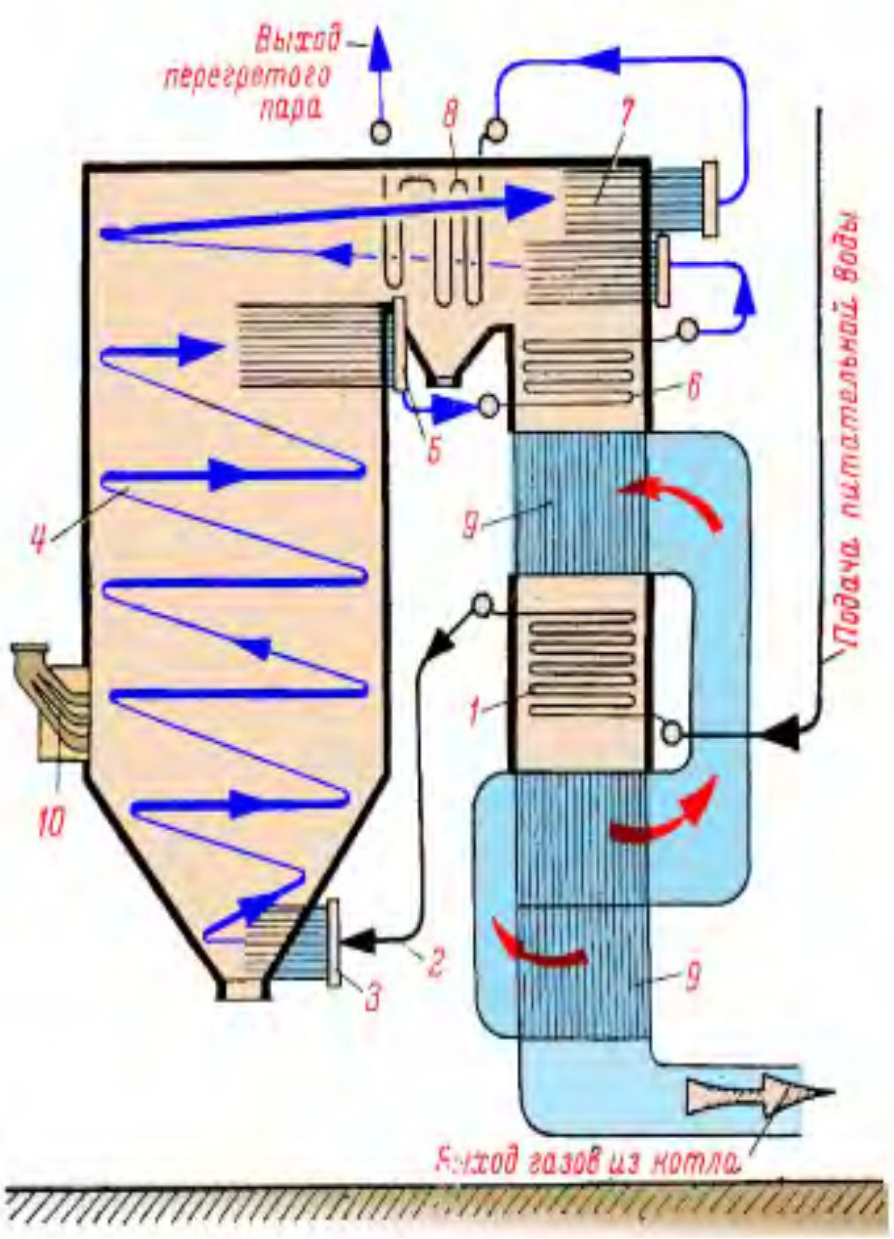
Температура подогрева воздуха выбирается в зависимости от способа сжигания и вида топлива: природный газа и мазут - 200...250 °С, пылеугольное сжигания твердое топливо — 300...420°С.

По принципу действия **воздухоподогреватели разделяют на рекуперативные и регенеративные.**

Гарнитура котла.

Устройства, позволяющие безопасно обслуживать топочную камеру, газоходы котельного агрегата и газовоздушный тракт. К ней относят: топочные дверцы и лазы в обмуровке; смотровые; лючки для обдувки, взрывной предохранительный клапан; и т.д.

Прямоточный котел Рамзина



1 - экономайзер; 2 - перепускные необогреваемые трубы; 3 - нижняя экранная камера; 4 -экранные трубы; 5 - верхняя экранная камера; 6 - переходная зона; 7 - настенная часть пароперегревателя; 8 - конвективная часть пароперегревателя; 9 - воздухоподогреватель; 10 –горелки.

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Цель составления теплового баланса котельного агрегата:

1. Определение значений всех приходных и расходных статей баланса;
2. расчет коэффициента полезного действия котельного агрегата;
3. анализ расходных статей баланса с целью установления причин ухудшения работы котельного агрегата.

На основе такого анализа разрабатываются мероприятия по повышению энергетической эффективности котельного агрегата.

В котельном агрегате при сжигании органического топлива происходит преобразование химической энергии топлива в тепловую энергию продуктов горения. Выделившаяся теплота расходуется на выработку полезной теплоты пара или горячей воды и на компенсацию тепловых потерь.

Равенство прихода и расхода теплоты в котельном агрегате,

$$Q_{прих} = Q_{Расх}$$

$$Q_{прих} = Q_{Р}^{Р} = Q_{Н}^{Р}$$ располагаемая теплота

Для КУ тепловой баланс составляют на 1 кг твердого или жидкого топлива, или на 1 м3 газа, при нормальных условиях (273 К и 0,1013 МПа). С размерностью МДж/кг или МДж/м3.(ккал/кг, ккал/кг.)

Приходная часть теплового баланса:

$$Q_{p}^{p} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

где Q_p^p – располагаемое тепло, ккал/кг;

Q_1 – полезно используемое тепло, получаемое в виде пара или горячей воды, ккал/кг;

Q_2 – потеря тепла с уходящими из котла и выбрасываемыми в атмосферу продуктами сгорания (газами), ккал/кг;

Q_3 – потеря тепла от химической неполноты сгорания, ккал/кг;

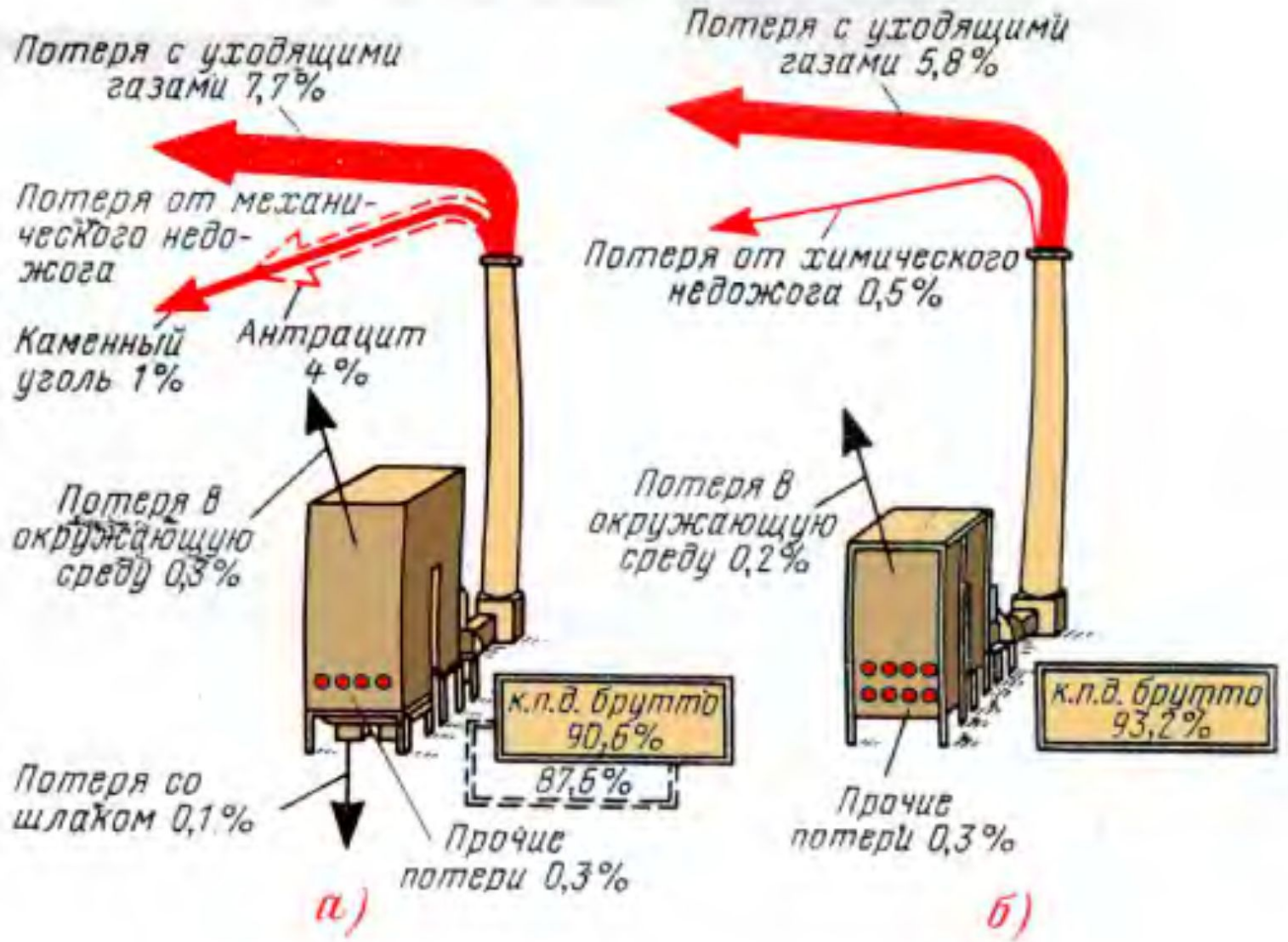
Q_4 – потеря тепла от механической неполноты сгорания (потери в провале, шлаке, уносе), ккал/кг;

Q_5 – потеря тепла всеми элементами котельного агрегата в окружающую среду, ккал/кг;

Q_6 – потеря с физическим теплом шлаков, ккал/кг.

$$Q_1 = Q_p^p - \sum Q_i \qquad КПД(\eta) = \frac{Q_1}{Q_p^p} 100\%$$

Потери тепла и КПД



- А) при сжигании тв. топл. В) при сжигании газа и мазута.

Материальный баланс

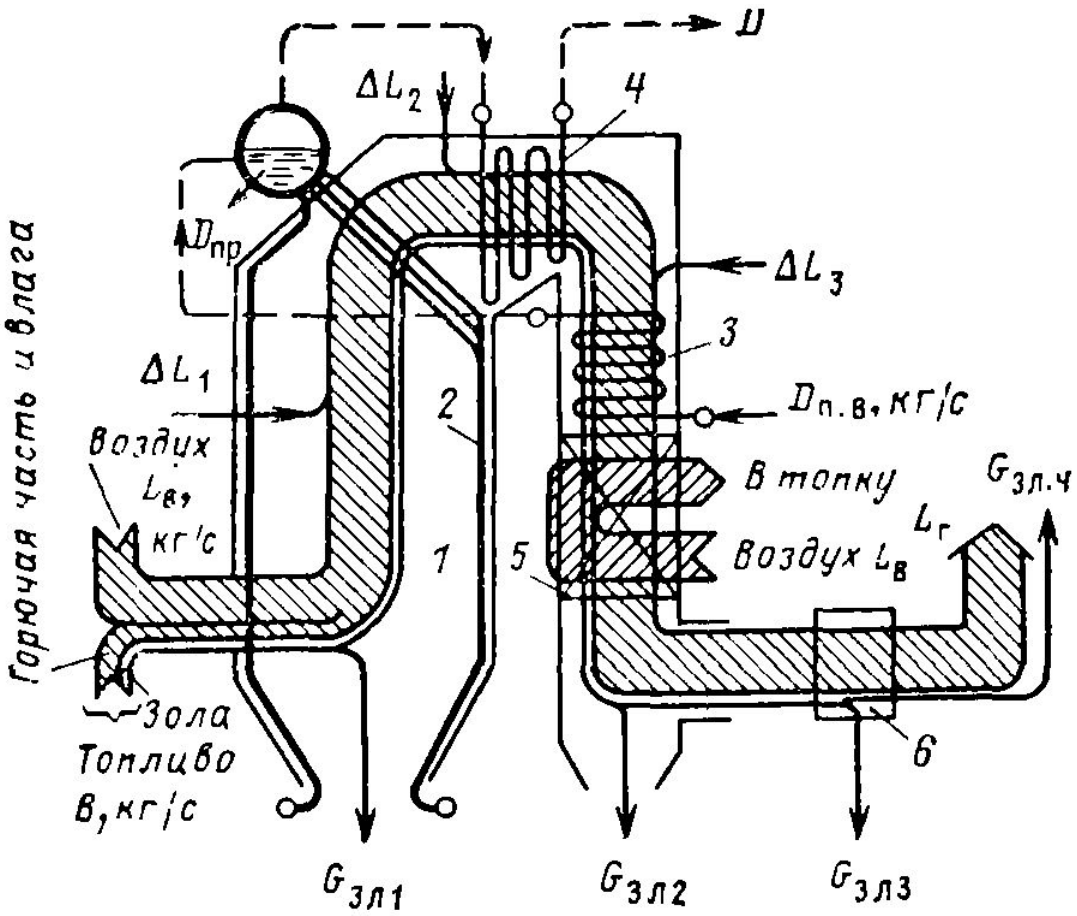


Рис. Схема материальных балансов котла

$$B + L_B + \sum \Delta L = L_Г + \sum G_{ЗЛ}$$

B, L - количество топлива и окислителя, кг/с.

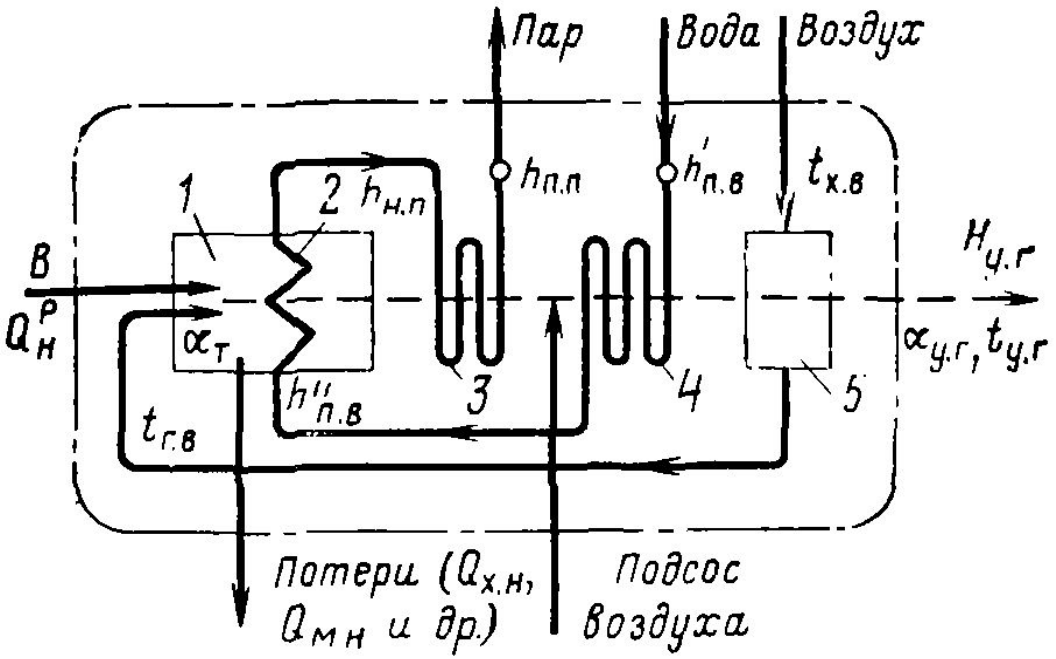
Материальный баланс нагреваемой среды

Материальный баланс для водопарового тракта котла

$$D_{\text{пв}} = D + D\text{пр}$$

Dпв- расход питтательной воды; D- расход пара для потребителя кг/с; Dпр- расход продувки кг/с.

ТЕПЛОТА, ПОЛЕЗНО ЗАТРАЧЕННАЯ НА ПРОИЗВОДСТВО ПАРА.



Теплота, воспринятая водой в экономайзере, МДж/кг (или МДж/м^3),

$$Q_э = \frac{D}{B}\left(h''_{п.в} - h'_{п.в}\right)$$

Тепловосприятие испарительных поверхностей МДж/кг (или МДж/м^3),

$$Q_{исп} = \frac{D}{B}\left(h_{н.п} - h''_{п.в}\right).$$

Суммарное количество теплоты, пошедшее на выработку пара, МДж/м3

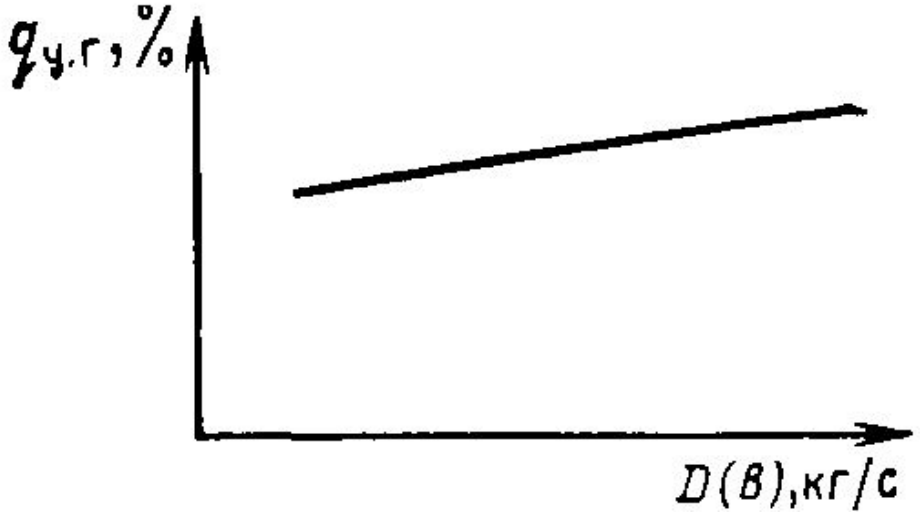
$$Q_{пол} = Q_Э + Q_{ИСП} + Q_{П.П} = \frac{D}{B}(h_{П.П} - h'_{П.В})$$

Потеря теплоты с уходящими газами Q_2

Разница между энтальпией уходящих газов и теплотой, поступившей в котел с воздухом из окружающей среды представляет собой *потерю теплоты с уходящими газами,* МДж/кг (или МДж/м^3),

$$Q_{у.г} = H_{у.г} - \alpha_{у.г} H^0_{х.в}.$$

$$q_{у.г} = \frac{Q_{у.г}}{Q^р_р} 100 = \frac{\left(H_{у.г} - \alpha_{у.г} H^0_{х.в}\right)\left(100 - q_{м.н}\right)}{Q^р_р}$$



Изменение q_2 в зависимости от производительности

Потеря теплоты от химического недожога Q_3.

Углерод сгорает в углекислый газ $C0_2$ выделяя по 8050 ккал тепла на каждый килограмм углерода.

При недостаточном количестве свободного кислорода (неполным сгоранием) образуется - окись углерода или угарный газ CO при этом выделяется только 2370 ккал. (потенциал теплоты 5680ккал).

В уходящих газах содержится небольшое количество водорода H_2, метана CH_4, которые могли бы также выделить тепло, если бы они сгорели.

Тепло, которое могло бы выделиться в топочной камере, если бы эти газообразные горючие догорели, представляет собой потерю от химического недожога Q_3.

При сгорании жидкого и газообразного топлива эта потеря обычно не превышает 1% .

Потеря теплоты от механической неполноты сгорания Q_4

Горючие частицы, С углерод, Н водород, S сера, уносимые газообразными продуктами сгорания, и вместе со шлаком, а при слоевом сжигании провал частиц топлива через отверстия колосниковой решетки составляют Q_4.

При сжигании твердого топлива Q_4 составляет: 10—12 %. Потеря теплоты от механической неполноты сгорания, МДж/кг, состоит из потерь *с провалом, со шлаком и с уносом:*

$$\text{м} = Q_4$$

При слс $Q_{м\,н} = Q^{пр}_{м\,н} + Q^{ш\,л}_{м\,н} + Q^{ун}_{м\,н}$, составляющими потери со шлаком и провалом, при камерном сжигании — потеря с уносом.

где $G_{пр}$—выход провала, кг/с; $Q^{пр}_{м\,н} = \frac{G_{пр}}{B} Q_{пр}$, рания провала, МДж/кг, с учетом содержания горючих в провале $Г_{пр}$, %

где Gшл — выход шлака, кг $Q^{шл}_{м.н} = \frac{G_{шл}}{B} Q_{шл}$, сгорания шлака, МДж/кг, с учетом содержания горючих в шлаке $Г_{Шл}$, %.

Потеря теплоты с уносом, связана с выносом из топки несгоревших (или частично сгоревших) частиц топлива.

$$Q^{ун}_{м.н} = \frac{G_{ун}}{B} Q_{ун},$$

где $G_{ун}$ — масса уноса, кг/с; $Q_{ун}$ — теплота сгорания уноса, МДж/кг, определяемая с учетом содержания горючих в уносе $G_{ун}$, %.

Потеря тепла в окружающую среду Q_5.

Потеря тепла теряется через обмуровку или изоляцию газовоздушного тракта и затрачивается на нагревание окружающего воздуха.

Q_5=1,3% для котлов производительностью 20 т/час;

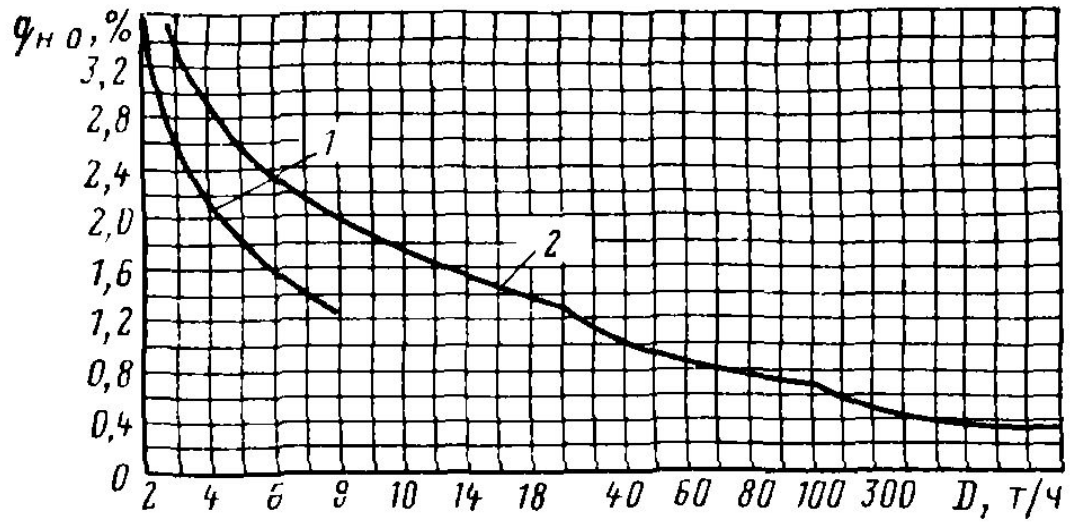
Q_5 0,7% для котлов 100 т/час; Q_5 =0,4% для котлов порядка 400 т/час и Q_5=0,2% для котлов высокого давления производительностью 1 000 т/час.

Потеря зависит от производительности котла и состояния обмуровки топки и изоляции газовоздухопроводов.

Потеря Q_5 МДж/кг (или МДж/м^3), учитывает передачу теплоты конвекцией и излучением:

$$Q_{н.о} = \frac{\Sigma F_к}{B}\left\{\alpha_к (t_{ст} - t_{х.в}) + C\left[\left(\frac{T_{ст}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{о.н}}{100}\right)^4\right]\right\}$$

где $\Sigma F_к$ суммарная наружная площадь поверхности котла, $t_{ст}$ $(T_{ст})$, $t_{х.в}$, $T_{о.п}$ - температуры наружных стен котла, холодного воздуха, окружающих предметов $\alpha_к$ (К); — коэффициент теплоотдачи конвекцией, МВт/(м^{2*}К); *C* — коэффициент излучения, МВт/(м^{2}К); *B* — расход топлива, кг/с



Зависимость потери теплоты от наружного охлаждения от паропропзводительности

$$q_{н.о} = q_{н.о}^{ном}\frac{D_{ном}}{D},$$

ПОТЕРЯ С ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕПЛОТОЙ ШЛАКОВ. ПОТЕРЯ ТЕПЛОТЫ С ОХЛАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ (ПАНЕЛЯМИ, БАЛКАМИ)

Потеря с физической теплотой удаляемого из топки шлака возникает при сжигании твердого топлива имеет высокую температуру. Потери составляют $q_{ф.ш} = 1 \div 2\ \%$;

$$q_{ф.ш} = \frac{Q_{ф.ш}}{Q_р^р}\,100 = \frac{a_{шл}\,A^р\,(ct)_{зл}}{Q_р^р},$$

Потери теплоты на охлаждение панелей и балок в слоевых топках

$$q_{охл} = \frac{0{,}116F_{охл}}{BQ_{пол}}100$$

где $F_{охл}$— площадь лучевоспринимающей поверхности охлаждаемых деталей, обращенная в топку, м2; 0,116 — принимаема плотность теплового потока на охлаждаемые поверхности, МВт/м --$BQ_{пол}$---количество теплоты, полезно затраченной в котле, МВт.

КПД котла

Отношение количества теплоты, полезной к затраченной на выработку пара Q_1 МВт, к теплоте топлива Q, МВт, является (КПД) котла по ***прямому балансу*, %,**

$$\eta_к = \frac{D\left(h_{п.п} - h'_{п.в}\right)}{BQ^р_и} 100.$$

С учетом выработки перегретого и насыщенного пара, наличия продувки воды и вторичного перегрева пара КПД котла, %

$$\eta_к = \frac{D\left(h_{п\,п} - h'_{п\,в}\right) + D_{пр}\left(h_{к\,в} - h'_{п\,в}\right) + D_{нас}\left(h_{нас} - h'_{п\,в}\right) + D_{вт\,п}\left(h''_{вт\,п} - h'_{вт\,п}\right)}{BQ^р_р} 100$$

Расход топлива, кг/с (или $м^3/с$)

$$B = \frac{D\left(h_{п.п} - h'_{п.в}\right)}{Q^р_н \eta_к} 100.$$

$$B = \frac{D\left(h_{п\,п} - h'_{п\,в}\right) + D_{пр}\left(h_{к\,в} - h'_{п\,в}\right) + D_{нас}\left(h_{нас} - h'_{п\,в}\right) + D_{вт.п}\left(h''_{вт.п} - h'_{вт.п}\right)}{Q^р_р \eta_к} 100.$$

КПД котла

КПД котла по ***обратному балансу*** — через тепловые потери.

Принимая располагаемую теплоту за 100%,

$$100=q_{пол}+ q_2 +q_3 +q_4 +q_5 - q_6$$

$$q_{пол} =100- q_2 -q_3 -q_4 -q_5 -q_6$$

$$q_{пол} = \eta_К = \frac{Q_{ПОЛ}}{Q_Н^Р}100 \qquad q_{уг} = q_2 = \frac{Q_{УГ}}{Q_Н^Р}100 \qquad q_{ХН} = q_3 = \frac{Q_{ХН}}{Q_Н^Р}100$$

(КПД) может быть **(брутто) и (нетто).**

КПД котла **брутто** число, показывающее, какая часть тепла, вводимого с топливом в котел, используется в нем для получения пар.

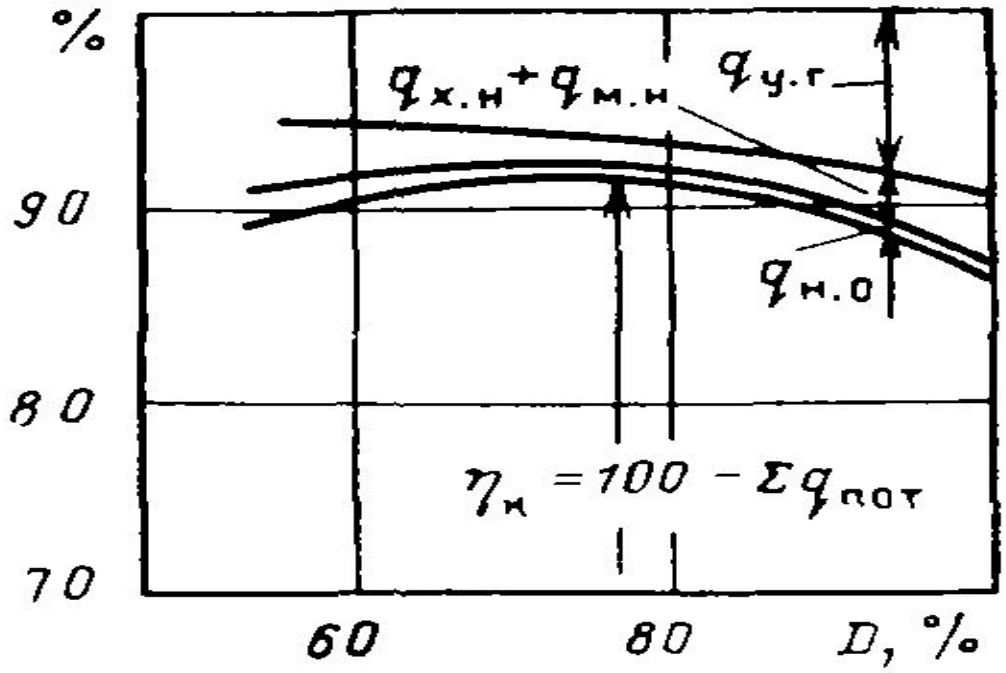
КПД котла нетто *($\eta_{нетто}$)*, в котором, учитывается и тепло, затрачиваемое на выработку расходуемой в котельной тепловой энергии.

$$\eta_{нетто} = \eta_{бр} - q_{сн}$$

КПД нетто котлов большой мощности примерно на 2-4% меньше брутто.

Зависимость КПД котла от нагрузки

Как это следует из рис значение КПД с изменением нагрузки меняется. При определенной нагрузке КПД имеет максимальное значение.



Ра чна.

Интенсификация радиационного теплообмена

- - путем увеличения адиабатической температуры горения(за счет снижения избытка воздуха);
- - подогрев воздуха;
- - увеличение температуры газов;
- - очистки экранных труб от загрязнений;
- - повышение углового коэффициента x (двухсветный экран).

Интенсификация конвективного теплообмена

- путем повышения скорости теплоносителя (продуктов сгорания) за счет уменьшения диаметра труб или канала для прохода газов;

Увеличение скорости газов лимитируется условиями надежности (золовой износ труб).

КОРРОЗИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЛОВ

коррозия - процесс разрушения металла в результате физико-химических процессов, возникающих при взаимодействии металла с омывающей его средой.

Различают: **внешнюю и внутреннюю.**

Внешняя коррозия поверхностей нагрева связана с составом дымовых газов и характером протекания процесса горения и температурным режимом.

Внутренняя коррозия на внутренней стороне соприкосающейся с паром или водой.

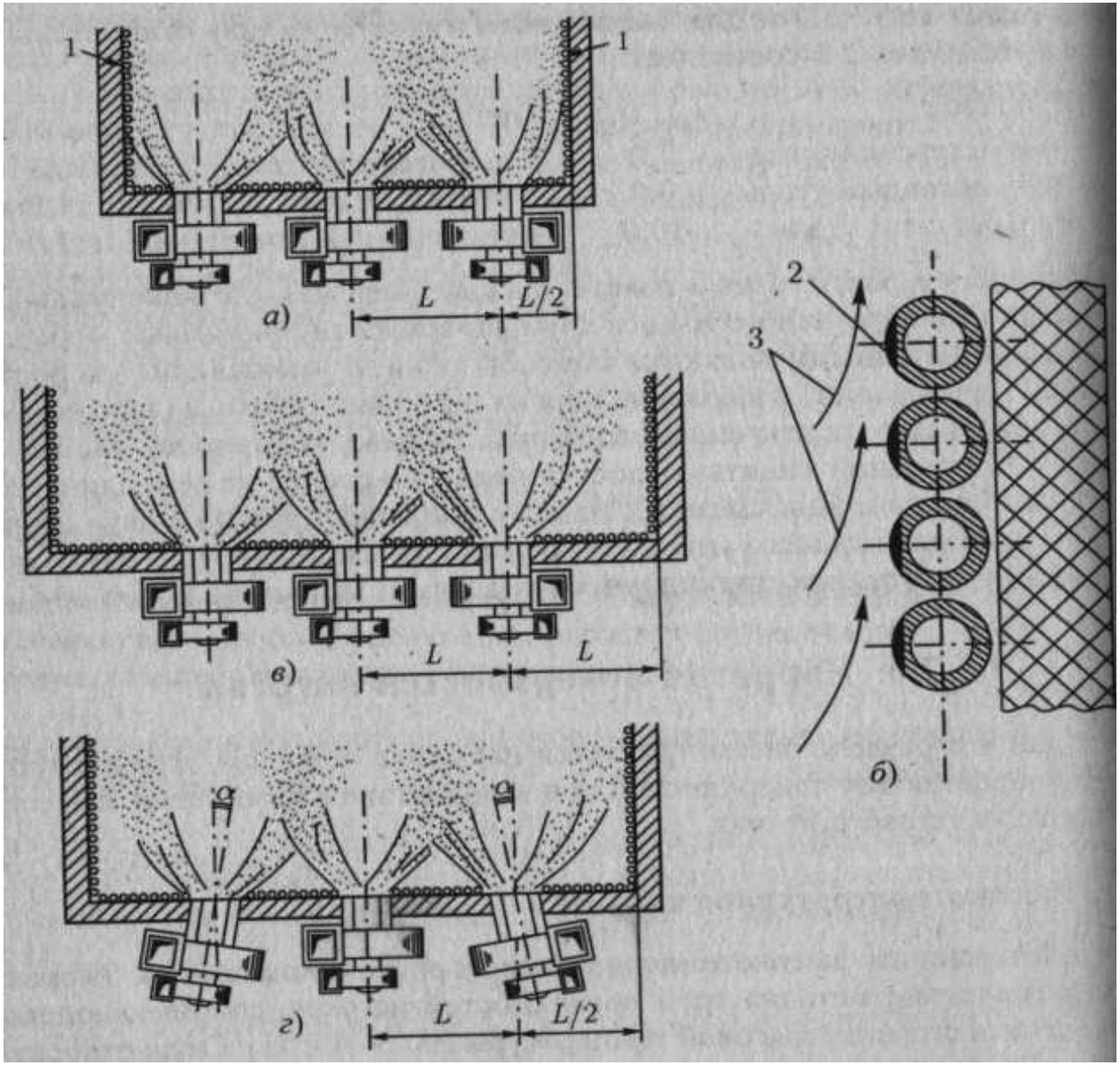
Внешняя коррозия

Высокотемпературная коррозия разрушение металла в зоне высоких температур более 700 С. (зона топочных экранов и пароперегревателей).

Наружная коррозия труб экранов

При сжигании топлив с малым выходом летучих и мазута с образованием вблизи труб концентрации H_2S. Коррозия развивается интенсивно на уровне горелок. (3-4 мм/год).

На образование H_2S влияет избыток воздуха. Недостаток кислорода приводит к образованию H_2S $S_2 + 2H_2 = 2H_2S$



Способы снижения коррозии ТЭ:

- обеспечить избыток воздуха 1,1
- Расстояние от стен
- крайние горелки развернуть на 5-10 гр к цетру.

Высокотемпературная ванадиевая коррозия (зона пароперегревателей и креплений С ТЕМПЕРАТУРОЙ 600С)

Тип коррозии характерный **только** при сжигании мазутов, зола которых содержит V_2O_4.

Образуются (с учетом других компонентов):

ванадаты $5V_2O_4Na_2O_2V_2O_4$

пиросульфаты натрия $Na_2S_2O_7$. *В виде пленки на поверхности металла.*

Методы снижения

- *Снижение изб. Воздуха.*
- *Введение в зону горения щелочных присадок (раствор MgCl или порошок доломит).*
- *Очистка мазута от примесей ванаидия и натрия*
- *Снижение температуры перегр. пара. (545С)*

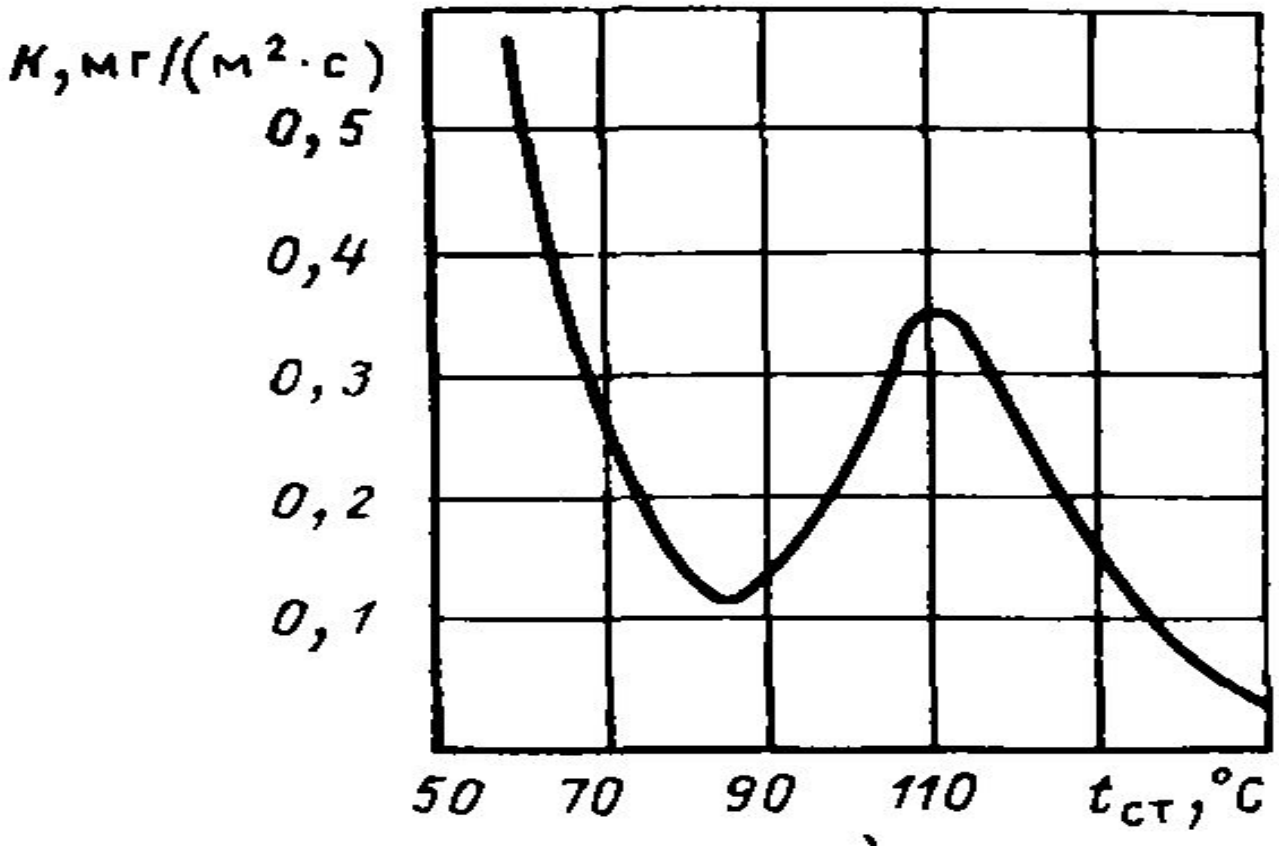
Низкотемпературная коррозия
(в зоне воздухоподогревателей)

При содержании в потоке газов паров серной кислоты H_2S0_4 возникает сернокислотная коррозия.

Условия начала сернокислой коррозии: если температура стенки окажется ниже температуры конденсации паров влаги. Температура начала конденсации влаги (точка росы). Температура точки росы чистых водяных паров при парциальном давлении P=0,01МПа, t= 45-54 С. (при содержании паров серной кислоты температура точки росы повышается до 140-160)

Температура образования жидкой серной кислоты:
S^n = 0,012% кг/МДж при 65°С,
S^n = 0,l-0,2 % кг/МДж при 125—140 °С.

кислородную коррозию в воздухоподогревателе *: Конденсация чистых водяных паров при отсутствии содержания в газах сернистых соединений приводит к (разъеданию труб)*



Скорость коррозии от температуры стенки

При $t_{cm} > t_p$ скорость коррозии уменьшается, а при дальнейшем повышении температуры — снова возрастает.

При работе на твердом сернистом топливе в зоне температур 70—110 °С скорость коррозии не превышает 0,2 мм/год.

$$t_{ст} = t_в + \frac{t_г - t_в}{1 + \alpha_в/\alpha_г},$$

где $t_{ст}$ и $t_в$ — температуры продуктов сгорания на выходе из воздухоподогревателя и воздуха на входе в него, °С; $а_в$ и $а_г$ — коэффициенты теплоотдачи со стороны воздуха и газа,Вт/(м^2-К).

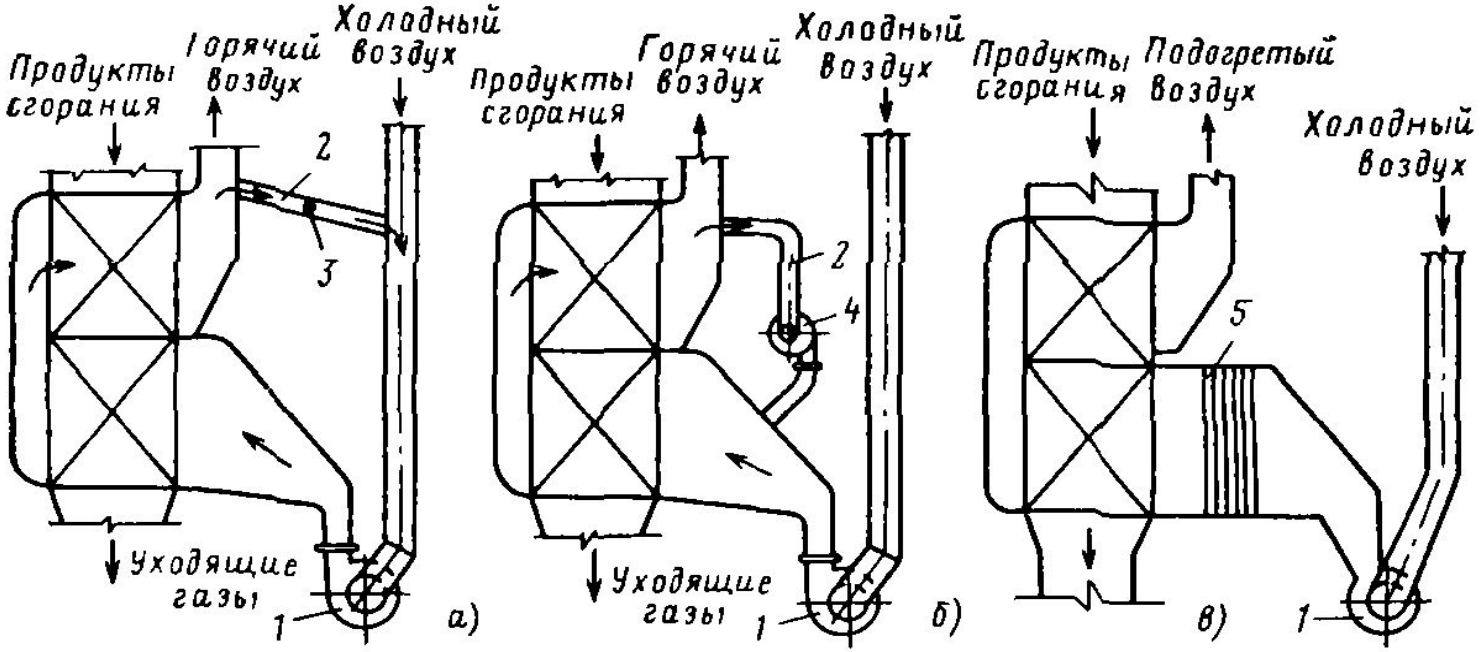
Температура ст. должна быть выше температуры точки росы ух. газов.
На 10-15С

Методы борьбы с низкотемпературной коррозией
- целесообразно снижать избыток воздуха в топочной камере до величины = 1,02—1,05, (это уменьшает температуру точки росы).

$$t_р = t_к + \frac{\beta \sqrt[3]{S_{пр}}}{1,05^{4,19} \cdot a_{ун} A_{пр}}.$$

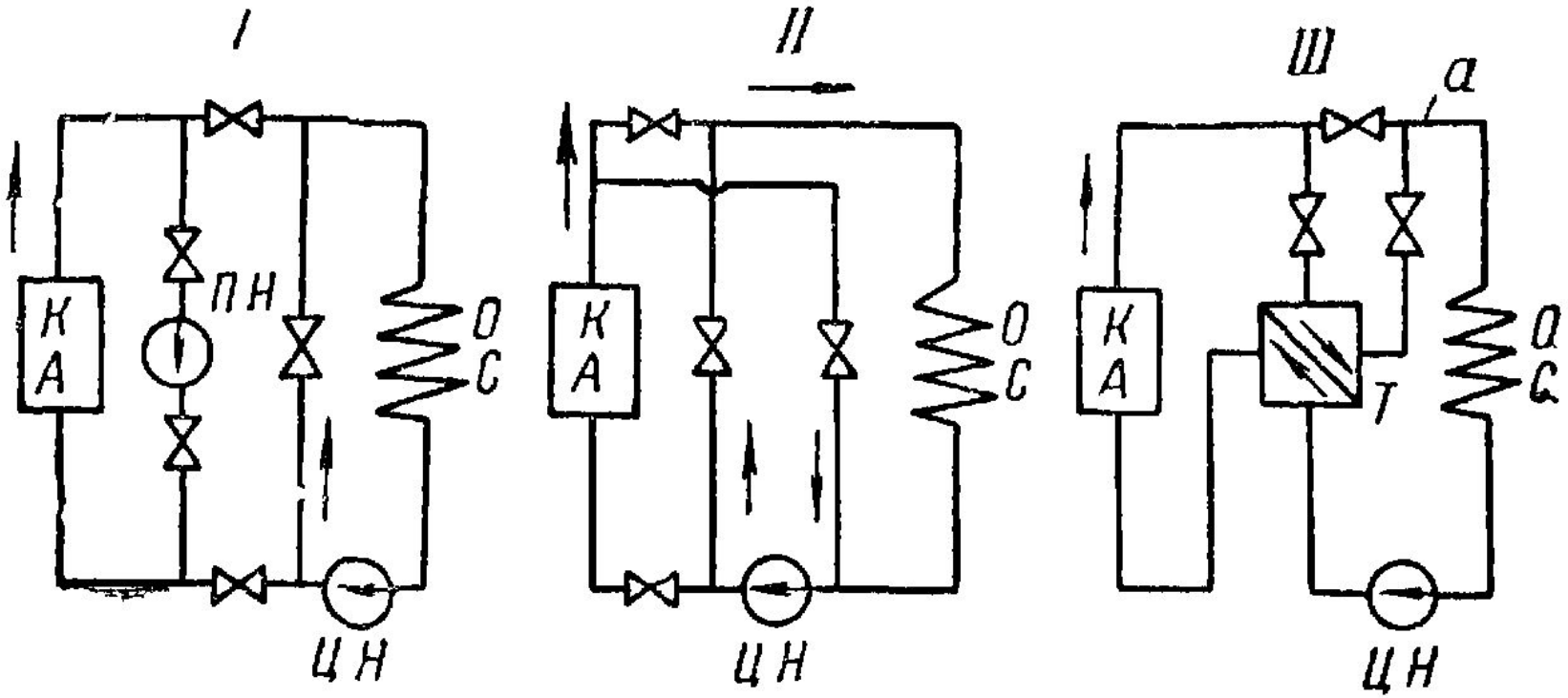
- температура точки росы уходящих газов, температура конденсации вод. паров 50-60 С, - содержание серы и зольность, - коэффициент зависящий от избытка воздуха.

повышение температуры поступающего воздуха:
- путем рециркуляции горячего воздуха в воздухоподогревателе или предварительного подогрева воздуха в паровых подогревателях.



- Схемы повышения температуры воздуха, поступающего в ТВП а)регулирование шибером, б) рециркуляция с помощью вентилятора, в) калорифер.

Недостатки рециркуляции воздуха:
-снижает температурный напор в воздухоподогревателе,
- повышает температуру уходящих газов и расход электроэнергии на дутье. *При применении отдельного вентилятора для рециркуляции воздуха загрузка вентилятора остается неизменной и расход электроэнергии на рециркуляцию воздуха несколько уменьшается.*



Схемы для повышения температуры стенки выше температуры конденсации водяных паров (путем увеличения температуры питательной воды).

1- с насосом, без насоса , с теплообменником

Снижение низкотемпературной коррозии:

- в первом ходе воздухоподогревателя возможно применение эмалированных трубок или изготовление их из некорродирующих материалов.

- присадка доломита к мазуту, применяемая для предотвращения высокотемпературной коррозии, также снижает и низкотемпературную коррозию в экономайзерах и воздухоподогревателях.

Полностью избежать коррозии не удается.

Теплообмен в топке

Источники излучения:

- слоевом сжигании: пламя горения летучих веществ, трехатомные газы, CO_2, SO_2, H_2O.
- факельное сжигание мазута и тв.топл: пламя горячих летучих, 3-х атомные газы, частицы кокса и золы.
- сжигание газа: объем горящего факела, 3-х атомные газы

Интенсивность излучения разделяется

- светящаяся часть
- полусветящаяся
- несветящаяся часть факела.

Светящаяся и полусветящаяся часть факела – твердые частицы (сажи и золы).

Несветящаяся часть- 3-х атомные газы.

Доля теплового излучения (Золовые частицы): 40-60% теплоты, 3-х атомных газов 20-30%.

Назначение расчета теплообмена в топке определение температуры на выходе из топки при заданных размерах топки

Тепловосприятие лучевоспринимающей поверхности идеальной системы Q Вт

$$Q = c_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_п}{100} \right)^4 \right],$$

Расчет топки производят по приближенным аналитическим зависимостям на основе экспериментальных данных.

- Закон Стефана Больцмана (уравнение радиационного теплообмена в топке).

$$Q_л' = a_т c_0 \Psi_э F_{ст} \left(\bar{T}^4 - \bar{T}^4_{ст} \right) \cdot 10^{-8},$$

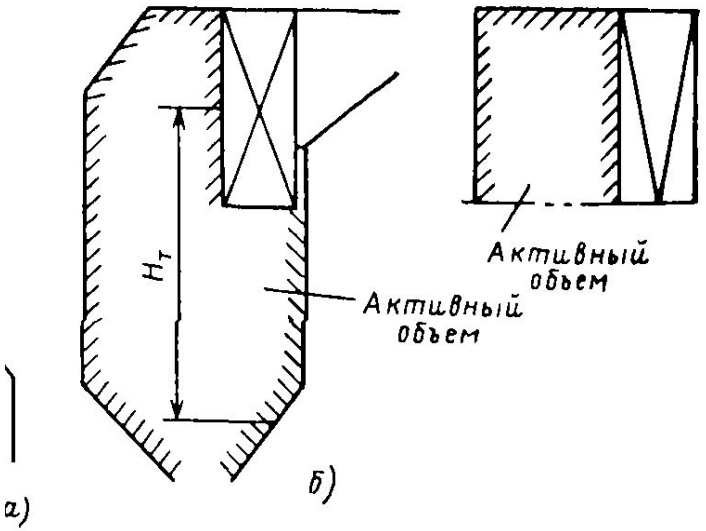
Тепловосприятие поверхности нагрева через тепловой баланс топки

$$Q_л' = \varphi B_р \left(Q_т - H_т'' \right),$$

$$\varphi B_p (V_г c_г)_{ср} T_а - \left(1 - \frac{\overline{T}''_т}{T_а}\right) = a_т c_0 \psi_э F_{ст} \overline{T}^4 \cdot 10^3 \left[1 - \left(\frac{\overline{T}_{ст}}{T}\right)^4\right],$$

$$\Theta''_т = \frac{Bo^{0,6}}{M a_т^{0,6} + Bo^{0,6}}, \quad Bo = \frac{\varphi B_п V_г c_г}{c_0 \psi_э F_{ст} T_а^3}$$

$$\vartheta_т = \frac{T_а}{M\left(\frac{5{,}76 \psi_{ср} F_{ср} a_т T_а^3}{10^{-8} \varphi B_р (V_г c_г)_р}\right)^{0,6} + 1} - 273.$$



Площадь стен топочной камеры

$$F_{ст} = \frac{B_р Q_л}{5{,}76 \cdot 10^{-8} a_т \psi_{ср} M T''_т T_а^3} \sqrt{\frac{1}{M^2}\left(\frac{T_а}{T''_т} - 1\right)^2},$$

Полезное тепловыделение в топке

$$Q_т = Q_р^р \left(\frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4}\right) + Q_в + Q_{в.вн} + r H_{т.отб},$$

$$Vc_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{т}} - H''_{\text{т}}}{\vartheta_{\text{а}} - \vartheta''_{\text{т}}},$$

$$a_{\text{т}} = \frac{a_{\text{ф}} + (1 - a_{\text{ф}})\,\rho}{1 - (1 - a_{\text{ф}})(1 - \psi_{\text{ср}})(1 - \rho)}, \qquad \rho = R/F_{\text{ст}}$$

$$a_{\text{т}} = \frac{a_{\text{ф}}}{a_{\text{ф}} + (1 - a_{\text{ф}})\,\psi_{\text{ср}}}. \qquad a_{\text{ф}} = 1 - e^{-\kappa p s},$$

$$\kappa = \kappa_{\text{г}}\, p_{\text{RO}_2} + \kappa_{\text{зл}}\, \mu_{\text{зл}} + \kappa_{\text{кокс}}\, x_1\, x_2,$$

$$a_{\text{св}} = 1 - e^{-(\kappa_{\text{г}}\, p_{\text{RO}_2} + \kappa_{\text{с}})\, p_5}$$

$$a_{\text{ф}} = m a_{\text{св}} + (1 - m)\, a_{\text{г}}, \qquad s = 3{,}6 V_{\text{т}}/F_{\text{ст}}, \qquad a_{\text{г}} = 1 - e^{-\kappa_{\text{г}}\, p s}$$

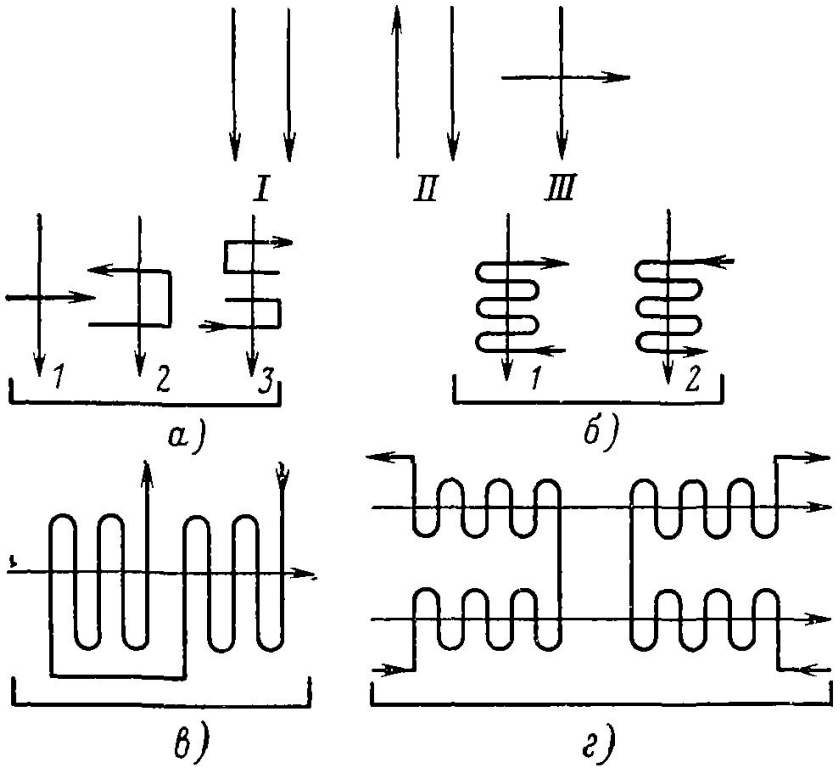
$$\psi = x^{\xi}.$$

Расчет теплообмена в конвективных поверхностях нагрева

- температурный напор
- схема движения теплоносителей
- коэффициент теплопередачи

$$\Delta t = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln \frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}}$$

$\Delta t_б / \Delta t_м \leqslant 1{,}7 \quad \Delta t = (\Delta t_б - \Delta t_м)/2.$



1- прямоток, 2- противоток, 3- перекрестный ток. а)- ТВП

1- одноходовой, 2- двухходовой перекрестный, 3- многократный перекрестный . Б) экономайзер многократно перекр ток, 1- прямоток, 2- противоток, в) пароперегреватель, многократный перекрестный ток, г) параллельно смешанный ток.

- Коэффициент теплопередачи: (толщина стенки , загрязнения, накипи).

$$\kappa = 1 \Big/ \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_м}{\lambda_м} + \frac{\delta_н}{\lambda_н} + \frac{\delta_з}{\lambda_з} + \frac{1}{\alpha_2} \right),$$

- Коэффициент загрязнения: м К/Вт

$$\varepsilon = c_d \, c_{фр} \, \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon,$$

- Коэффициент загрязнения, -поправки на диаметр труби состав топлива -поправка на вид топлива.
- Теплоотдача от продуктов сгорания к стенке:

$$\alpha_1 = \xi \, (\alpha_к + \alpha_л),$$

- - Коэффициент использования поверхностей нагрева,
- Коэффициент теплопередачи ширмы, (1+Q/Qл) - теплота воспринятая ширмой.

$$\kappa = \alpha_1 \Big/ \left[1 + \left(1 + \frac{Q_л}{Q} \right) \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \right],$$

- Коэффициент теплопередачи пп , коэффициент теплопередачи ТВП

$$\kappa = \alpha_1 \Big/ \left[1 + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \alpha_1 \right].$$

$$\kappa = \xi \, (\alpha_1 \, \alpha_2) / (\alpha_1 + \alpha_2),$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией

Скорость газов

$$\omega_г = \frac{B_р V_г (\vartheta + 273)}{F3600 \cdot 273},$$

Скорость воздуха

$$\omega_в = \frac{B_р \beta_{вп} V_в^0 (\vartheta + 273)}{F3600 \cdot 273},$$

Площадь живого сечения по газу при наружном поперечном обтекании труб

$$F = ab - z_1 ld,$$

Скорость пара

$$\omega_п = \frac{Dv_{ср}}{3600f},$$

Площадь живого сечения по газу при продольном обтекании труб

$$F = z\pi d_{вн}^2/4,$$

Коэффициент теплоотдачи (поперечном омывании)

$$\alpha_к = 0,2 C_z C_s \frac{\lambda}{d} \left(\frac{\omega d}{\nu}\right)^{0,65} Pr^{0,33},$$

Коэффициент теплоотдачи для РВП

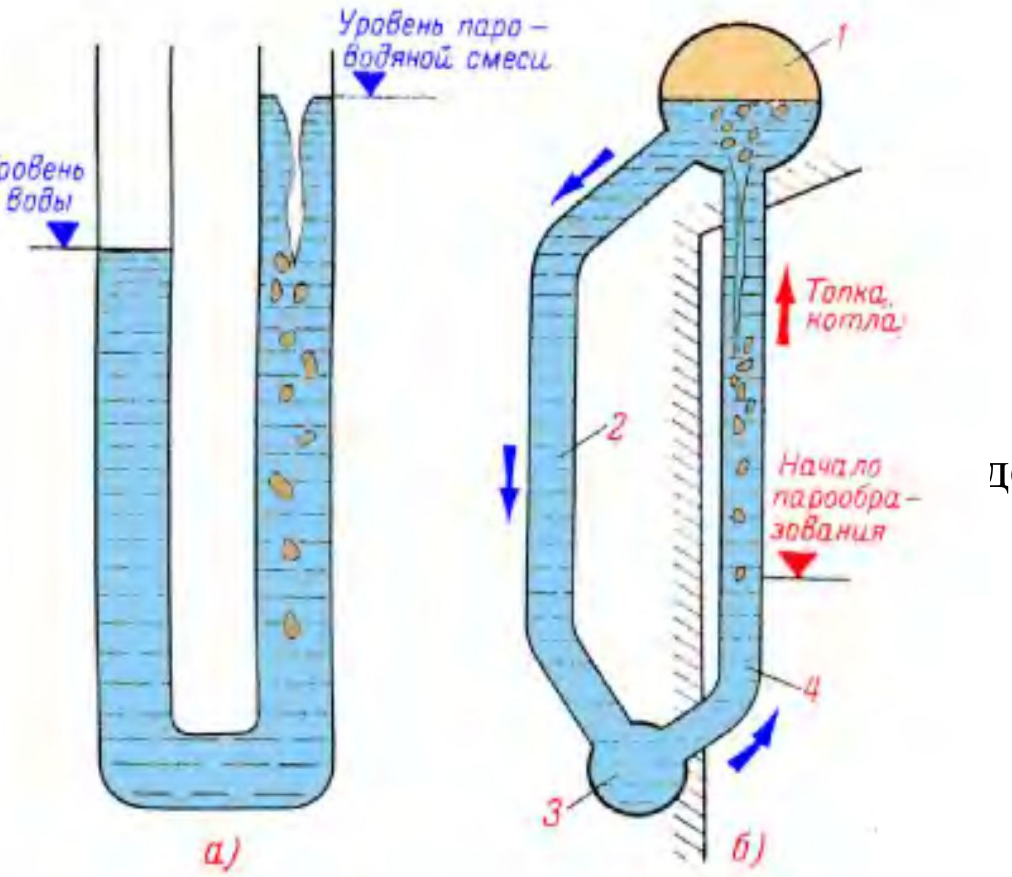
$$\alpha_к = A \frac{\lambda}{d_э} \left(\frac{\omega d_э}{\nu}\right)^{0,8} Pr^{0,4} C_t C_l.$$

Коэффициент теплоотдачи ширм (продольном омывании)

$$\alpha_к = C_s C_z \frac{\lambda}{d} \left(\frac{\omega d}{\nu}\right)^{0,6} Pr^{0,33},$$

$C_Z.C_S C_t C_d C_l$ - поправка на число труб и фракционный состав, температуру, диаметр, длину трубок.

Паровой котел с естественной циркуляцией



Движущий напор естественной циркуляции $S_{дв}$ (Н/м2 = Па),

$$S_{дв} = H_{п}(\rho_{оп} - \bar{\rho}_{см})g$$

де $\rho_{оп}$, $\rho_{см}$ - соответствующая плотность воды в опускных трубах и средняя плотность пароводяной смеси в подъемных трубах, кг/м. куб.; g - ускорение свободного падения, м/с2; НП - высота паросодержащей части контура, м.

Схемы водопарового тракта котлов

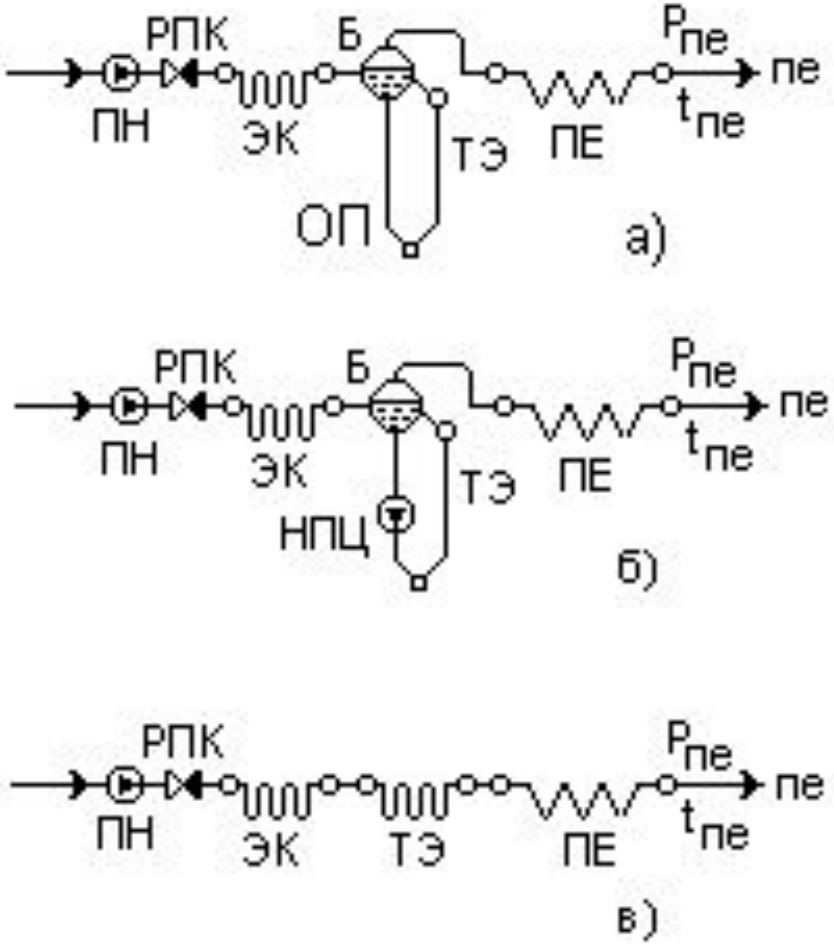
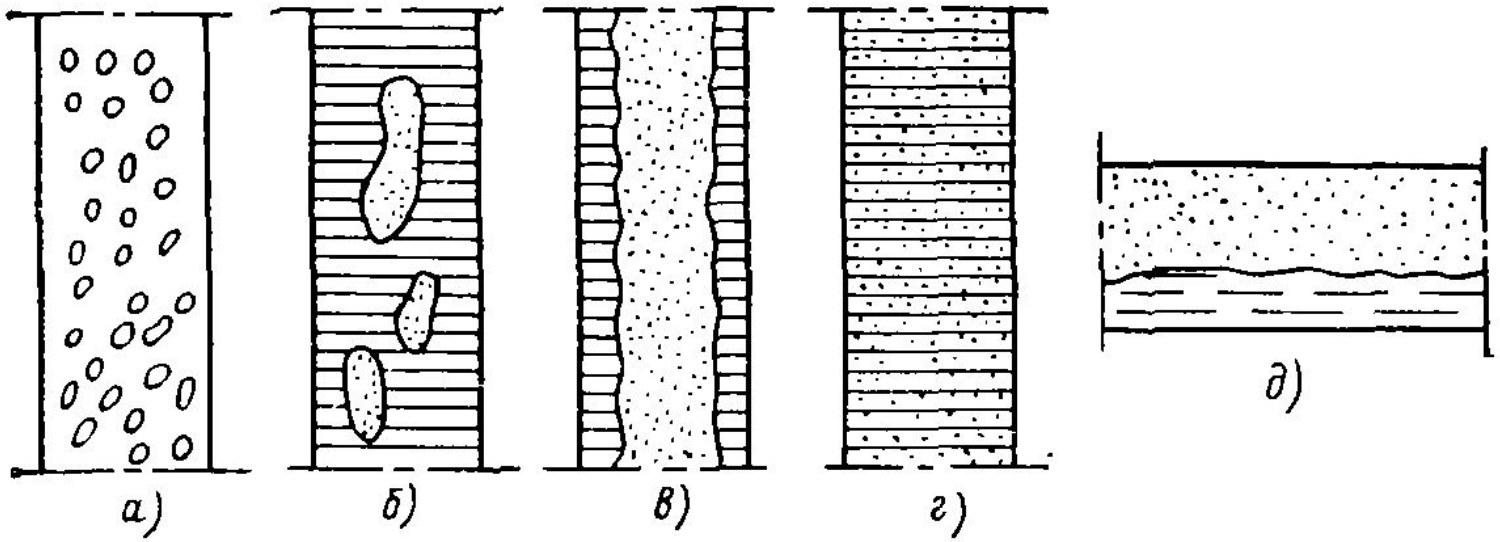


Рис. Схемы водопарового тракта котла: а - барабанного с естественной циркуляцией; б - барабанного с принудительной циркуляцией; в - прямоточного; ПН - питательный насос; РПК - регулятор питания котла; ЭК - экономайзер; ТЭ - топочные экраны; ПЕ - пароперегреватель; пе - перегретый пар; ОП - опускные трубы; НПЦ - насос принудительной циркуляции; Б - барабан.



- Структура пароводяной смеси **в** трубе:
- ***а*** — пузырьковая; ***б*** — снарядная; ***в*** — стержневая; ***г*** — эмульсионная; ***д*** — расслоенного потока в горизонтальной трубе

Пузырьковая структура, при которой мелкие пузырьки пара относительно равномерно распределены по сечению трубы, возникает при небольшом паросодержании и малой скорости пароводяной смеси в вертикальной трубе.

Снарядная структура, при которой образуются крупные паровые пузырьки, занимающие среднюю часть сечения трубы и отделенные друг от друга и стенки тонким слоем.

Стержневая — структура, при которой в среднем сечении трубы движется сплошной поток пара с взвешенными в нем каплями воды. По стенке при этом движется слой жидкости, толщина которого уменьшается с ростом паросодержания и скорости потока.

Эмульсионная — структура, при которой основная масса воды срывается со стенки и уносится в виде капель в потоке пара. На стенке остается тонкая водяная пленка.

Потеря давления на трение для однофазного турбулентного потока , Па,

$$\Delta p_{тр} = \lambda_0 \, l \rho \omega^2 / 2,$$

где $\lambda_0 = \lambda / d_{вм}$ — приведенный коэффициент трения; λ — коэффициент трения, зависящий от относительной шероховатости поверхности трубы $k = k'/d$; l — длина участка, м.

$$\lambda = \frac{l}{4\left(\lg 3{,}7 \frac{d}{k'}\right)^2},$$

Потеря давления на трение при двухфазном потоке при переменном паросодержании в нем $\Delta p_{тр}$, Па,

$$\Delta p_{гр} = \lambda_0 \frac{\omega_0^2 \rho'}{2} \left[1 + \bar{x}\bar{\psi}\left(\frac{\rho'}{\rho''} - 1\right)\right],$$

где $\bar{x}$ — среднее паросодержаниее на участке; ρ' и ρ'' — плотности воды и пара при температуре насыщения, кг/м^3;

ω_0 — скорость циркуляции, м/с; $\bar{\psi}$ — коэффициент, учитывающий влияние структуры потока. (Например, при паросодержанни $\bar{x} < 0{,}7$, давлении 10 МПа и скорости циркуляции $\omega_0 = 1{,}6$ м/с, $\bar{\psi} = 1{,}1$).

Потеря давления за счет местных сопротивлений при **однофазном потоке** $\Delta p_м$, Па:

$$\Delta p_м = \xi_м \rho w^2/2,$$

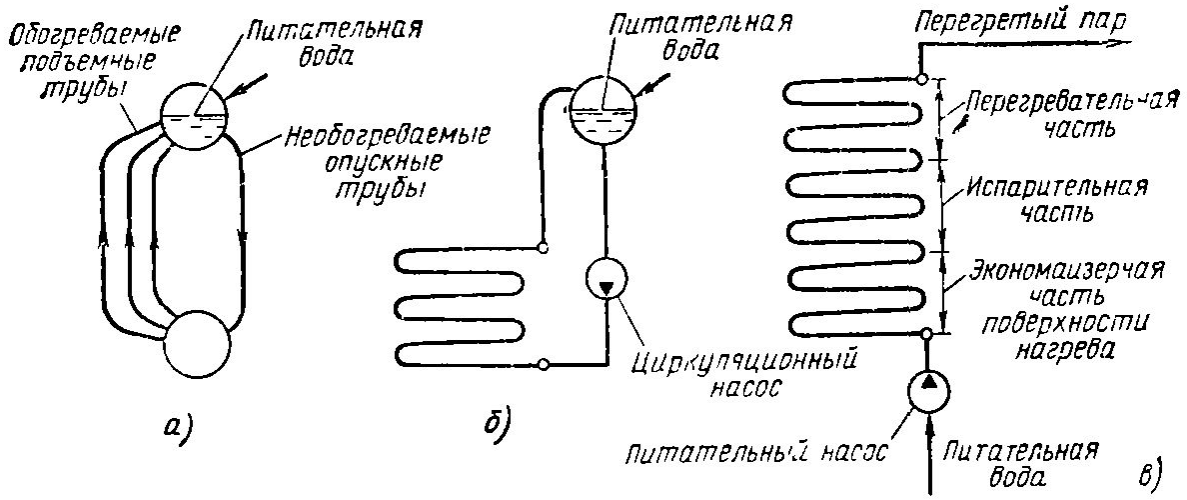
Потеря давления в местных сопротивлениях при **двухфазном потоке**, Па,

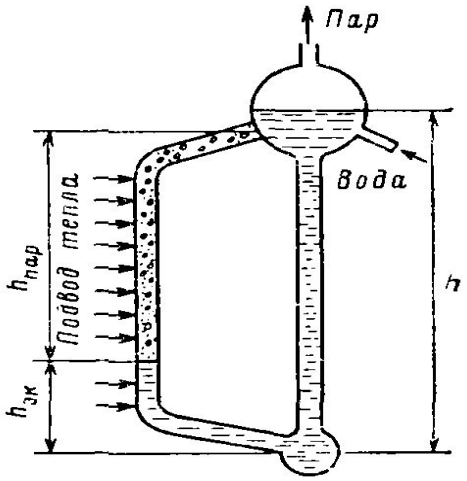
$$\Delta p_м = \xi'_м \frac{w^2 \rho'}{2}\left[1 + x\left(\frac{\rho'}{\rho''} - 1\right)\right],$$

Перепад давлений в общем виде Па,

$$\Sigma\Delta p_{эл} = \Delta p_{тр} + \Sigma\Delta p_м + \Delta p_{кол} + \Delta p_{уск} + \Delta p_{нив},$$

$\Delta p_{эл}$ — гидравлическое сопротивление в элементе, Па; ?$p_{тр}$ — потеря давления на трение, Па; ?$p_м$ — потери давления в местных сопротивлениях, Па; ?$p_{кол}$ — суммарное изменение давления в коллекторах, Па; ?$p_{уск}$ — потеря давления от ускорения потока, Па; ?$p_{нив}$ — нивелирный перепад давлений, Па.





Гидродинамика котлов с естественной циркуляцией

Давление столба пароводяной смеси $ly_{см}$

сумма давлений столба воды и столба пароводяной смеси, Па,

$$l\gamma_{см} = l_{эк}\gamma' + l_{пар}\gamma_{см}, \qquad \gamma_{см} = (1-\varphi)\gamma' + \varphi\gamma''$$

где — средний удельный вес пароводяной смеси (**напорный удел $\gamma_{см}$ вес смеси**), Н/м^3.

Общая высота контура.

$$l = l_{эк} + l_{пар}$$

Движущий напор

$$S = l_{\text{пар}} (\gamma' - \gamma_{\text{см}}).$$

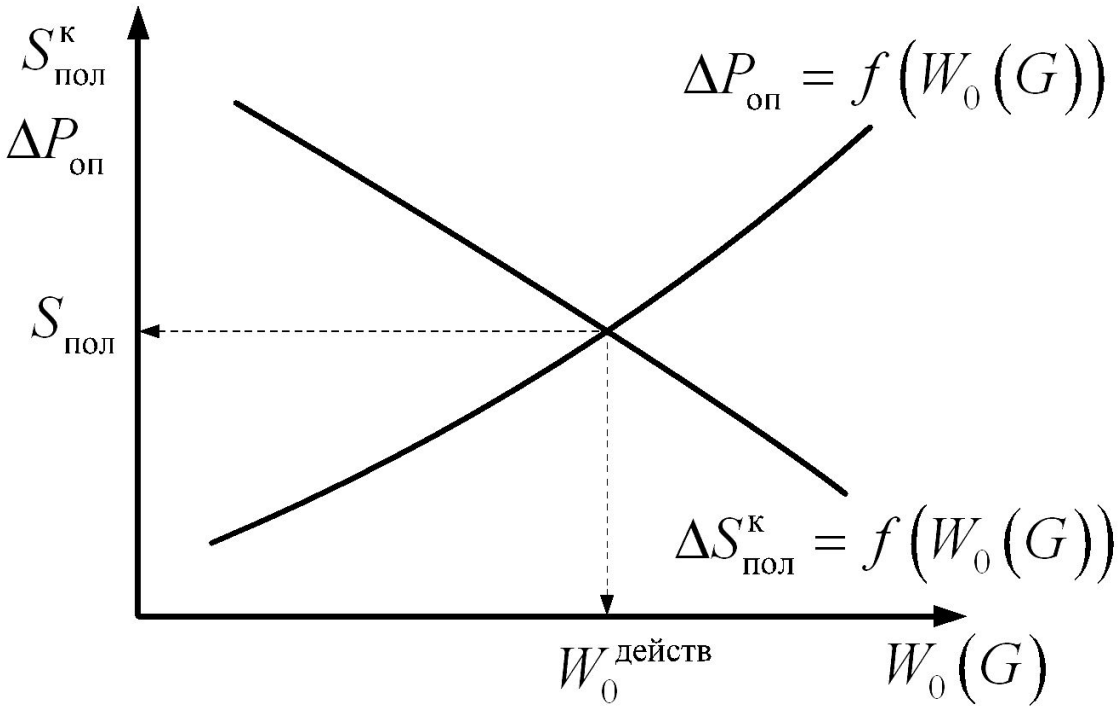
Движущее давление преодолевает сопротивление в подъемных и опускных трубах.

$$S = S p_{\text{под}} + S p_{\text{оп}},$$

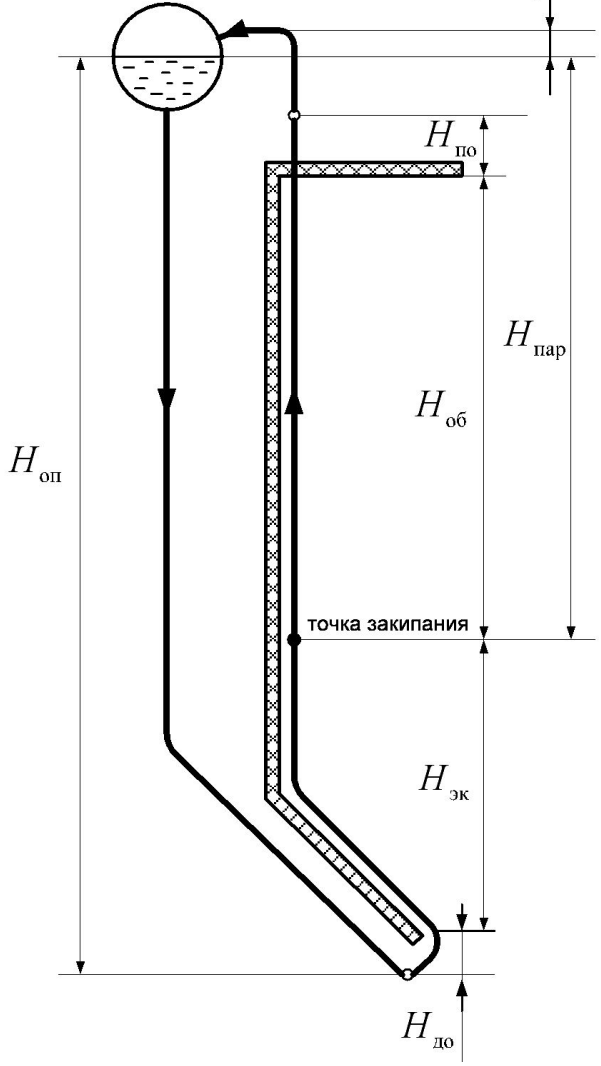
полезное давление: Разность движущего давления и сопротивления подъемной части циркуляционного контура составляет, расходуемое на преодоление сопротивлений опускной части контура:

$$S_{\text{пол}} = S - \Sigma p_{\text{под}},$$

$$S_{\text{пол}} - \Sigma p_{\text{оп}} = 0.$$



Гидравлическая характеристика циркуляционного конт



Расчетная точка А

По истинному значению *G* определяются действительная скорость циркуляции *Wo* и кратность циркуляции контура k

Надежность циркуляции.

При однофазном потоке:

- охлаждение обогреваемых труб,

При двухфазном потоке:

-смачивание металла водой (для хорошей теплоотдачи от стенок труб необходимо непрерывное).

Застой и опрокидывание циркуляции

Режимы работы испарительных поверхностей при которых пароводяная смесь в обогреваемых подъемных трубах может остановиться или пойти вниз, а не вверх.

застой циркуляции

застой паровых пузырей в отдельных участках трубы отводы, гибы и пр.

*Последствия: (*В испарительной трубе, может образоваться насыщенный или перегретый пар.

Причина: недостаточный полезный напор.

опрокидыванием циркуляции.

Движение пароводяной смеси вниз в подъемной трубе.

Надежность циркуляции

- скорость воды на входе в оп трубы должна быть менее 0,4м/с,
- давление на входе в опускные трубы меньше давления в барабане

ВОДНЫЙ РЕЖИМ И КАЧЕСТВО ПАРА КОТЛОВ

Надежная и экономичная работа котла возможна при обеспечении отсутствия внутренних **отложений** на поверхностях нагрева, снижении до возможного минимума коррозии конструкционных материалов и получении в котле пара высокой чистоты.

Водный режим, включает в себя обработку питательной воды в сочетании с определенными конструктивными мероприятиями и соответствующую очистку питательной и добавочной воды от имеющихся в них газообразных и твердых примесей. (твердые примеси в растворенном и взвешенном состоянии).

ОБРАЗОВАНИЕ НАКИПЕЙ И ТРЕБОВАНИЯ К ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЕ

Образование накипи.

С питательной водой в котлы поступают минеральные примеси, соединения кальция и магния, оксиды железа, алюминия, меди и пр.

Примеси:

- **труднорастворимые.** Соединения Ca и Mg: сульфат $CaSO_4$, карбонаты $CaCO_3$, $MgCO_3$, силикаты $CaSiO_3$, $MgSiO_3$, гидроксиды $Ca(OH)_3$, $Mg(OH)_2$.

Соли и гидрооксиды Ca и Mg, оксиды конструкционных материалов.

- **легкорастворимые**. Сульфат $MgSO_4$, хлориды $CaCl_2$, $MgCl_2$, бикарбонаты $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$. Все натриевые соединения обладают высокой растворимостью в воде.

Основные группы отложений.

Железооксидные отложения. продукты коррозии железа. В составе отложений оксидов железа более 90-95%.

При докритическом давлении в барабанных и прямоточных котлах по мере увеличения давления и улучшения системы подготовки воды доля железооксидных отложений также растет. Магнетит Fe_3O_4, (Fe_2O_3) шламовые осадки.

Щелочноземельные отложения. Соединения кальция и магния попадают в питательную воду с присосами в конденсаторе и с добавочной водой. В котловой воде присутствуют: $CaSiO_3$, $CaSO_4$, $CaCO_3$, $CaCl_2$ и др.

Отложения соединений меди. Оксиды меди в питательной воде появляются в результате коррозии латунных труб конденсатора, ПНД деталей насоса, содержащих медь.

По мере испарения воды, примеси солей жидкости $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $CaCO_2$, $MgCO_2$ и др после наступления состояния насыщения начинают выпадать из воды в **виде кристаллов.**

Центры кристаллизации: шероховатости на поверхностях нагрева (образуют плотные, и прочные отложения — накипь), а также взвешенные и коллоидные частицы, находящиеся в воде котла. Вещества, кристаллизирующиеся в объеме воды, образуют взвешенные в ней частицы—**шлам**.

Кальциевая и магниевая накипи, $CaSO_4$, $CaSiO_3$, $5CaO$, $5SiO_2H_2O$, $CaCO_2$, $Mg(OH)_2$. **Накипь имеет низкую теплопроводность 0,1—0,2 Вт/(м-К).**

Накипь приводит к **резкому ухудшению условий охлаждения** металла поверхностей нагрева и вследствие этого к повышению его температуры.

- в области высоких температур (экраны, фестоны, первые ряды труб конвективного пучка), температура металла может превысить предельную по условиям прочности, после чего начинается образование **отдулин с утоньшением стенки трубы.**

Накипь в поверхностях нагрева, расположенных в зоне более низких температур, приводит к снижению КПД котла в результате уменьшения коэффициента теплопередачи и связанного с этим повышения **температуры уходящих газов.**

Содержание в воде соединений кремниевой кислоты H_2Si0_3.

В пароперегревателе, H_2Si0_3 разлагается с выделением H_20 и появляется $Si0_2$. Попадая в турбину вместе, $Si0_2$ образует на ее лопатках нерастворимые соединения, которые приводят к ухудшению экономичности и надежности работы турбины и необходимости ее останова для удаления отложений.

содержание в воде минеральных масел и тяжелых нефтепродуктов

Отложение малотеплопроводной пленки масла или нефтепродуктов ухудшает условия **охлаждения поверхностей нагрева и оказывает такое же влияние, как и накипь.**

Показатели качества питательной воды котлов

1. солесодержание — суммарная концентрация в воде катионов и анионов, определяемая по общему ионному составу, мг/кг;

2. жесткость воды — общая суммарная концентрация **ионов кальция и магния**, мкг-экв/кг;

$$Ж_о = Ж_{Ca} + Ж_{Mg};$$

3. щелочность воды - общая $Щ_0$ — сумма эквивалентных концентраций в растворе анионов слабых кислот и ионов гидроксила NaOH (едкий натр), Na_2CO_3 (кальционированная сода) мг-экв/кг;

4. кремнесодержание — общая концентрация в воде кремнесодержащих соединений, выраженная в пересчете на $Si0_2$;

5. показатель концентрации водородных ионов **(pH)** характеризующий реакцию воды (кислая, щелочная, нейтральная) ;
$[H^+] > [OH^-]$ раствор является **кислый:**
$[OH^-] > [H^+]$ — **щелочной**.

6. Содержание растворенных газов в воде — 0_2, $C0_2$

7. Соединения железа, меди, нитритов и нитратов (мкг/кг), масла и тяжелые нефтепродукты (мг/кг).

Показатели качества питательной воды

Показатель	Давление МПа		
	до 4	4—10	выше 10
Общая жесткость, мкг-экв/кг	5	3	1
Содержание кремния в пересчете на SiO_2, мкг/кг	—	80	40
Содержание O_2, мкг/кг	20	20	10
Содержание соединений железа, мкг/кг	200	100	30
Содержание соединений меди, мкг/кг	20	20	5
pH при 25 °С	9,1±0,1		
Свободная CO_2	Отсутствует		

Таблица 12.2

Нормы качества питательной воды

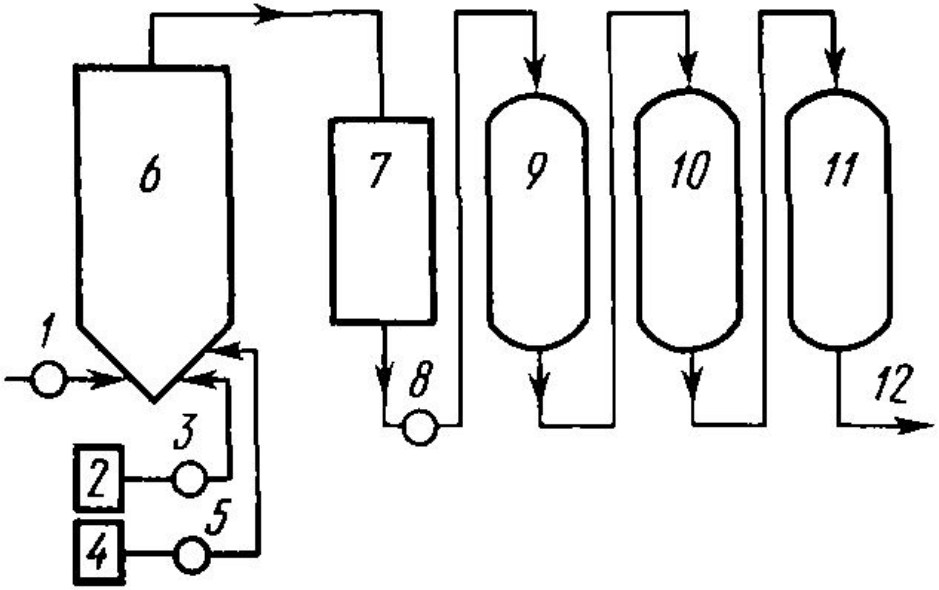
Нормируемая величина	Барабанные котлы, p=13,8 МПа	Прямоточные котлы СКД
Общая жесткость, мкг-экв/кг, не более	1	0,2
Соединения натрия (Na), мкг/кг, не более	50	5
Соединения железа (Fe), мкг/кг,не более	20	10
Соединения меди (Cu), мкг/кг, не более	5	5
Масла, мкг/кг, не более	300	100
Кремниевая кислота (SiO_3), мкг/кг, не более	40	15
Значение pH (при обессоленной добавочной воде)	9,1±0,1	ГАВР: 9,1±0,1НОВР: 7,0±0,5 НОВРЩ: 8,0±0,5ГВР: 7,7±0,2
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см, не более	-	0,3
Растворенный O_2 после деаэратора, мкг/кг:	До 10	-
При гидразинно-амиачном режиме	-	До 10
При окислительных режимах	-	От 100 до 400

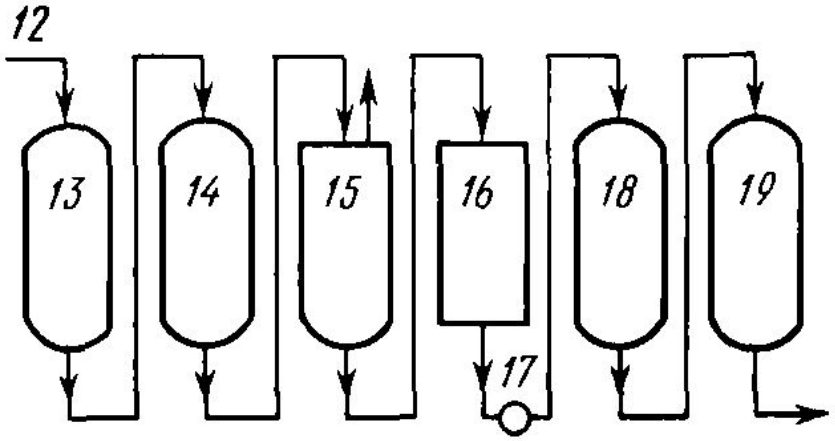
Схемы обработки добавочной воды

Na-катионирование	ТЭС и промышленные котельные с барабанными котлами низкого давления. Подготовка воды для теплосети
H — Na-катионирование, ионирование	То же с котлами среднего давления
Химическое обессоливание в две ступени	То же при промежуточном перегреве пара. ТЭС с прямоточными котлами
Химическое обессоливание в три ступени	Котлы сверхвысокого давления. Подготовка воды для АЭС
Испарительные установки . .	То же для химического обессоливания и обескремнивания при высокой минерализации исходной воды

Коррекционный метод обработки добавочной

В котловую воду вводят специальные реагенты коррекционные вещества, анионы которых связывают и осаждают в виде шлама катионы кальция и магния питательной воды





- **Схема подготовки питательной воды для барабанных котлов низкого давления.**
- 2,4-баки коагулянта, 6-осветлитель, 7-бак осветленной воды, 8-насос, 9-механические фильтры,
- 10,11,-Na катионитовые фильтры

Схема подготовки питательной воды для барабанных котлов высокого давления.

13,18- Н-катионитовые фильтры, 14,19-анионитовые фильтры, 15-декарбонизатор, 16- пром. Бак, 17-насос.

Схема подготовки подпиточной воды

Na-катионирование*. Растворенные в воде соли Ca и Mg при фильтра*ции через катионитовый материал обмениваются на катионы Na и образуют в умягченной воде натриевые соли, имеющие хорошую растворимость в воде.

Анионирование. Снижение щелочности воды достигается установкой анионитовых фильтров, загруженных анионитом (АН-2Ф)

Декарбонизаторы. Для снижения содержания CO_2 применяют декарбонизаторы, заполненные кольцами Рашига.

Н-катионирование. *Применяется для глубокого снижения сухого ос*татка и щелочности. Из воды удаляются все соли жесткости Ca и Mg, но в воде появляется эквивалентное количество серной, соляной и других кислот, присутствие которых нежелательно, и они нейтрализуются щелочами, образующимися при натрий-катионировании.

Водно-химические режимы и нормы качества пара

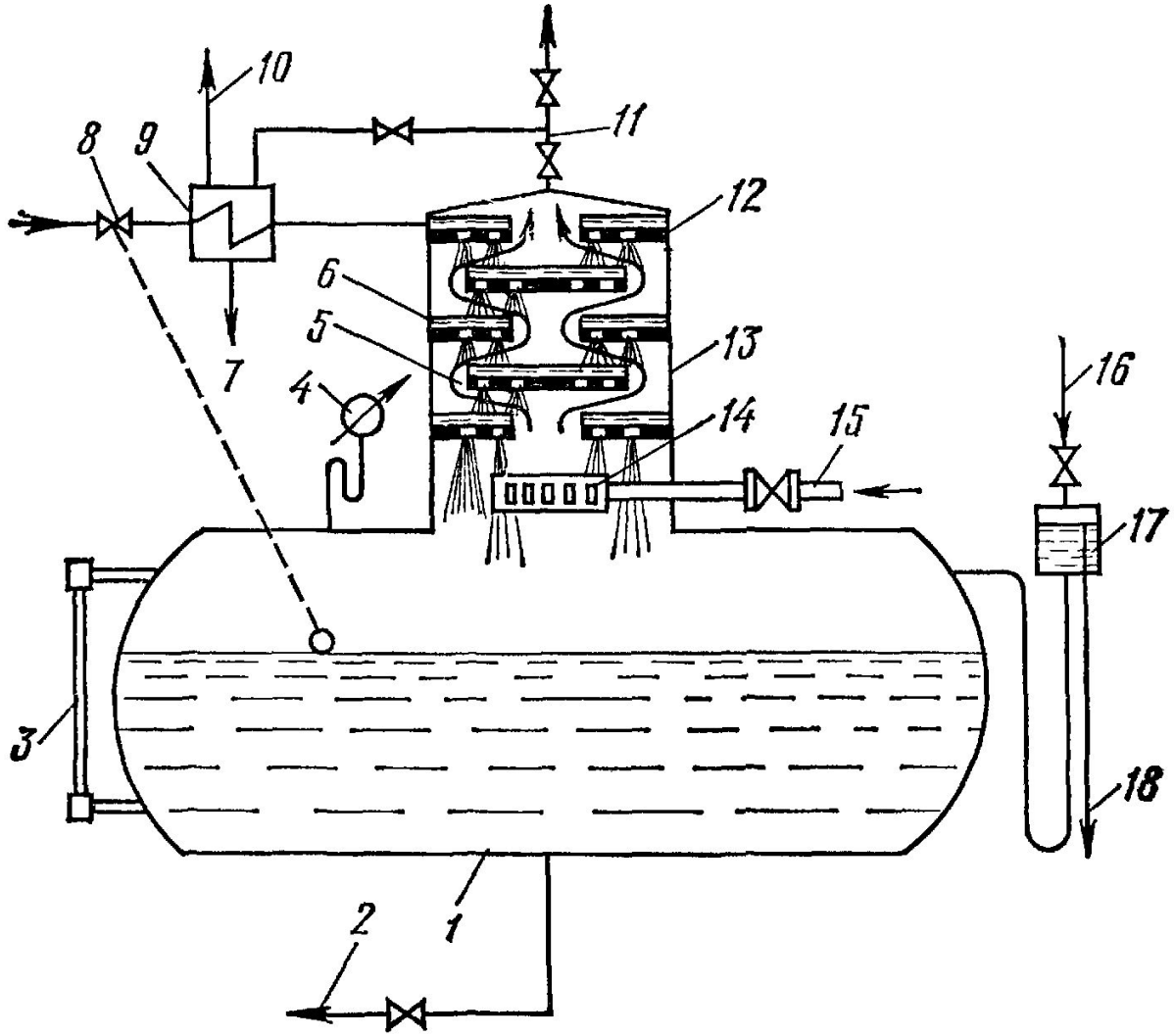
Таблица 12.1

Нормы качества пара паровых котлов

Нормируемая величина	Прямоточные котлы СКД	Барабанные котлы		
		Давление пара, МПа	ГРЭС и отопительные ТЭЦ	ТЭЦ с производственным отбором пара
Содержание натрия (в пересчете Na), мкг/кг,не более	5	(3,9)(9,8) (13,5)	601510	1002515
Кремниевая кислота (в пересчете на SiO_3), не более	15	(7,0 и выше)	15	25
Значения pH не менее	7,5	(13,8)	7,5	7,5
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см не более	0,3	-	-	-

Водно-химические режимы и нормы качества пара

Вещество	Давление, МПа		
	до 4	4—10	выше 10
Соединения Na в пересчете на Na, мкг/кг	60	15	10
Кремниевая кислота в пересчете на SiO_2, мкг/кг	—	15	15
Диоксид углерода CO_2, мкг/кг	—	5—10	—


10
11
8
9
12
6
5
13
7
4
14
15
16
17
3
18
2
1

Удаление примесей с непрерывной продувкой воды из водяного тракта барабанного котла

Для того чтобы ограничить рост отложений, в барабанных котлах организуется непрерывная продувка- удаление из водяного тракта барабанного котла небольшого количества котловой воды Dпр с большей концентрацией примесей $C_{пр}$.

$$p = D_{пр}/(D \cdot 100)$$

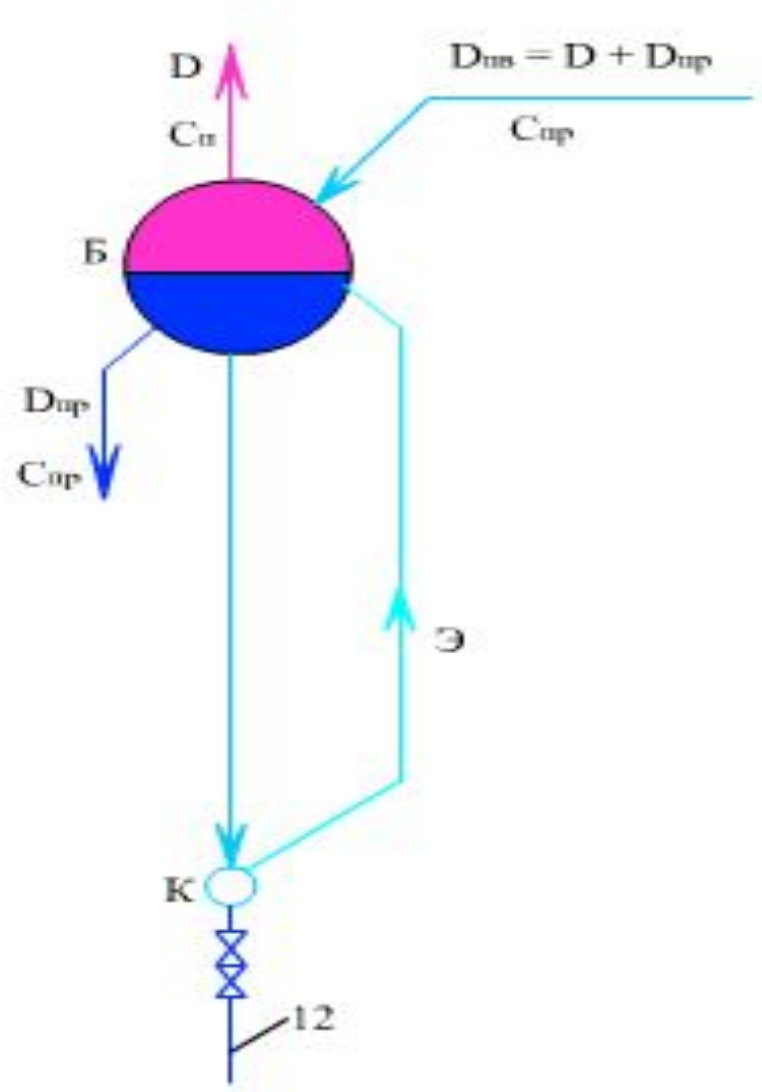
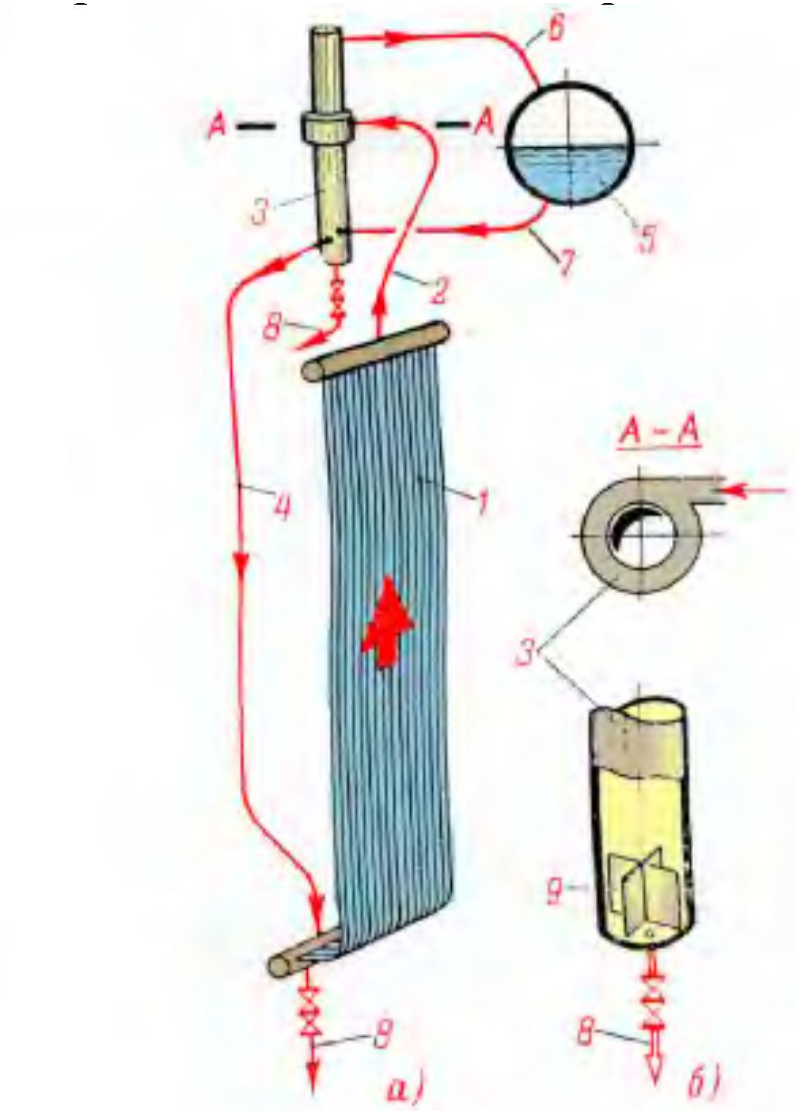
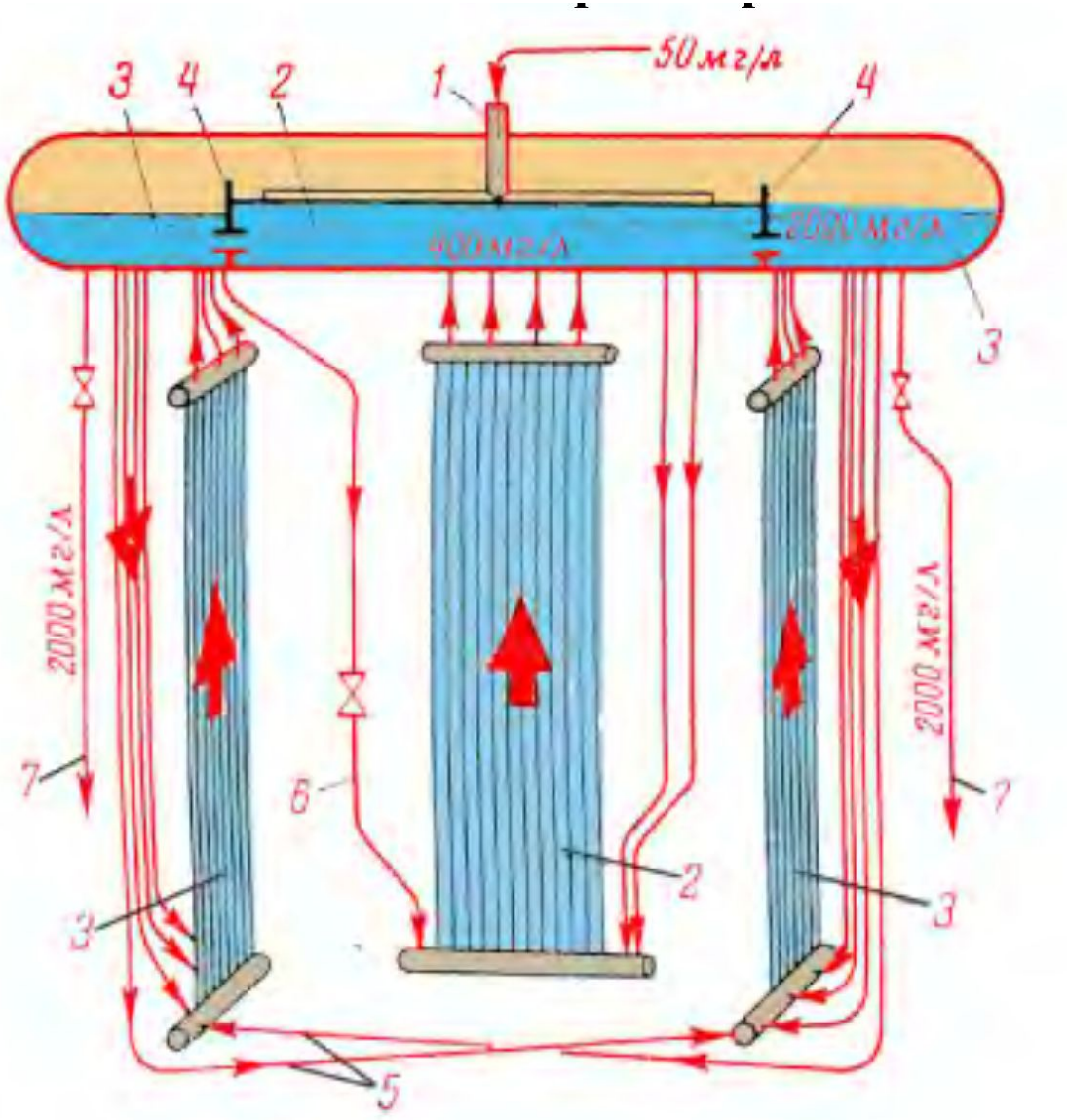
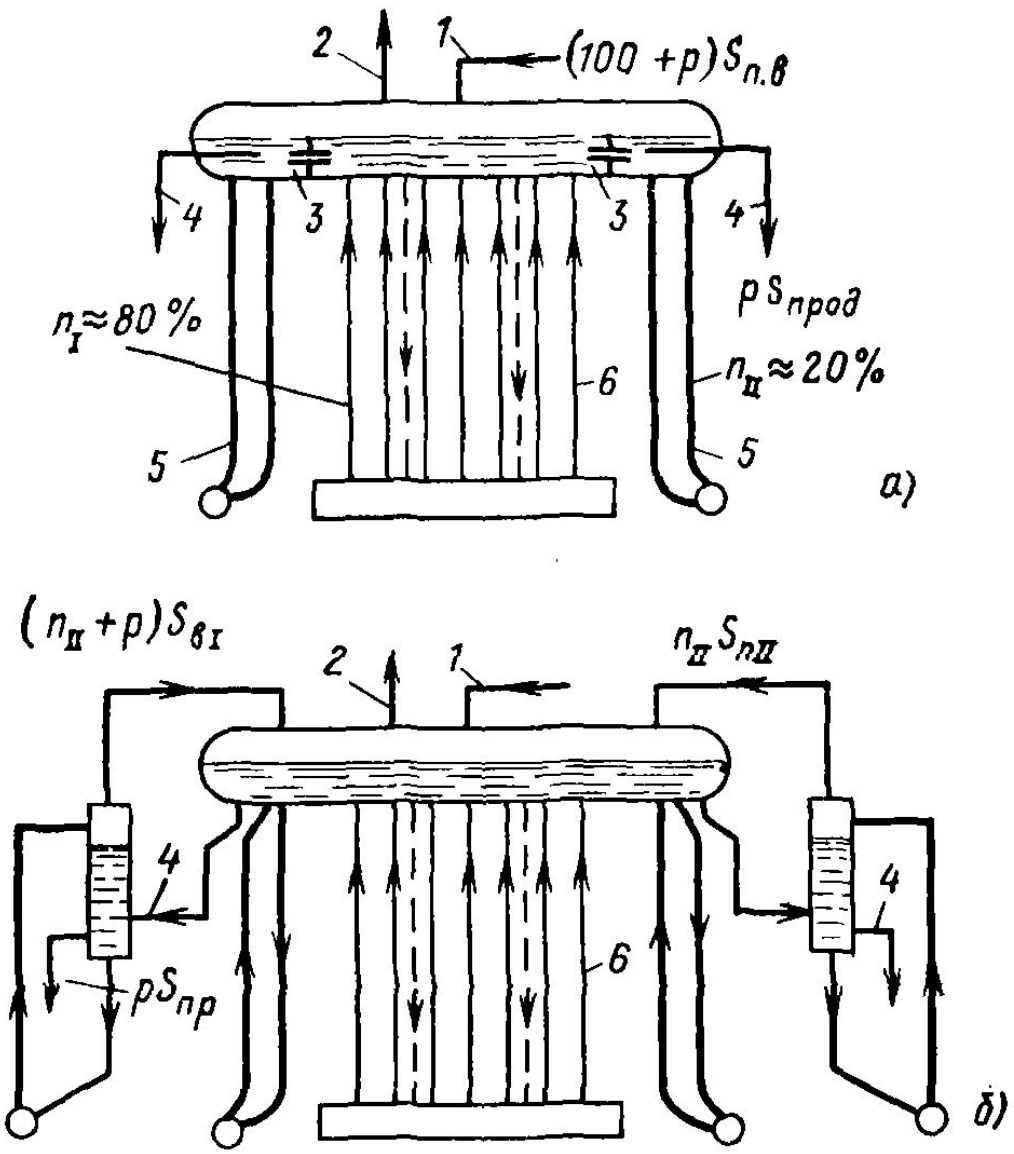


Схема работы выносного сепарационного устройства

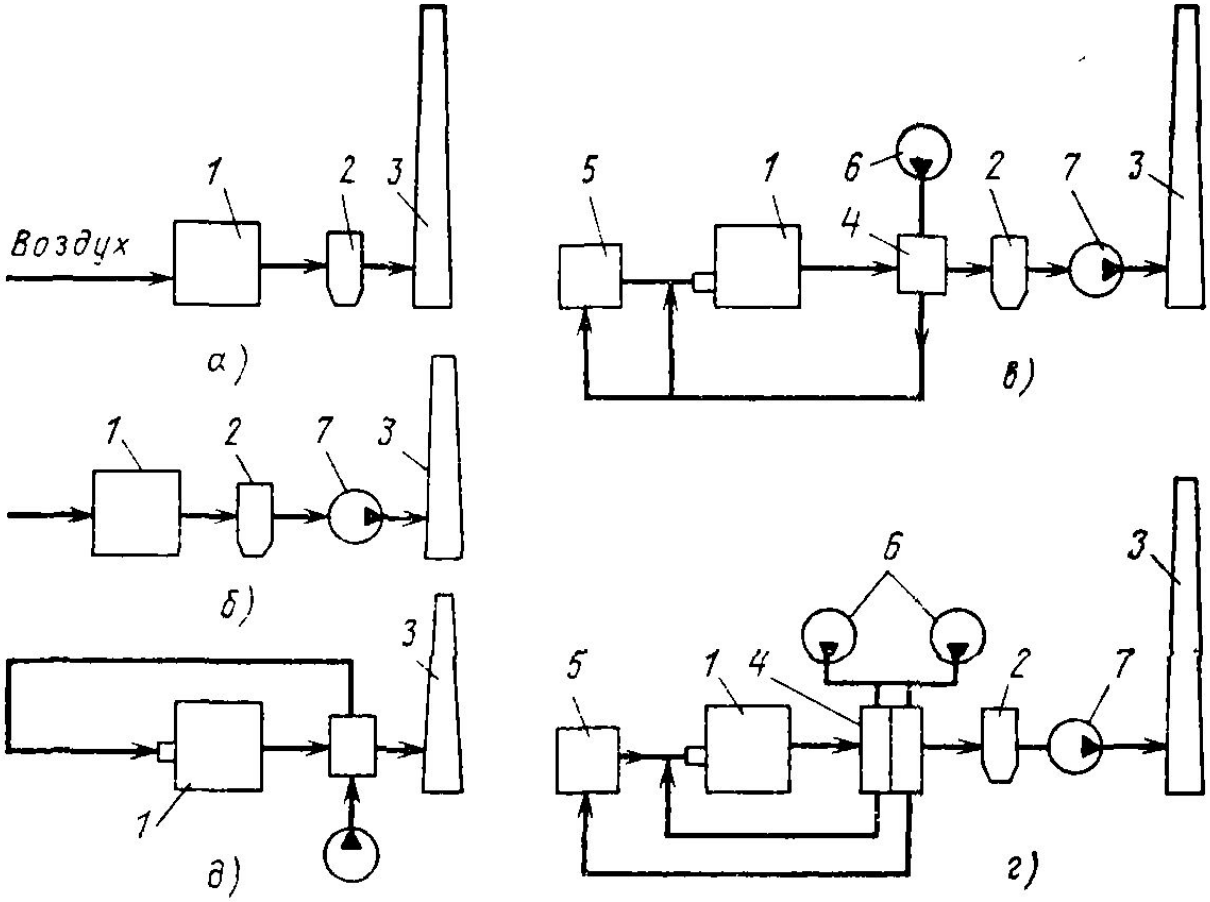


Ступенчатое испарение
метод Э.И. Ромма.



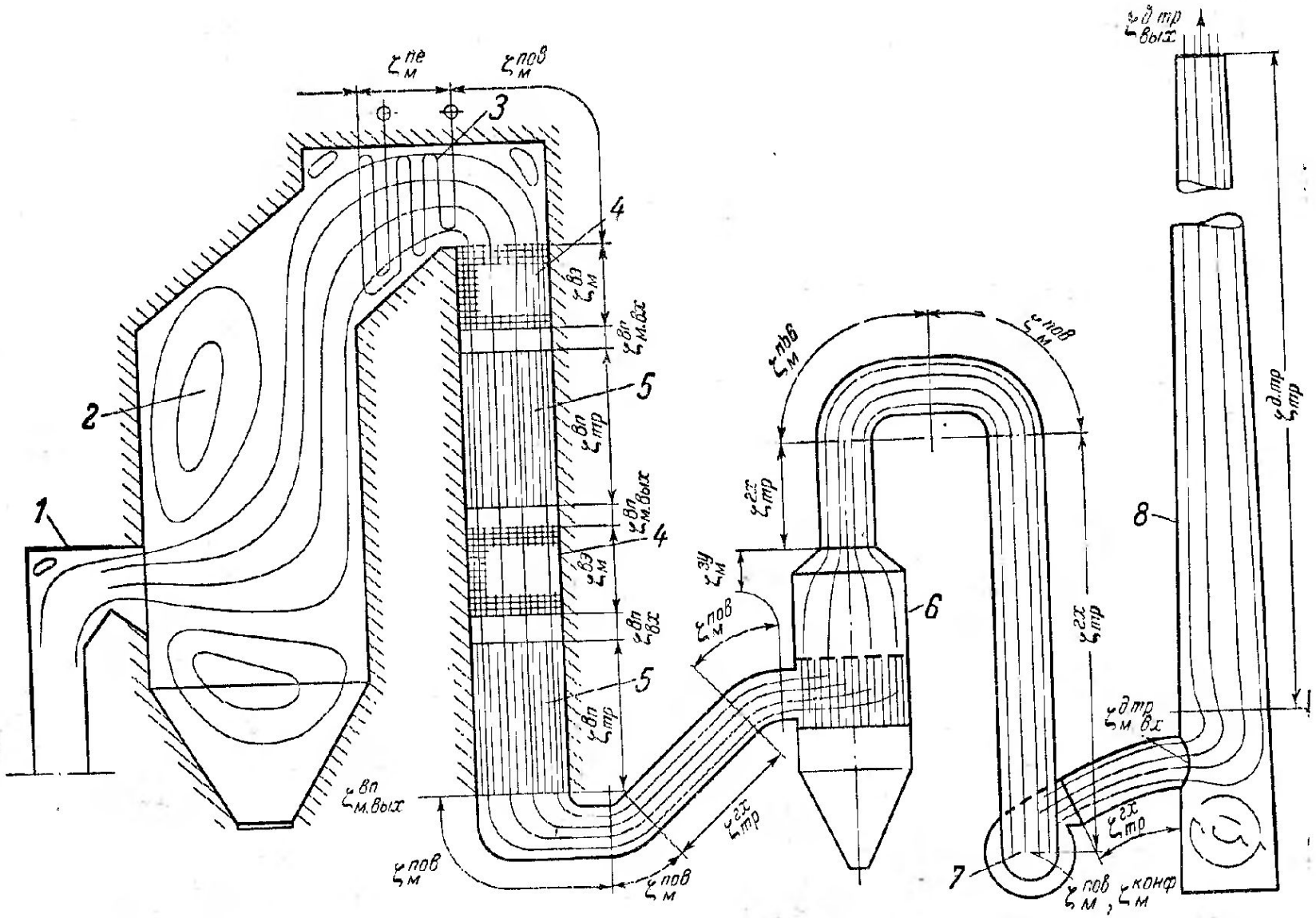

2
1
(100 +p)$S_{п.в}$
4
3
3
4
$n_I \approx 80\%$
$pS_{прод}$
$n_{II} \approx 20\%$
6
5
5
а)
(n_{II} +p)$S_{вI}$
$n_{II}S_{пII}$
2
1
4
4
$pS_{пр}$
6
б)

Аэродинамика газовоздушного тракта



а — система с естественной тягой, создаваемой дымовой трубой; б — система с подачей воздуха и удалением продуктов сгорания дымососом и трубой; в — система с подачей воздуха вентилятором и удалением продуктов сгорания дымососом и трубой; г — система с подачей воздуха раздельно в пылепртготовительную установку и топку двумя вентиляторами и с удалением продуктов сгорания дымососом и трубой;

г — система с подачей воздуха вентилятором и с удалением продуктов сгорания за счет давления в газовом тракте; 1 —котел; 2 — золоуловитель; 3 — дымовая труба; 4 — воздухоподогреватель; 5 — пылепрпгот.


1
2
3
4
5
6
7
8
$\zeta_м^{пе}$
$\zeta_м^{пов}$
$\zeta_{м.вх}^{вп}$
$\zeta_{м.вых}^{вп}$
$\zeta_{тр}^{вп}$
$\zeta_м^{вз}$
$\zeta_{вх}^{вп}$
$\zeta_м^{зу}$
$\zeta_{тр}^{гх}$
$\zeta_м^{пво}$
$\zeta_{вых}^{д\,тр}$
$\zeta_{тр}^{д.тр}$
$\zeta_{м\,вх}^{д\,тр}$
$\zeta_м^{конф}$

Потери на трение для изотермического потока:

$$\lambda p_{1\,\text{р}} = \lambda \frac{l}{d_э} \frac{w^2 \rho}{2}$$

Потери на трение при теплообмене:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d_э} \frac{w^2 \rho}{2} \left(2 / \sqrt{\frac{T_{\text{ст}}}{T} + 1} \right)^2$$

Местные потери; $\Delta p_{\text{м}} = \xi w^2 \rho / 2,$

Сопротивление пучков труо: $\Delta p_{\text{поп}} = \xi w^2 \rho / 2$

Перепад полных давлений по газовому тракту (искуственная тяга):

$$\Delta p_{\text{п}} = p''_{\text{т}} + \Delta p \pm p_{\text{с}}$$

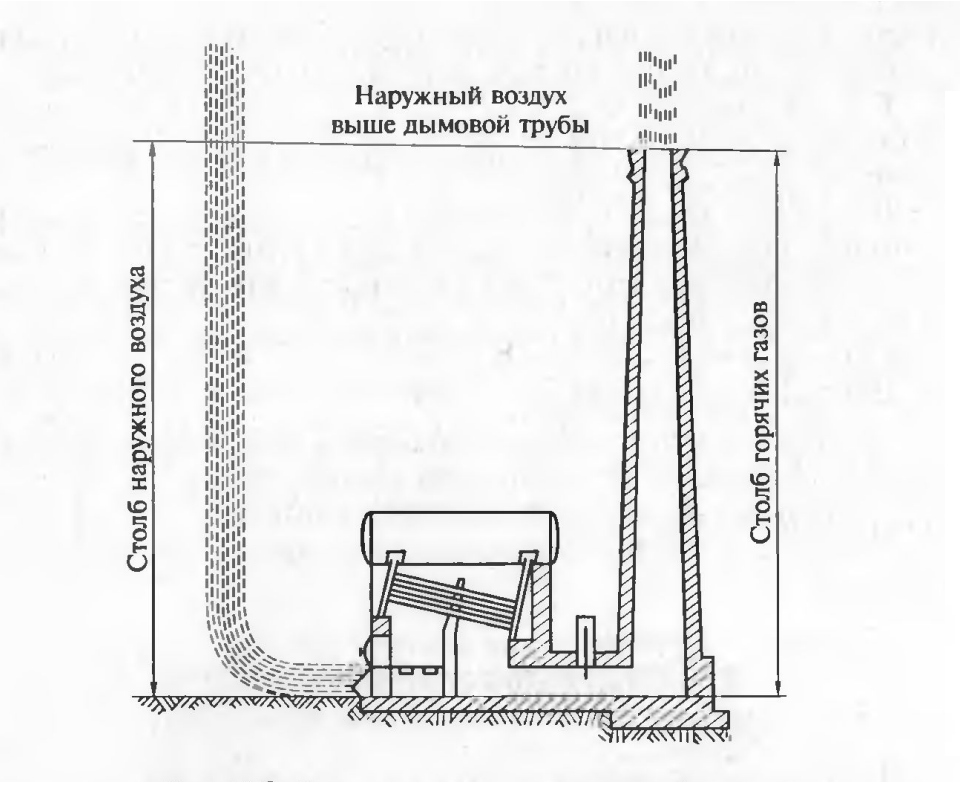
-разрежение на выходе из топки, - сопротивления газохода, -самотяга.

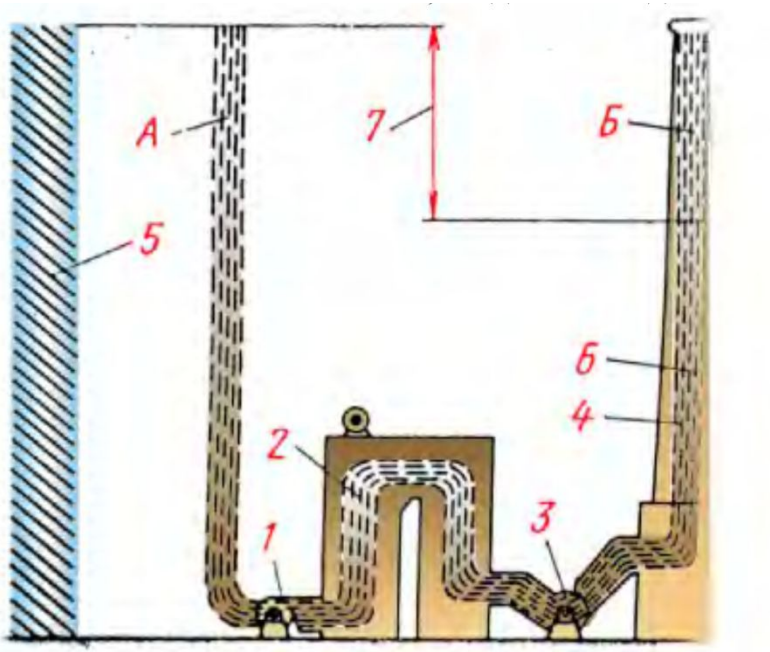
Перепад полных давлений по воздушному тракту (искуственная тяга):

$$\Delta p_{\text{п}} = \Delta p \pm p_{\text{с}} - p'_{\text{т}}$$

- разрежение в топке на уровне входа воздуха в топку

САМОТЯГА И ПАДЕНИЕ ПОЛНОГО ДАВЛЕНИЯ





1 – дутьевой вентилятор; 2 – котел; 3 – дымосос; 4 – дымовая труба; 5 – вес столба наружного воздуха; 6 – вес столба дымовых газов; 7 – движущий напор естественной тяги

Самотяга (подъем газа с начального уровня на некоторую высоту сопровождается опусканием такого же объема воздуха с этой высоты).

$$p_c = (z_2 - z_1)\ (\rho_a - \rho)\, g$$

Если температура газа выше температуры воздуха то работа затрачиваемая на подъем газа избыточна и может быть затрачена на преодоление сопротивлений газового потока.

Самотяга газового тракта:

$$p_c = L_д\, (\rho_a - \rho_г)\, g,$$

АЭРОДИНАМИКА ДЫМОВОЙ ТРУБЫ

Разность плотностей столба наружного и холодного воздуха и потока газов приводит к разрежению в дымовой трубе. Самотяга трубы будет тем больше, чем выше температура газов в трубе и ниже температура воздуха. Полезная тяга, развиваемая дымовой трубой, Па,

$$p_{\text{пол.д.т}} = p_{\text{с}} - (\Delta p_{\text{тр}} + p_{\text{д}}),$$

Потери на трение

$$\Delta p_{\text{тр}} \approx 0{,}004 \frac{w''^2}{2} \rho_{\text{г}},$$

Потери при истечении газов из трубы

$$p_{\text{д}} = \xi_{\text{м}} \frac{w''^2}{2} \rho_{\text{г}},$$

Скорость газов на выходе из трубы, при естественной тяге принимают не менее 6—10 м/с во избежание задувания газов в трубу и 15—25 м/с при искусственной тяге. Высота дымовой трубы, м, обеспечивающая необходимое разрежение в топке при **естественной тяге:**

$$L = \left(1{,}2 p_{\text{п}} + 1{,}1 p''_{\text{д.т}} + \Delta p_{\text{тр}} \frac{\rho^0_{\text{г}}}{\rho_{\text{г}}} \frac{p_{\text{в}}}{p_{\text{бар}}} \right) \Big/ [g(\rho_{\text{а}} - \rho_{\text{г}})\, p_{\text{бар}}/p_{\text{в}}],$$

Рп- перепад полных давлений, - разряжение на входе в дым. тр. – потери на трение, $p_в$ - барометрическое давление при 20 гр. $p_{бар}$ - давление при данной температуре, $p°_г$ — плотность газов при 0°С.

ВЫБОР ВЕНТИЛЯТОРА И ДЫМОСОСА

Необходимая подача вентилятора, м^3/ч, и давление

$$Q_{\text{в}} = \beta_1 B_p (\alpha_{\text{т}} + \Delta\alpha_{\text{в}} - \Delta\alpha_{\text{вп}} - \Delta\alpha_{\text{пл}} + \rho_{\text{рц}}) V^0_{\text{в}} \frac{t_{\text{х.в}} + 273}{273}, \quad p_{\text{р}} = \beta_2 \Delta p_{\text{п}},$$

-коэффициент по подаче

подача дымососа, м^3/ч,

$$Q_{\text{г}} = \beta_1 B_{\text{р}} \left(V_{\text{г}} + \Delta\alpha V^0_{\text{в}} \right) \frac{t_{\text{г}} + 273}{273},$$

Мощность на валу вентилятора или дымососа, кВт

$$N = \frac{Q\Delta p_{\text{п}}}{1000 \cdot 10^3 \eta_{\text{в}}},$$

Установленная мощность электродвигателя, кВт,

$$N_{\text{эл}} = \frac{\beta_{\text{э}} Q_{\text{р}} p_{\text{р}}}{1000 \cdot 10^3 \eta_{\text{э}}^{\text{р}}},$$

Изменение производительности, м3/с,

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1}$$

изменение мощности электродвигателя, кВт,

$$N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

Изменение давления, Па,

$$p_2 = p_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

РАСЧЕТ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ НА РАССЕИВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

После расчетов дутья и тяги, выбора трубы необходимо проверить ее высоту на рассеивание в атмосфере летучей золы, сернистого и других газов.

Высота трубы должна обеспечить такое рассеиваете, при котором концентрация вредных веществ у поверхности земли будет меньше предельно допускаемых санитарными нормами.

Максимальное значение вредных загрязнений атмосферы наблюдается на расстоянии, примерно равном 20 высотам трубы.

В соответствии с методикой и указаниям СН 369-67 и утвержденным уточнениям.

МЕТАЛЛ И ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛА
УСЛОВИЯ РАБОТЫ МЕТАЛЛА

Основными конструкционными материалами элементов котла являются **углеродистая и легированная стали.**

Условия работы металла котла

- Экономайзерная и испарительная система котла работает под высоким давлением — до 25 МПа при относительно умеренных температурах рабочего тела — до 380°С.

- Пароперегревателе работает с высоким давлением *и наиболее высокой температуре рабочего тела — до 565°С.*

- В воздухоподогревателе давление воздуха (до 3 кПа) и внутренние механические усилия незначительны, но металл подвергается воздействию относительно высокие температур (до 450°С) при ухудшенных условиях его охлаждения воздухом.

Максимальные тепловые нагрузки поверхностей нагрева имеют в испарительных поверхностях нагрева, расположенных в топке, минимальные — в воздухоподогревателе.

Элементы каркаса котла несут значительные статические нагрузки, но работают при температуре окружающей воздушной среды.

В результате воздействия агрессивных продуктов сгорания топлива, O_2 CO_2, SO_2, SO_3, NO*, частиц шлака и золы возникают коррозионные явления в металле, а также происходит истирание конвективных поверхностей нагрева твердыми частицами уноса.

При работе элементов котла под давлением и при повышенных температурах изменяются структура металла и его механические свойства: **прочность, вязкость и хрупкость.**

Прочность металла характеризуется:

пределом прочности — напряжением, соответствующее максимальной нагрузке металла, которую выдерживает образец металла при его растяжении без разрушения;

пределом текучести — напряжением, при котором образец деформируется без увеличения нагрузки;

пластичность металла характеризуется относительным удлинением и сужением при разрыве.

Показатель хрупкости металла:

Разрушение металла под действием нагрузки без заметных следов пластической деформации — является *ударная вязкость*.

$\sigma_т$ $\sigma_в$