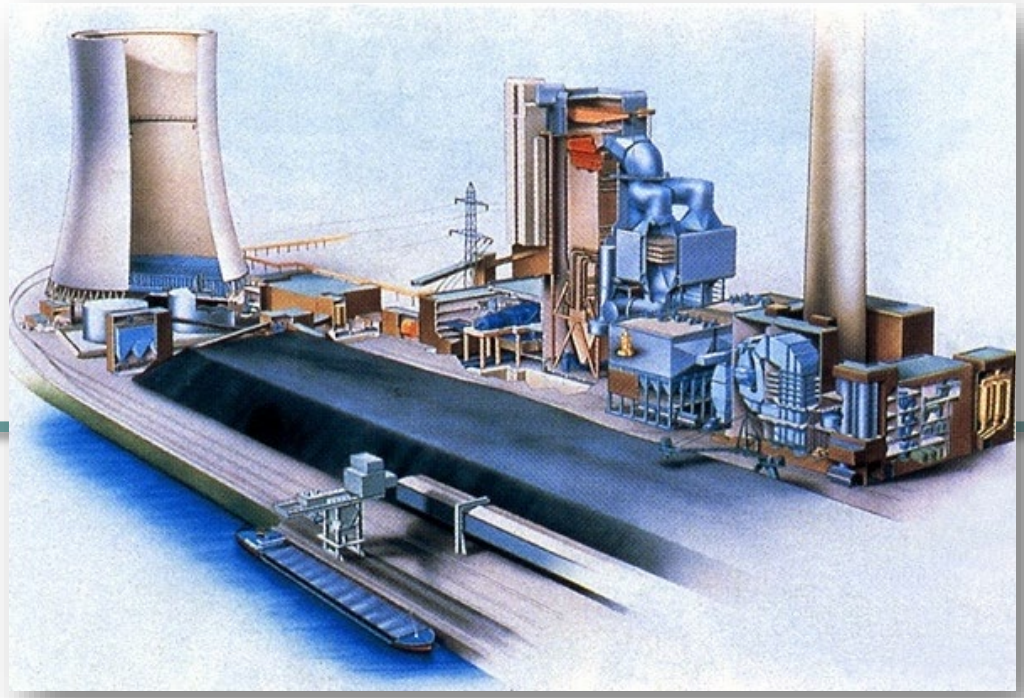
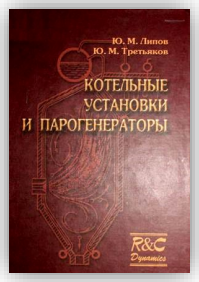
«Междисциплинарный проект" (Проектирование энергетических котлов)



Рекомендуемая литература

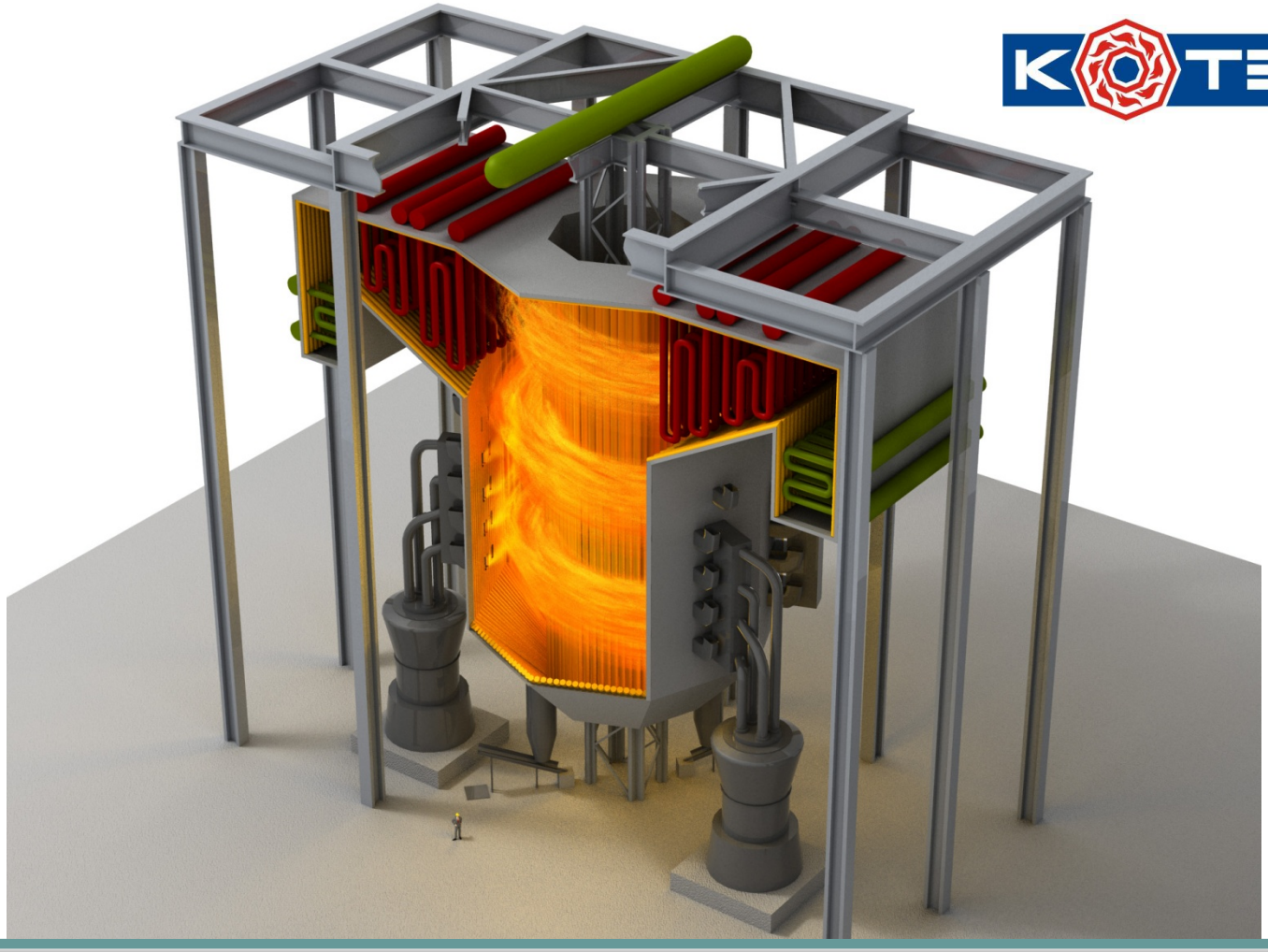
Ковалев А.П., Лелеев Н.С., Виленский Т.В. **Парогенераторы: Учебник для вузов** / Под общ. ред. А.П. Ковалева. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 376 с.



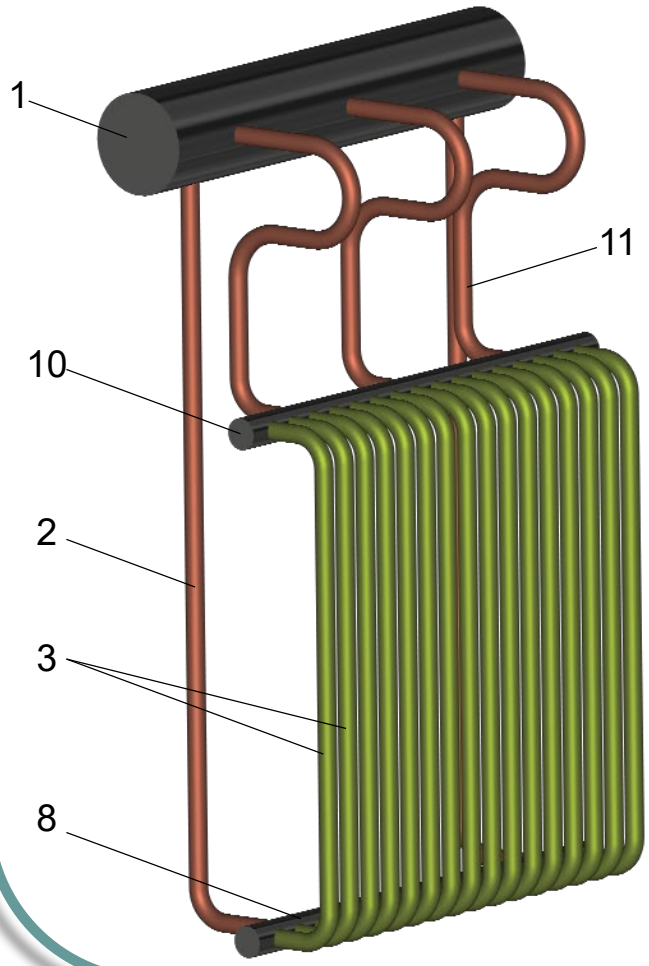
Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. **Котельные установки и парогенераторы.** – Мосва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. – 592 с.

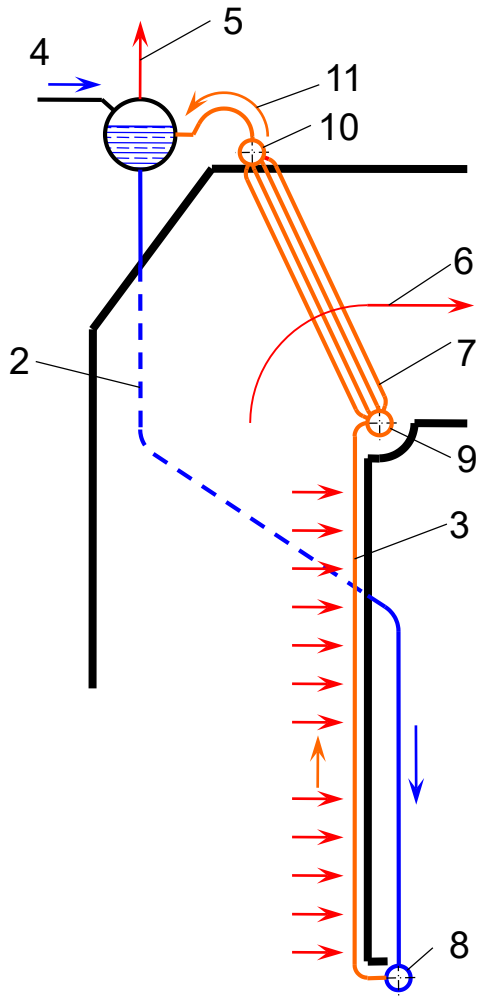
Тепловой расчет котлов (Нормативный метод) – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.

Типы компоновок паровых котлов



Испарительные поверхности нагрева

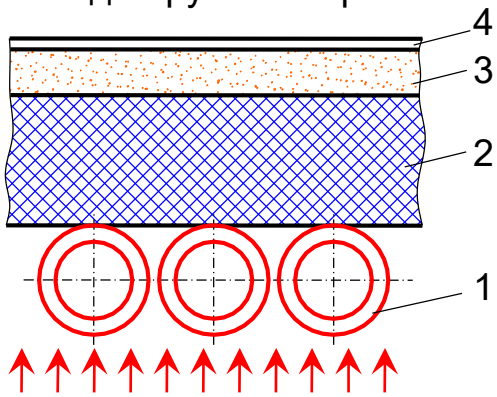




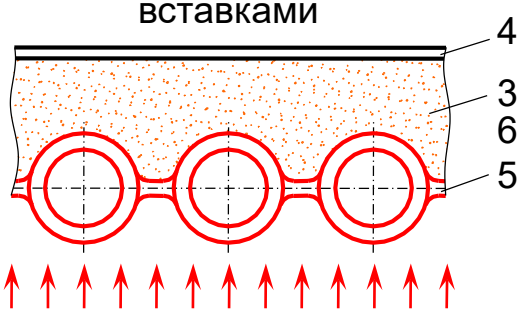
1 – верхний барабан котла;
2 – опускной пучок трубок;
3 – подъемный испарительный пучок;
4 – подвод питательной воды;
5 – вывод насыщенного пара из барабана к пароперегревателю;
6 – путь горячих топочных газов,
7 – фестон;
8 – нижний коллектор;
9 – промежуточный коллектор экрана;
10 – верхний коллектор экрана;
11 – смесеотводящие трубы

Типы экранирования

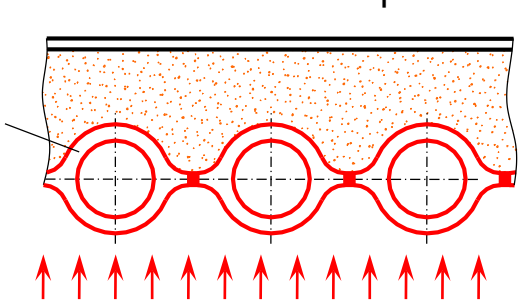
Гладкотрубный экран



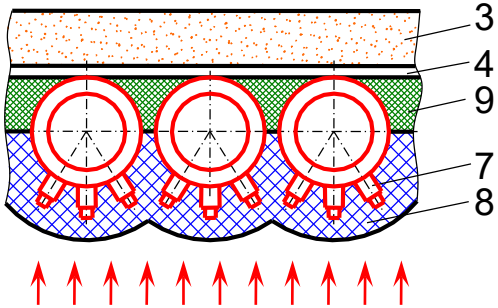
С приваренными вставками



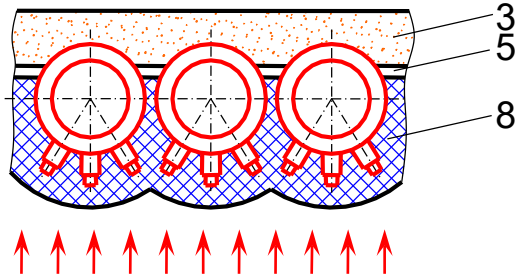
Плавниковый экран



Гладкотрубный футерованный

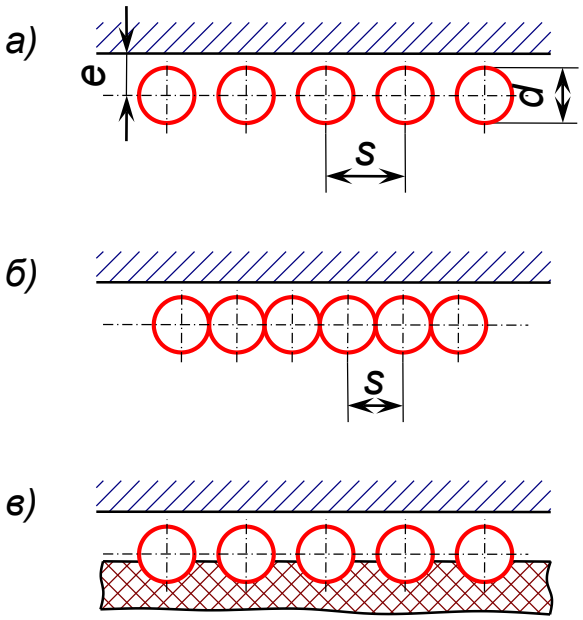


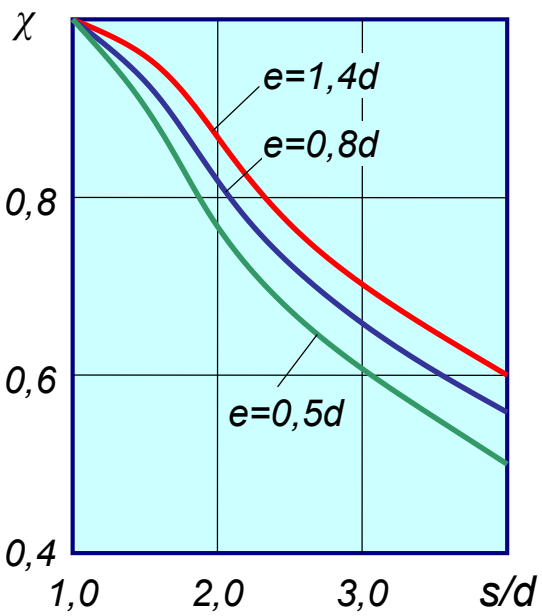
Мембранный футерованный



1 – труба;
2 – слой огнеупорный;
3 – слой тепловой изоляции;
4 – обмуровка;
5 – проставка стальная прямоугольная;
6 – плавниковая труба;
7 – шипы специальные;
8 – огнеупорная набивка (карборунд);
9 – хромитовая масса

Конструкции и угловые коэффициенты однорядного экрана





а – экран с относительным шагом труб *s*/*d* >1;

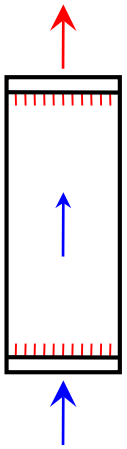
б – плотный экран, *s*/*d*=1

в – зафутерованный экран, *s*/*d*=1

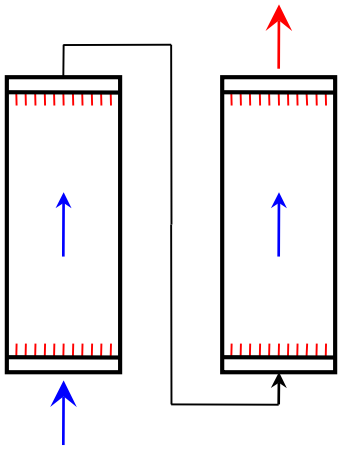
относительный шаг труб экрана

$$\sigma_э = \frac{s}{d} = 1,05 \div 1,2$$

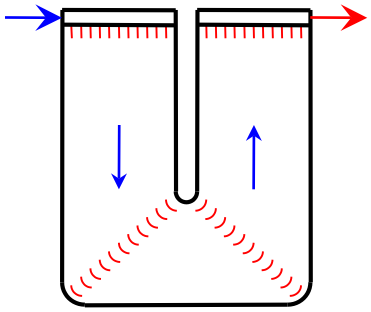
Панели экранов прямоточных котлов



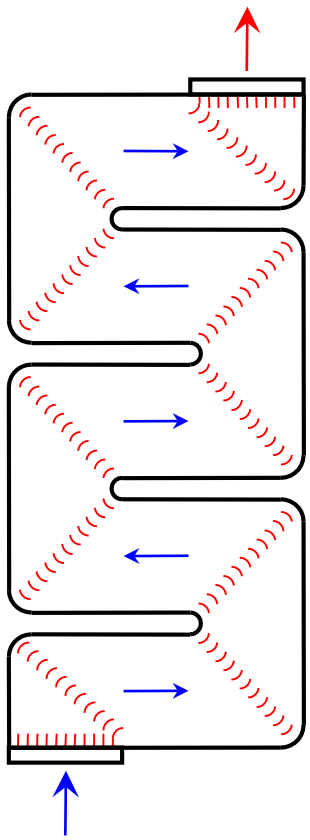
с вертикальными подъемными трубами



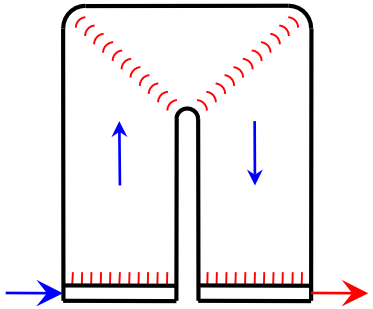
двухходовая



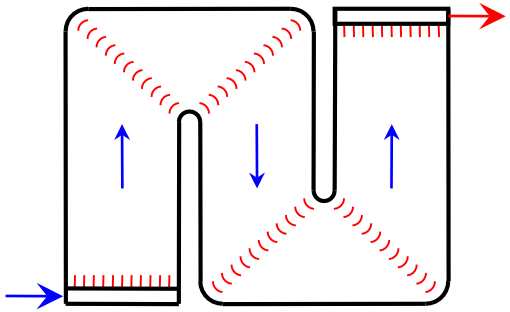
из U-образных труб



из горизонтально-подъёмных труб (меандровая навивка)

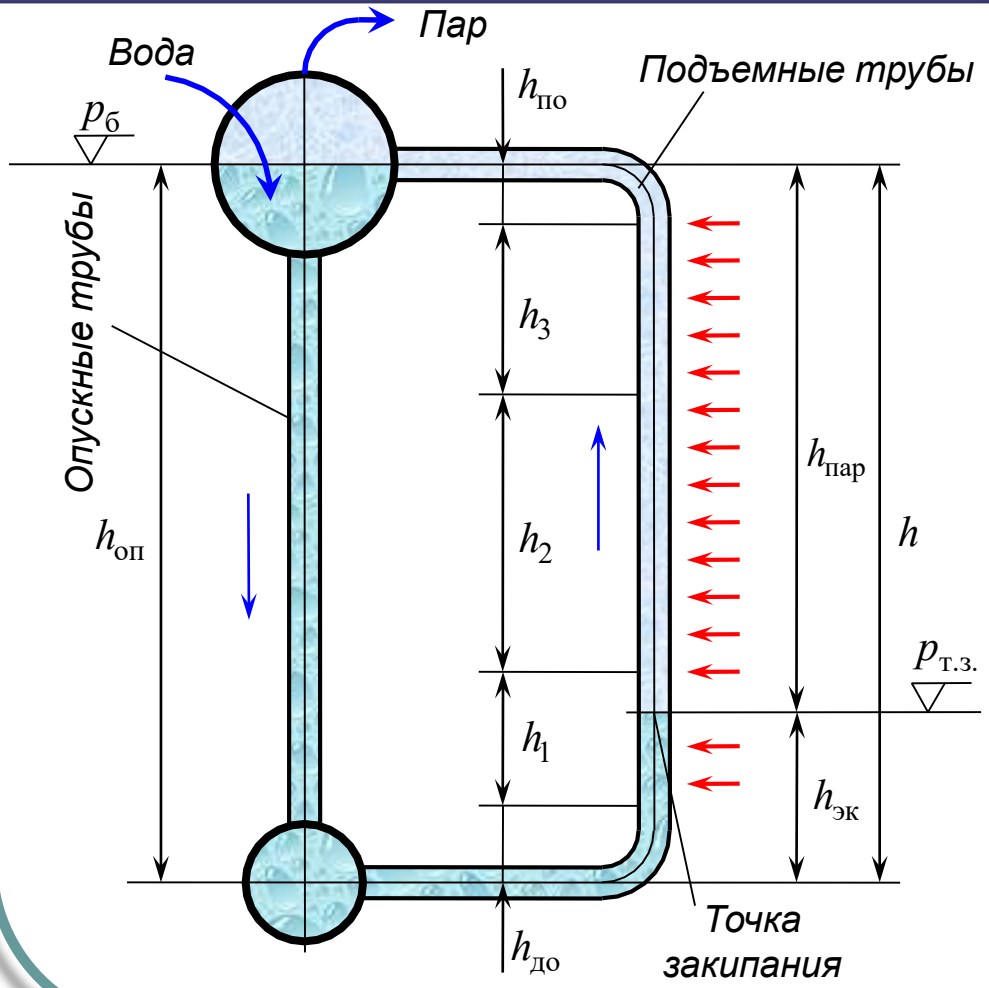


из П-образных труб

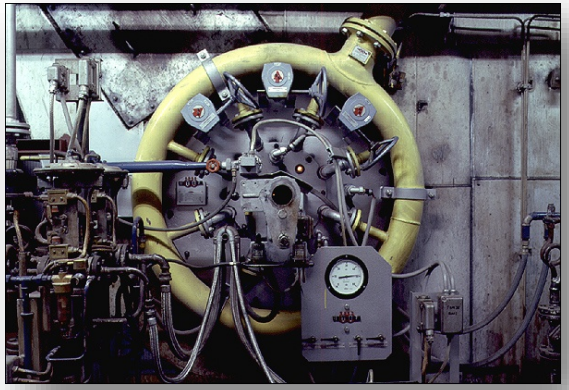


из N-образных труб

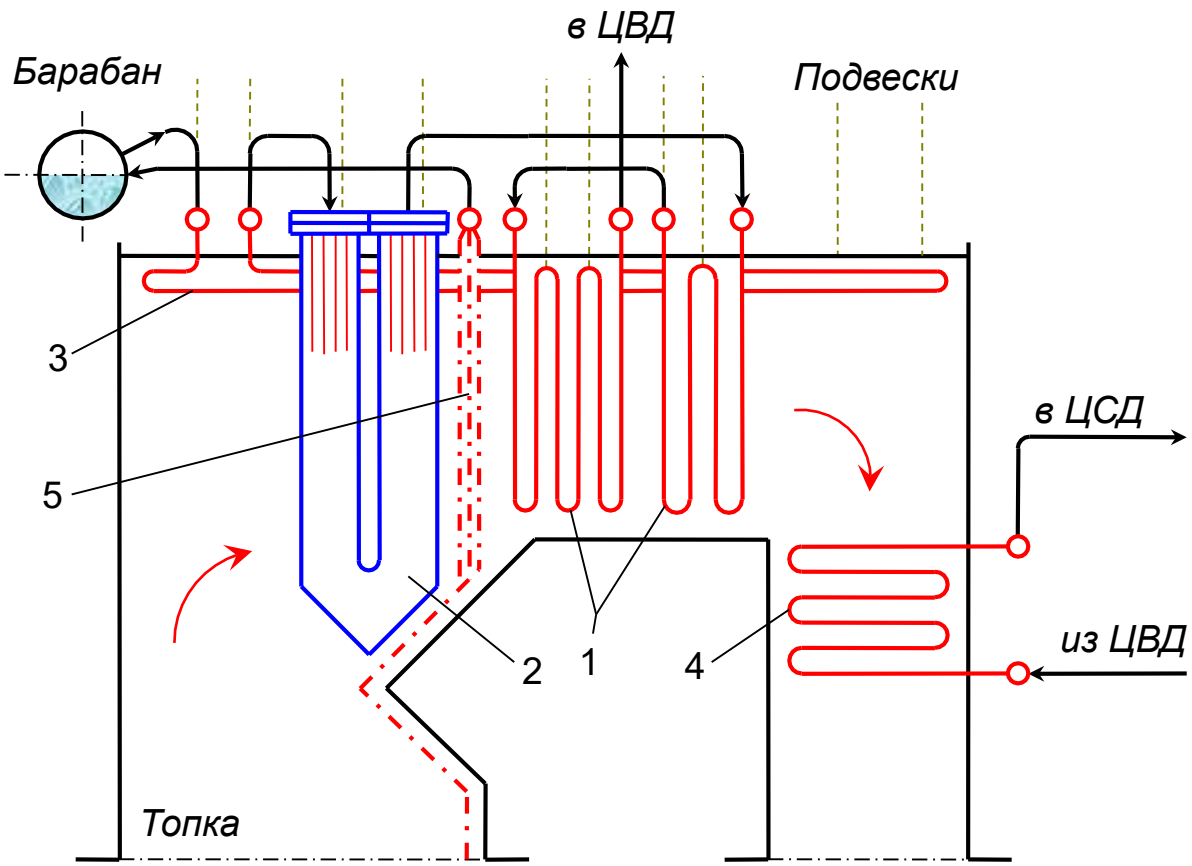
Работа контура естественной циркуляции



Пароперегреватели

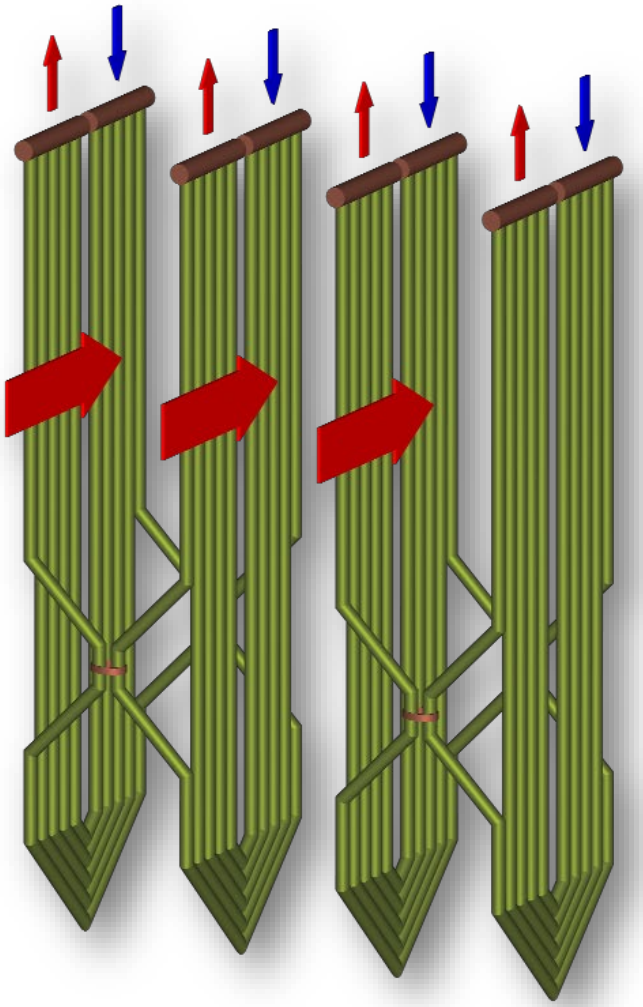


Компоновочная схема пароперегревателей

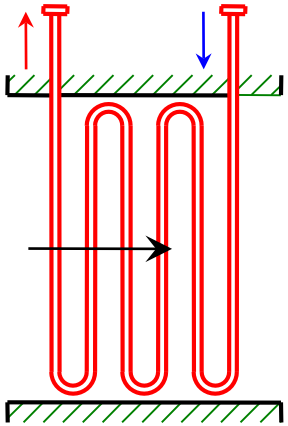


1. конвективные пакеты первичного перегревателя;
2. ширмы;
3. потолочная поверхность нагрева перегревателя;
4. вторичный (промежуточный) перегреватель;
5. трехрядный фестон из испарительных труб заднего экрана топки

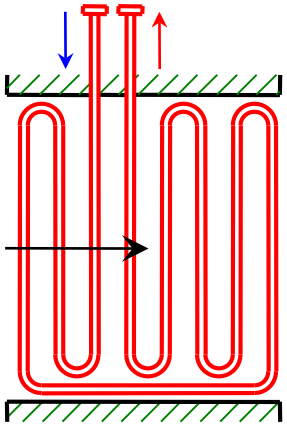
Схема ширмового перегревателя



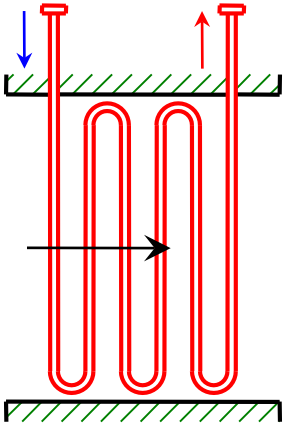
Пакеты конвективного пароперегревателя



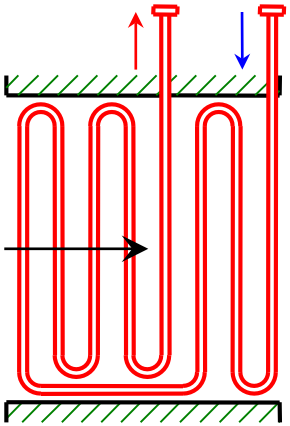
Противоток



Двойной противоток

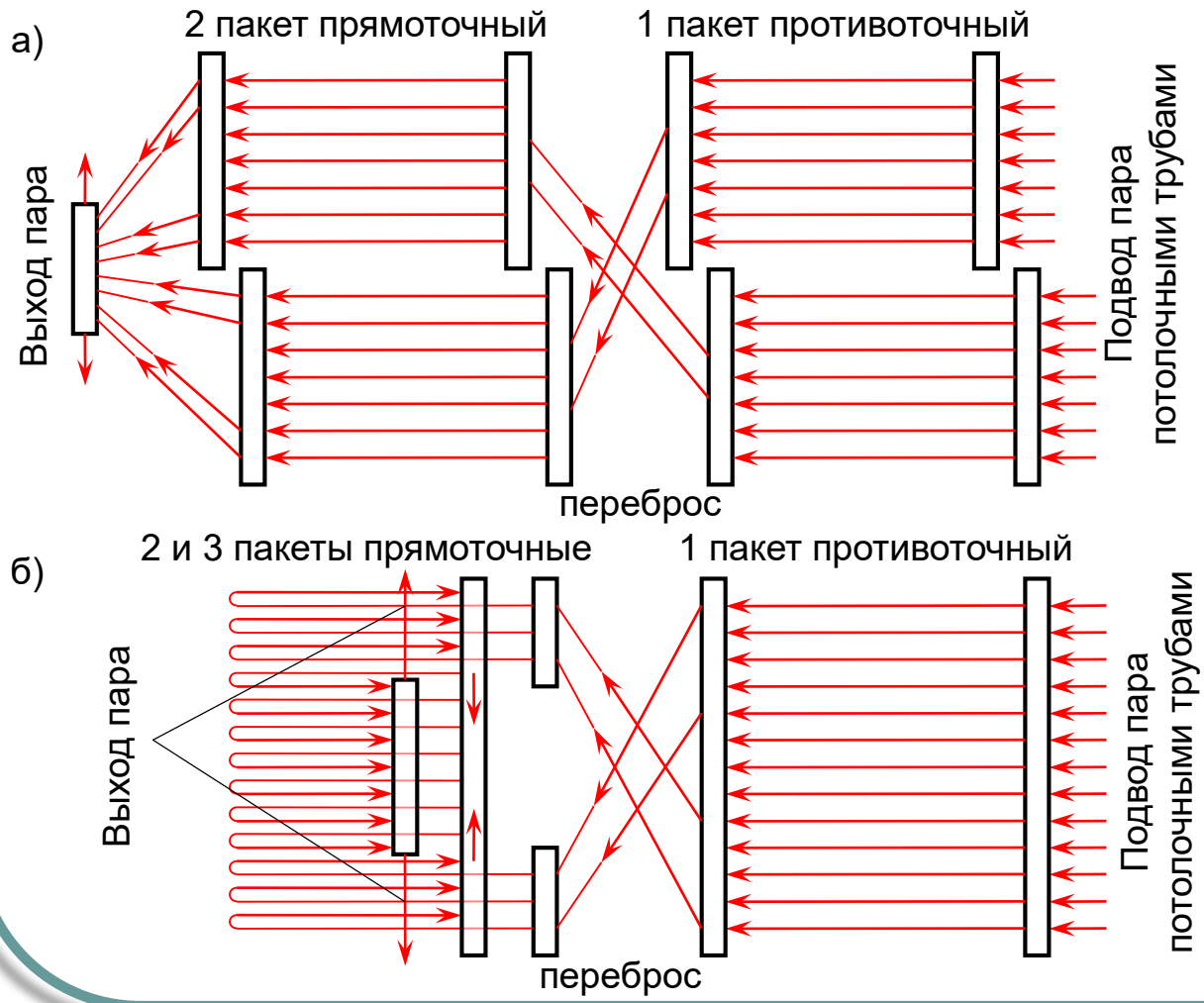


Прямоток



Смешанный ток

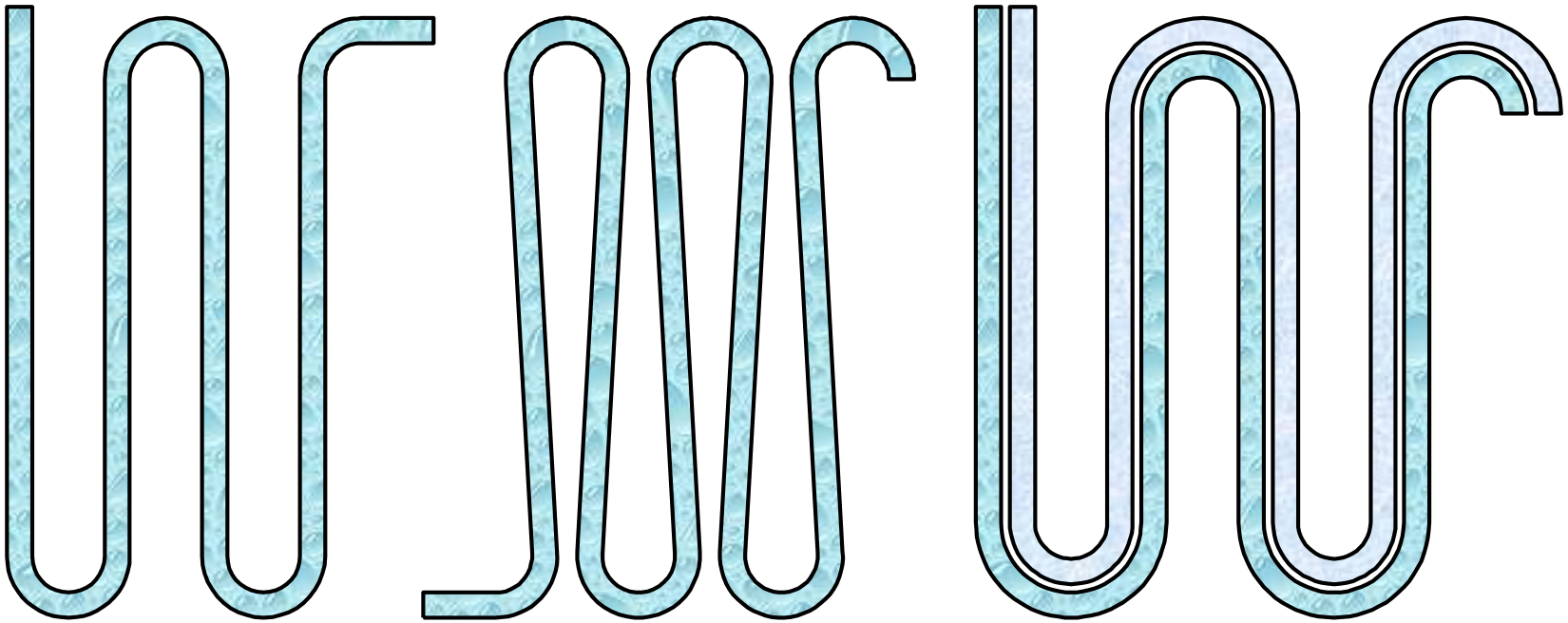
Схемы включения пакетов пароперегревателей



а – с разделением пакетов на две секции по ширине газохода

б – при трех секциях в выходном пакете

Виды змеевиков конвективных перегревателей



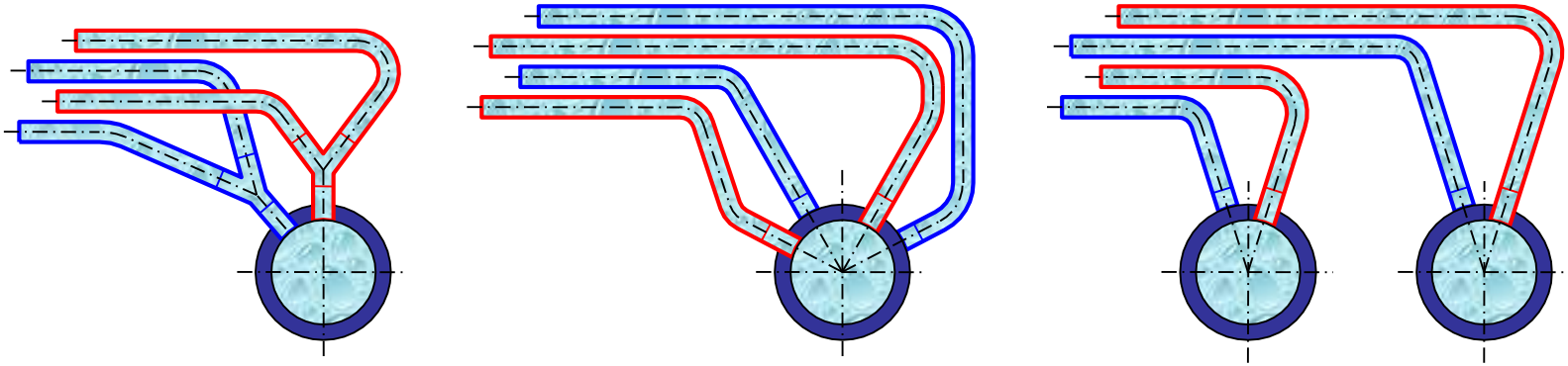
а) б) в)

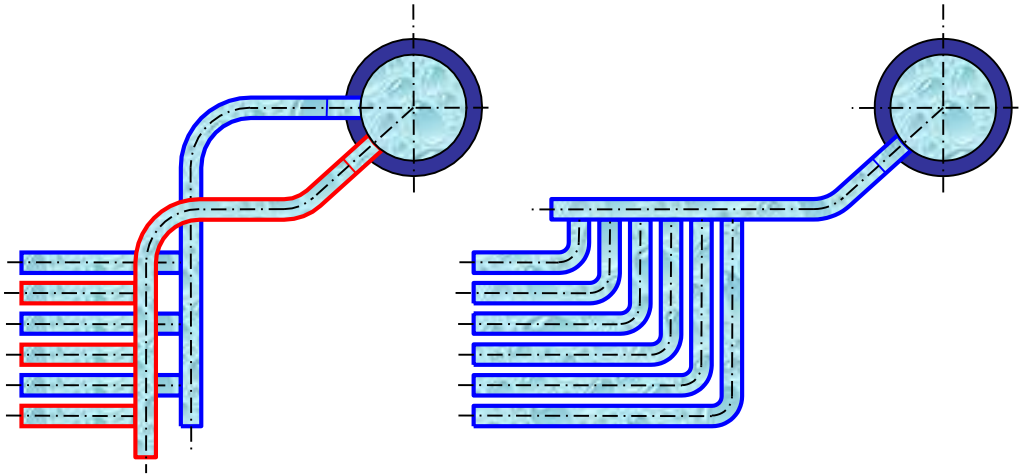
а – однониточный

б – плотный однониточный

в – двухниточный

Присоединение к коллекторам многониточных змеевиков





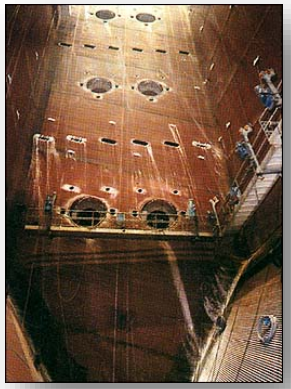
а – с использованием развилок

б – с разделением на два пучка и монтажным проемом между ними

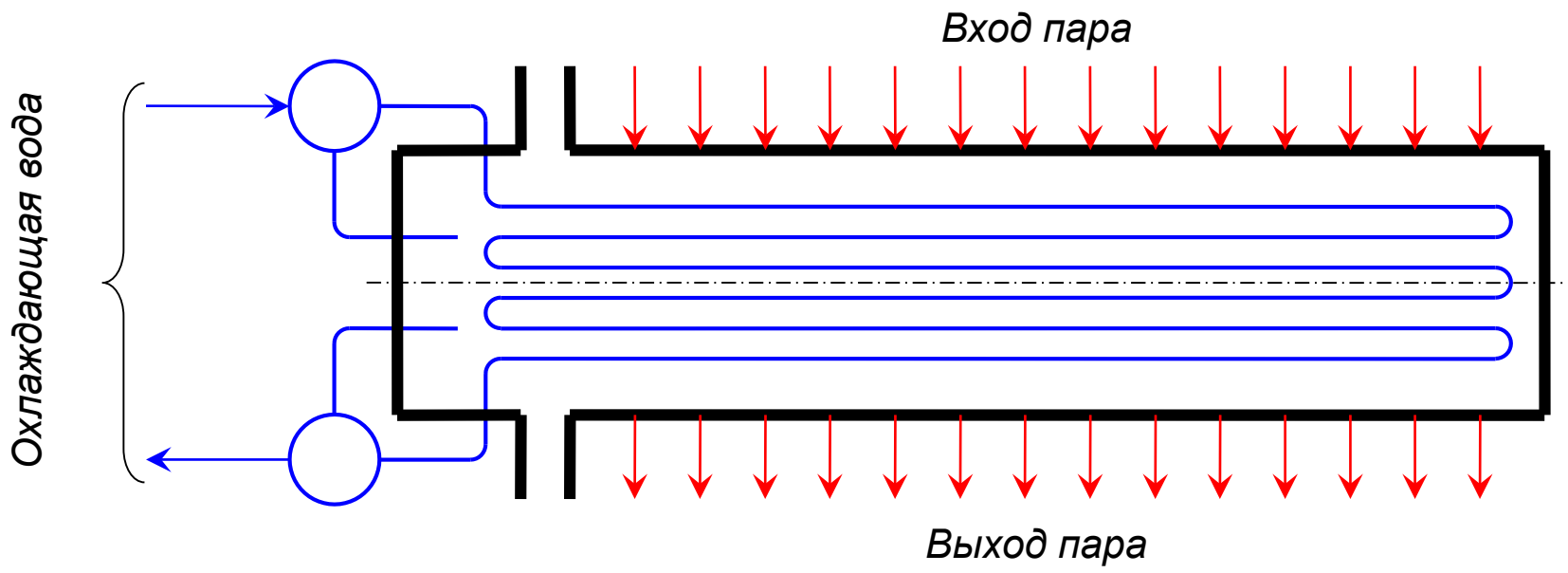
в – с помощью двух параллельных коллекторов

г, *д* – с использованием секционных камер

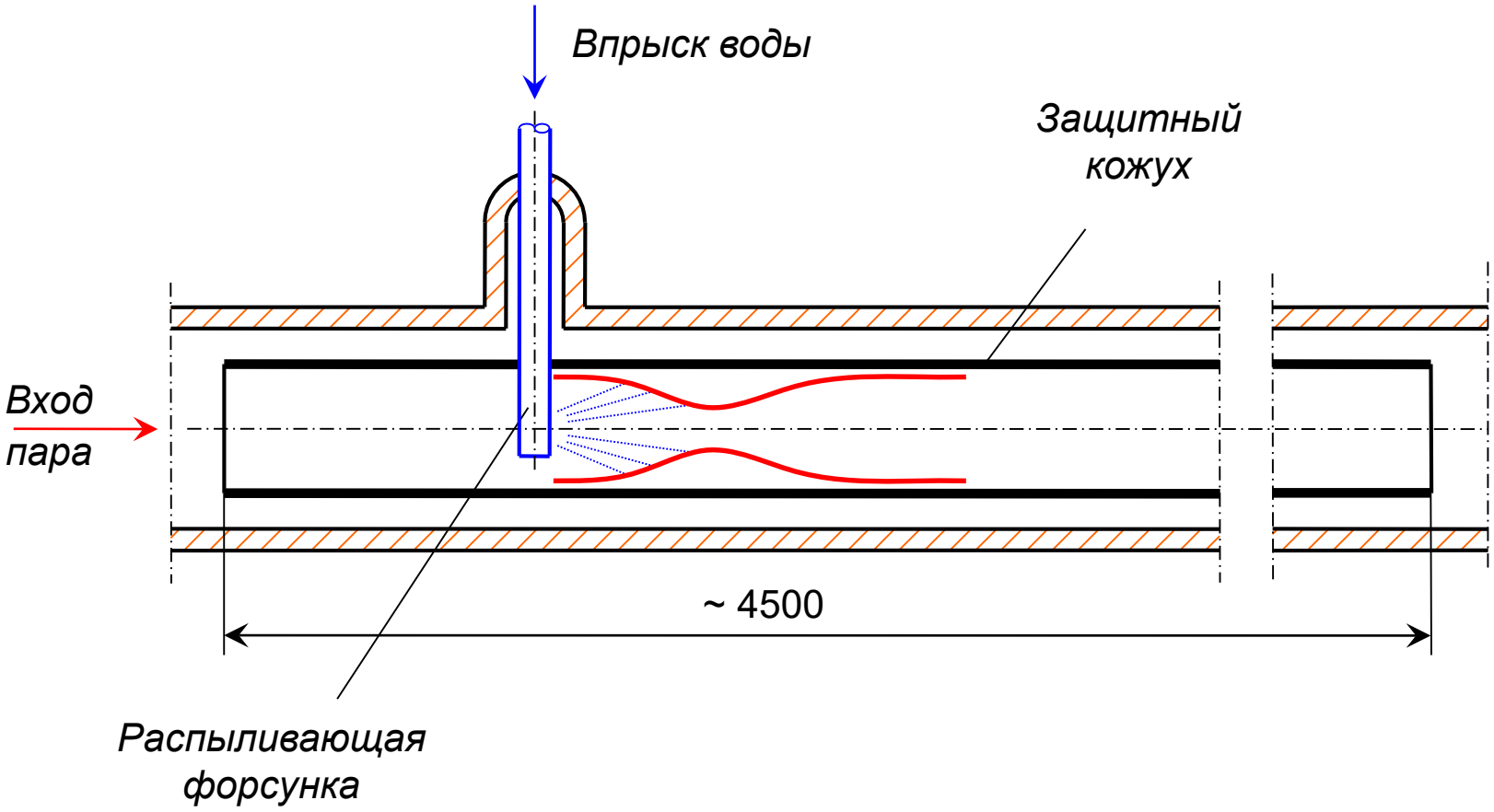
Регулирование температуры пара



Поверхностный пароохладитель



Впрыскивающий пароохладитель



Паро-паровой теплообменник

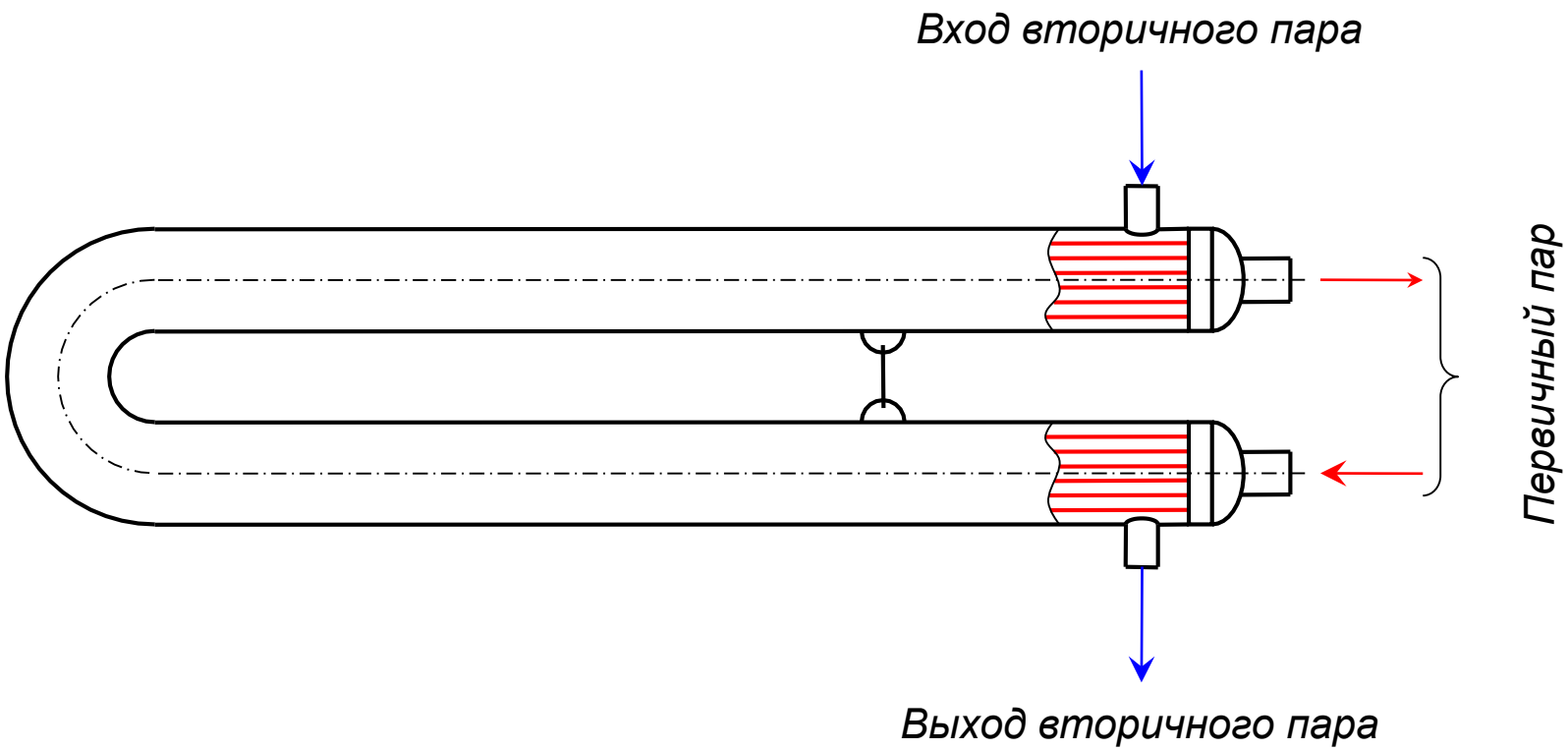
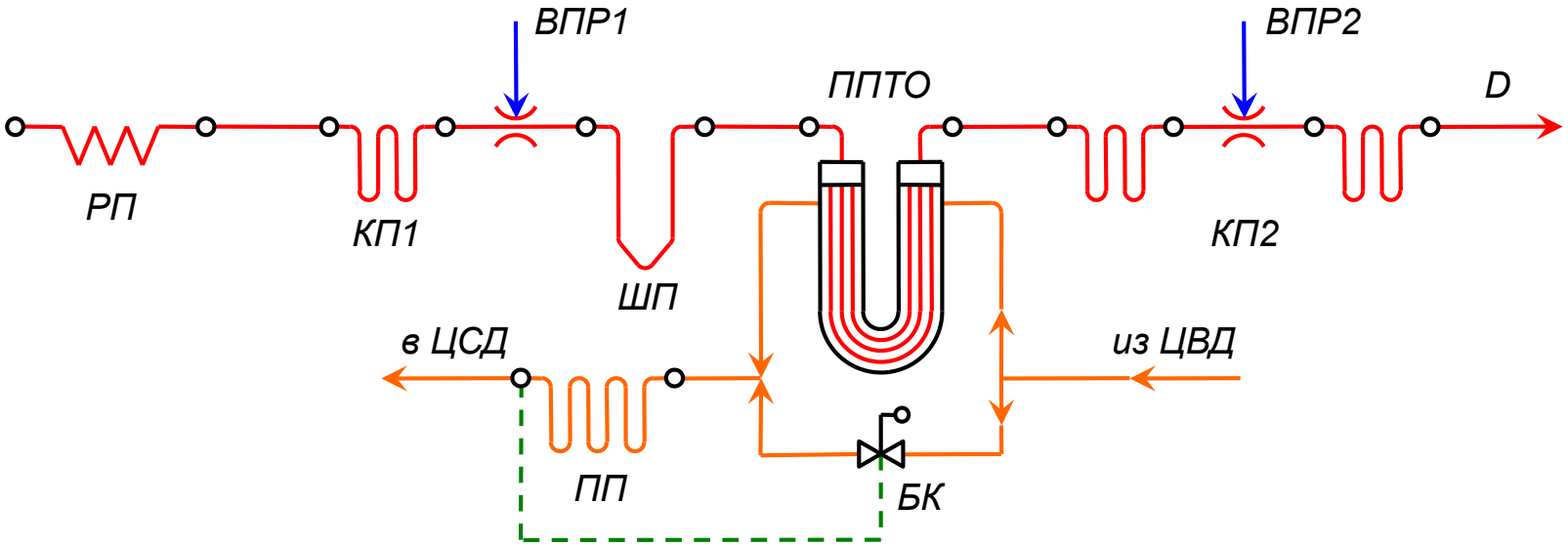


Схема регулирования основного и промежуточного перегрева пара



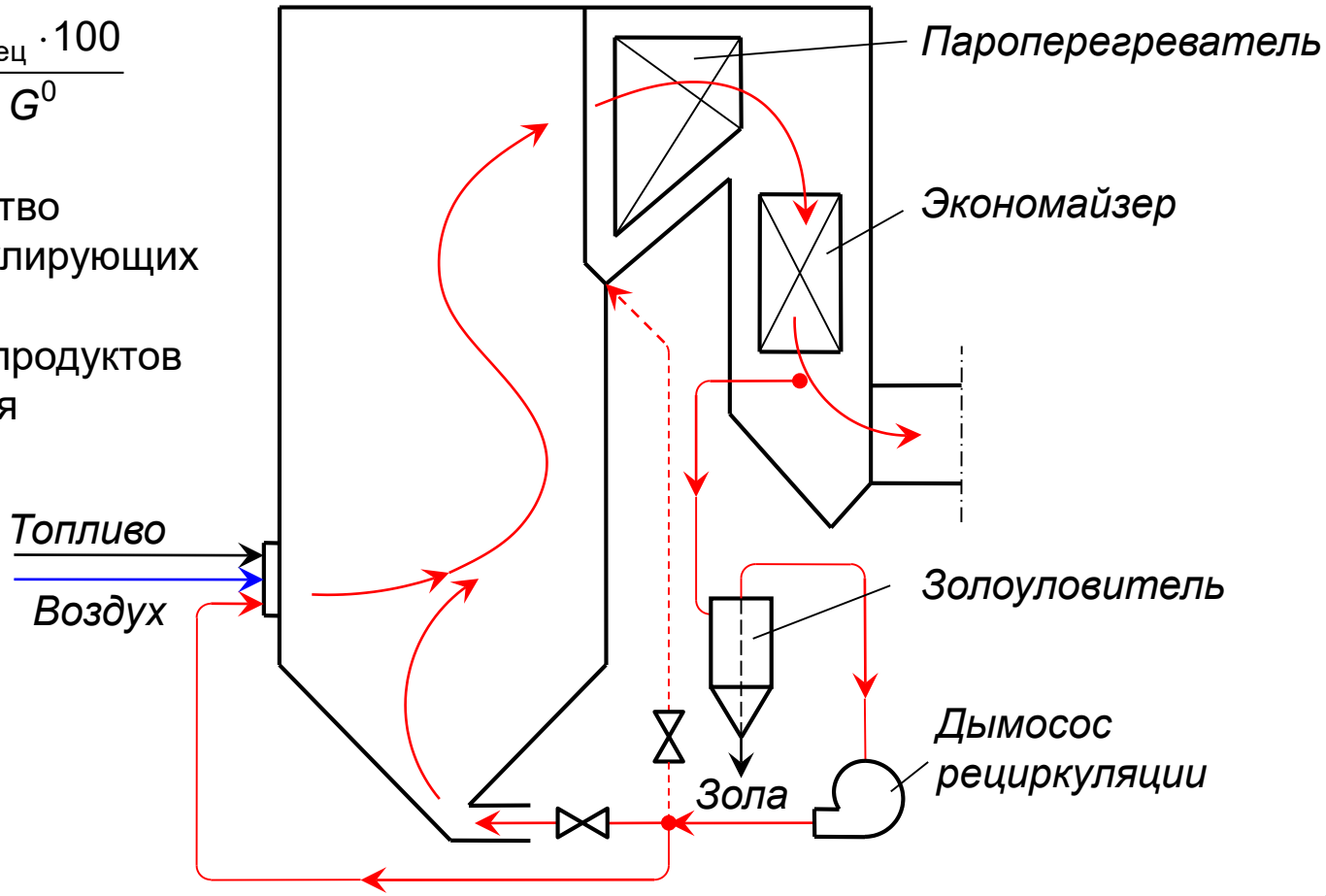
РП –радиационный перегреватель; ШП –ширмовый перегреватель;
КП –конвективный перегреватель; ППТО –паропаровой теплообменник;
БК –байпасный клапан; ПП –промежуточный конвективный перегреватель;
ВПР –впрыскивающий пароохладитель

Схема газового регулирования

$$r_{рец} = \frac{G_{рец} \cdot 100}{G^0}$$

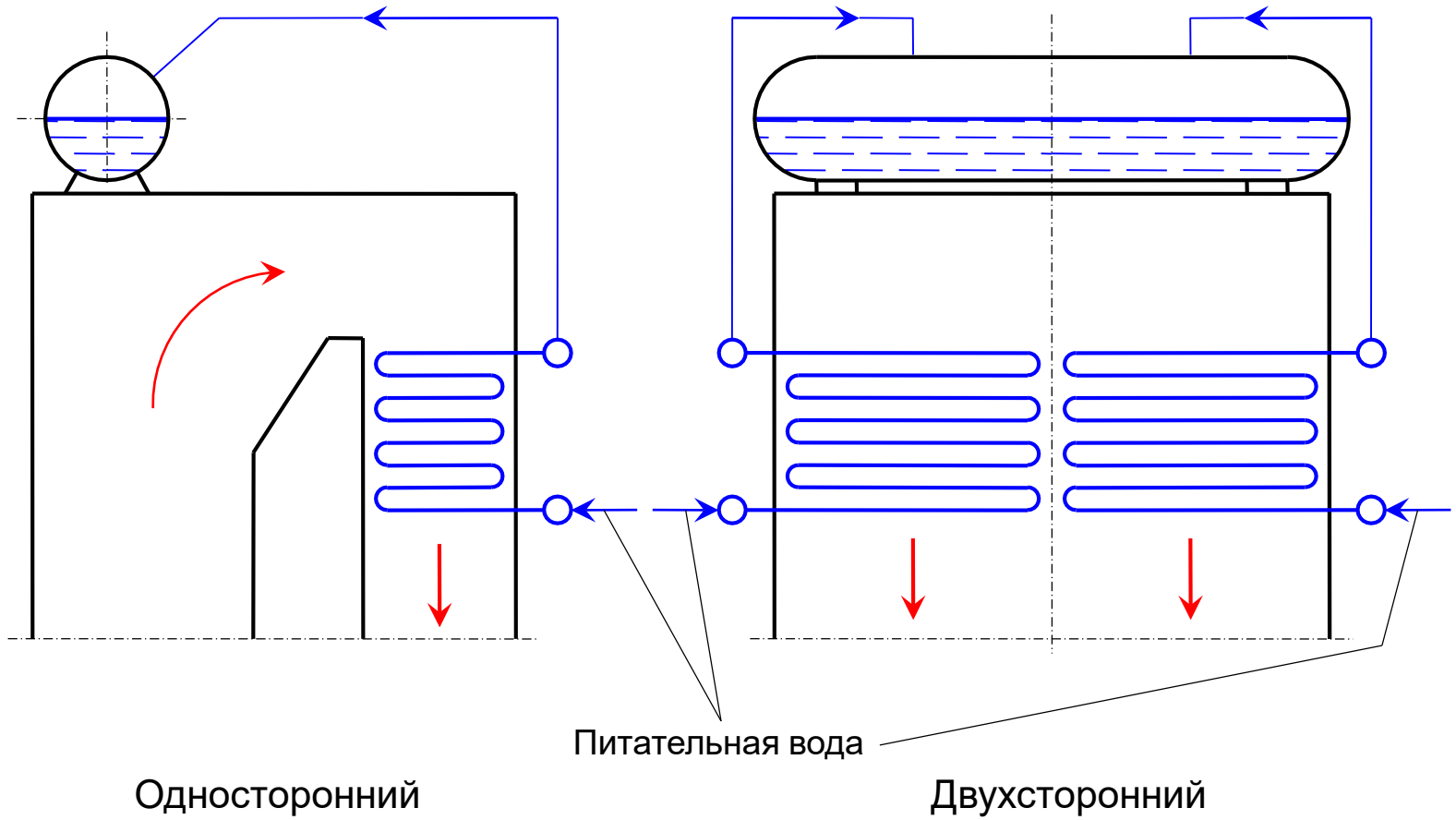
$G_{рец}$ – количество рециркулирующих газов;

G^0 – расход продуктов сгорания

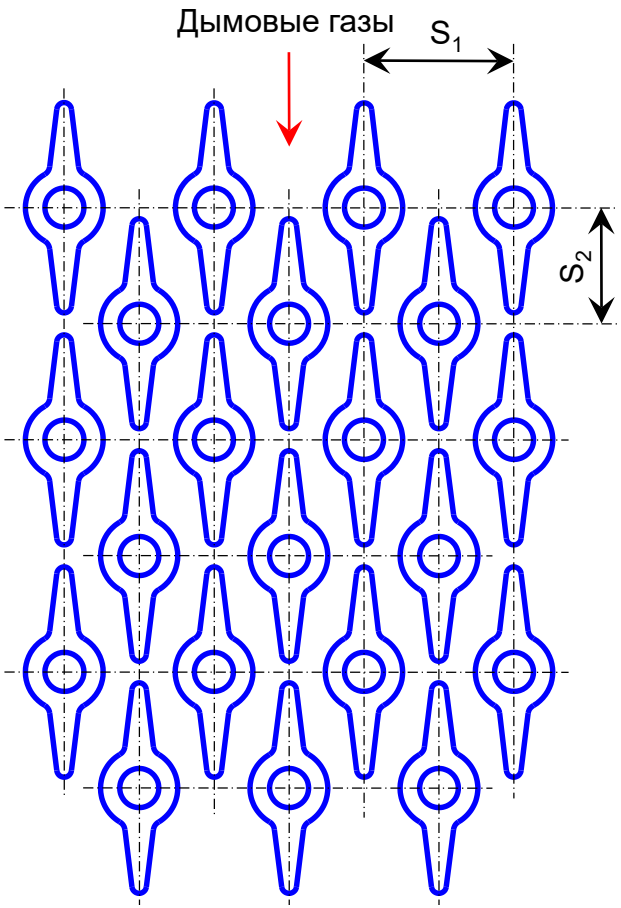


Низкотемпературные поверхности нагрева

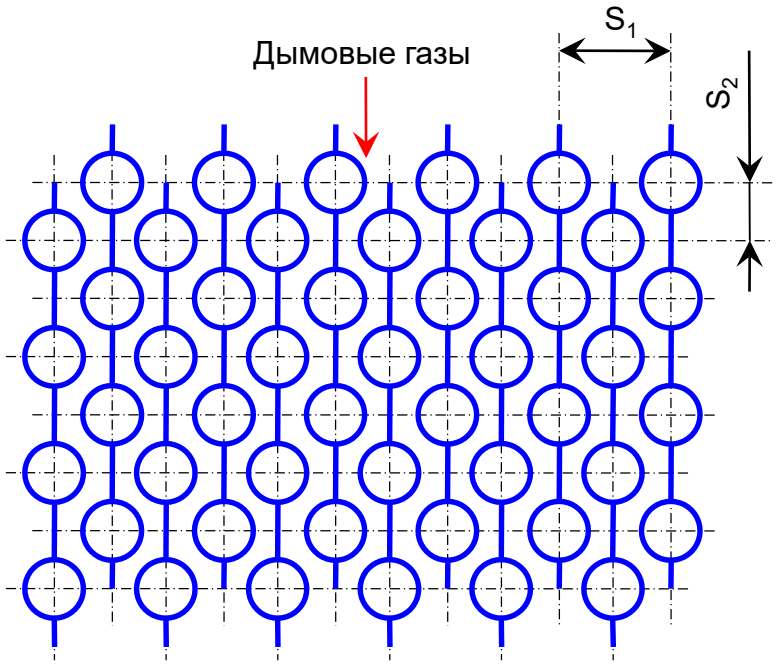
Способы подвода питательной воды в экономайзерах



Конструкции змеевиковых поверхностей



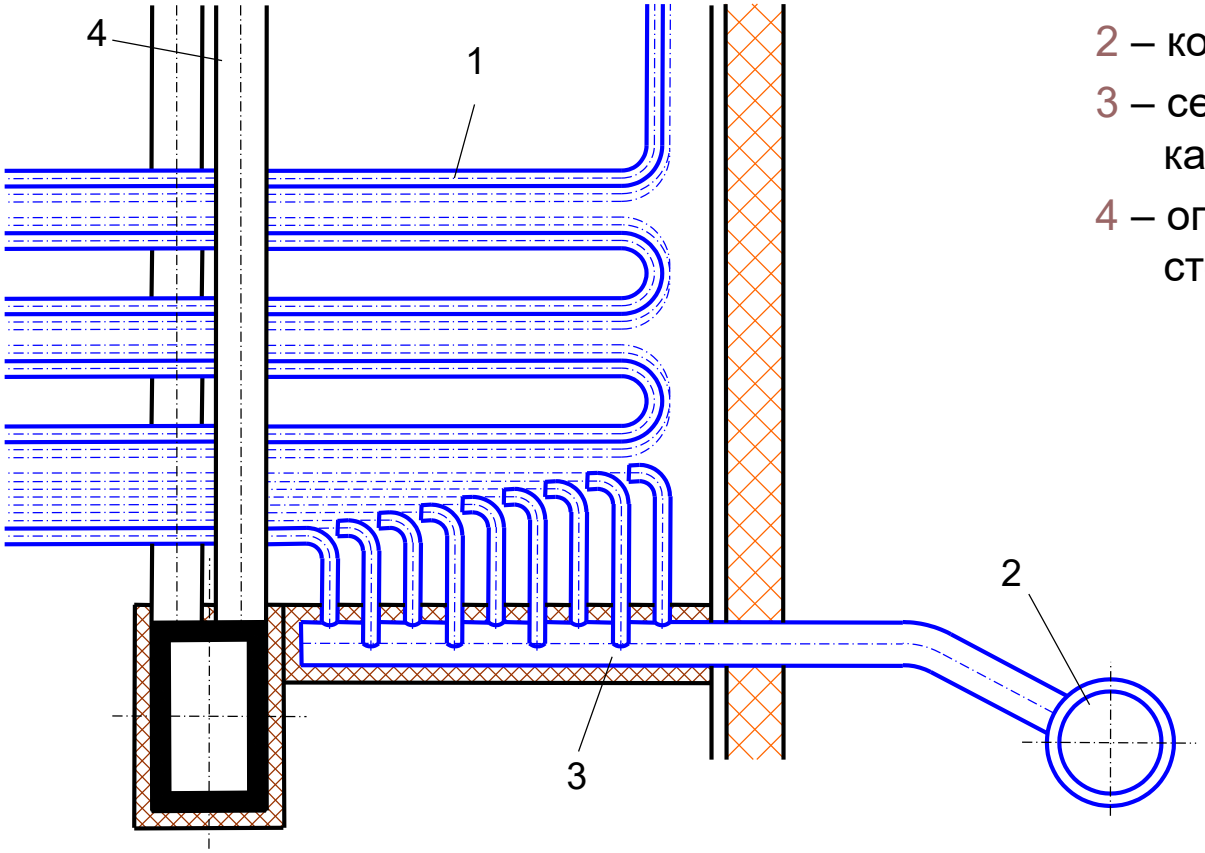
Плавниковые



Мембранные

Образование многониточных змеевиков экономайзера

с помощью секционной камеры



1 – змеевик

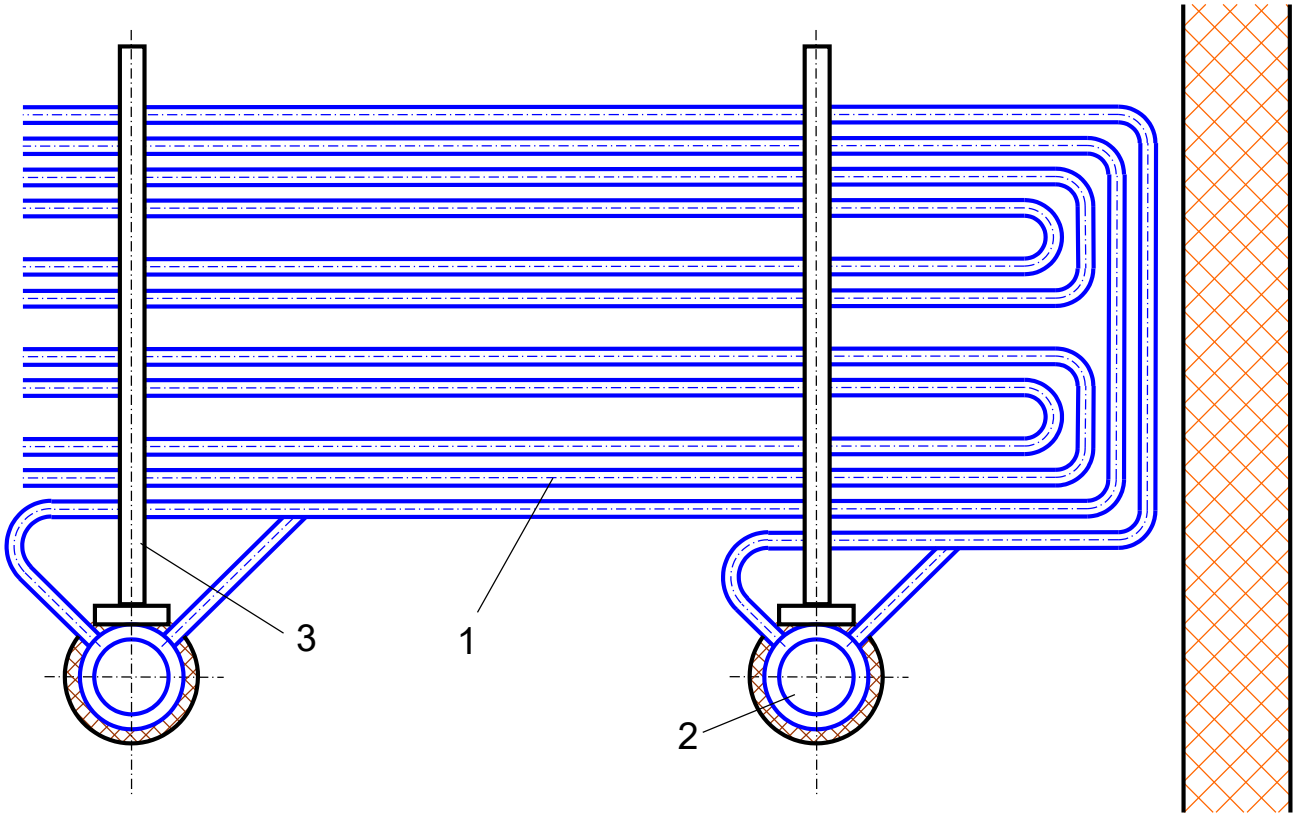
2 – коллектор

3 – секционная камера

4 – опорные стойки

Образование многониточных змеевиков экономайзера

при размещении двух коллекторов в газоходе



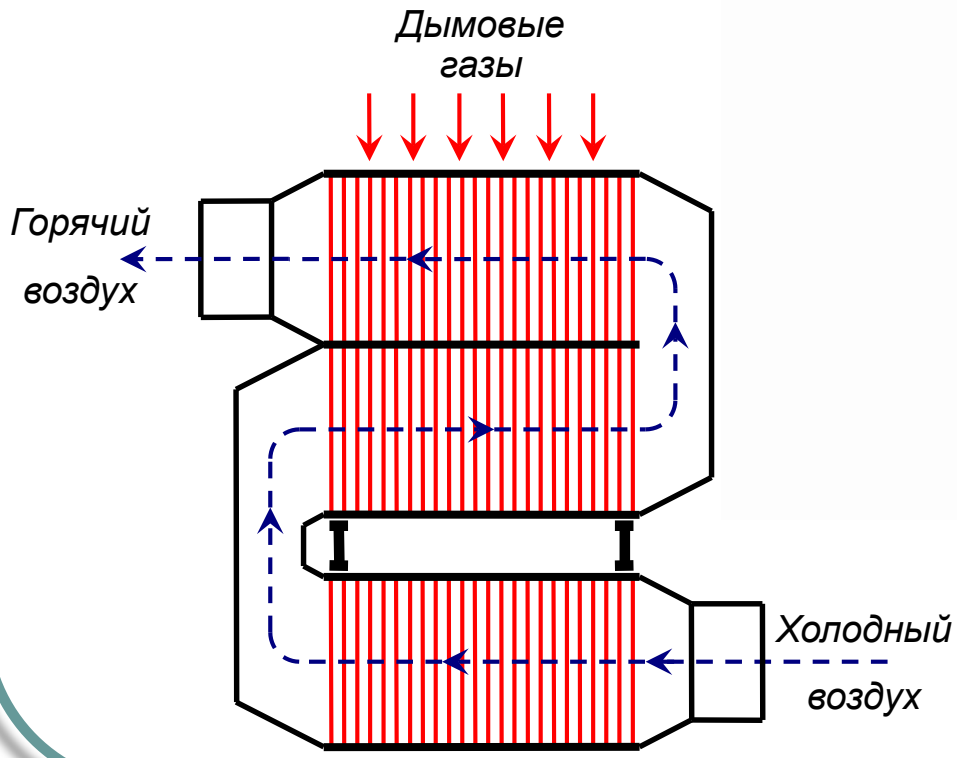
1 – змеевик

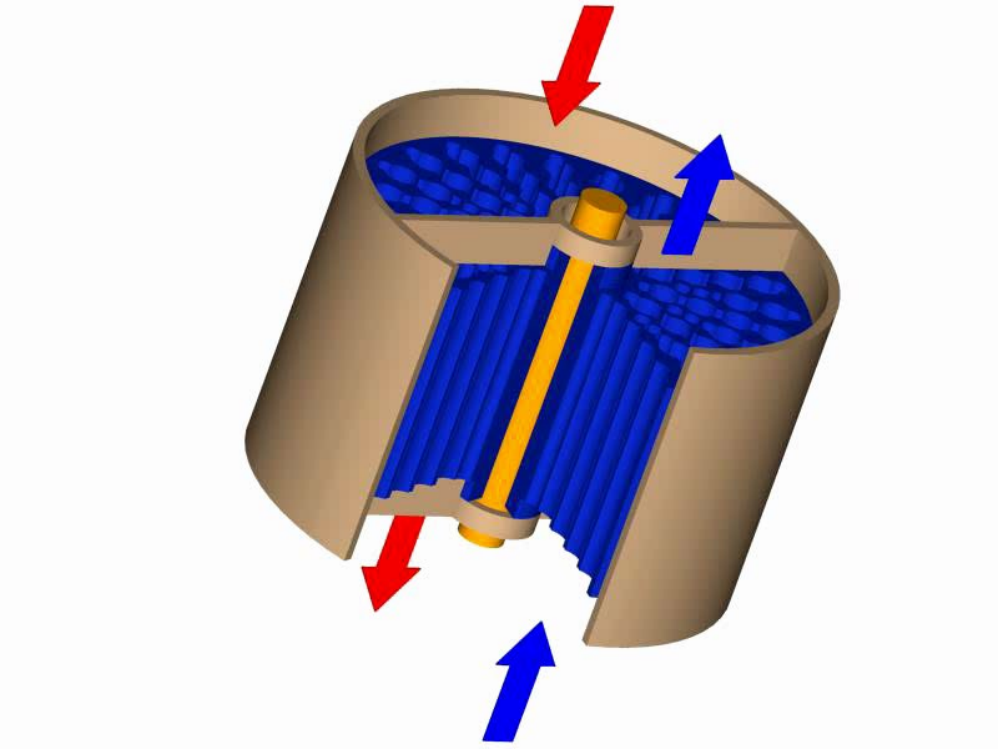
2 – коллектор

3 – опорные стойки

Типы воздухоподогревателей

Трубчатый (рекуперативный) воздухоподогреватель (ТВП)

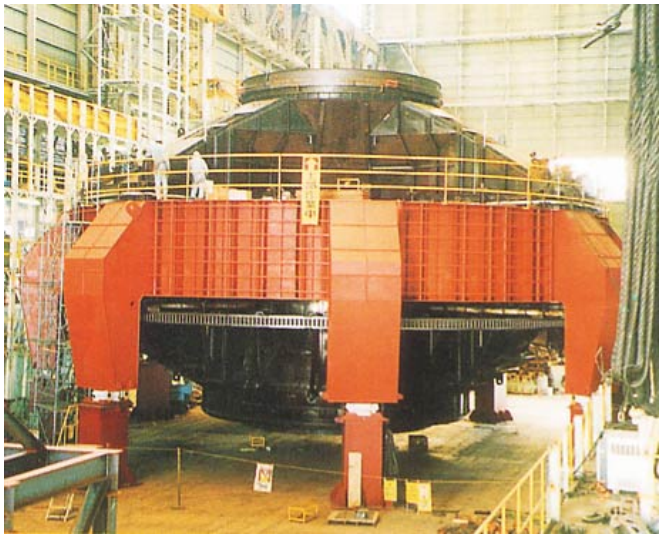




Регенеративный (вращающийся) воздухоподогреватель (РВП)

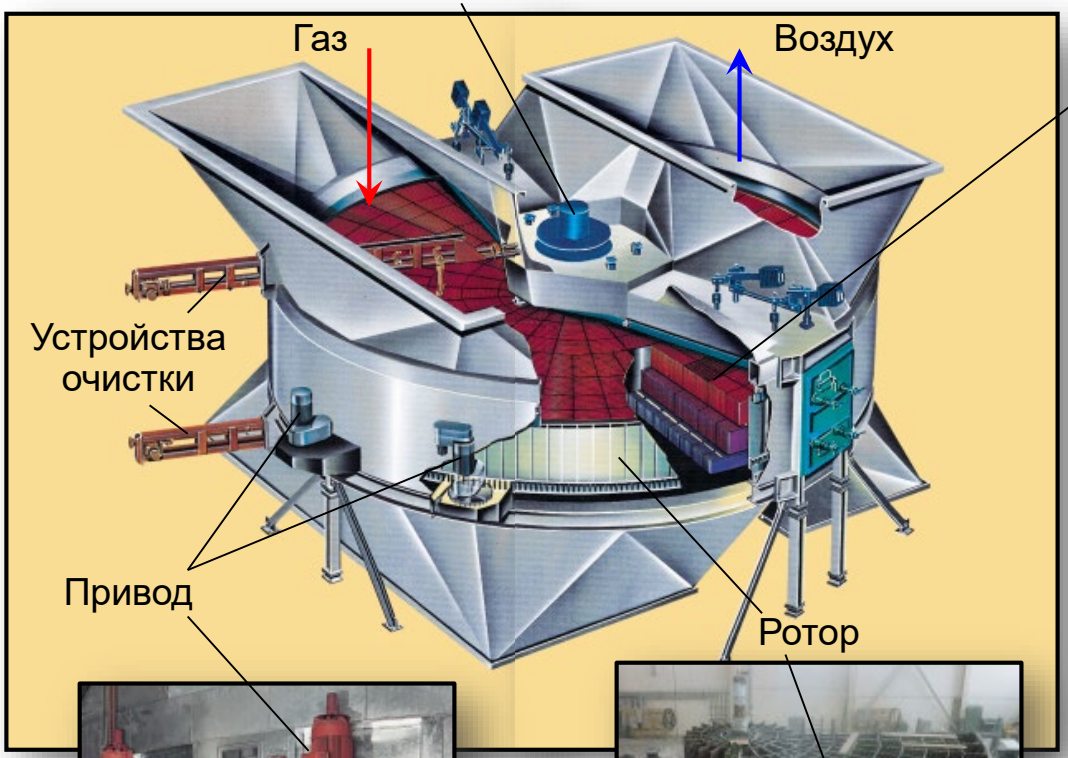
Типы воздухоподогревателей

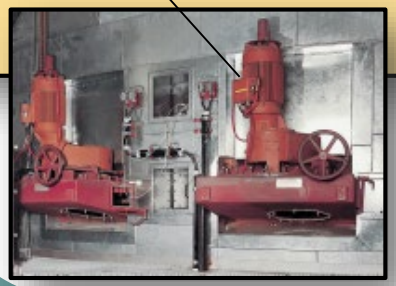
Трубчатый (рекуперативный) воздухоподогреватель (ТВП)



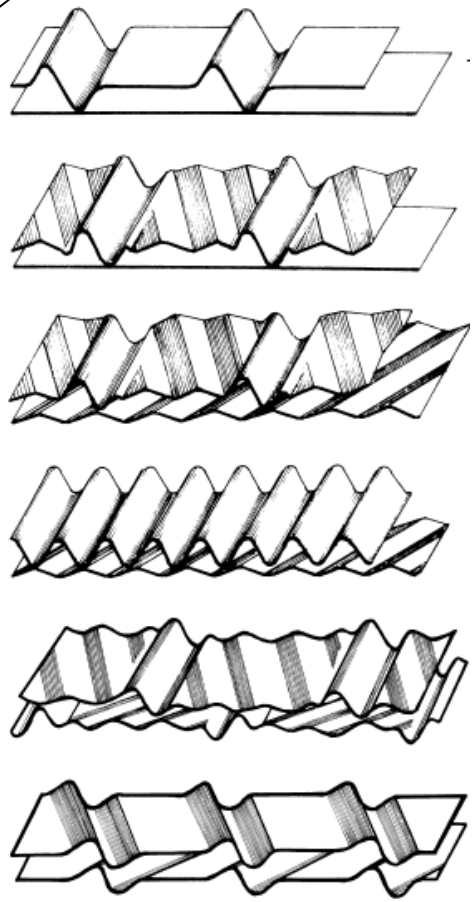
Регенеративный (вращающийся) воздухоподогреватель (РВП)

Регенеративный (вращающийся) воздухоподогреватель

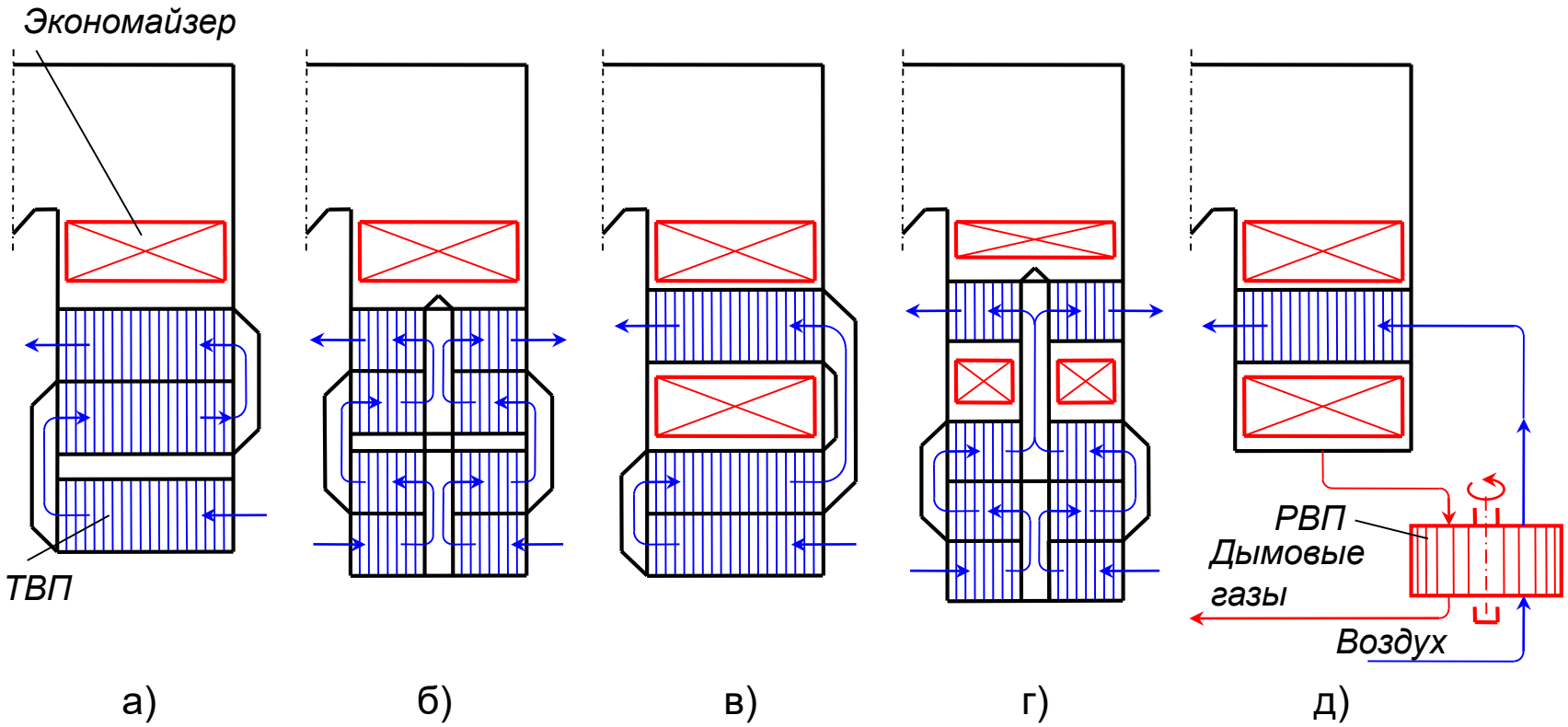




Набивка РВП

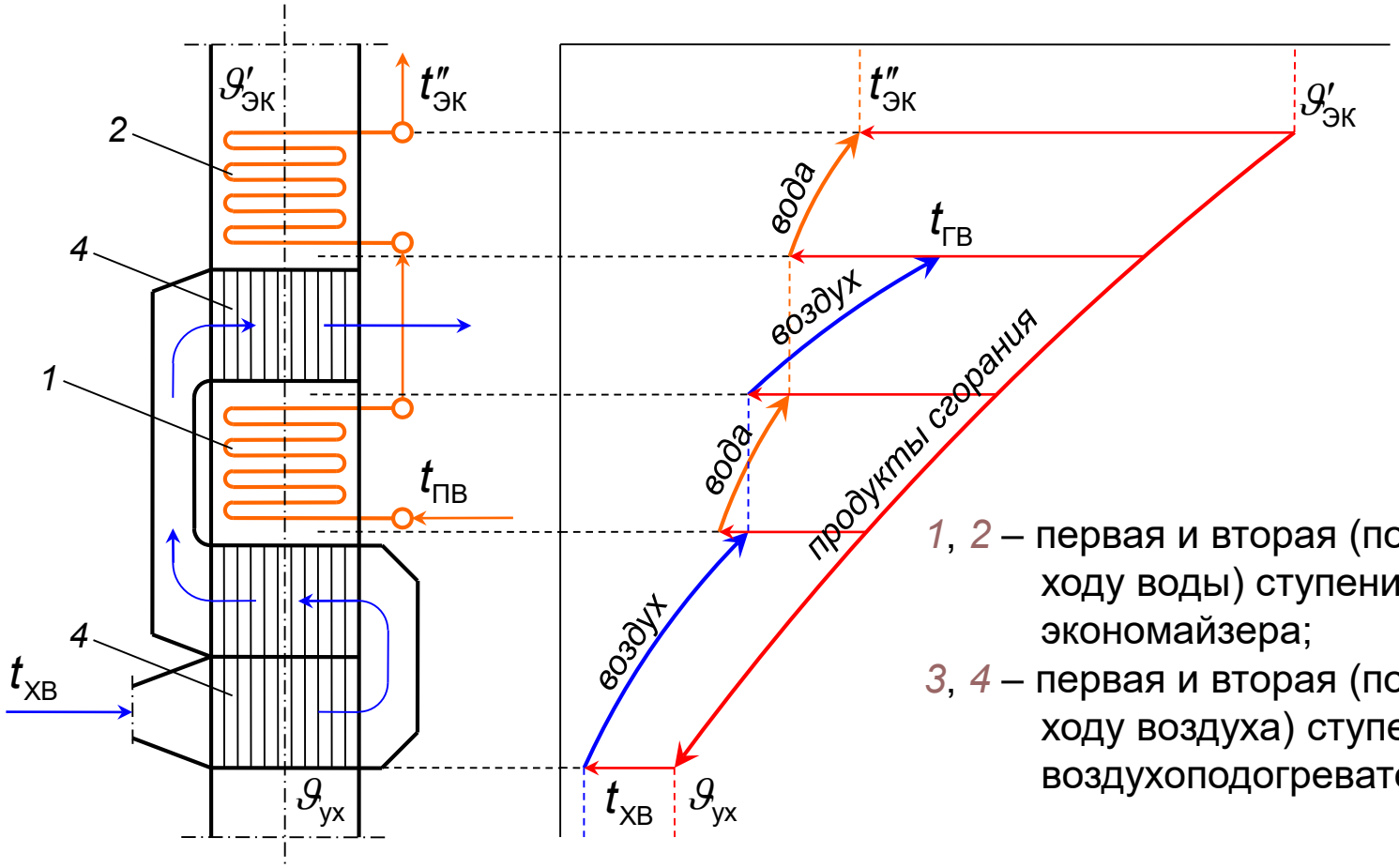


Компоновка поверхностей нагрева в конвективной шахте



а) одноступенчатая однопоточная; б) одноступенчатая двухпоточная;
в) двухступенчатая однопоточная; г) двухступенчатая двухпоточная;
д) двухступенчатая с РВП

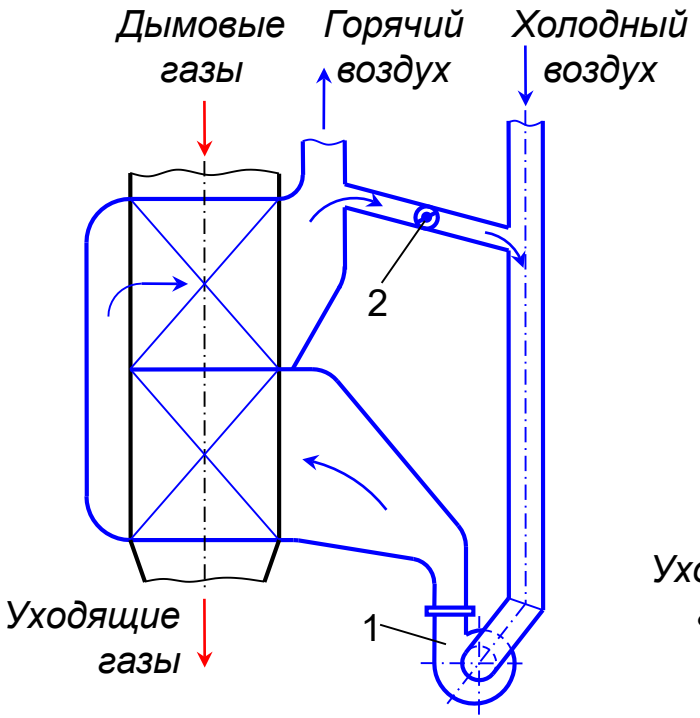
Температурные напоры при двухступенчатой компоновке ВЗП и ЭК

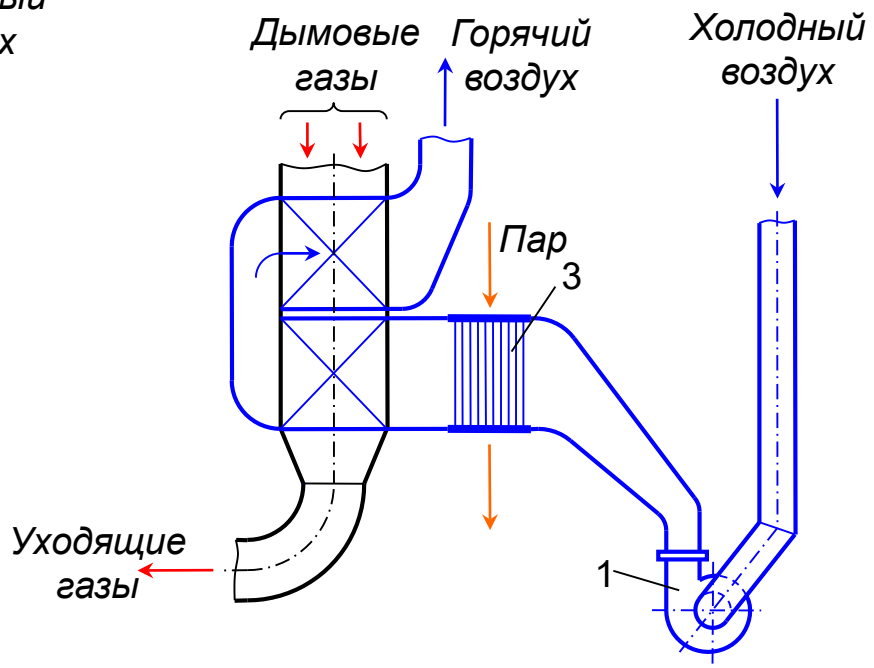


1, *2* – первая и вторая (по ходу воды) ступени экономайзера;

3, *4* – первая и вторая (по ходу воздуха) ступени воздухоподогревателя

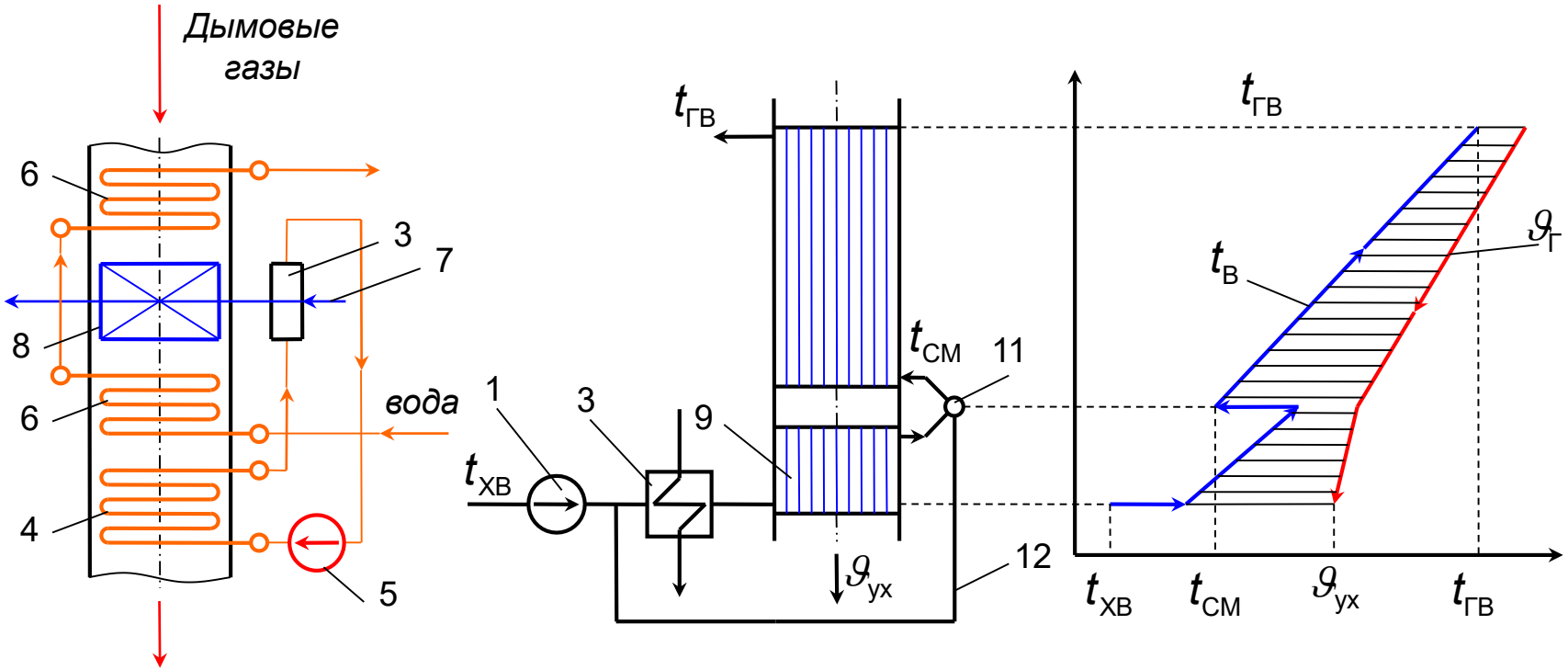
Повышение температуры холодного воздуха в воздухоподогревателе





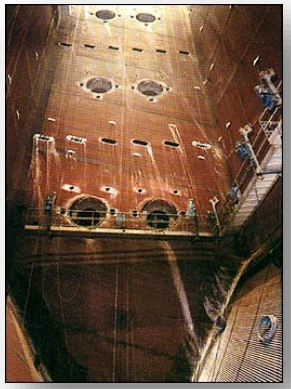
1 – дутьевой вентилятор; 2 – шибер, регулирующий рециркуляцию; 3 – калорифер; 4 – экономайзер низкого давления; 5 – циркуляционный насос; 6 – экономайзер; 7 – воздух; 8 – воздухоподогреватель; 9 – каскадная часть; 10 – основная часть; 11 – смеситель; 12 – линия байпаса

Повышение температуры холодного воздуха в воздухоподогревателе



1 – дутьевой вентилятор; 2 – шибер, регулирующий рециркуляцию; 3 – калорифер; 4 – экономайзер низкого давления; 5 – циркуляционный насос; 6 – экономайзер; 7 – воздух; 8 – воздухоподогреватель; 9 – каскадная часть; 10 – основная часть; 11 – смеситель; 12 – линия байпаса

Водно-химические режимы и чистота пара



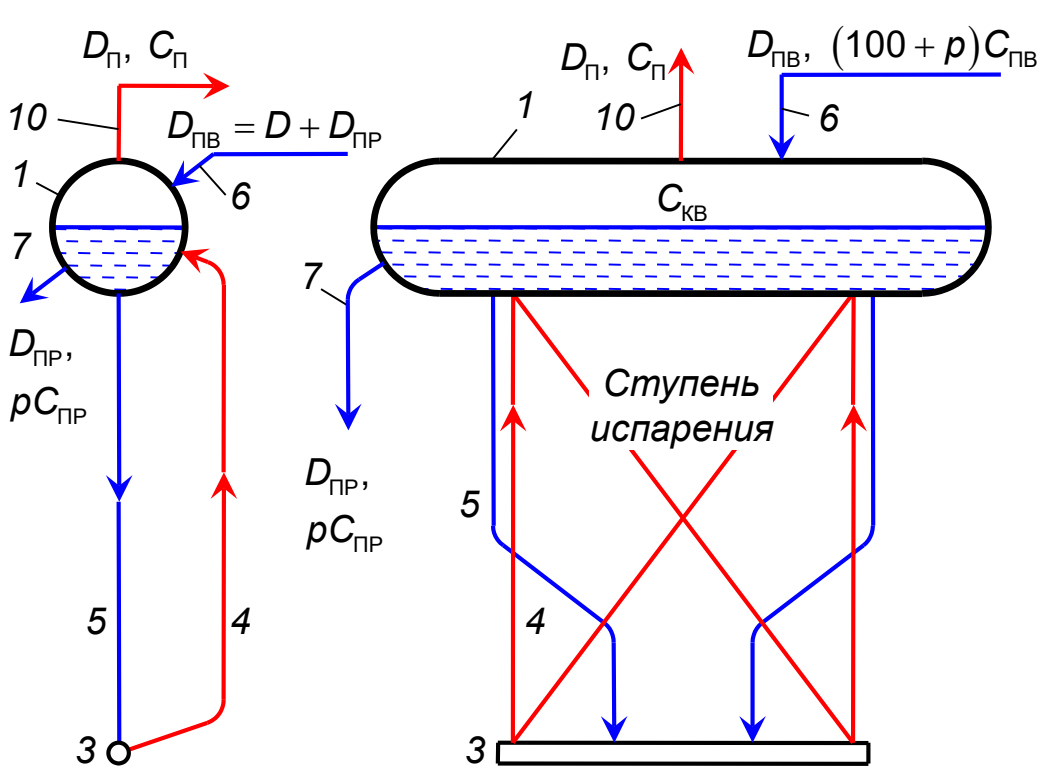
Эффективность вывода примесей

Эффективность вывода примесей достигается:

- продувкой (периодической и непрерывной), от которой зависит солесодержание котловой воды барабанных котлов;
- ступенчатым испарением, повышающим во много раз эффективность продувки котла;
- сепарацией пара от капельной влаги механическим путем;
- промывкой пара питательной водой.

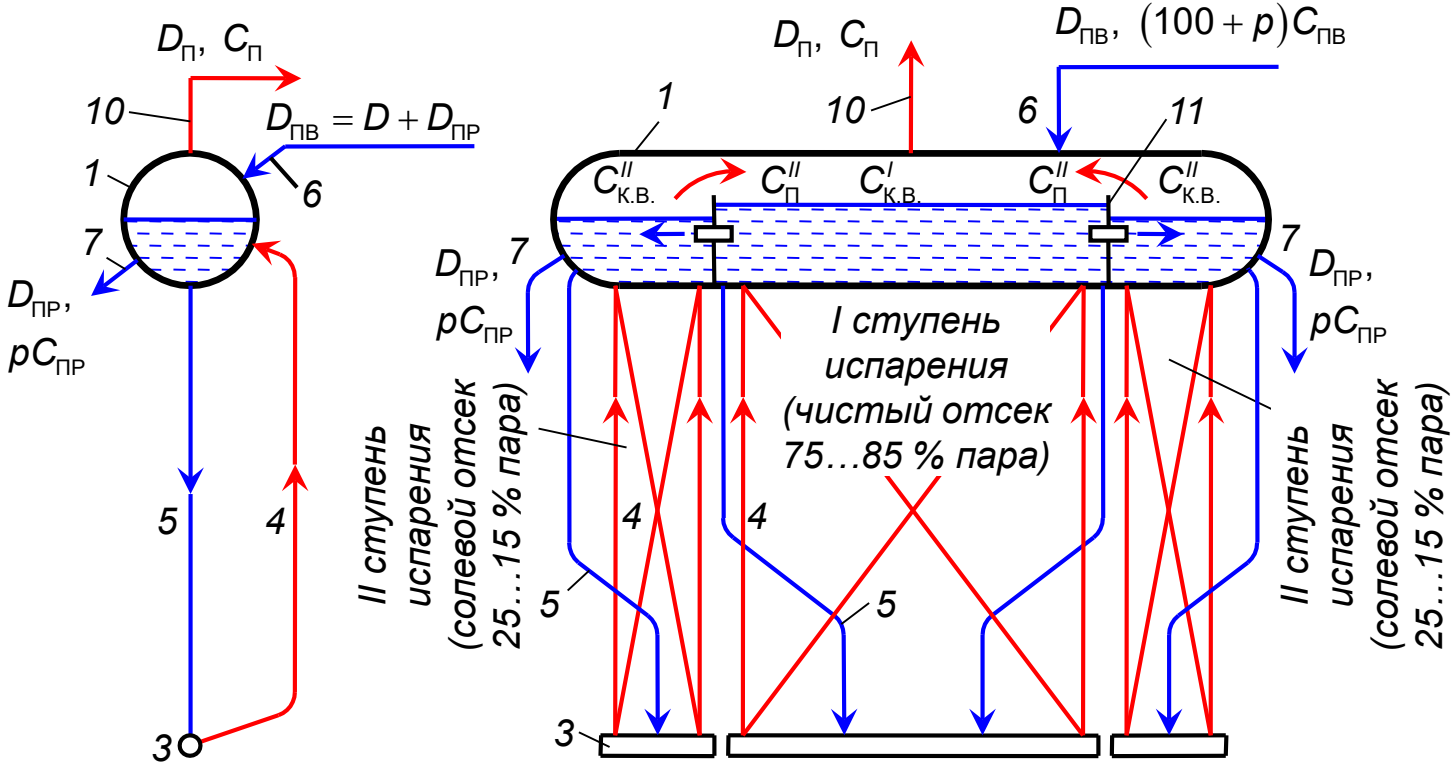
Так как продувка в большинстве прямоточных агрегатов отсутствует, единственный способ получения чистого пара заключается в повышении чистоты питательной воды. Поэтому качество пара, выдаваемого прямоточным котлом, нормируется по питательной воде

Одноступенчатая схема испарения



1 – барабан;
2 – выносной циклон;
3 – нижний коллектор циркуляционного контура;
4 – парогенерирующие трубы;
5 – опускные трубы;
6 – подвод питательной воды;
7 – отвод продувочной воды;
8 – водоперепускная труба из барабана в циклон;
9 – пароперепускная труба из циклона в барабан;
10 – пароотводящая труба из агрегата;
11 – внутрибарабанная перегородка

Двухступенчатая схема испарения с отсеками в барабане



Ступенчатое испарение

Одноступенчатое испарение

Продувка парогенератора $p = \frac{D_{ПР}}{D} = 2\%$

Солесодержание котловой воды для принятой величины продувки при $C_П \approx 0$

$$C_{К.В.} = \frac{(100+p)C_{П.В.} - 100C_П}{p} \approx \frac{100+p}{p}C_{П.В.} = \frac{100+2}{2}C_{П.В.} = 51C_{П.В.}$$

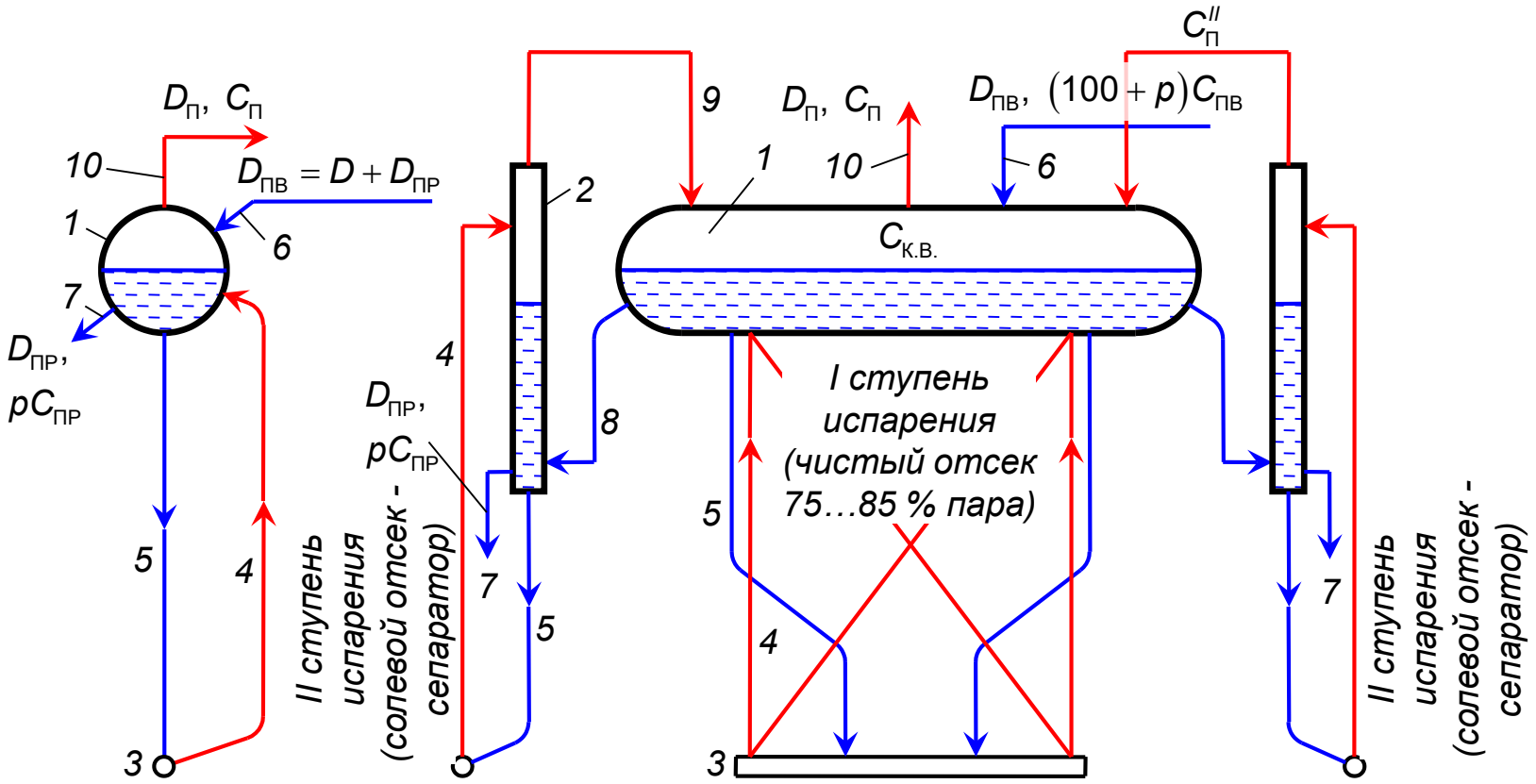
Двухступенчатое испарение

Производительности ступеней продувки $n_I = 0{,}85;\ n_{II} = 0{,}15$

Первая ступень: $$C^{I}_{К.В.} = \frac{\left[n_I + (n_{II}+p)\right]C_{П.В.}}{n_{II}+p} \approx \frac{100+p}{n_{II}+p}C_{П.В.} = \frac{100+2}{15+2}C_{П.В.} = 6C_{П.В.}$$

Вторая ступень: $$C^{II}_{К.В.} = \frac{(n_{II}+p)C^{I}_{К.В.}}{p} = \frac{(n_{II}+p)6C_{П.В.}}{p} = \frac{(15+2)6}{2}C_{П.В.} = 51C_{П.В.}$$

Двухступенчатая схема испарения с выносными циклонами



Трехступенчатая схема испарения

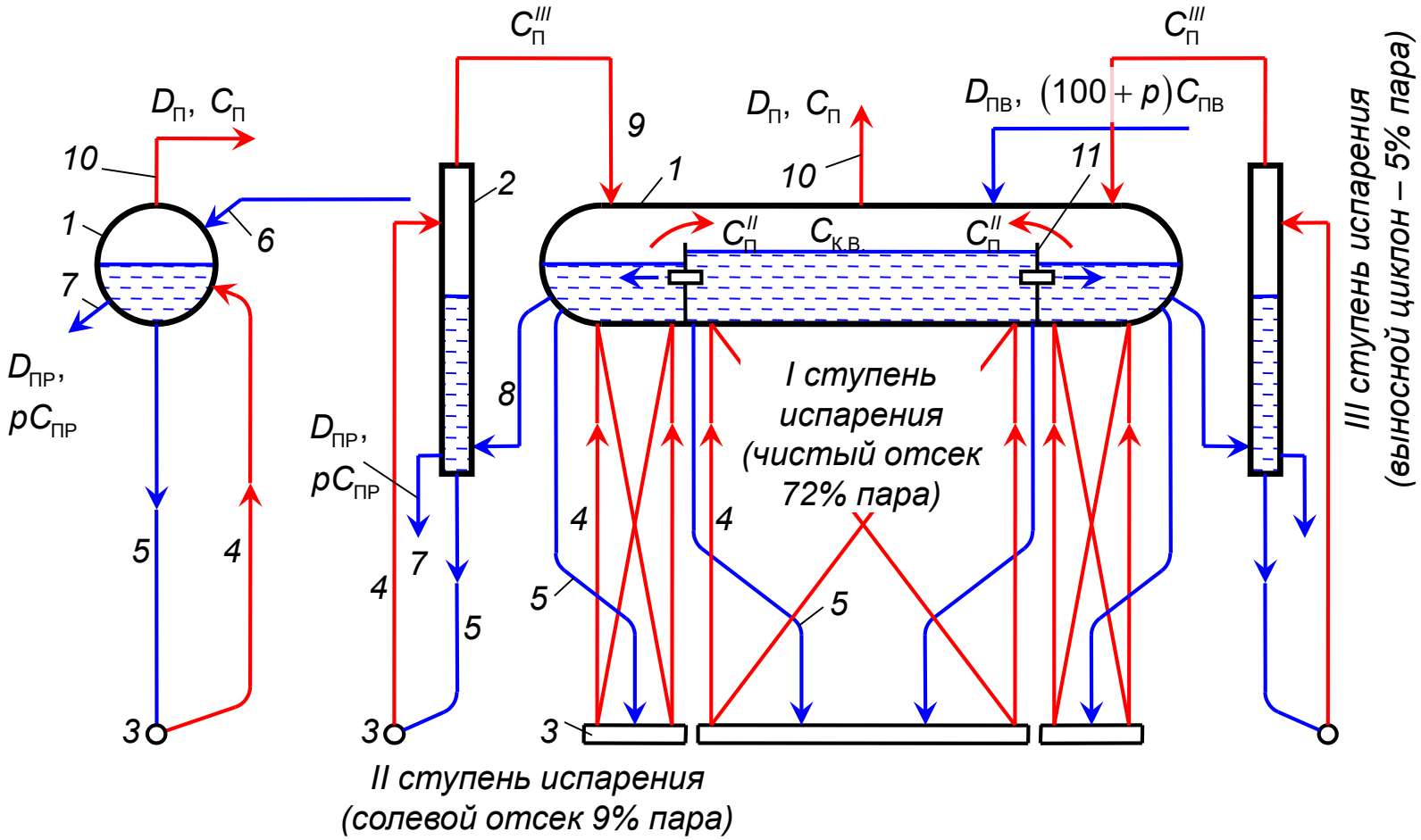
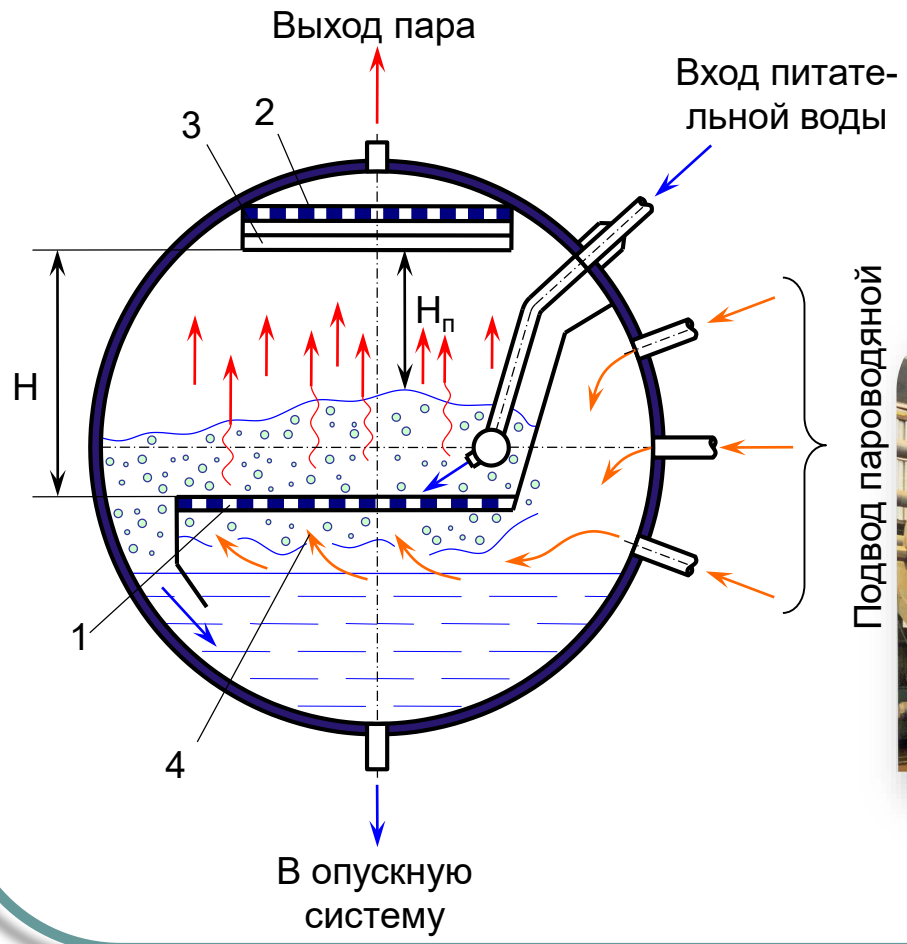


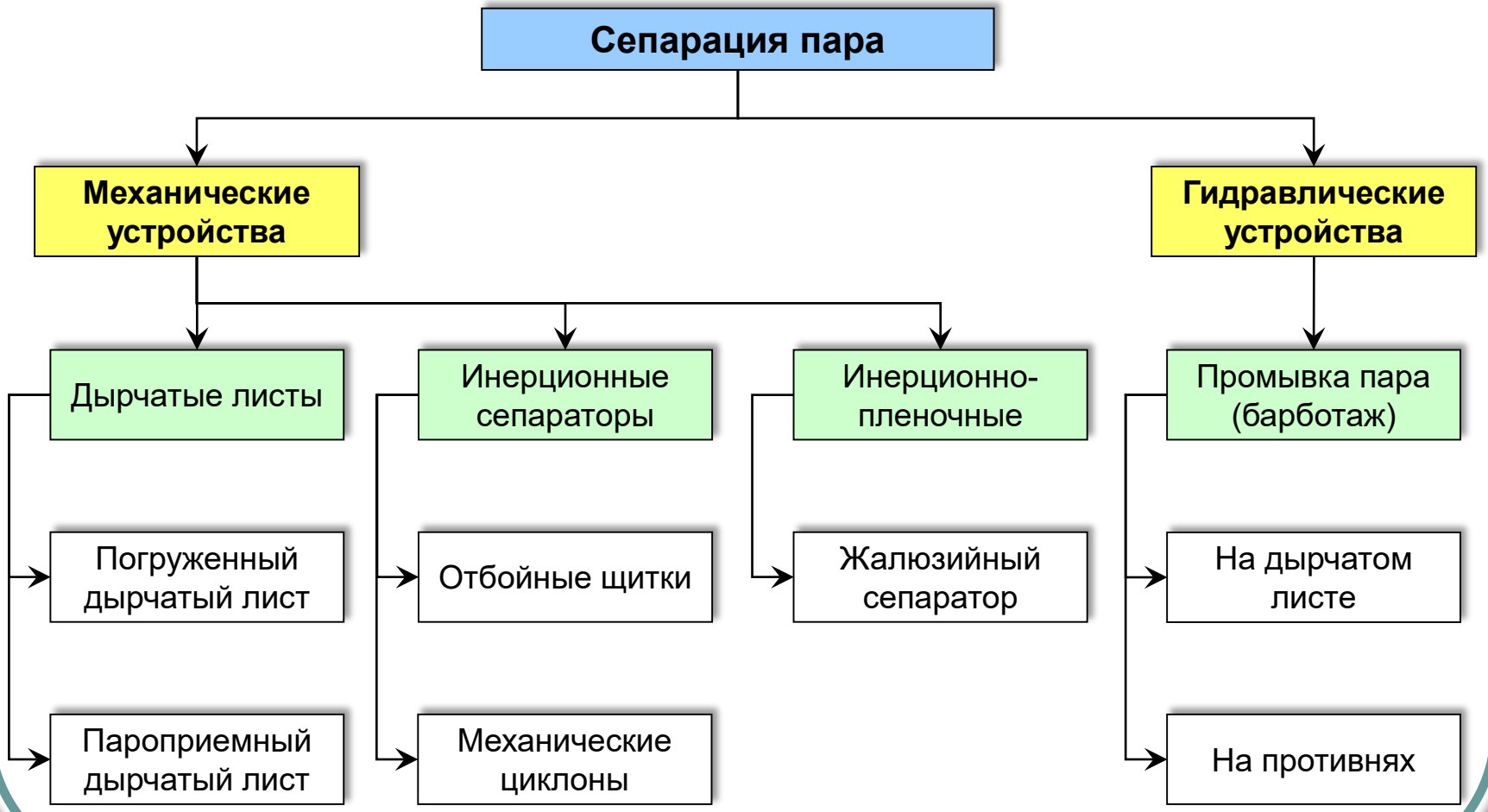
Схема паросепарационных устройств в барабане



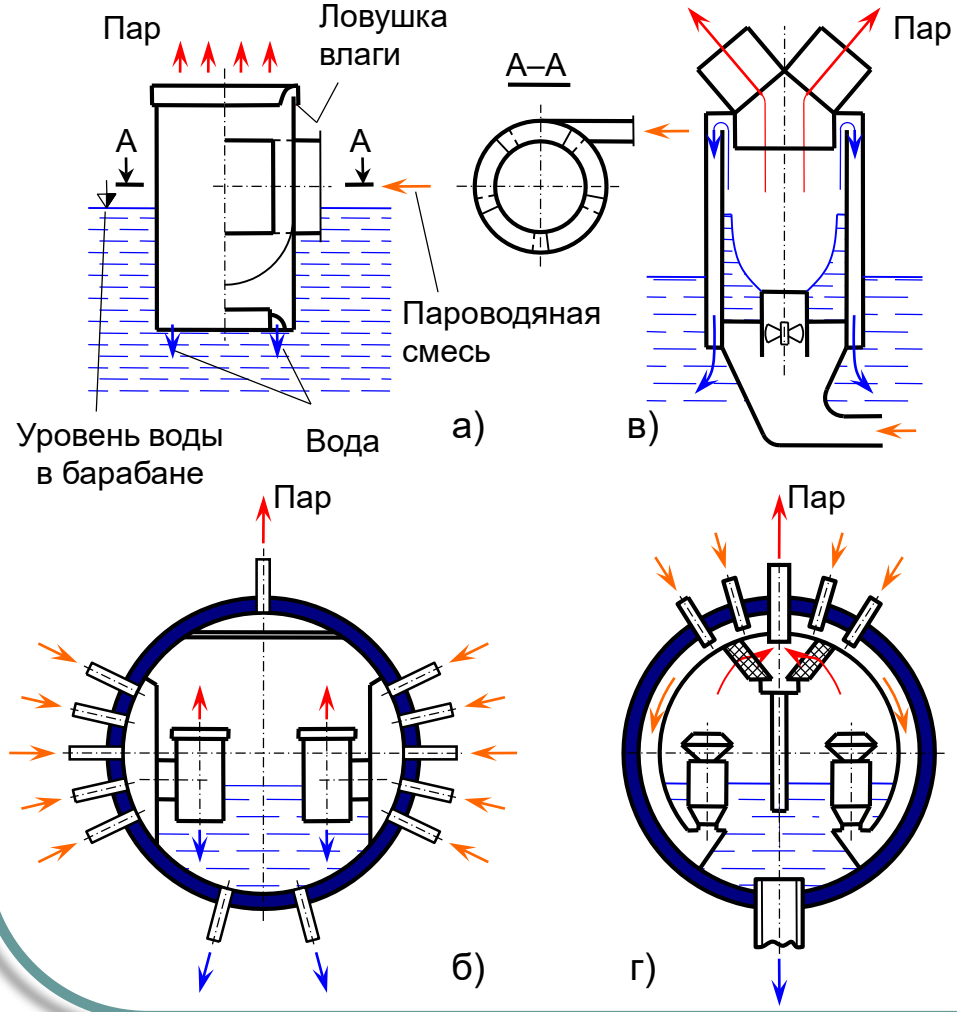
1. погруженный дырчатый лист;
2. потолочный пароприемный дырчатый лист;
3. жалюзийный сепаратор;
4. паровая подушка

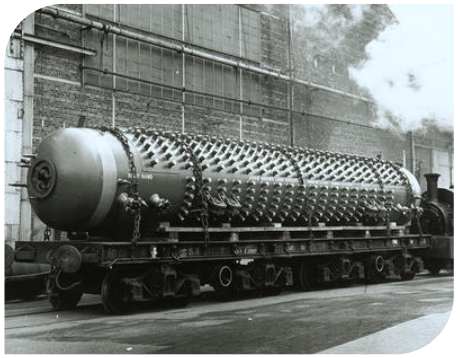
Подвод пароводяной

Схема современных паросепарационных устройств



Внутрибарабанные сепарационные циклоны





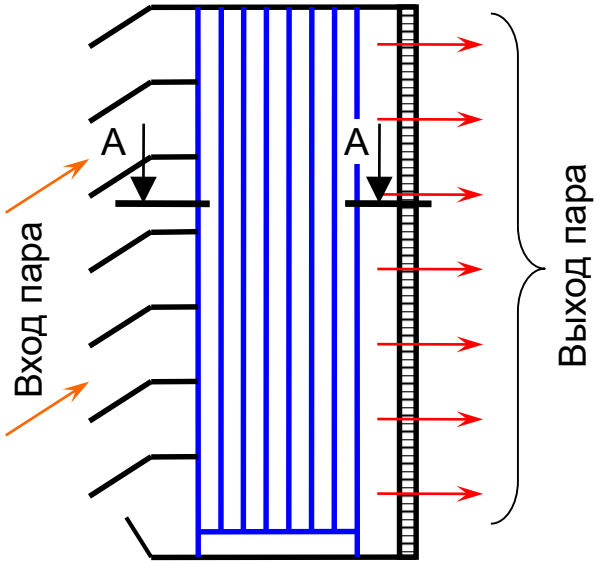
а – схема циклона с тангенциальным подводом пароводяной смеси;

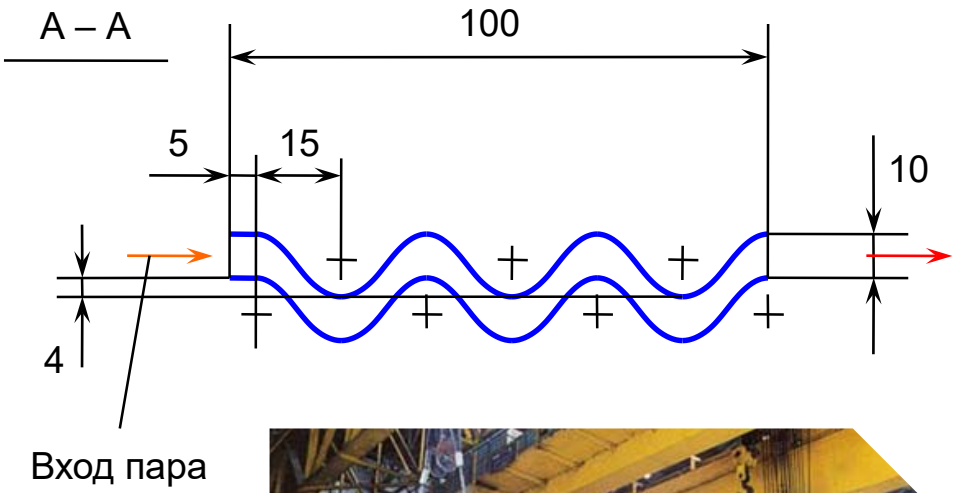
б – компоновка тангенциальных циклонов в барабане;

в – схема циклона с аксиальным подводом смеси;

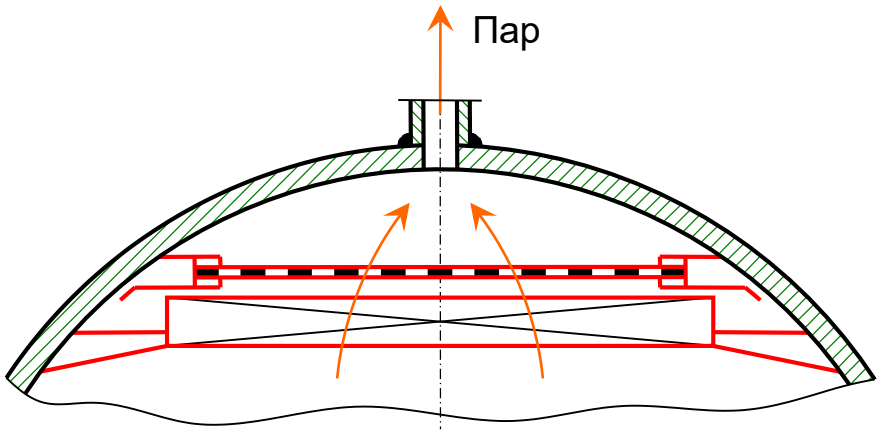
г – компоновка аксиальных циклонов в барабане

Жалюзийные сепараторы

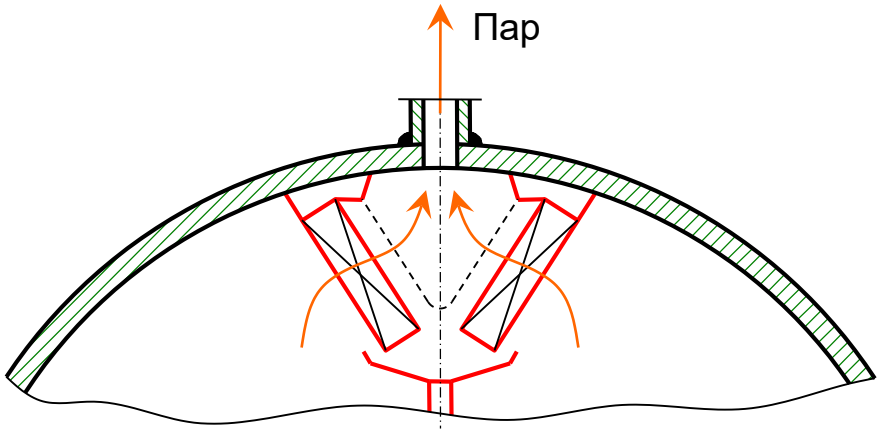




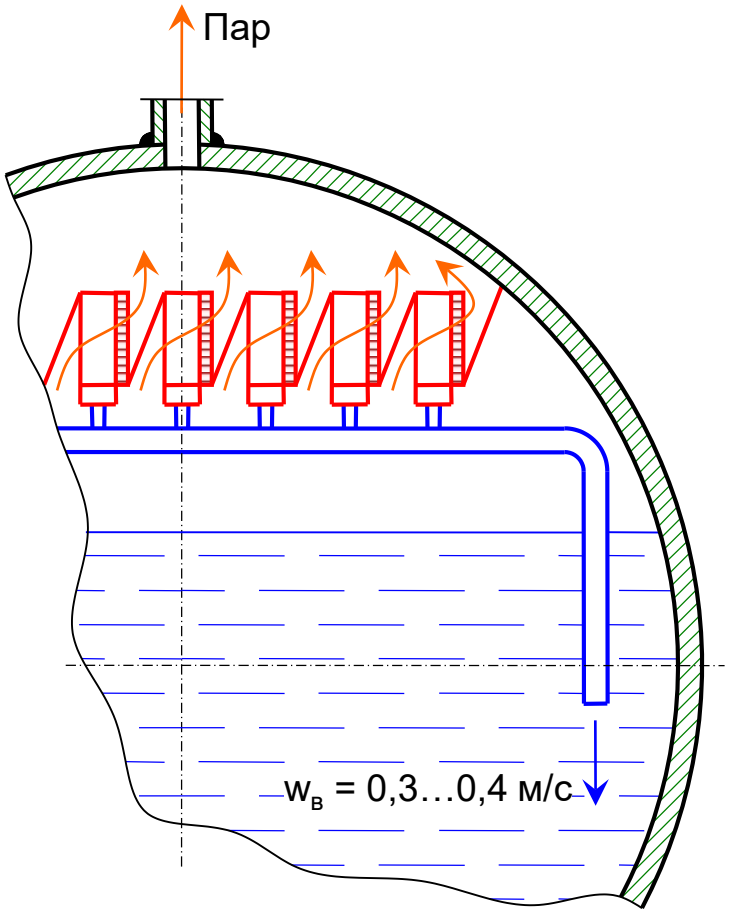
Компоновка жалюзийных сепараторов



горизонтальная

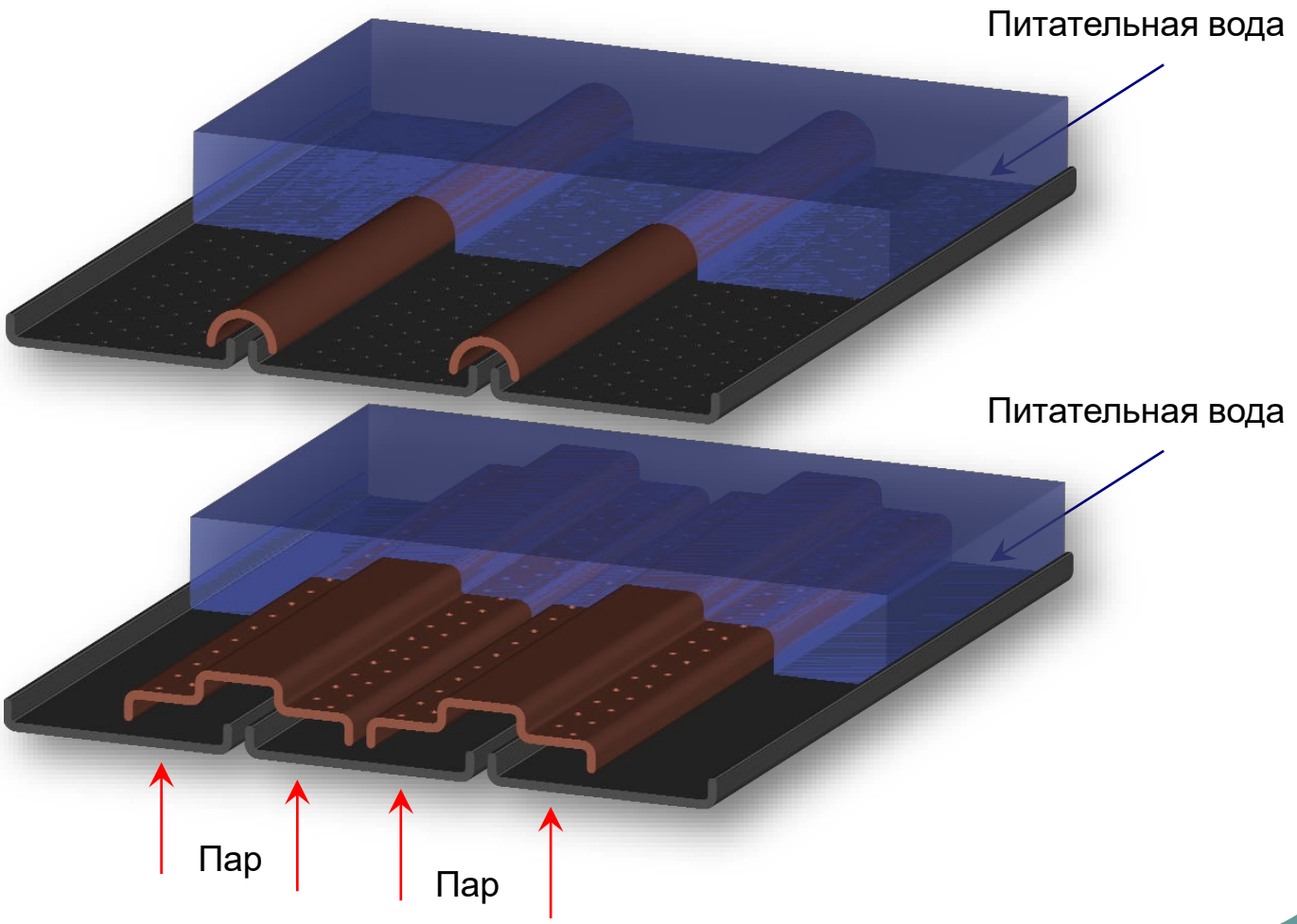


угловая

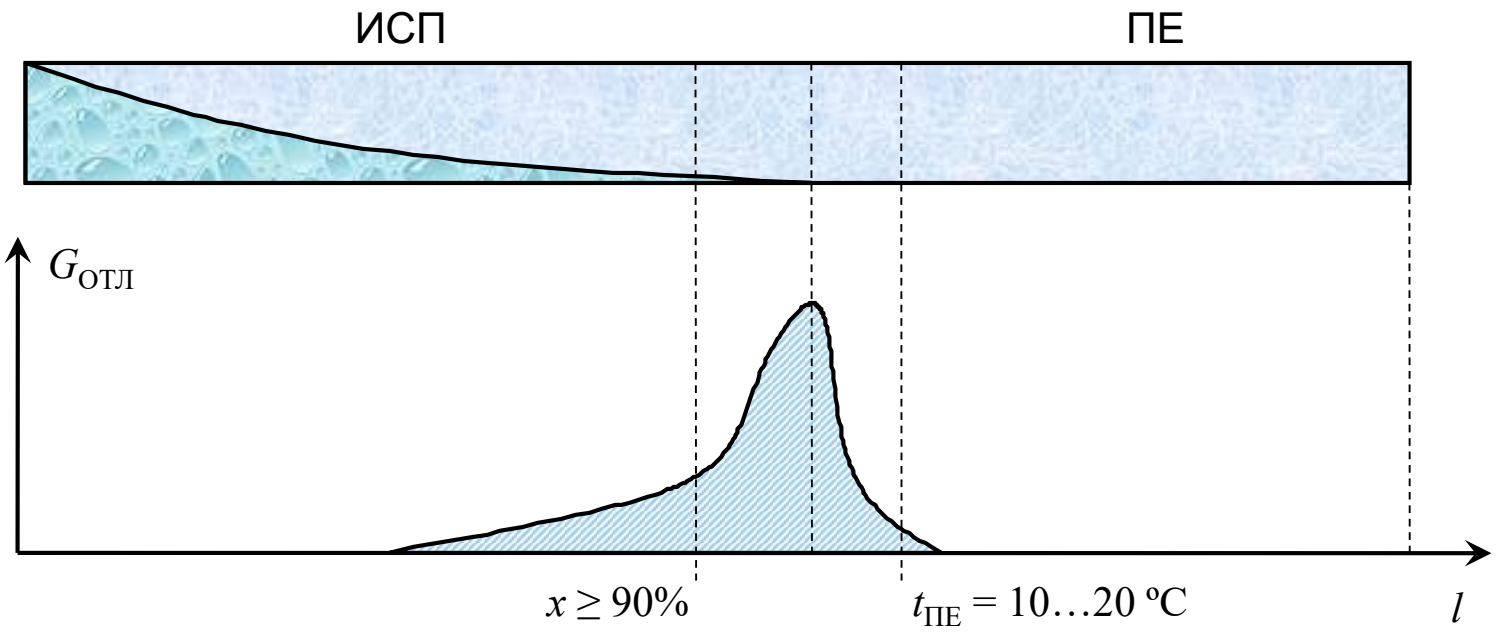


вертикальная

Промывка пара



Распределение отложений в тракте прямоточного парогенератора



- ИСП – испарительный тракт
- ПЕ – пароперегреватель

Коррозия поверхностей нагрева

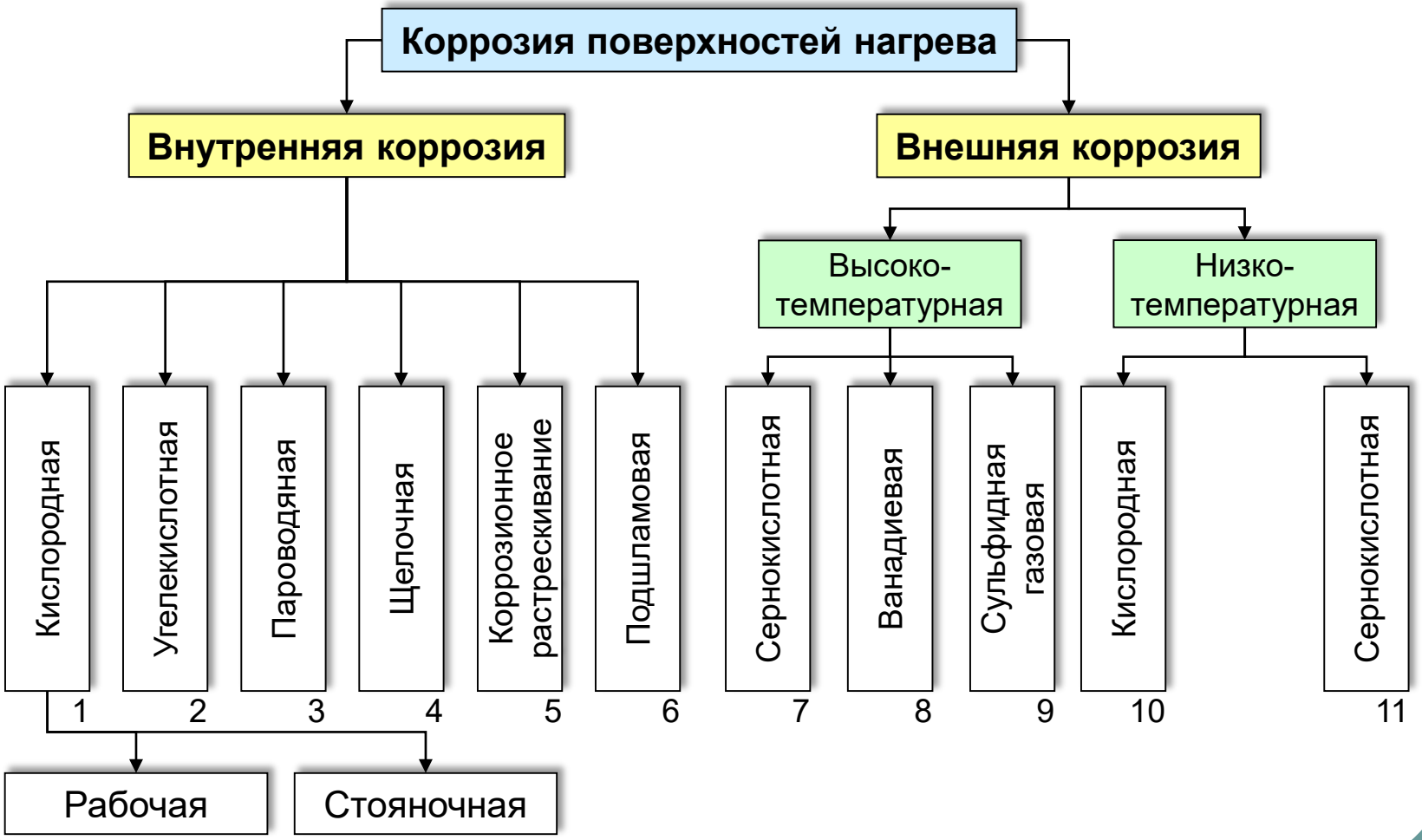
Коррозия металла

- Химическая
  - **Общая**
    - вся соприкасающаяся с агрессивной средой поверхность нагрева подвергается разъеданию, равномерно утоняясь с внутренней или наружной стороны труб
- Электрохимическая
  - **Локальная**
    - разрушение металла происходит на отдельных участках поверхности
    - Язвенная
    - Точечная
    - Межкристаллитная
    - Транскристаллитная

Коррозия поверхностей нагрева

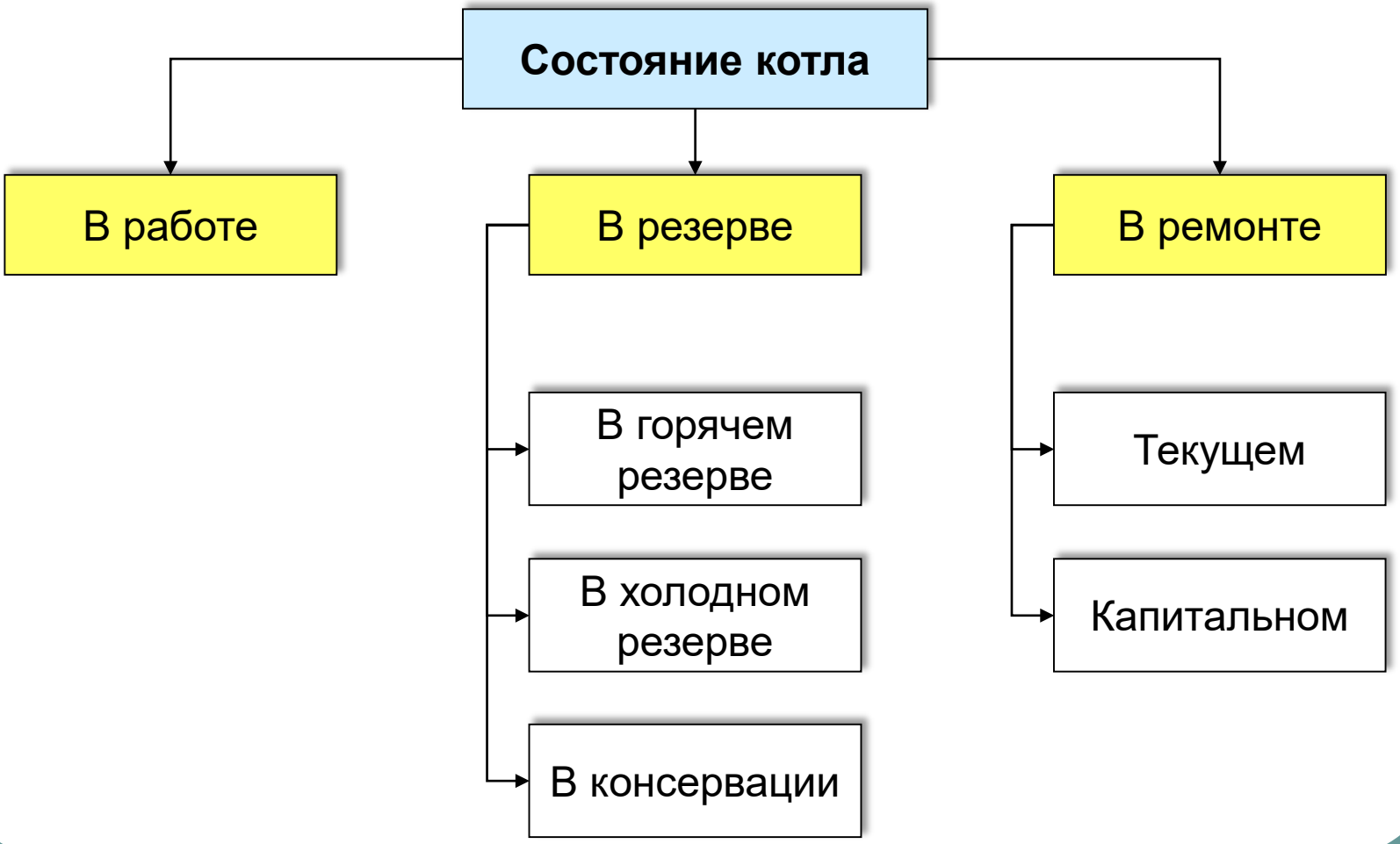
Характеристика коррозии	Скорость локальной коррозии, мм/год		Скорость общей коррозии, мм/год	
	Среднее давление	Высокое давление	Среднее давление	Высокое давление
Коррозия очень слабая	0 – 0,05	0 – 0,05	0 – 0,02	0 – 0,02
Коррозия допустимая	0,10 – 0,15	0,20 – 0,30	0,04 – 0,05	0,08 – 0,10
Коррозия сильная	0,15 – 0,60	0,30 – 1,20	0,05 – 0,20	0,10 – 0,40

Основные виды коррозии поверхностей нагрева



Эксплуатация паровых котлов

Состояние паровых котлов в эксплуатации



Состояние паровых котлов в эксплуатации

Аварийный останов производится технологическими защитами, на блочном щите управления предусмотрена соответствующая световая и звуковая сигнализация.

Котел должен быть аварийно (немедленно) остановлен и отключен в случаях:

- недопустимого отклонения уровня воды в барабане или прекращения питания прямоточного котла на срок более 30 с;
- выхода из строя водоуказательных колонок барабанного или расходомеров питательной воды прямоточного котла;
- прекращения расхода пара через промежуточный перегреватель;
- недопустимого повышения, а для прямоточного – и снижения давления в котле;
- разрыва труб пароводяного тракта;
- погасания факела, взрыва газов в топке и газоходах, загорания горючих отложений в конвективной шахте и ряда других.

Режимная карта парового котла БКЗ-420-140

Наименование показателей	Величина			
Нагрузка котла, т/ч	300	340	380	420
Температура перегретого пара, °С	540 ± 5			
Давление перегретого пара, МПа	13,7 ± 2,94			
Температура питательной воды, °С	230			
Число работающих пылесистем	3	3/4	3/4	4
Содержите кислорода за 2-ой ступенью экономайзера, %	6,3	5,4	4,7	4,3
Перепад давлений на воздухоподогревателе, Па	225	343	435	499
Вентиляция пылесистем, 10^{-3} м^3/ч	50	56/50	56/50	55
Температура азросмеси, °С	120-150			
Разрежение вверху топки, Па	4,9			

Режимная карта парового котла БКЗ-420-140

Наименование показателей	Величина			
Нагрузка котла, т/ч	300	340	380	420
Температура уходящих газов, °С	148	152	154	156
Температура воздуха перед воздухоподогревателем,°С	55			
Степень открытия шиберов вторичного воздуха, %	75	75/70	75/70	75
Давление воды на орошение скрубберов, Па	0,0069-0,0980			
Давление воды на орошение труб Вентури, Па	0,343-0,392			
Расход воды на орошение труб Вентури, т/ч	140-150			
Температура газов за скрубберами, °С	70-80			