

# **ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА ПАРОВЫХ КОТЛОВ**

# ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

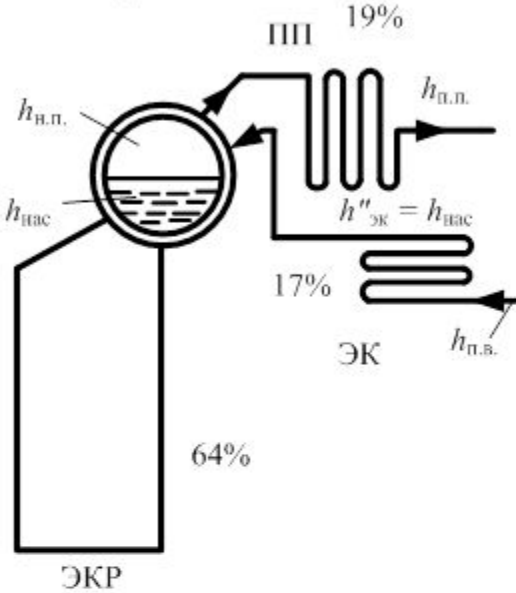
# ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

**Подвод тепла к поверхностям нагрева:**

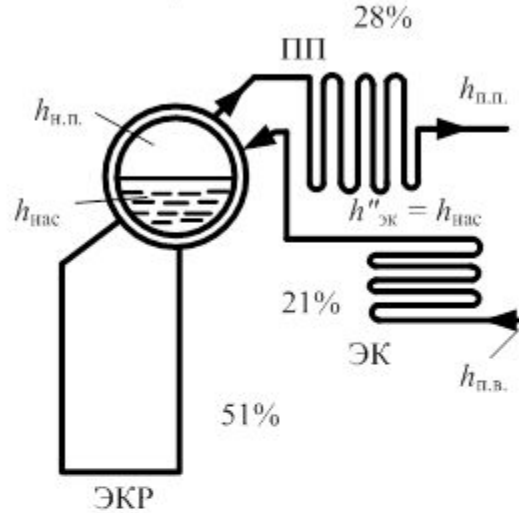
- 1. Топочные экраны 40-50 %
- 2. Горизонтальный газоход 20-25 %
- 3. Конвективная шахта 30-40 %

# ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

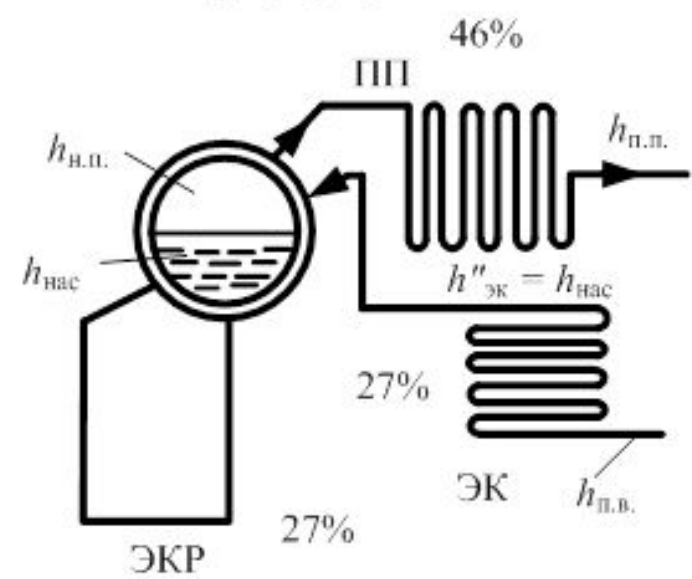
$P_n = 4,0 \text{ МПа}$   
 $t_n = 440 \text{ }^\circ\text{C}$



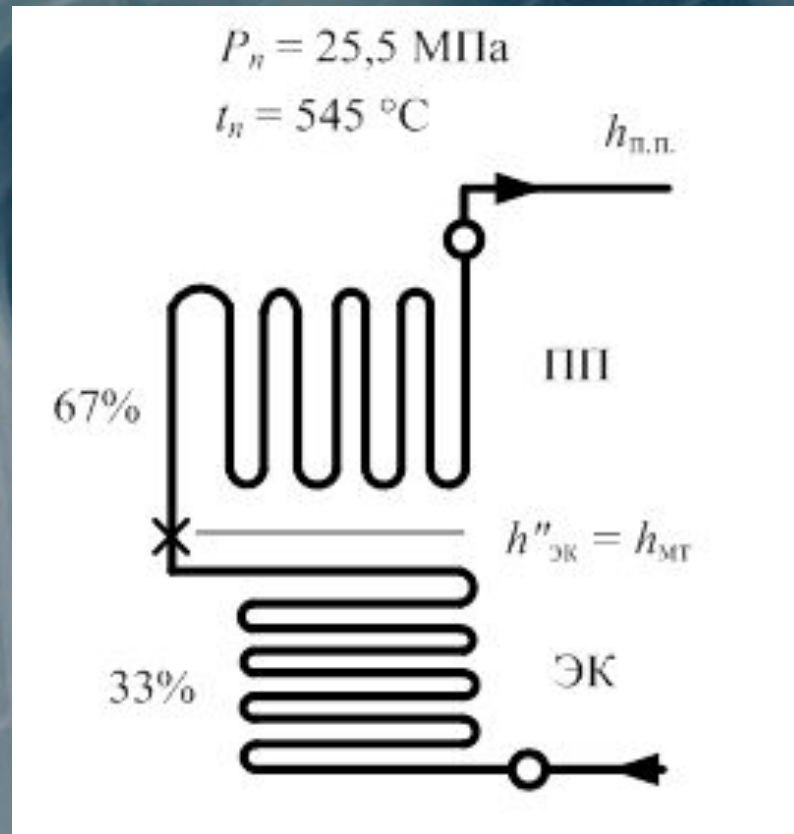
$P_n = 10 \text{ МПа}$   
 $t_n = 510 \text{ }^\circ\text{C}$



$P_n = 18,5 \text{ МПа}$   
 $t_n = 540 \text{ }^\circ\text{C}$



# ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА



# ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

при **среднем давлении (4 МПа)** для парообразования в топке необходимо 64%



часть теплоты, затрачиваемой на испарение воды, передается в экономайзере и в конвективных пучках труб на выходе из топки



экономайзер становится кипящим, в нем питательная вода частично превращается в пар



конвективные испарительные поверхности на выходе из топки с собственным нижним коллектором, питаемым водой из барабана



разводка труб заднего экрана в два-три ряда в зоне пересечения ими горизонтального газохода (фестон)

# ТЕПЛОВОСПРИЯТИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

В котлах с давлением 10 МПа и выше:

-доля теплоты, используемая на парообразование, снижается, и тепловосприятие экранов в топочной камере становится достаточным

-пароперегревательные поверхности потребляют значительную долю тепловосприятия и не могут разместиться только в горизонтальном газоходе котла



экономайзер  
не кипящий



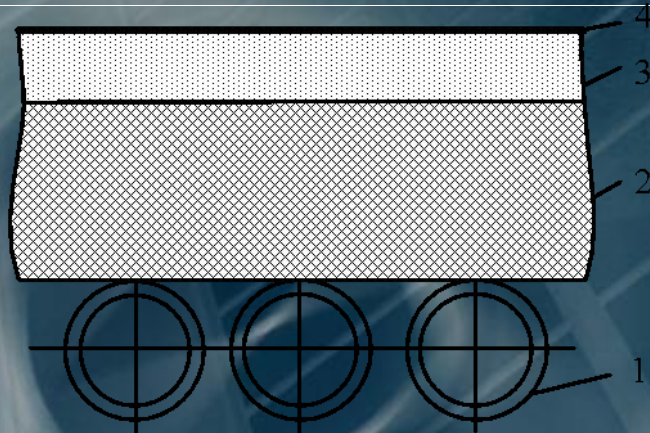
поверхности пароперегревателя  
занимает верх топки (потолок,  
настенные панели), а выходной  
конвективный пакет часто  
находится в верхней части  
конвективной шахты

# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ



# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ

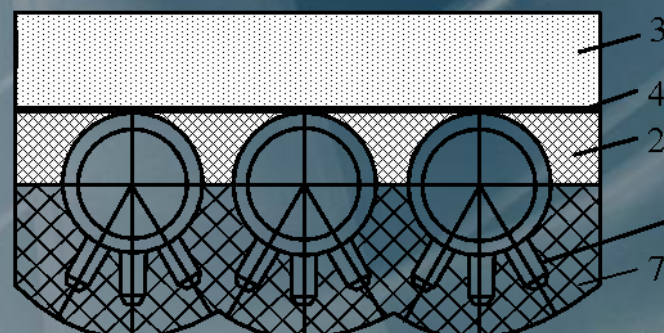
**А) Гладкотрубный экран**



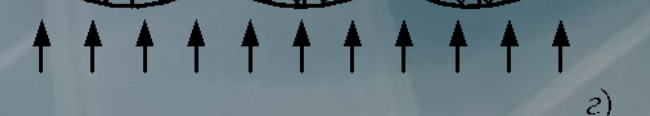
**Б) Гладкотрубный с сварными проставками**



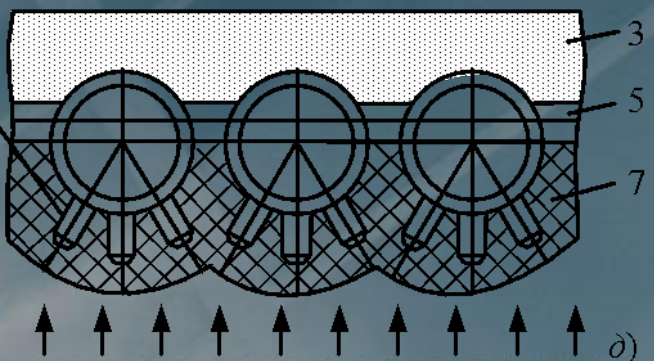
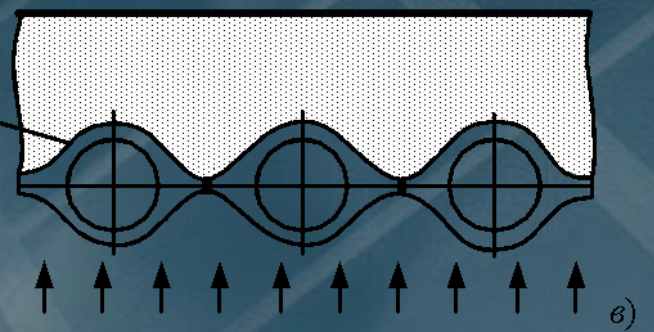
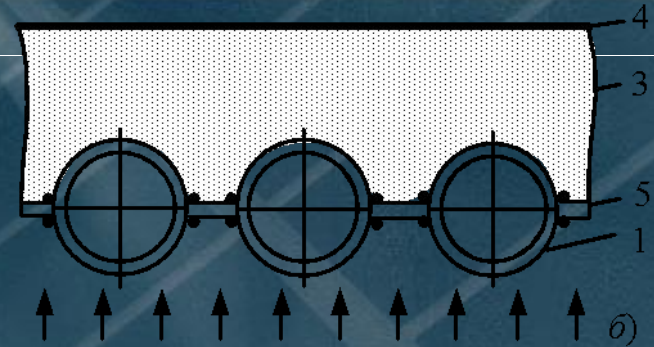
**В) Газоплотный экран из плавниковых труб**



**Г) Футерованный гладкотрубный экран**



**Д) Футерованный мембранный экран**



# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ

## **Особенности газоплотных экранов:**

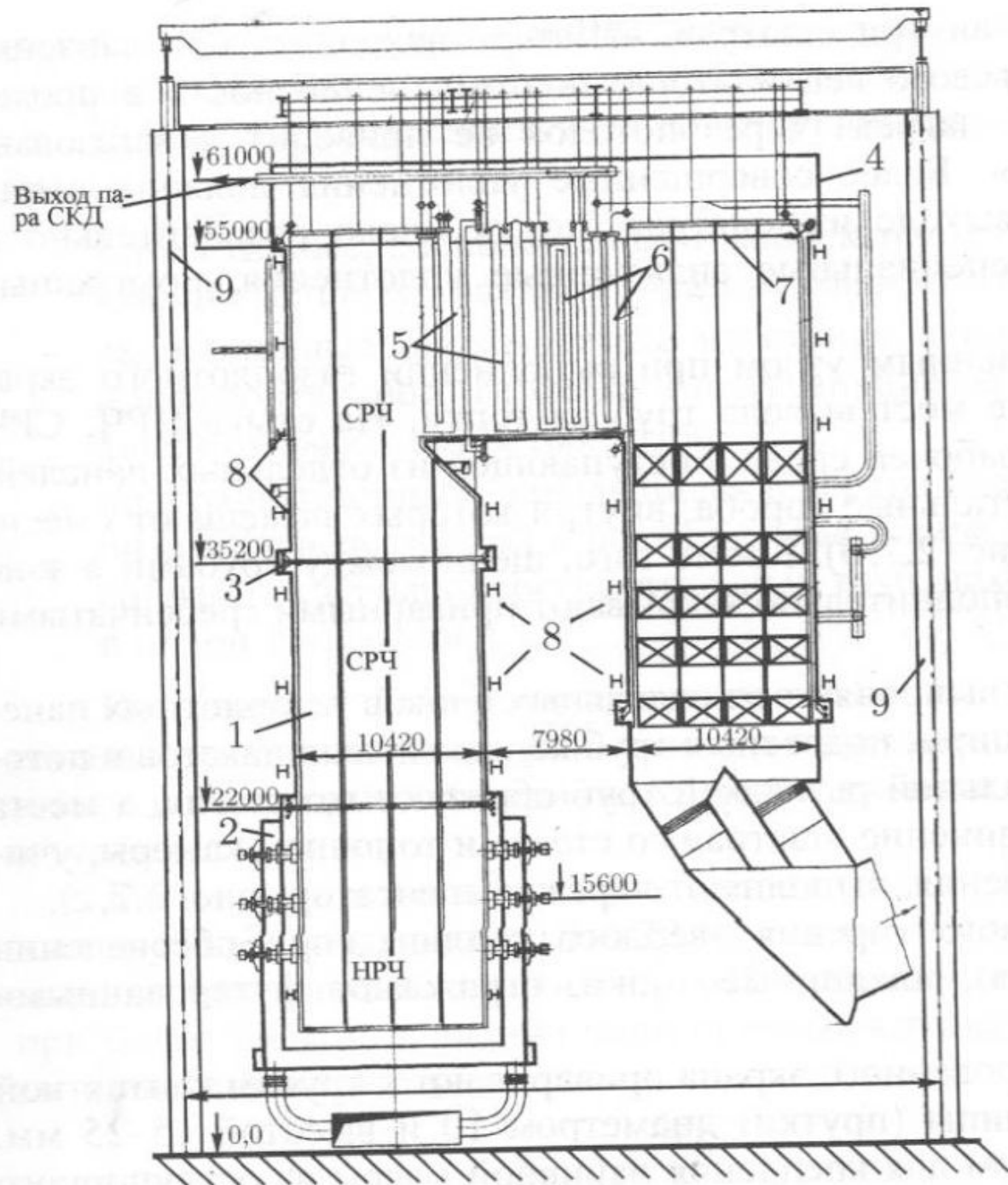
1. На 10–15 % уменьшается масса металла на единицу лучевоспринимающей поверхности по сравнению с гладкотрубными экранами
2. Увеличивается шаг труб, сокращается число труб
3. Экраны находятся в лучших условиях работы, так как часть поглощенного плавниками (проставками) тепла передается тыльной стороне труб благодаря растечке, что превращает эту часть труб в активную поверхность нагрева
4. С целью уменьшения периметра топки газоплотные топочные экраны проектируют на повышенную удельную паропроизводительность фронта – 22–35 кг/с пара на 1 м ширины топки (при мощности котла 300–800 МВт). При этом глубину топочной камеры несколько увеличивают, приближая к квадратному сечению топки, имеющему при одинаковых теплонапряжениях минимальный периметр. В негазоплотных топках удельная паропроизводительность фронта на 12–15% меньше, а отношение ширины к глубине топки около 2:1.

# КОНСТРУКЦИЯ

**Особенности газоплотных экранов при работе под наддувом:**

над потолочным экраном помещают вторую ограждающую стенку, так называемый «шатер».

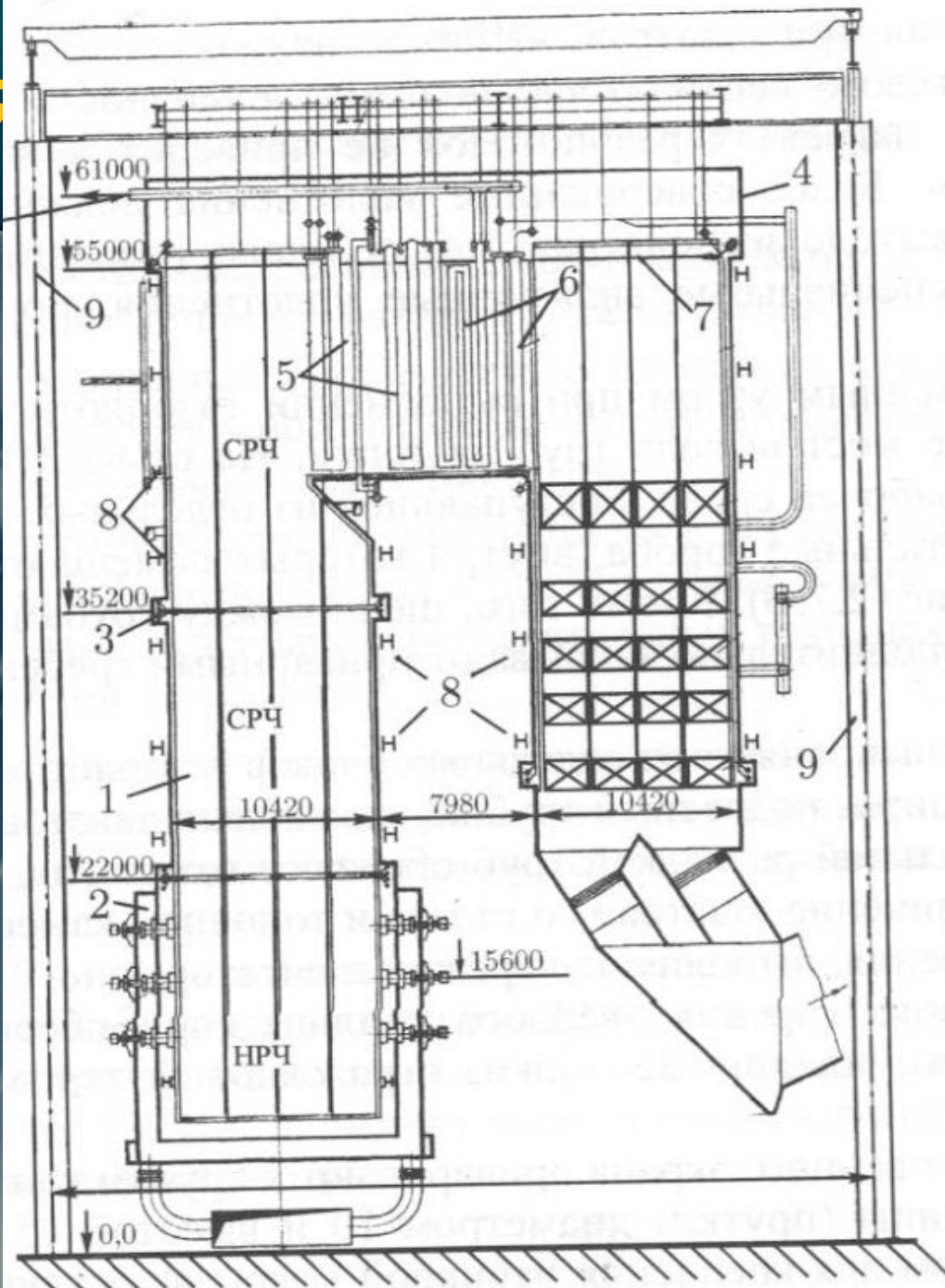
На стыке НРЧ, СРЧ и ВРЧ при смешении рабочей среды, поступающей из отдельных панелей, выполняют закрытые стальные короба, внутри которых



# КОНСТРУКЦИЯ

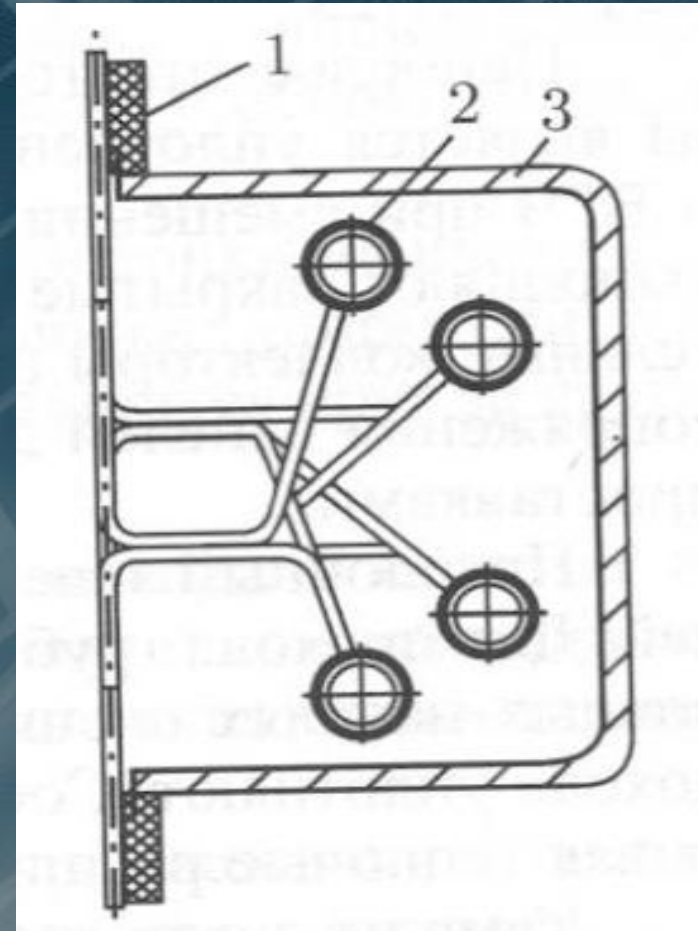
Все пароперебросные трубы между отдельными пакетами перегревателя находятся внутри «шатра»

«Шатер» находится под давлением воздуха после дутьевого вентилятора, поэтому неплотность в проходе труб поверхностей нагрева через потолок не приводит к загазованности объема «шатра».



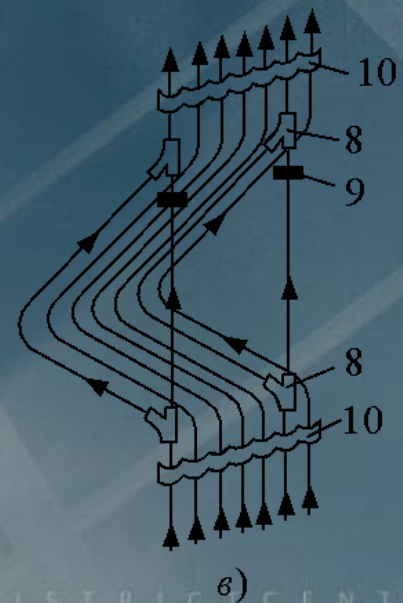
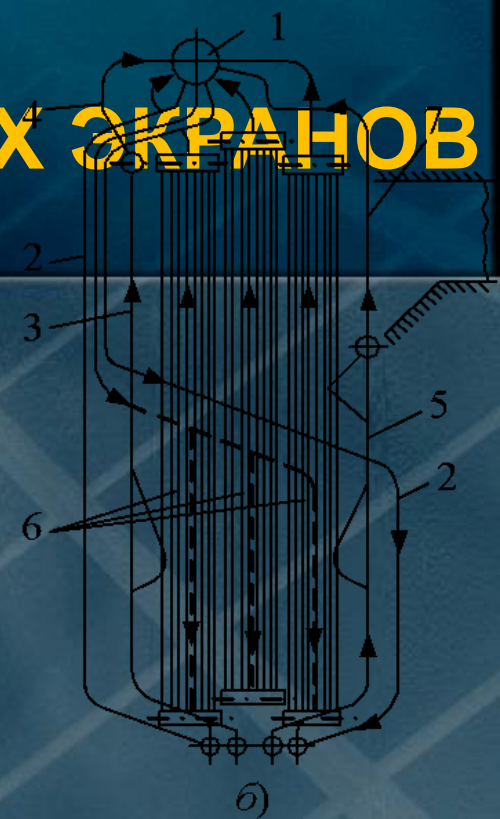
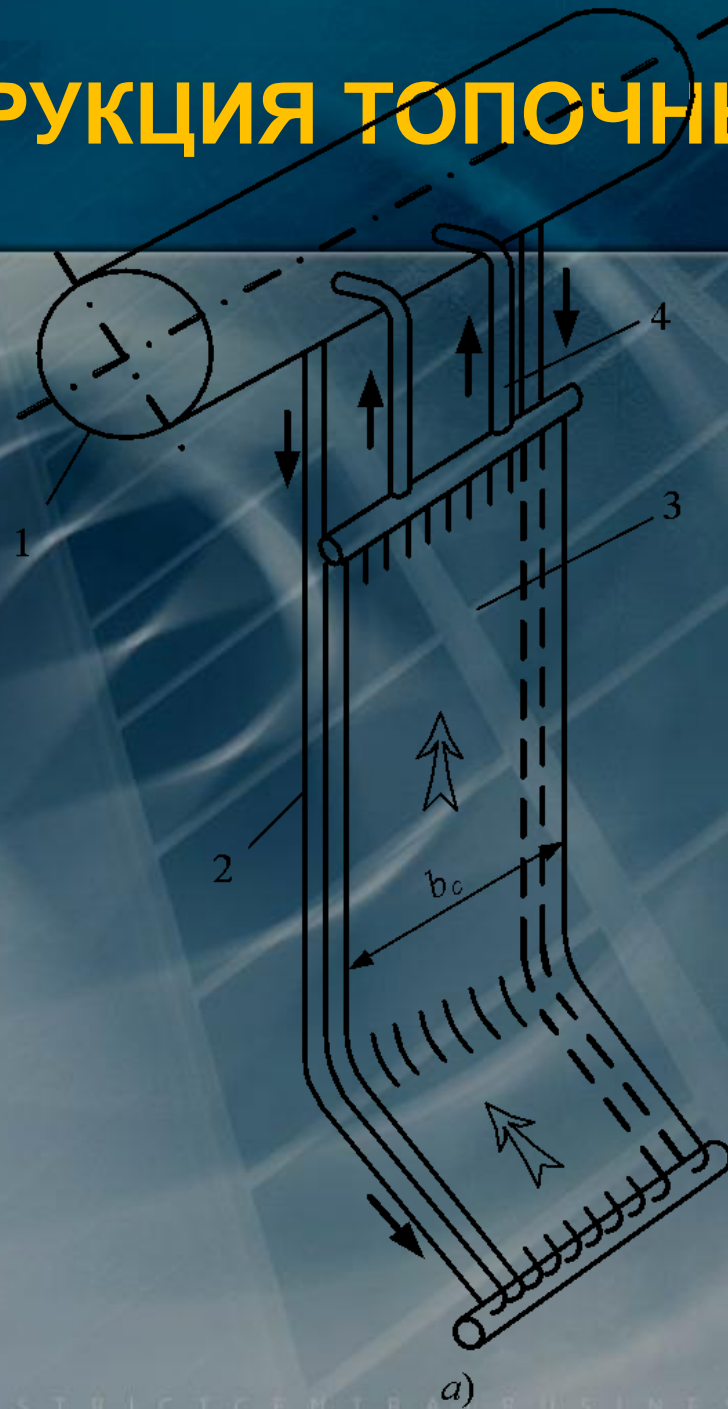
# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ

**Особенности газоплотных экранов при работе под наддувом:**  
) На стыке НРЧ, СРЧ и ВРЧ при смешении рабочей среды, поступающей из отдельных панелей, выполняют закрытые стальные короба, внутри которых помещают смесительные коллекторы



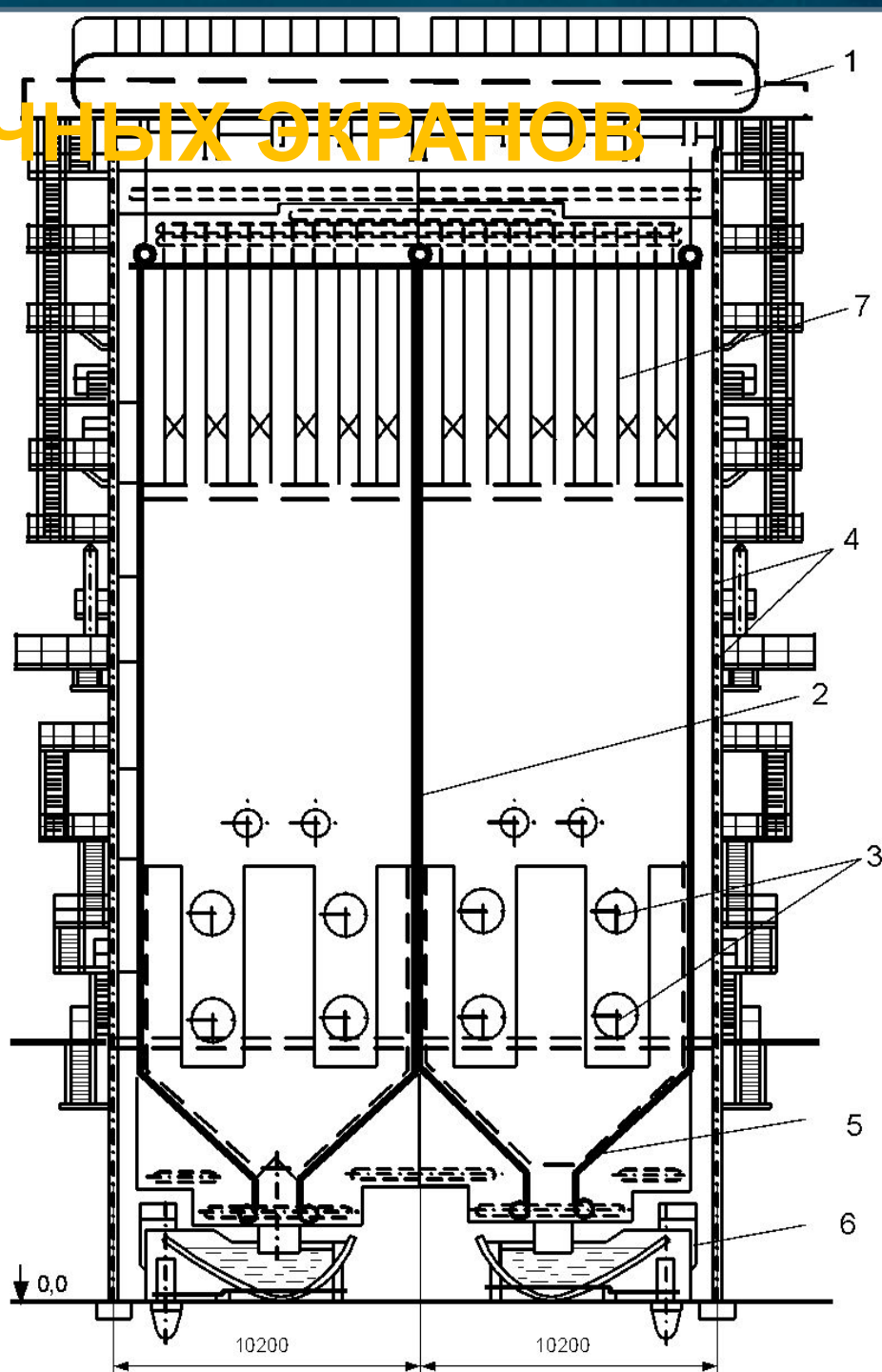
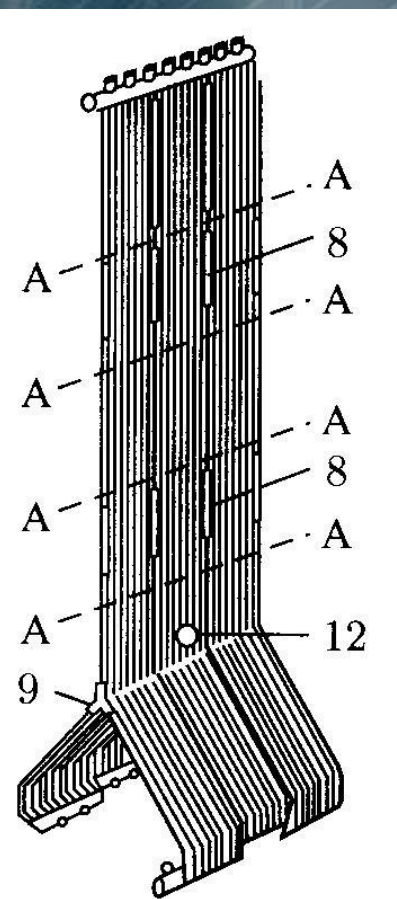
# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ

а – секция фронтального экрана;  
б – циркуляция в экранных секциях топки;  
в – выполнение нижнего выступа экранных труб;  
1 – барабан;  
2 – необогреваемые опускные трубы;  
3 – фронтальной экран;  
4 – отводящие трубы;  
5 – задний экран;  
6 – секции бокового экрана;  
7 – разреженные отводящие трубы заднего экрана;  
8 – развилка труб (тройник);  
9 – дроссельная шайба в трубе (показана условно);  
10 – скоба (гребенка) для крепления труб секции.



# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ

В котлах большой мощности в отдельных случаях посередине топки устанавливают **двусветный экран**



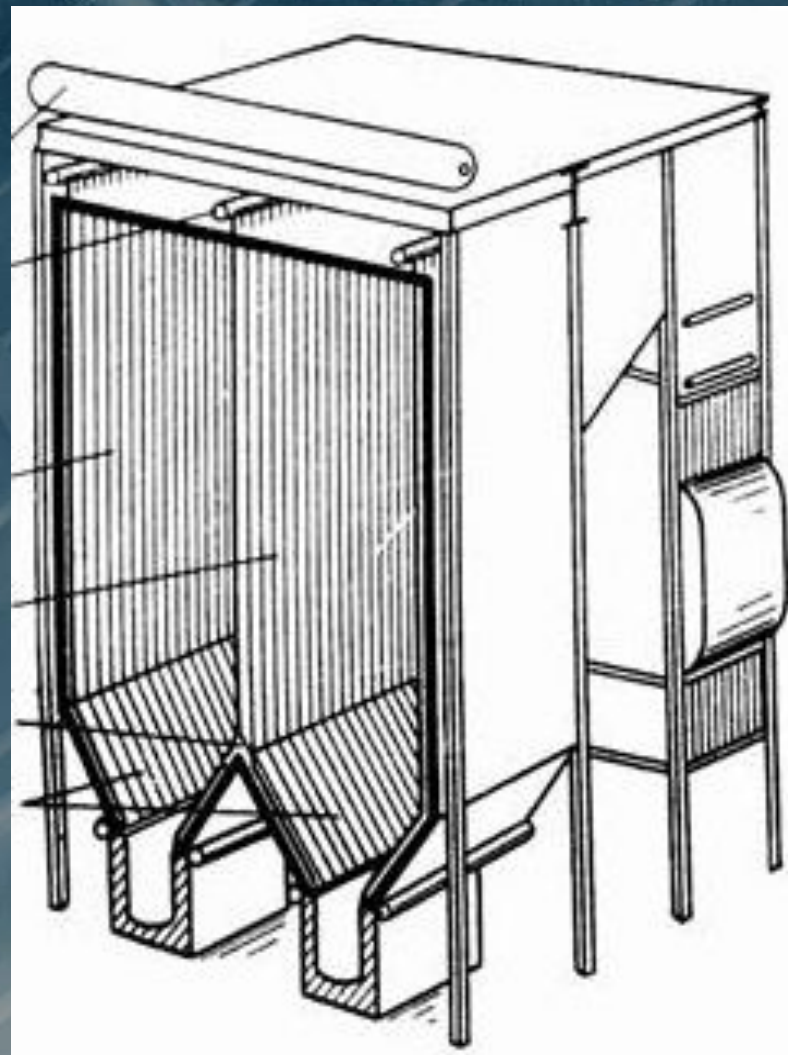
# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ

**В результате:**

.Увеличивается  
теповосприятие топки без  
изменения сечения топки

.Интенсивно  
топочные газы охлаждаются

.Уменьшается высота топки





# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОВ

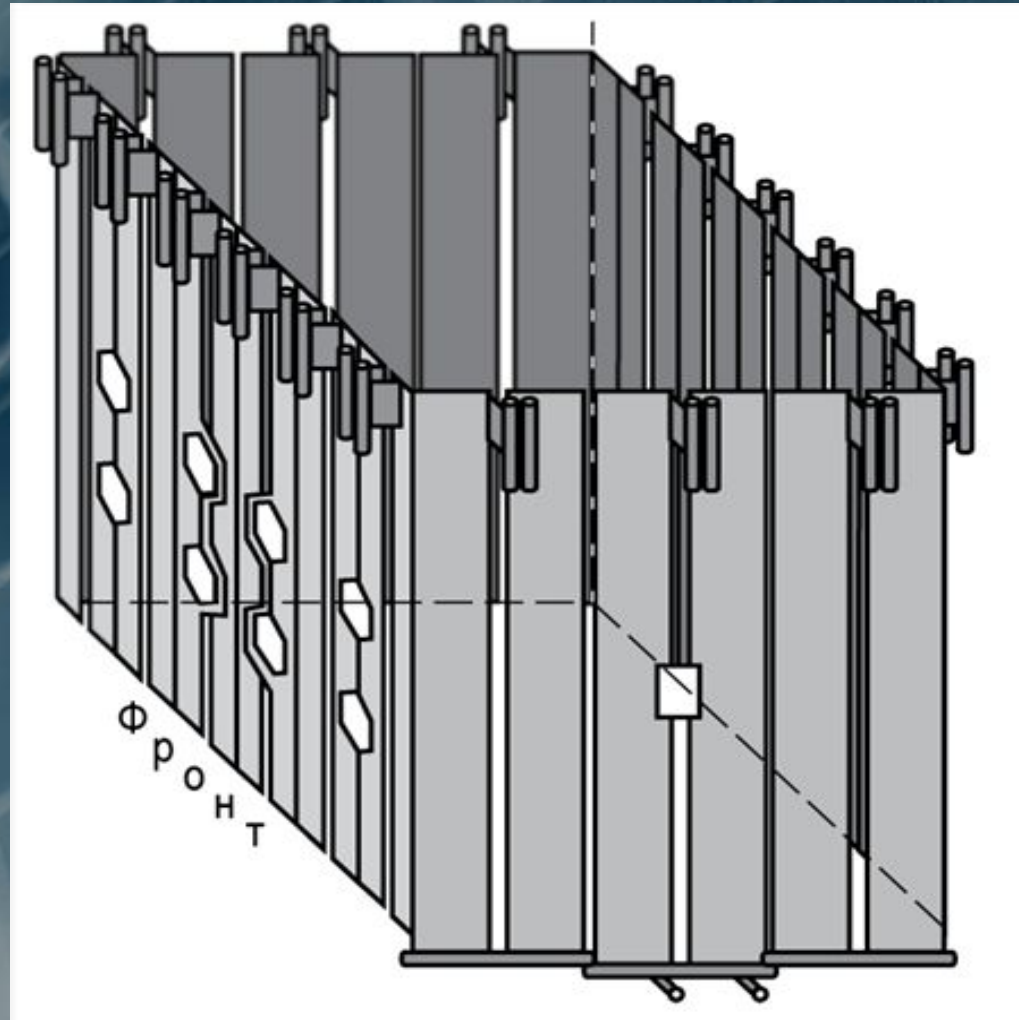
## Для прямоточных котлов

- .Кратность циркуляции - 1
- .Скорость движения среды в 2 раза выше чем при ЕЦ
- .Проходное сечение для питательной воды в 20-40 раз меньше чем при ЕЦ
- .Трубы имеют диаметр 32-42 мм, толщиной 4-6 мм
- .Экономия металла до 30 % по сравнению с ЕЦ
- .Трубы объединены в 2-4 параллельные панели (ленты) по 40-50 труб шириной 2-3 м.

# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОВ

## Экранирование НРЧ

В НРЧ, где характерны высокие тепловые потоки, падающие на экраны, применяют вертикальные экранные панели с подъемным движением рабочей среды, обеспечивающие равномерное распределение среды по всем трубам и надежный отвод тепла от металла

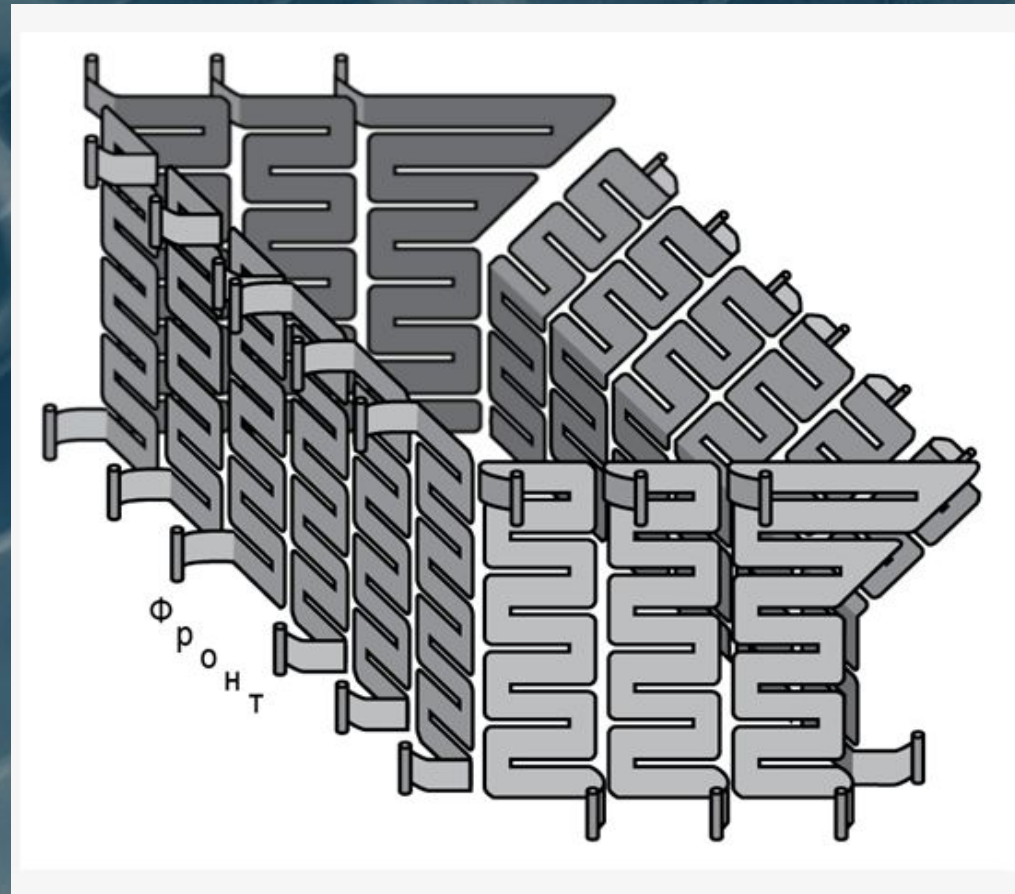




# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОВ

## Экранирование СРЧ и ВРЧ

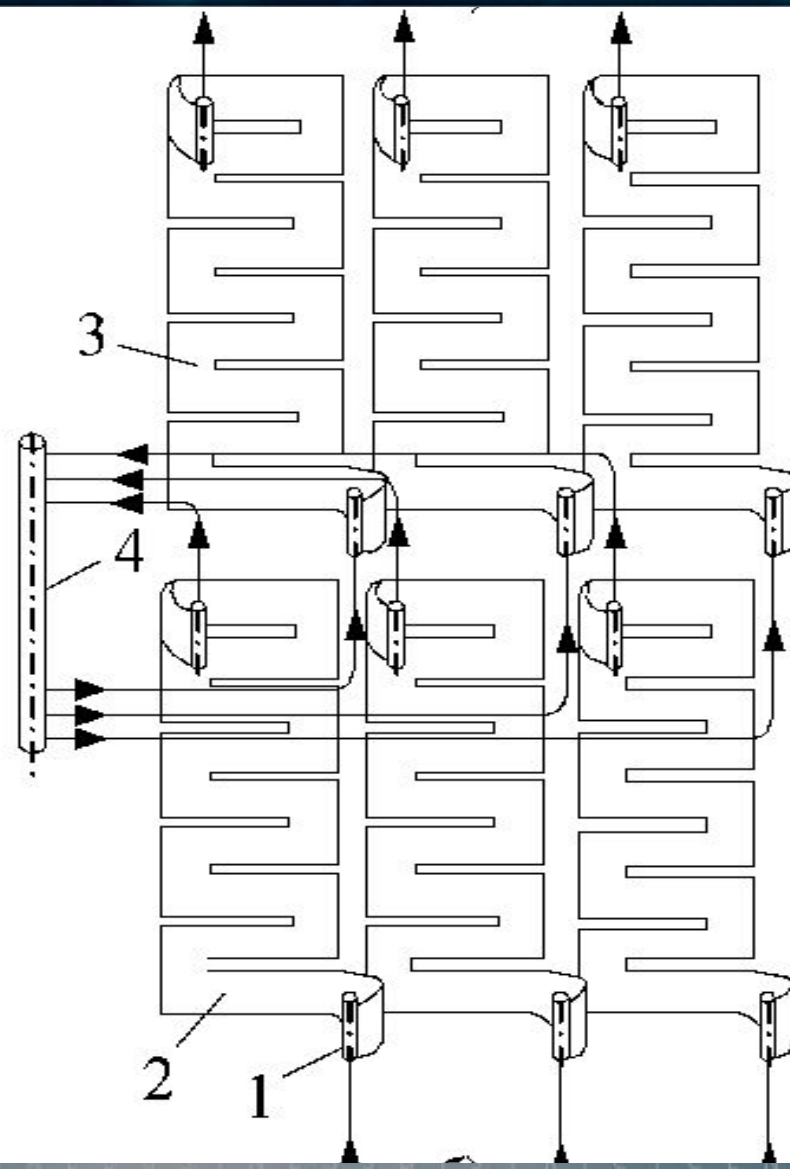
Экранируют плоскими горизонтально-подъемными панелями, закрывающими по высоте треть стены топки или её половину. Для выравнивания давления и температуры среды по панелям после получения определенного тепловосприятая устанавливают узел смешения рабочей среды



# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОВ

## Экранирование СРЧ и ВРЧ

- 1 – коллектор;
- 2, 3 – нижняя и верхняя  
секции панели;
- 4 – уравнивательный  
(промежуточный)  
коллектор

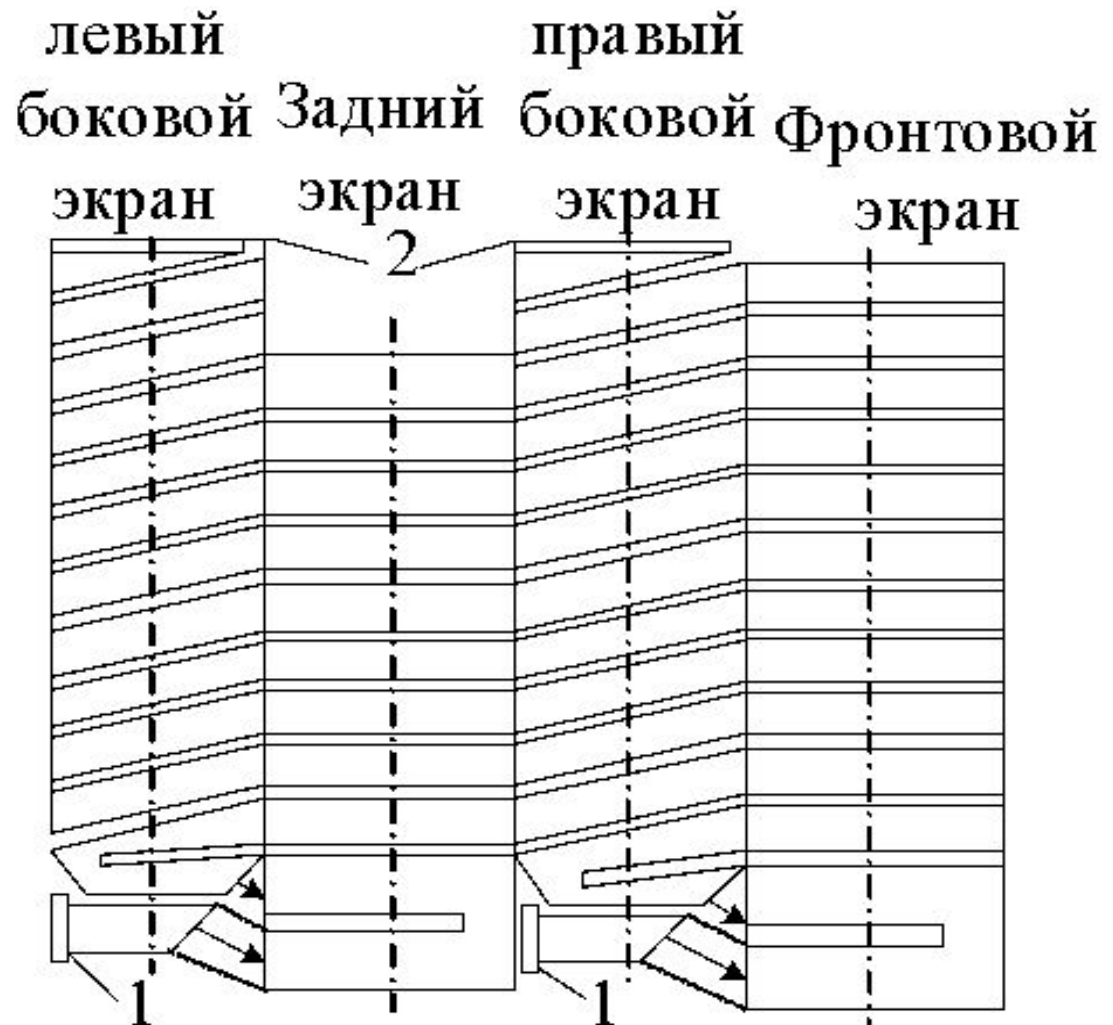


# КОНСТРУКЦИЯ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОВ

## Система Рамзина

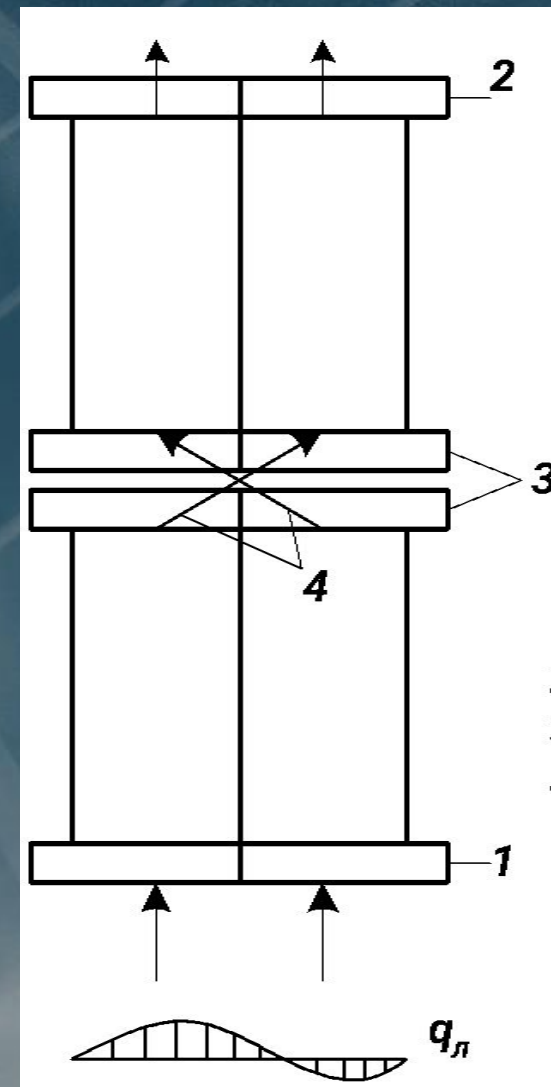
В котлах с горизонтальным и слабонаклонным расположением труб трубы в виде ленты опоясывают топочную камеру по периметру. Поэтому навивка Рамзина имеет минимальную чувствительность к к неравномерности тепловых потоков по периметру топки.

*Недостатком этой схемы является невозможность блочного изготовления на заводе-изготовителе*



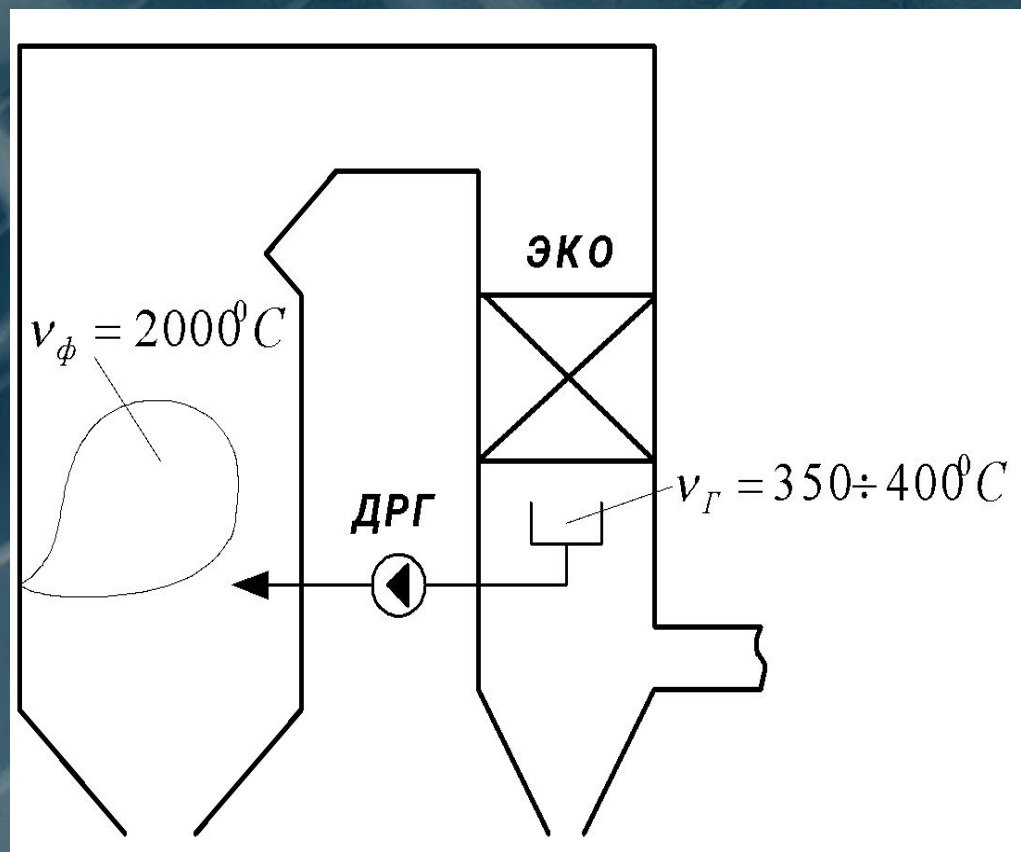
# МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ

1. Обеспечение топочного режима с максимальной равномерностью тепловых потоков по ширине или периметру топки;
2. Разделение топочных экранов на секции по высоте с переброской полупотоков или использование смесительных камер



# МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ

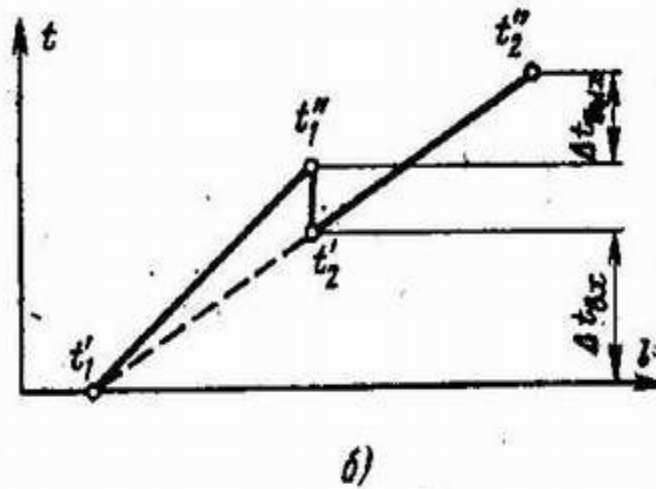
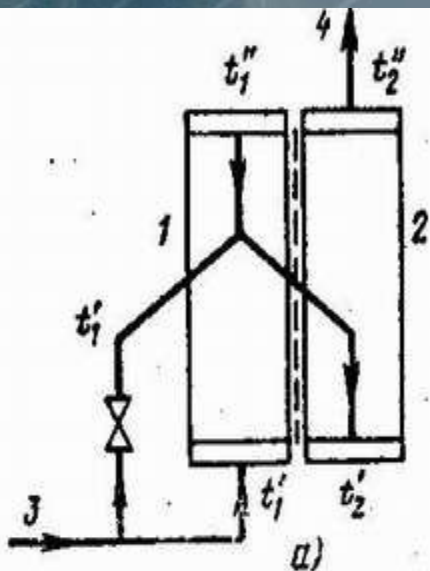
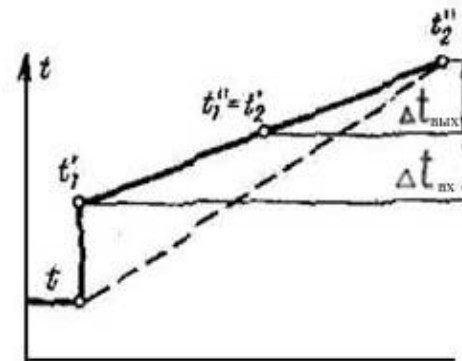
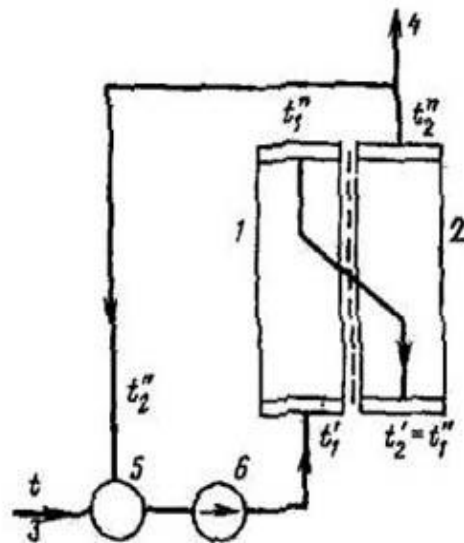
## 3. Рециркуляция дымовых газов в низ топки





# МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ

4. Рециркуляция и байпасирование рабочей среды



б)

# ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ

# ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ

**По виду тепловосприятия пароперегреватели делятся на:**

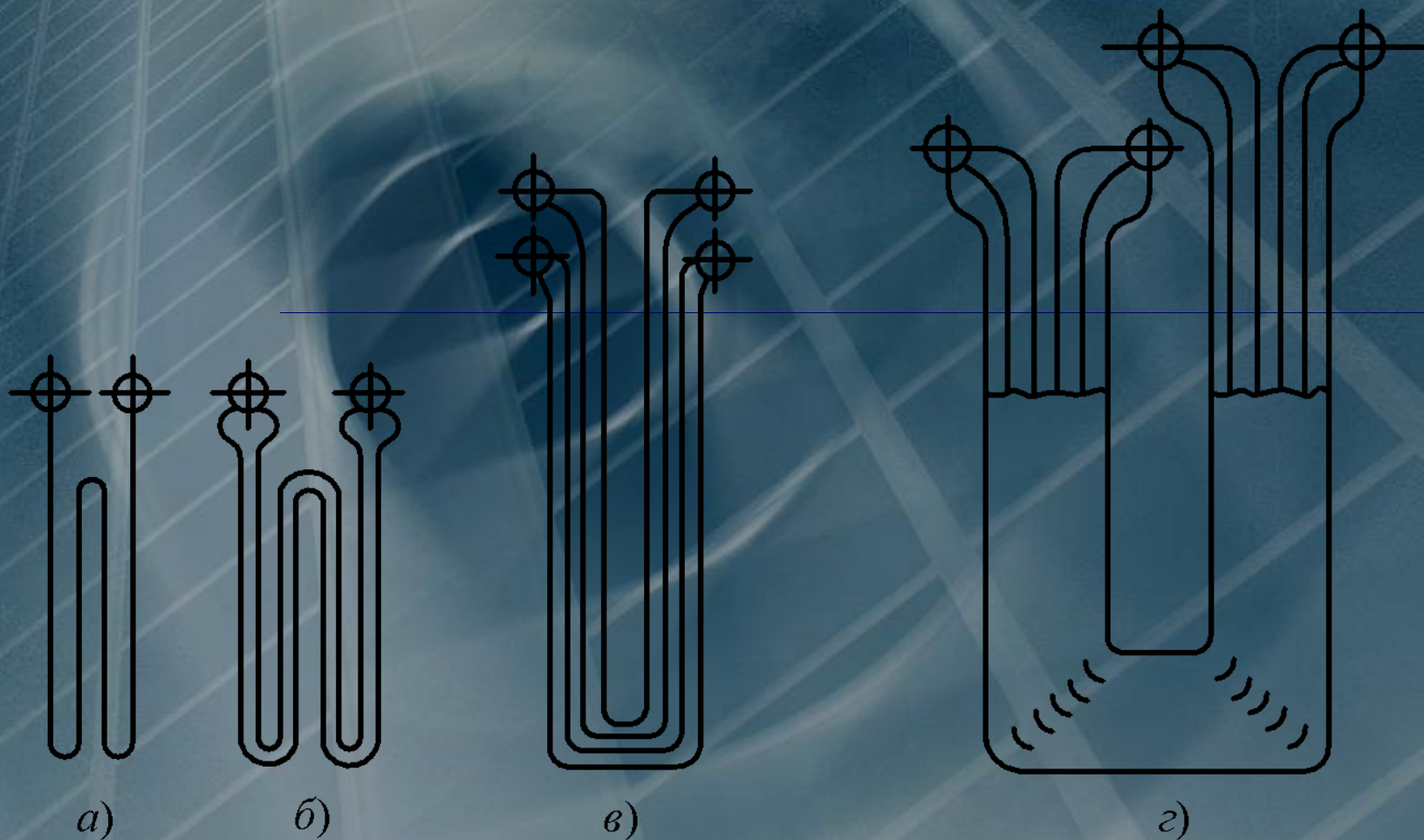
- .конвективные**, располагаемые в конвективных газоходах котла и получающие теплоту, главным образом, конвекцией;
- .радиационные**, размещаемые на стенах и потолке топочной камеры и горизонтального газохода и получающие теплоту, в основном, радиацией от высоконагретых газов;
- .полуррадиационные**, находящиеся в верхней части топки на входе в горизонтальный газоход и выполняемые в виде плоских ширм или лент, собранных из пароперегревательных труб, находящихся друг за другом в одной плоскости.

# КОНВЕКТИВНЫЙ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ

Выполняют из стальных труб наружным диаметром 32–42 мм для высокого и сверхкритического давления и толщиной стенки 5–7 мм. В промежуточных пароперегревателях при более низком давлении пара используют диаметр труб 42–50 мм при толщине стенки 4–5 мм.

---

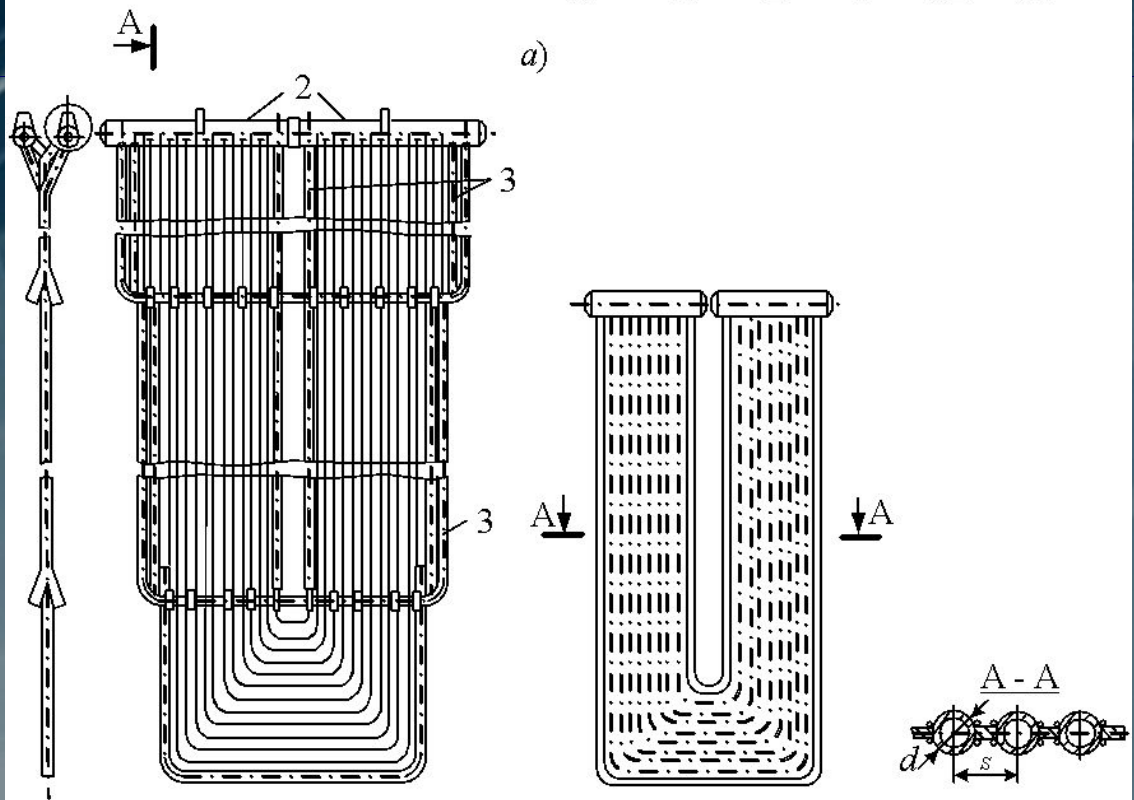
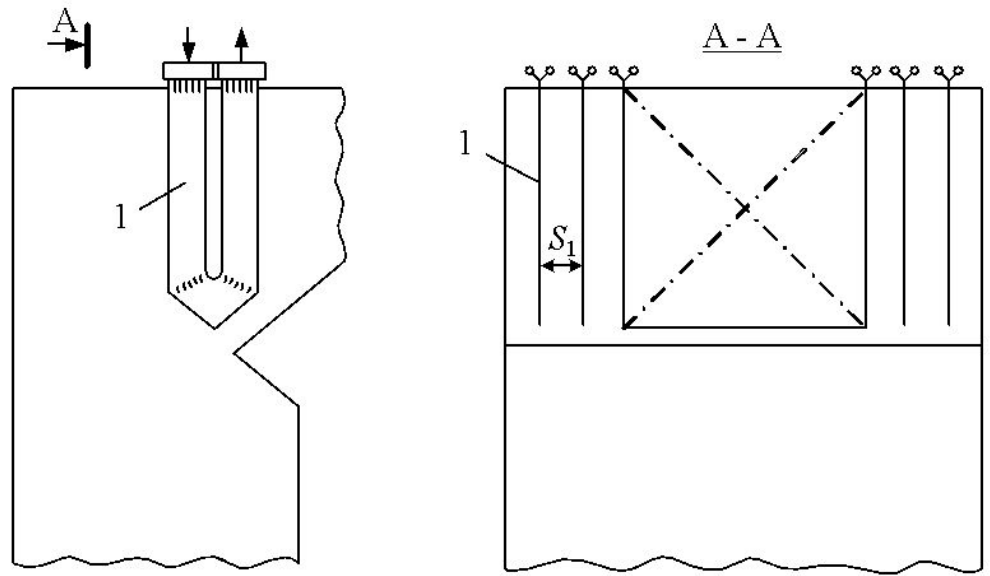
# КОНВЕКТИВНЫЙ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ



а – однорядный; б – двухрядный; в – четырехрядный; г – многорядный (ленточный).

# ШИРМОВЫЙ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ

Ширмовые пароперегреватели по конструкции представляют собой систему из большого числа вертикальных труб (14 ÷ 50 штук), имеющих один гиб на 180° и образующих широкую плоскую ленту, которая имеет опускной и подъемный участки



б)

в)

# КОМПАНОВКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

Тепловосприятие пароперегревателя при высоком и сверхкритическом давлении пара достаточно большое (35% и более), его выполняют комбинированным, включающим все три вида (радиационный настенный, полурadiационный ширмовой и змеевиковый конвективный).

# КОМПАНОВКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

Радиационные пароперегреватели выполняют настенными и обычно размещают в верхней части топки, где ниже тепловые потоки. Радиационный пароперегреватель барабанного парового котла обычно занимает потолок топки, а если этого недостаточно, то его размещают и на вертикальных ее стенах

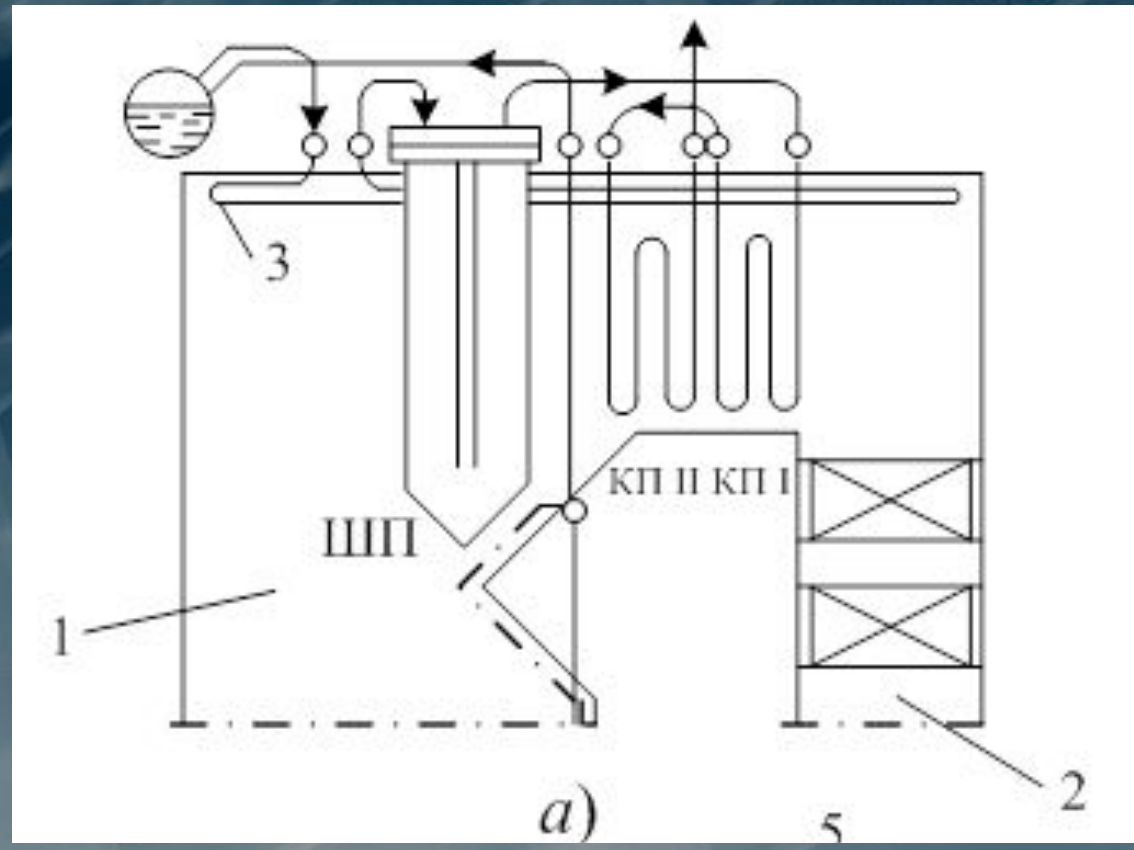




# КОМПАНОВКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

- 1 – топочная камера;
- 2 – конвективная шахта;
- 3 – радиационный потолочный и настенный пароперегреватель;
- ШП – полурадиационный ширмовый

## Барабанный котёл высокого давления



# КОМПАНОВКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

На газомазутных (барабанных и прямоточных) котлах горизонтальный газоход может быть развит в глубину (по ходу газов), тогда, в основном, поверхности пароперегревателя размещаются в нем.

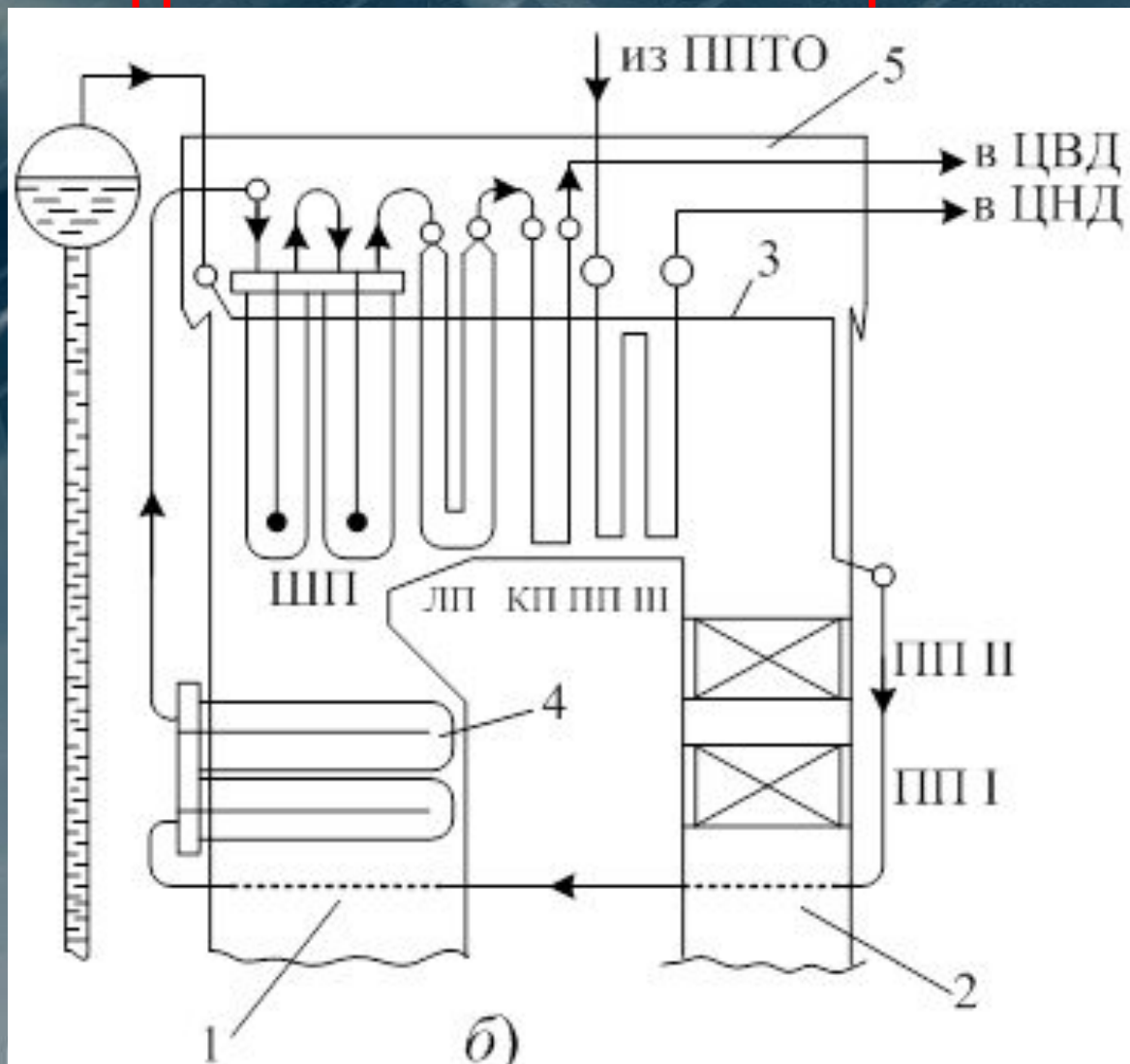
Они выполнены вертикальными и подвешены за коллектора, находящиеся в уплотнительном коробе. Такое расположение облегчает систему крепления тяжелых змеевиковых пакетов и обеспечивает наименьшее загрязнение труб снаружи золовыми частицами.

# КОМПАНОВКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

## Барабанный котёл высокого давления большой мощности

- 1 – топочная камера;
- 2 – конвективная шахта;
- 3 – радиационный потолочный и настенный пароперегреватель;
- 4 – радиационные топочные панели;
- 5 – уплотнительный короб потолка котла (шатер)

ШП – полурадиационный ширмовый;  
ЛП – ленточный;  
КП – змеевиковый конвективный



# КОМПАНОВКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

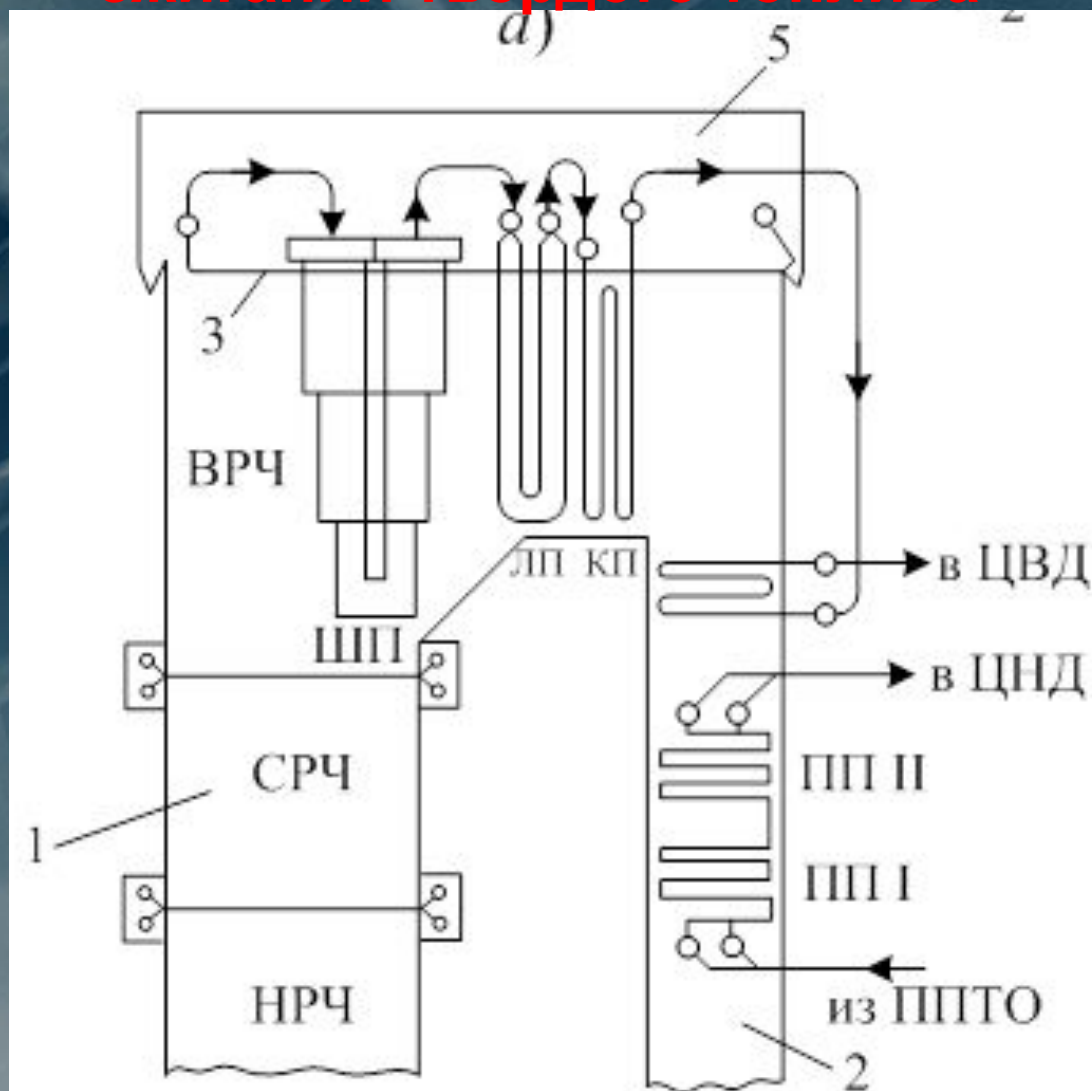
На прямоточных котлах перегрев пара начинается в экранах средней (СРЧ) и верхней (ВРЧ) радиационных частей топки.

# КОМПАНОВКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

## Прямоточный котёл СКД при сжигании твердого топлива

- 1 – топочная камера;
- 2 – конвективная шахта;
- 3 – радиационный потолочный и настенный пароперегреватель;
- 4 – радиационные топочные панели;
- 5 – уплотнительный короб потолка котла (шатер)

- ШП – полурадиационный ширмовый;
- ЛП – ленточный;
- КП – змеевиковый конвективный;
- ППО – паро-паровой теплообменник



# КОМПАНОВКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

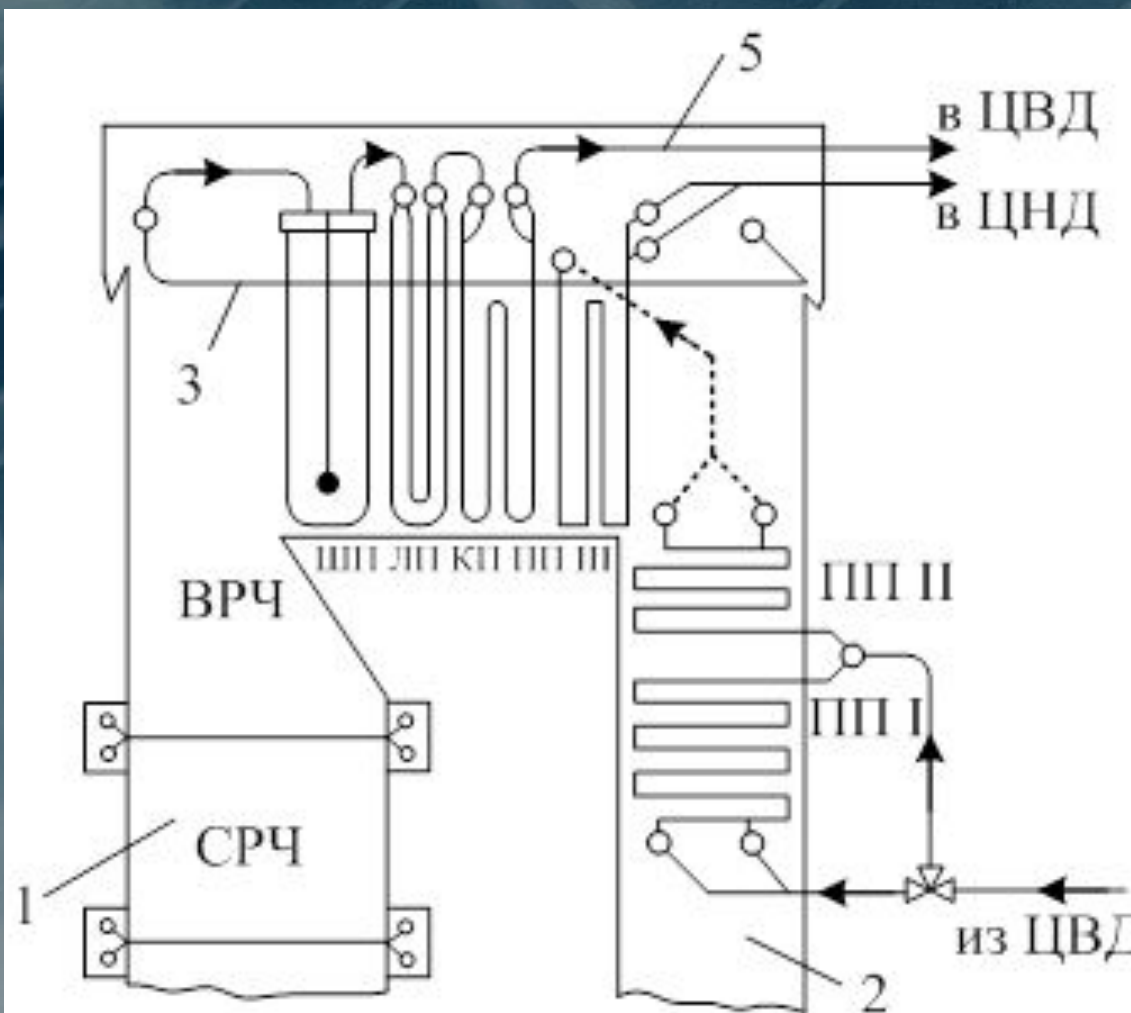
Вариант компоновки поверхностей пароперегревателя газомазутного котла СКД большой мощности, отличающийся байпасированием по пару части поверхности промежуточного пароперегревателя в целях регулирования температуры пара. В этом случае общая поверхность такого пароперегревателя увеличивается, он занимает значительную часть конвективной шахты, а выходная его ступень размещается в конце горизонтального газохода.

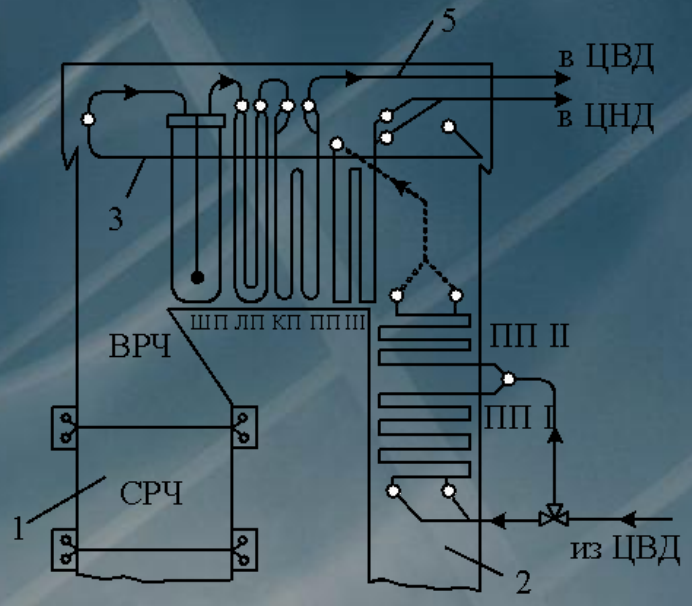
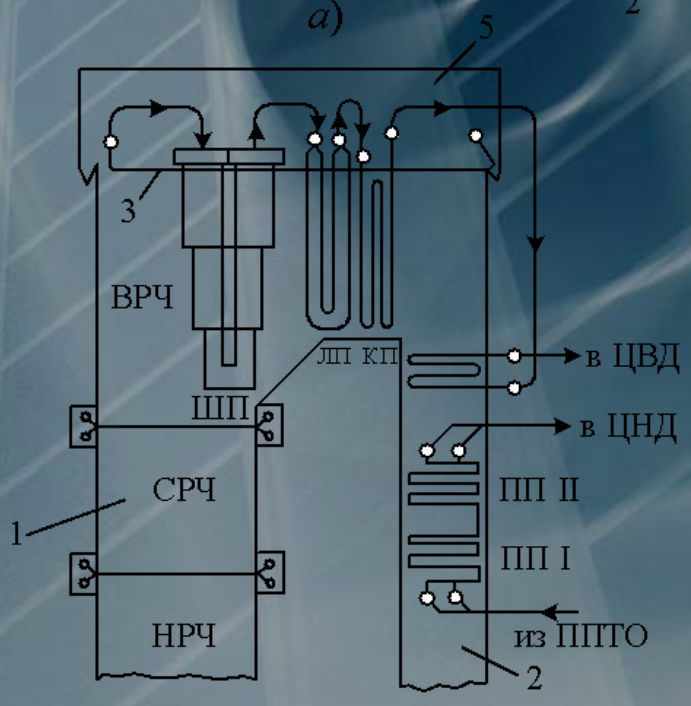
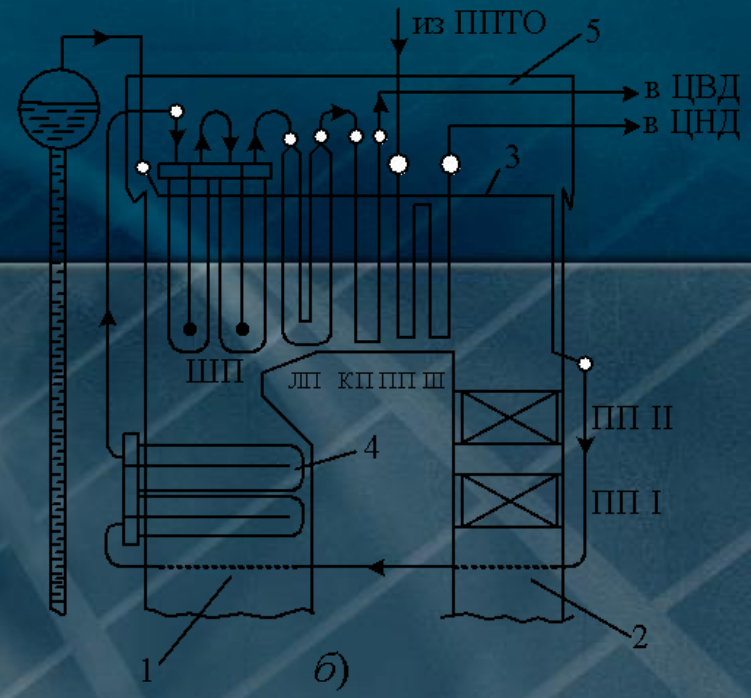
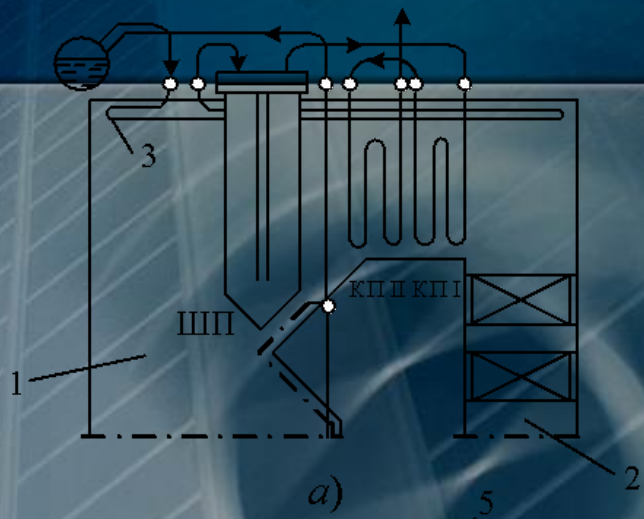
# КОМПАНОВКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

## Прямоточный котёл СКД при сжигании газа и мазута

- 1 – топочная камера;
- 2 – конвективная шахта;
- 3 – радиационный потолочный и настенный пароперегреватель;
- 4 – радиационные топочные панели;
- 5 – уплотнительный короб потолка котла (шатер)

- ШП – полурадационный ширмовый;
- ЛП – ленточный;
- КП – змеевиковый конвективный;
- ППО – паро-паровой теплообменник







# МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ

1. Металл пароперегревателей работает в наиболее тяжелых условиях (по условиям ползучести и окалинообразования). Срок их службы рассчитывается примерно на 10 лет, а при повышении температуры на  $15\div 20$  °С по сравнению с расчетной он уменьшается в два раза.
2. Для выравнивания температурных условий работы металла в котлах больших габаритов используется секционирование пароперегревателей по ширине или глубине газохода с переброской этих полупотоков на противоположные стороны.
3. Для снижения гидравлической неравномерности распределения среды по параллельным трубам должен использоваться рассредоточенный подвод и отвод среды в коллекторах.
4. При ведении топочного режима необходимо обеспечивать максимальную равномерность распределения температур и скоростей газа по ширине.
5. Змеевики пароперегревателей, особенно при работе на высокозольных абразивных топливах, рекомендуется располагать параллельно фронту котла.

# НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ

**К низкотемпературным относятся конвективные поверхности экономайзера и воздухоподогревателя**

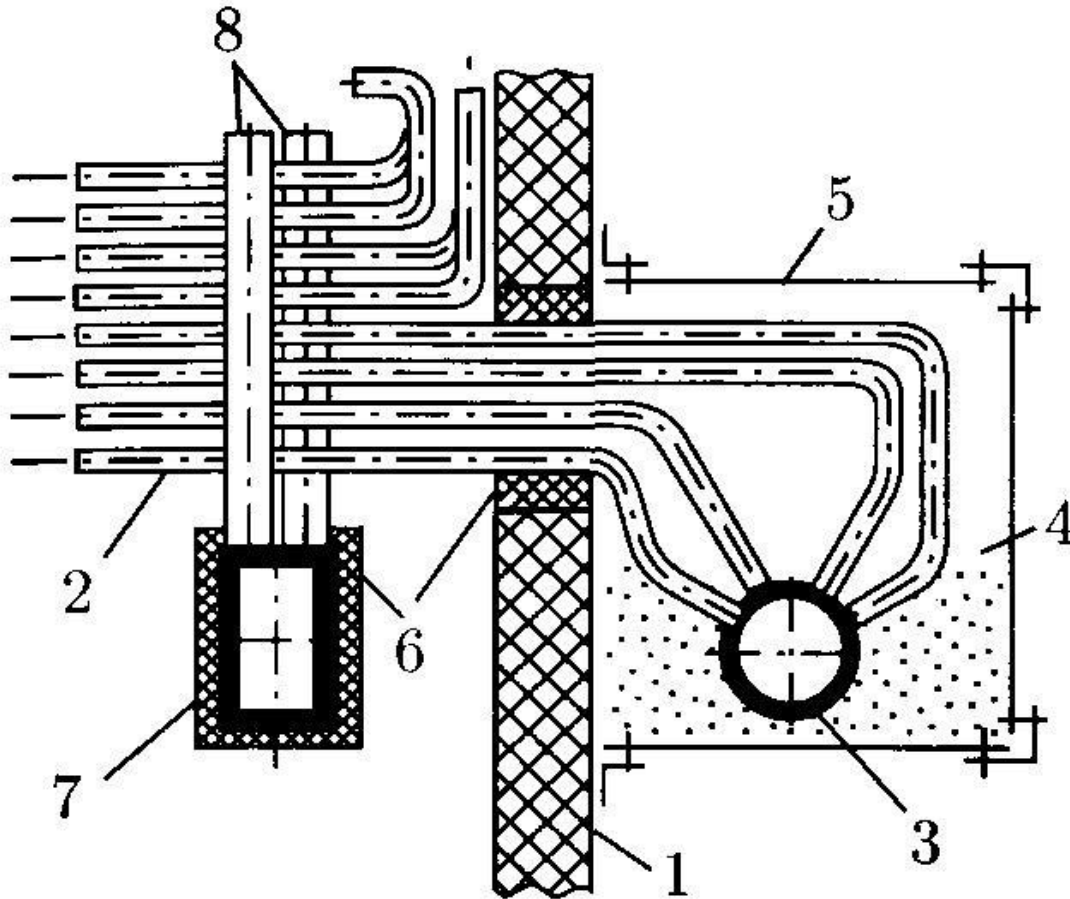
***Общими задачами при конструировании этих поверхностей нагрева являются: интенсификация теплообмена и создание компактных малогабаритных элементов с умеренной затратой металла, которые бы подвергались минимальным золовому износу, заносу и коррозионным повреждениям***

# ВОДЯНОЙ ЭКОНОМАЙЗЕР

# ВОДЯНЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ

1. **Материал труб**      сталь
2. **Диаметр**      28-32 мм
3. **Расположение труб**      шахматное
4. **Движение воды**      противоток
5. **Поверхность нагрева**      пакеты высотой до 1 м
6. **Шаг между пакетами** 650-800 мм

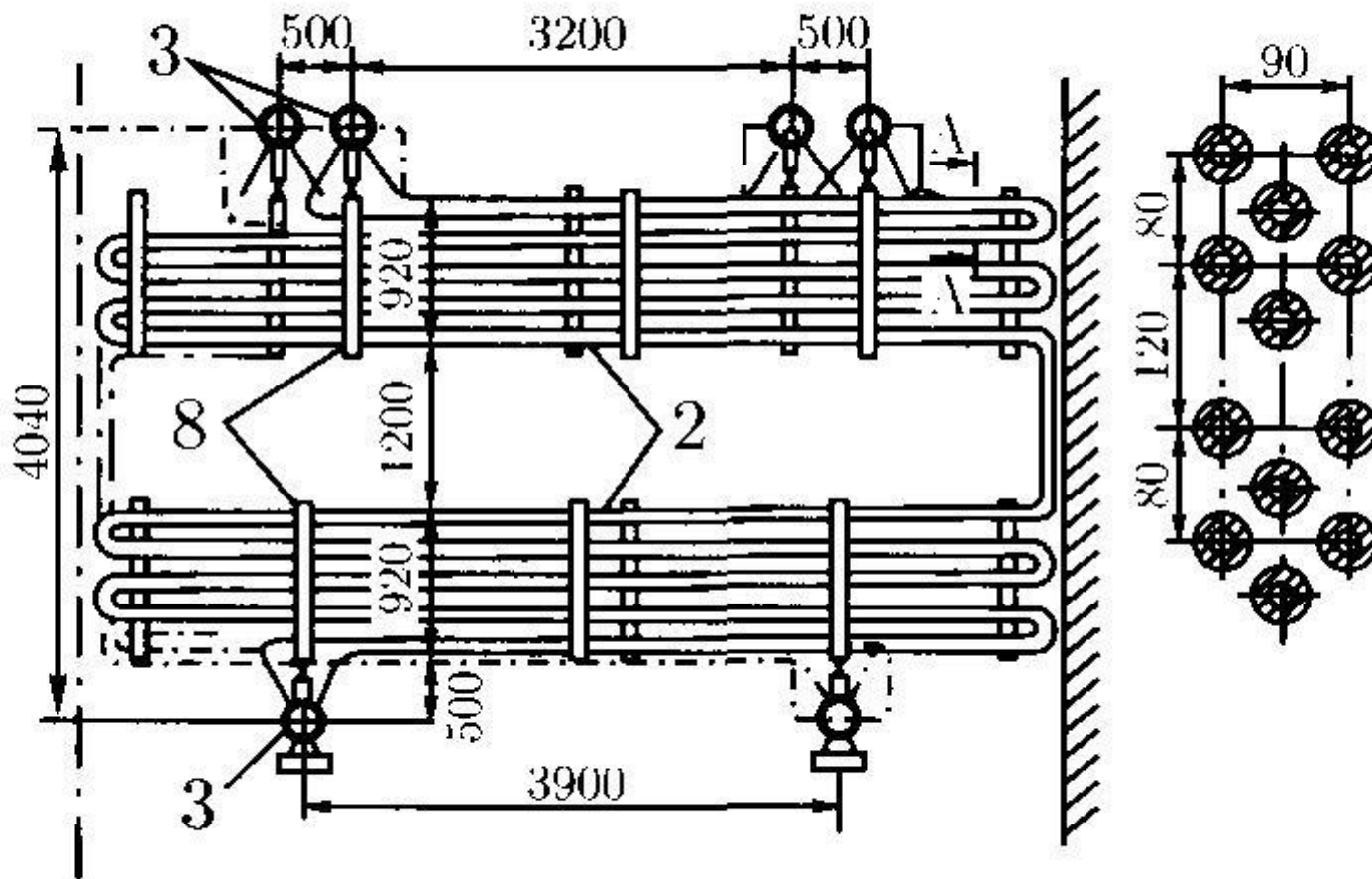
# ВОДЯНЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ



- 1 – обмуровка конвективной шахты;
- 2 – трубы;
- 3 – коллектор;
- 4 – теплоизоляционная засыпка;
- 5 – металлическая обшивка;
- 6 – огнеупорная обмазка;
- 7 – опорная балка;
- 8 – опорные стойки;

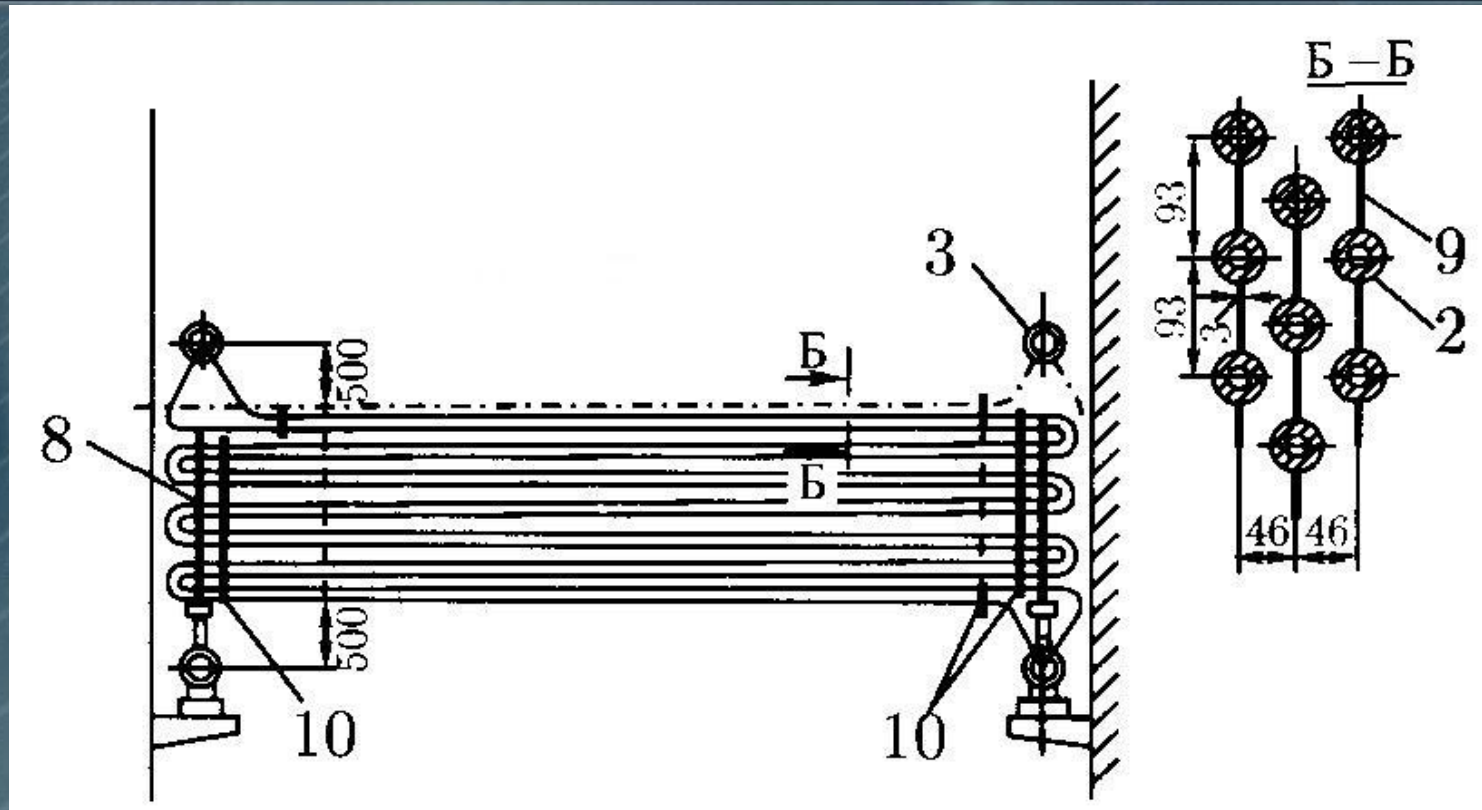
**В паровых котлах, работающих под разрежением, для обеспечения газовой плотности и уменьшения потерь теплоты входные и выходные коллекторы помещают в теплоизолирующие камеры**

# ВОДЯНЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ



В газоплотных котлах почти всегда внутри газохода помещают и коллекторы, служащие одновременно опорой для змеевиков экономайзера

# ВОДЯНЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ



Для интенсификации теплопередачи с газовой стороны и повышения компактности пакетов увеличивают поверхность нагрева путем сварки гладких труб на прямых участках с помощью проставок из листовой стали толщиной 3–4 мм. Получаются пакеты так называемых мембранных экономайзеров



# ВОДЯНЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ

## Регенеративные

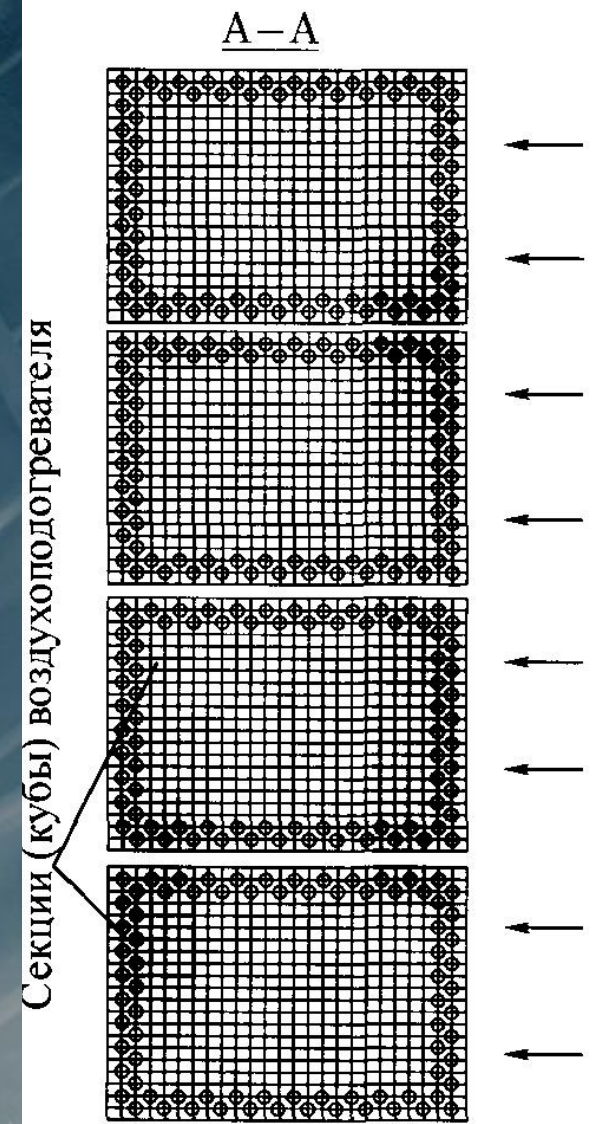
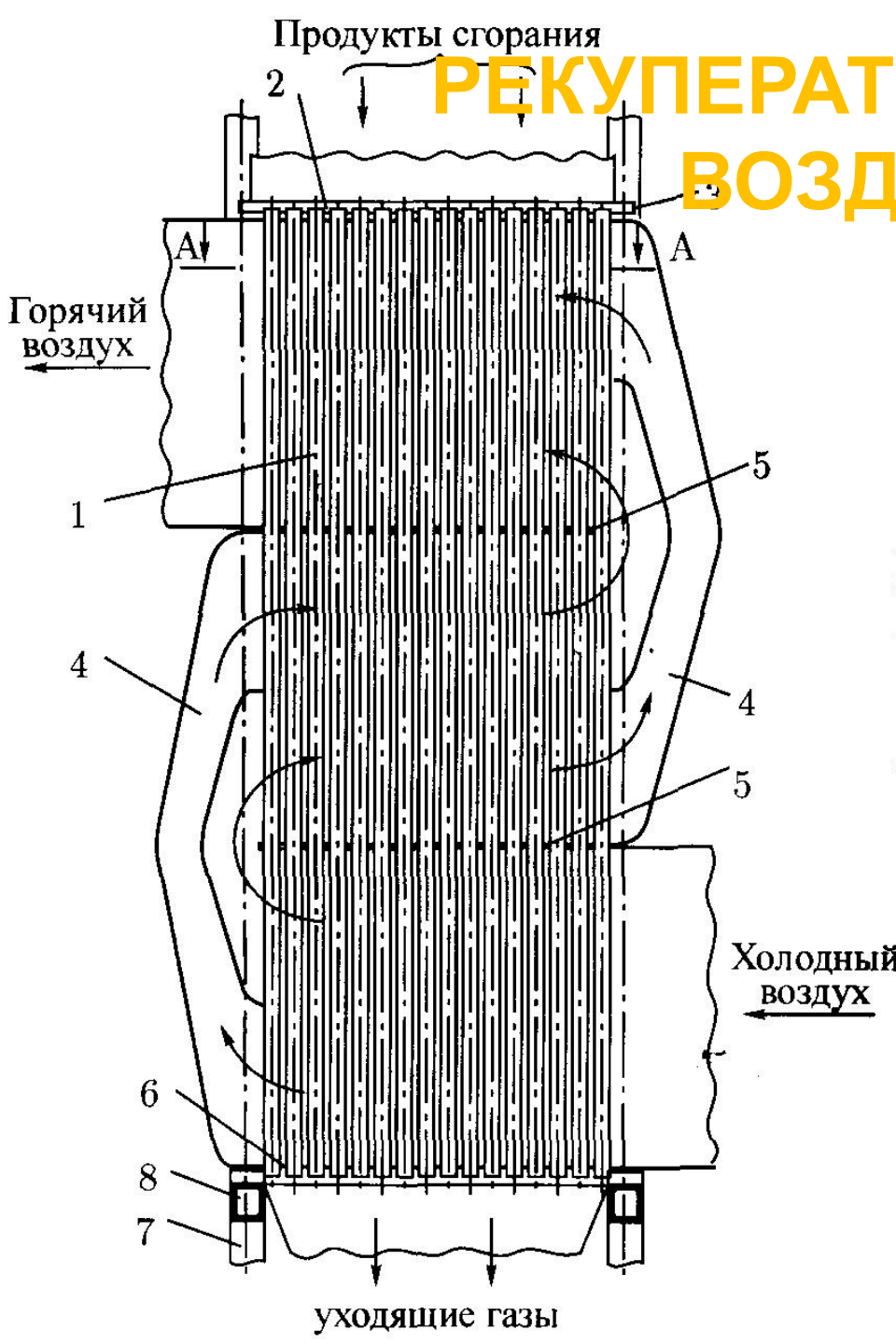
## Рекуперативные

*поверхность нагрева омывается попеременно то продуктами сгорания, нагреваясь при этом, то воздухом, отдавая ему тепло*

*неподвижная поверхностью нагрева, через которую непрерывно передается тепло от продуктов сгорания к воздуху*

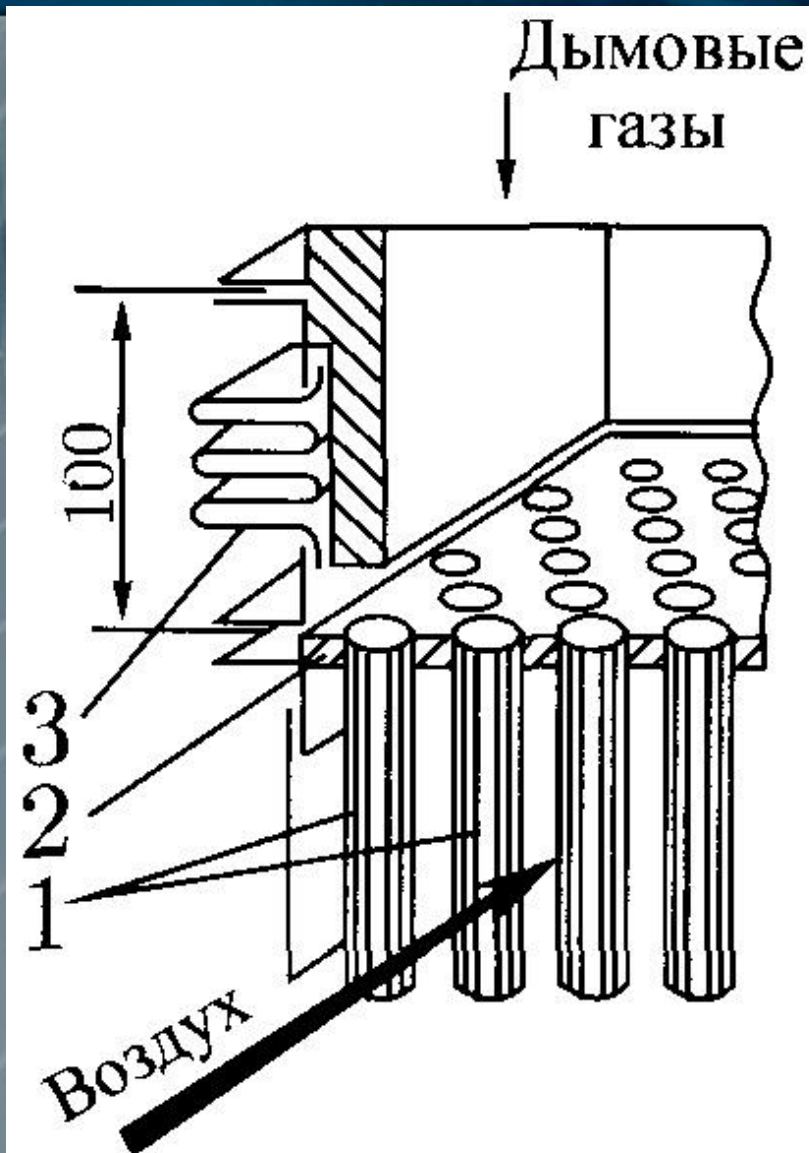


# РЕКУПЕРАТИВНЫЙ (ТРУБЧАТЫЙ) ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ

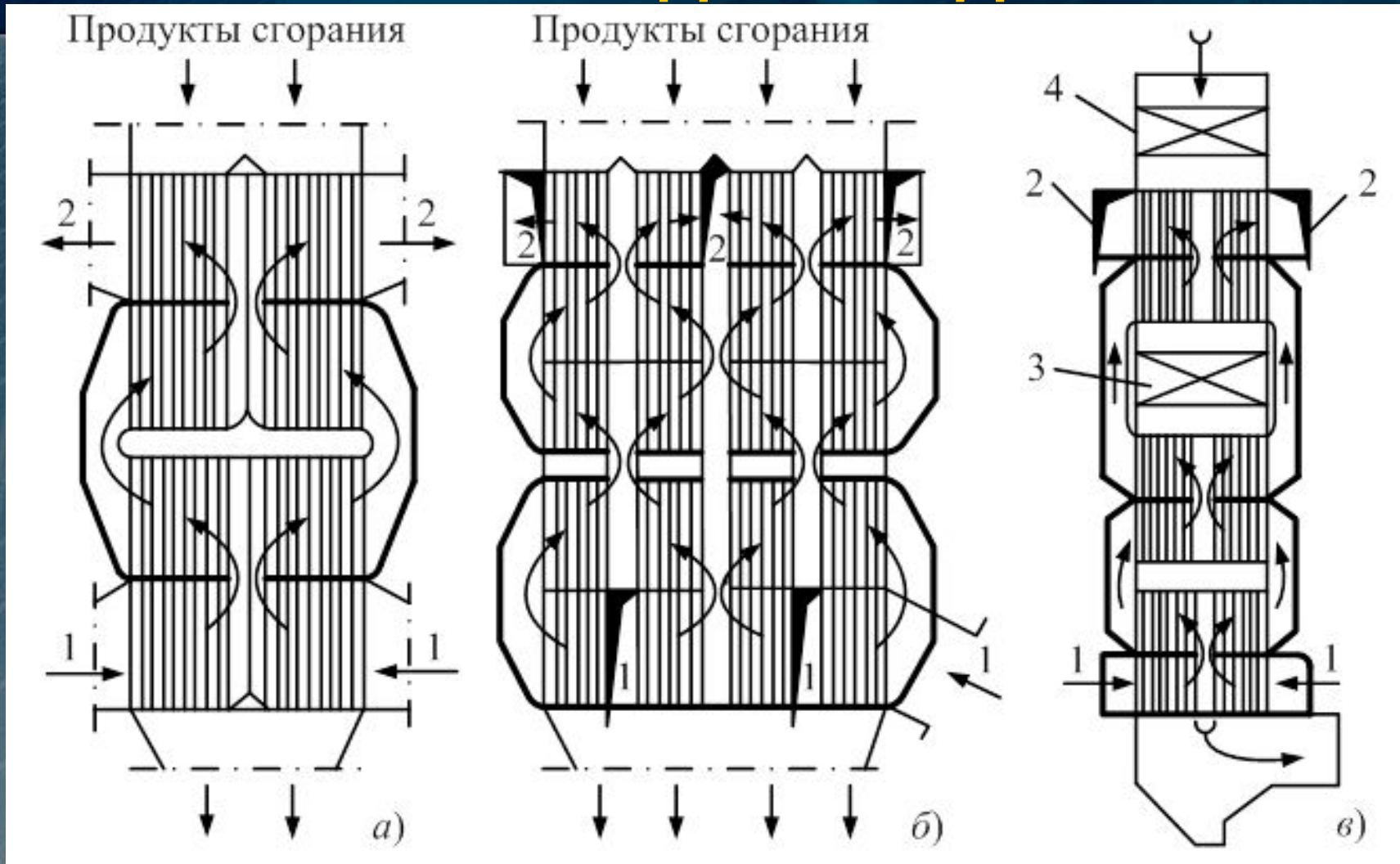


Однопоточная схема

# РЕКУПЕРАТИВНЫЙ (ТРУБЧАТЫЙ) ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ



# РЕКУПЕРАТИВНЫЙ (ТРУБЧАТЫЙ) ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ



а – двухпоточная; б – четырехпоточная; в – двухпоточная и двухступенчатая схемы **(для котлов большой мощности)**

# РЕКУПЕРАТИВНЫЙ (ТРУБЧАТЫЙ) ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ

Подогрев воздуха в ВЗП:

-для одноступенчатой схемы

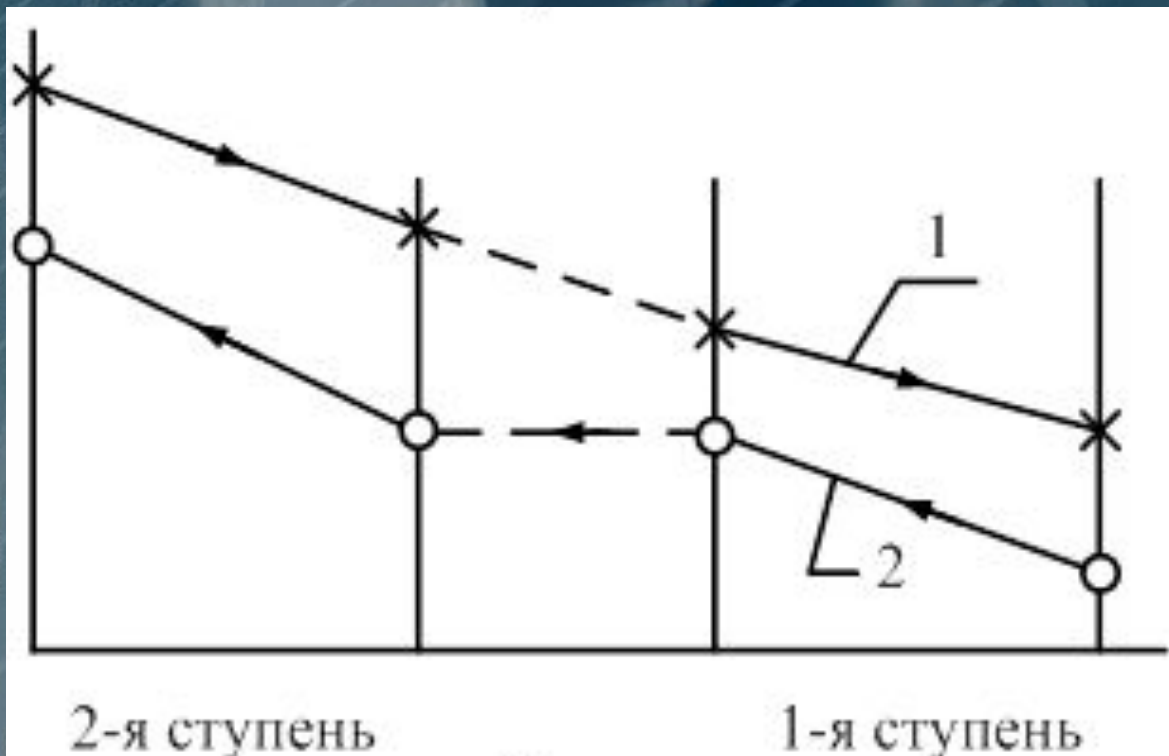
250-320 °С

-для двухступенчатой схемы

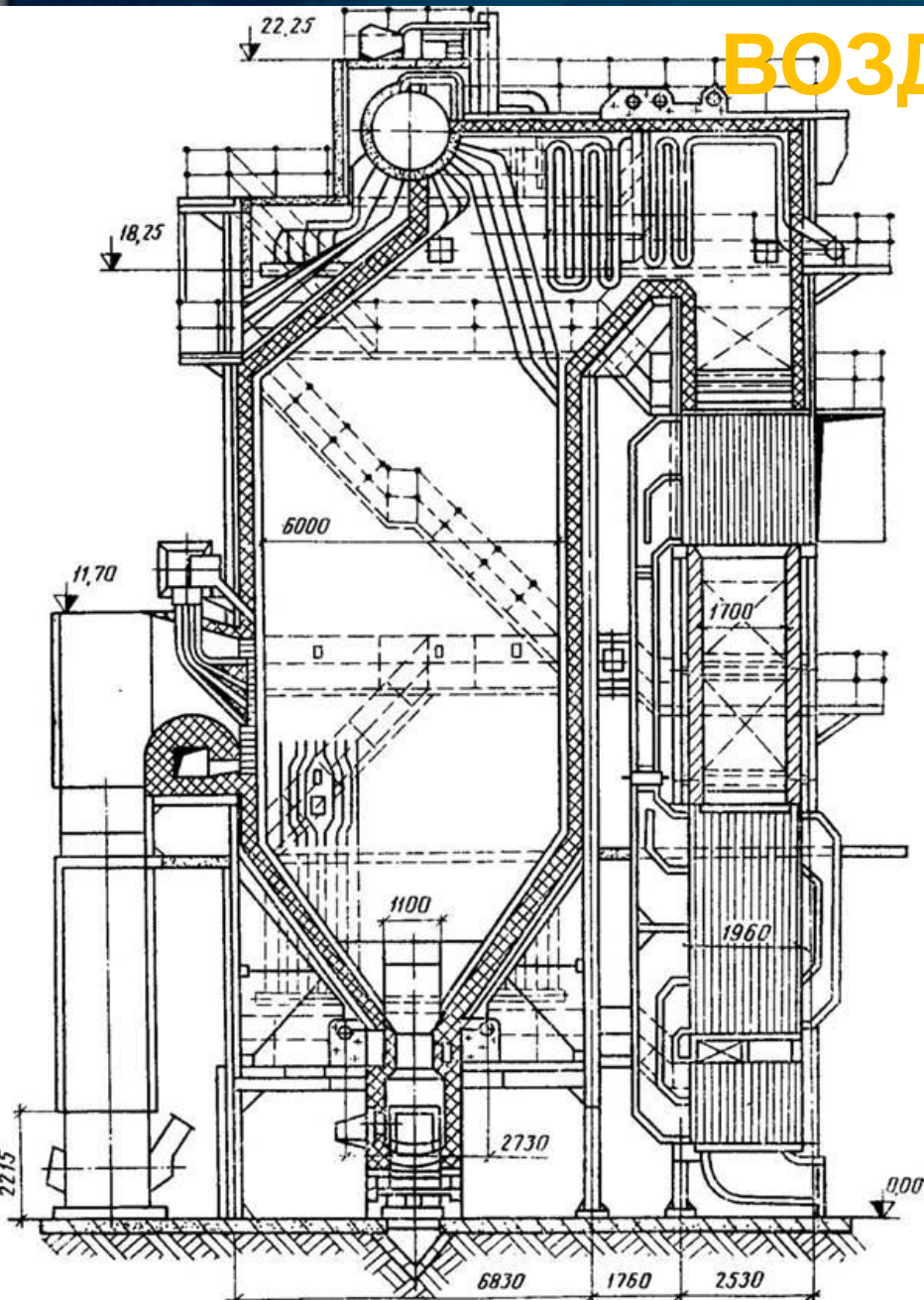
350-450 °С

(«в рассечку»)

*Низкорреакционное  
твердое топливо*



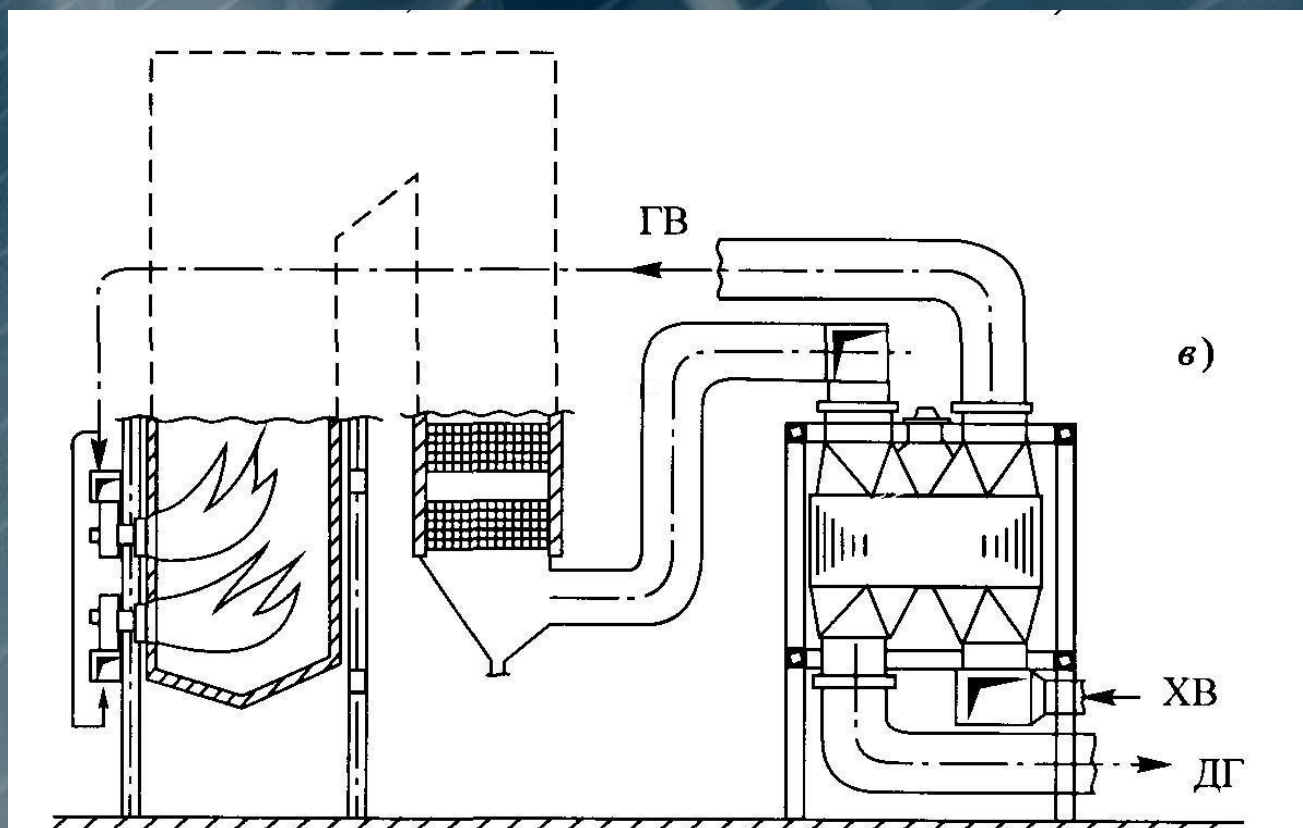
# РЕКУПЕРАТИВНЫЙ (ТРУБЧАТЫЙ) ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ



*Для снижения температуры уходящих газов и защиты металла ВЗП перед второй ступенью устанавливают экономайзер или вторичный пароперегреватель*

# РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ (ВРАЩАЮЩИЙСЯ) ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ

*Регенеративный воздухоподогреватель располагают вне пределов конвективной шахты и соединяют его с котлом газо- и воздухопроводами*





# РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ (ВРАЩАЮЩИЙСЯ) ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ

*Поверхностью теплообмена служит плотная набивка из тонких гофрированных и плоских стальных листов, образующих каналы малого диаметра (8-9 мм) для прохода продуктов сгорания и воздуха*

