

ПРИМЕСИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В ТРАКТЕ ПАРОВОГО КОТЛА

ЛЕКЦИЯ 6-2

ЧТО ЭТО?

Питательная вода, поступающая в паровой котел, представляет собой раствор в виде различных веществ неорганического и органического характера:

- катионы Na, Ca, Mg
- анионы Cl^- , SO_4^{2-} , SiO_3^{2-} , OH^- , CO_3^{2-} и другие
- продукты коррозии конструкционных материалов (оксиды Fe, Cu, Cl, Ni, Zn, Co, Al)
- летучие примеси O_2 , CO_2 , NH_3 , H_2 , N_2
- взвешенные частицы различной дисперсности

ПУТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ПАРОВОДЯНОЙ ТРАКТ ТЭС

1) С присосами охлаждающей воды в конденсаторе

- а) соли: хлориды, сульфаты, карбонаты, бикарбонаты кальция, магния, натрия и др.;
- б) коллоидные примеси: кремнекислота, органические соединения;
- в) взвешенные вещества;
- г) газы: O_2 , CO_2 , N_2 и др.

2) С присосами в сетевых подогревателях

3) С добавочной водой

4) **Продукты коррозии** конденсатного тракта, тракта питательной воды, сетевой воды, добавочной воды и т. д. (оксиды железа, меди, кобальта, никеля, цинка и других металлов, входящих в состав сталей, сплавов)

5) Искусственно вводимые добавки для коррекции водно-химического режима – в зависимости от ВХР

НОРМИРУЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ КОТЛОВ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Нормируемый показатель	Номинальное давление, МПа		
	3,9	9,8	13,8
Общая жесткость, мкг-экв/дм ³ , для котлов:			
на жидком топливе	≤ 5	≤ 1	≤ 1
на других видах топлива	≤ 10	≤ 3	≤ 1
Содержание соединений железа, мкг/дм ³ , для котлов:			
на жидком топливе	≤ 50	≤ 20	≤ 20
на других видах топлива	≤ 100	≤ 30	≤ 20
Содержание соединений меди в воде перед деаэратором, мкг/дм ³ , для котлов			
на жидком топливе		≤ 5	≤ 5
на других видах топлива	≤ 10	5	5
Содержание растворенного кислорода в воде мкг/дм ³	≤ 20	≤ 10	≤ 10
Содержание нефтепродуктов, мг/дм ³	≤ 0,5	≤ 0,3	≤ 0,3
рН	8,5–9,5	9,1±0,1	9,1±0,1
Содержание кремниевой кислоты, мкг/дм ³			
для ГРЭС и отопительных ТЭЦ			≤ 30
для ТЭЦ с производственным отбором пара			≤ 60
Концентрация нитратов и нитритов, мкг/дм ³			≤ 20
Концентрация ионов натрия, мкг/дм ³			≤ 50
Удельная электропроводность Н-катионированной пробы, мкСм/см			≤ 1,5

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА РАБОТУ ОБОРУДОВАНИЯ

Коррозионные процессы в водопаровом тракте -

увеличивают концентрацию примесей в воде

- снижают механическую прочность металла
- ведут к растрескиванию металла

Отложение примесей на внутренней поверхности обогреваемых труб в паровом котле

- увеличивают температуру стенки вплоть до разрушения,

- снижают коэффициент теплопередачи

- повышают температуру уходящих газов по тракту

котла

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА РАБОТУ ОБОРУДОВАНИЯ

Отложения примесей в проточной части турбины

- увеличивается шероховатость проточной части турбины
- увеличивается коэффициент сопротивления трения и скорость пара за счет сужения проходного сечения
- увеличивается перепад давления на ступенях турбины и осевой сдвиг ротора
- лопатки турбины, находящиеся в зоне конденсации водяных паров, подвержены коррозионному растрескиванию

Приходится уменьшать расход пара на турбину и ее мощность

УДАЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ПАРОВОДЯНОГО ЦИКЛА

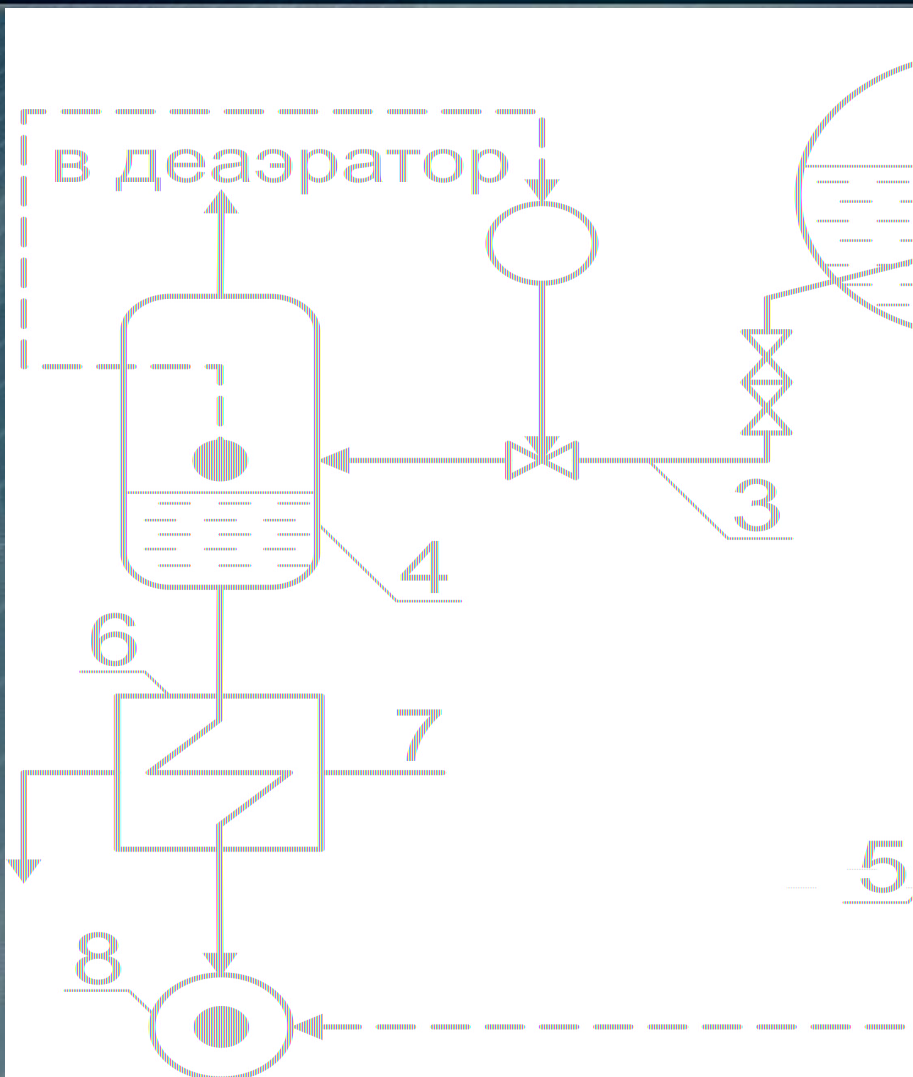
1. уменьшение присосов охлаждающей воды в конденсаторе и сетевой воды в сетевых подогревателях;
2. **уменьшение количества добавочной воды и улучшения ее качества;**
3. снижение интенсивности коррозионных процессов во всем пароводяном тракте;
4. внедрение БОУ (для блоков СКД);
5. **организация непрерывной и периодической продувки (для барабанных котлов);**
6. летучие примеси удаляются в деаэраторе и конденсаторе

НЕПРЕРЫВНАЯ И ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ПРОДУВКА

Непрерывная продувка производится из солевых отсеков барабана котла (выносных циклонов). Для уменьшения потерь теплоты продувочная вода направляется на две ступени расширителей (сепараторов) непрерывной продувки.

Периодическая продувка служит для удаления шлама из нижних коллекторов и производится 1–2 раза в смену поочередно в течение не более 30 секунд

НЕПРЕРЫВНАЯ И ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ПРОДУВКА



- 1 – барабан;
- 2 – заборные точки непрерывной продувки;
- 3 – линия непрерывной продувки;
- 4 – расширитель непрерывной продувки;
- 5 – линия периодической продувки;
- 6 – поверхностный теплообменник;
- 7 – теплоиспользующая вода;
- 8 – дренаж охлажденной продувочной воды

$$p = \frac{D_{пр}}{D} 100$$

НЕПРЕРЫВНАЯ И ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ПРОДУВКА

- С увеличением продувки:**
- снижается тепловая экономичность работы парового котла
 - уменьшается концентрация солей в пароводяном тракте котла
 - уменьшается концентрация солей в свежем паре
 - снижаются затраты на ВПУ

ВОДОПОДГОТОВКА

Для восполнения утечек в пароводяном цикле ТЭС применяется

**Химическое
обессоливание**

**Термическое
обессоливание**

ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

Сырая (техническая) вода из реки



Предочистка
(удаление механических примесей)



Ионный обмен
(удаление солей)



Деаэрация
(удаление коррозионно активных газов)

ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

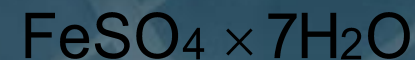
Предочистка:

- 1.осаждение;
- 2.коагуляция;
- 3.фильтрация

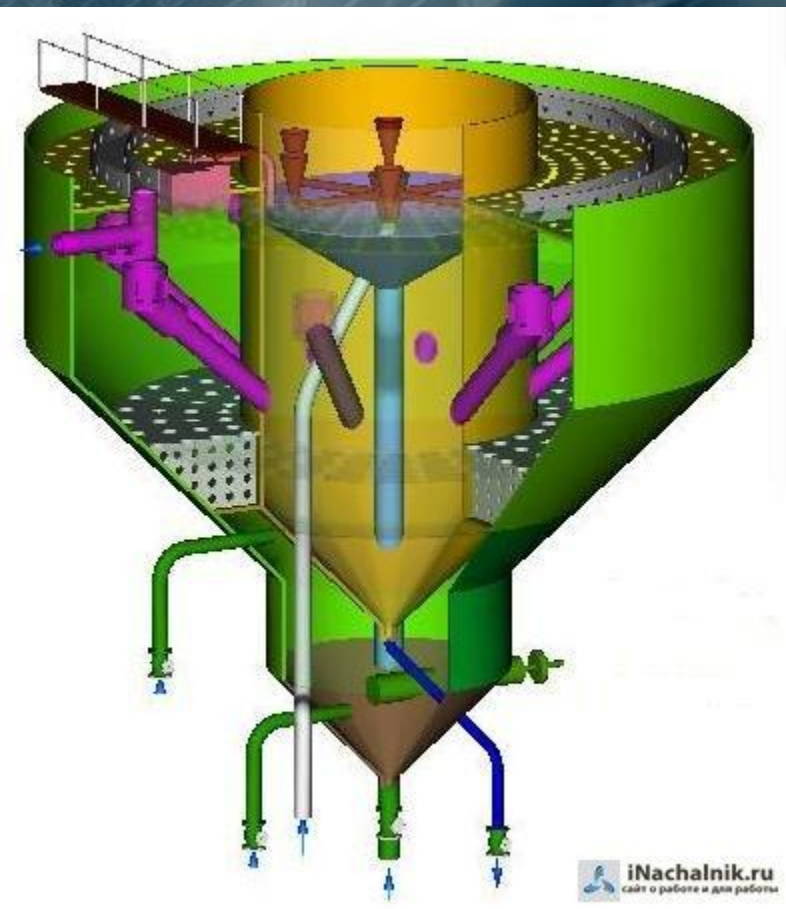
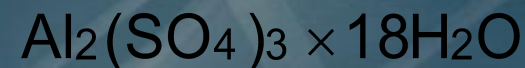
ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

Предочистка: коагуляция

добавлением в исходную воду
коагулянтов:
сернокислого железа

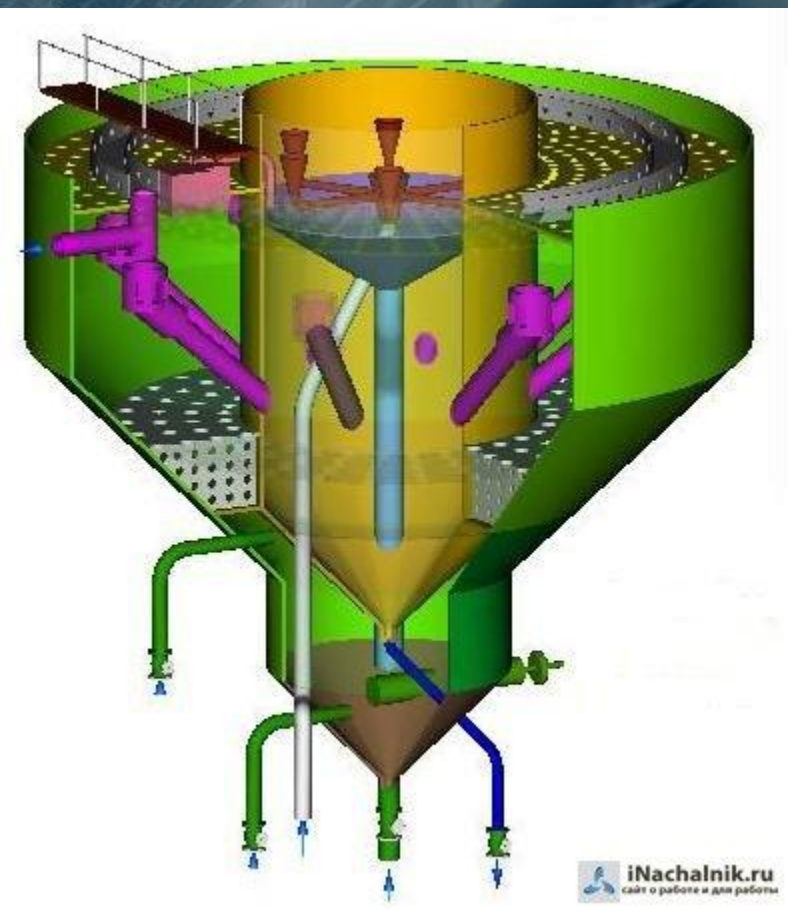


сернокислого алюминия -



ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

Предочистка: коагуляция



Коагулянты при растворении в воде образуют нерастворимые гидраты:



которые имеют положительный заряд и являются центрами, вокруг которых объединяются отрицательно заряженные коллоидные частицы

ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

Предочистка: фильтрация



Механический фильтр представляет собой цилиндрический аппарат, заполненный антрацитом или кварцем с размером частиц 0,6-0,8 мм

ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

Ионный обмен:

Фильтрация осветленной воды через нерастворимый в воде материал – ионит. Ионит представляет из себя высокомолекулярное соединение, имеющее нерастворимую часть и ионы, способные обмениваться на ионы, растворенные в воде.

1. Умягчение

2. Обессоливание

ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

Ионный обмен:



ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

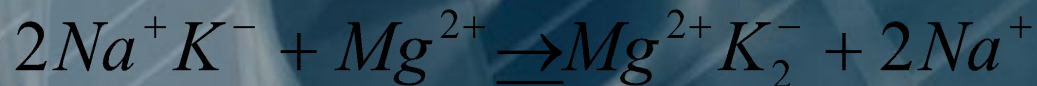
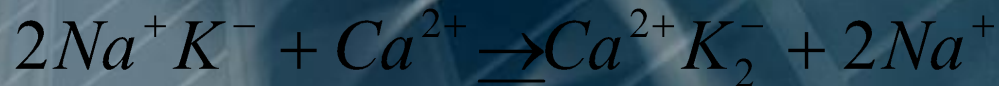
Ионный обмен:



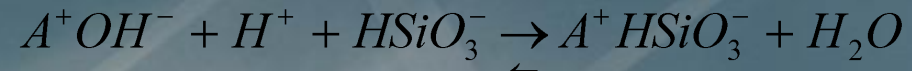
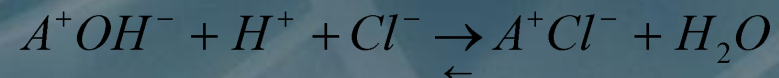
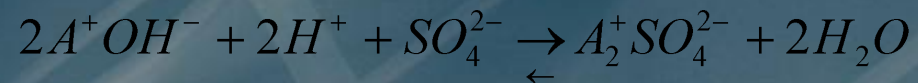
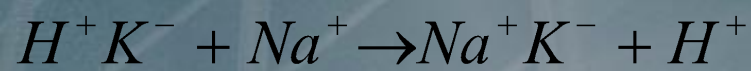
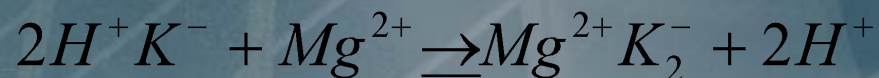
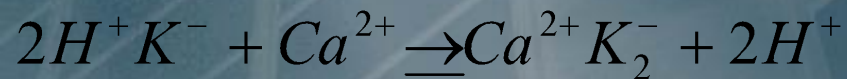
ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

Ионный обмен:

1. Умягчение (Na-катионирование)



2. Обессоливание



H-катионирование

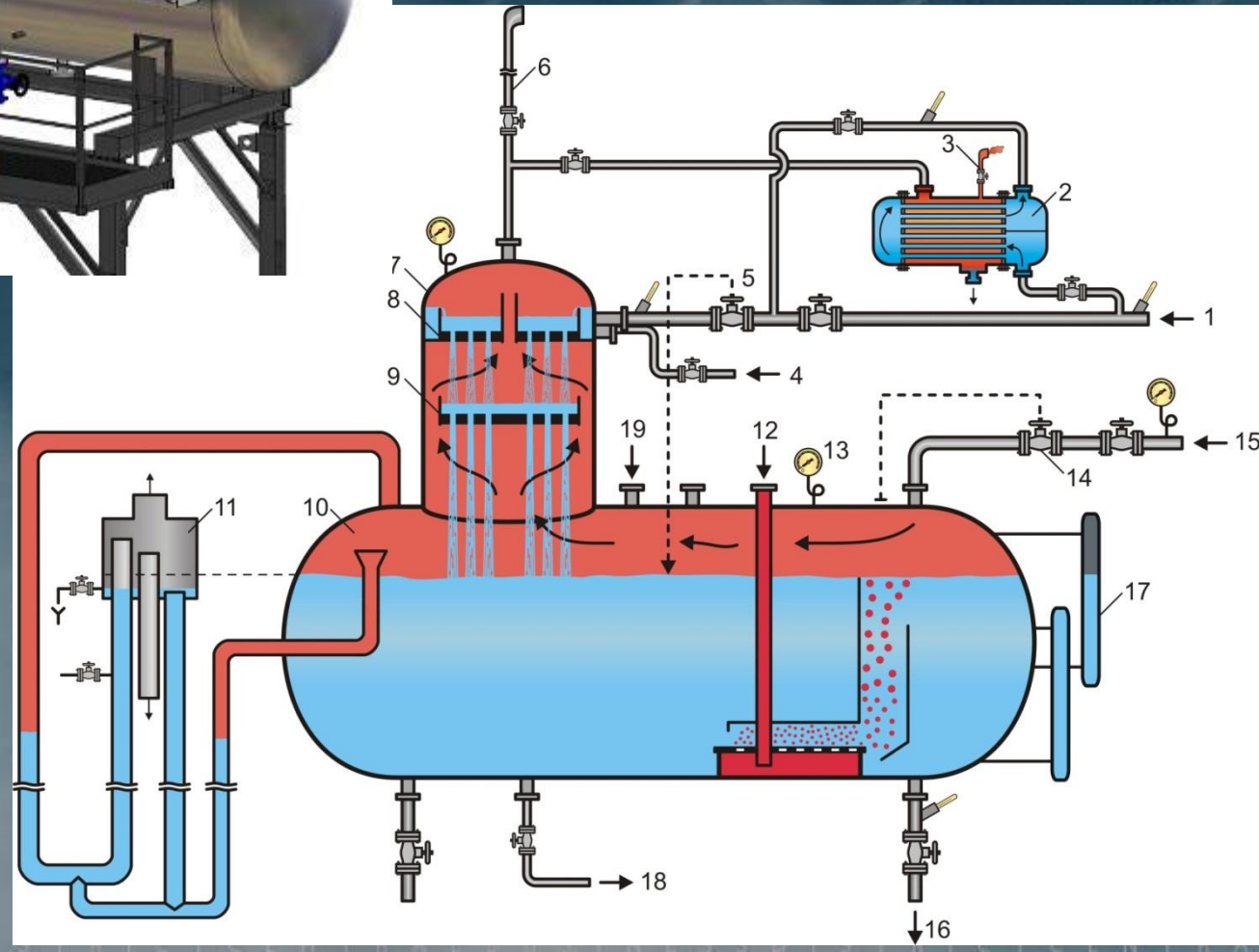
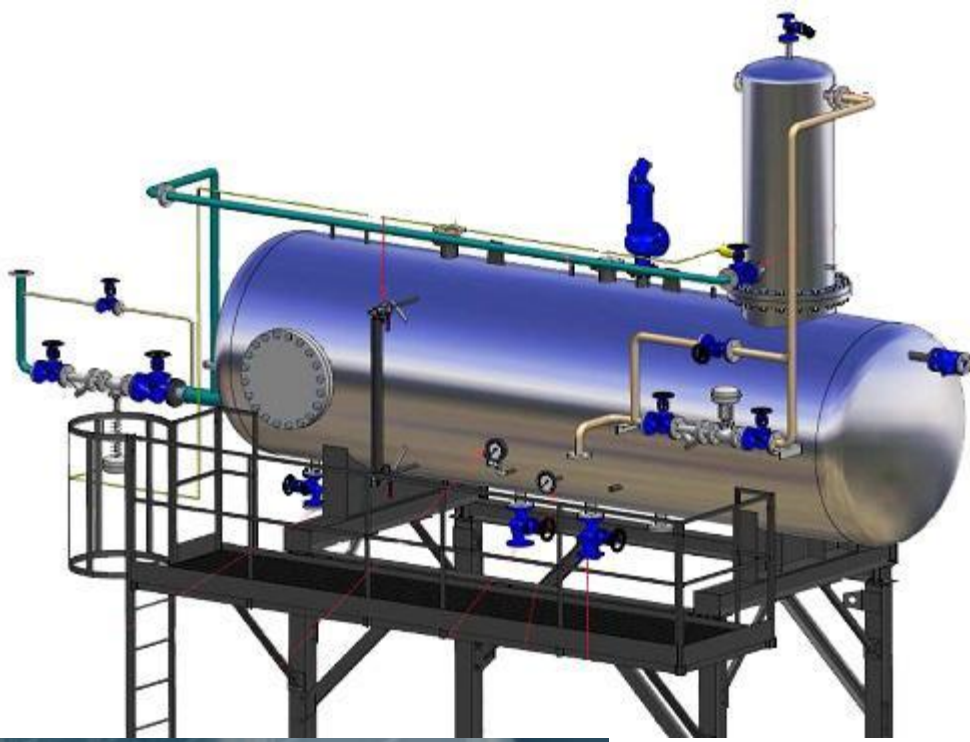
OH-катионирование

ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

Ионный обмен:



ДЕАЭРАЦИЯ



ПЕРЕХОД ПРИМЕСЕЙ В ПАР

Коэффициент распределения примеси между жидкой и паровой фазами:

$$K_p = \frac{C_{\text{П}}}{C_{\text{В}}}$$

Для практических целей в теплоэнергетике используют зависимость коэффициента распределения не от температуры насыщения, а от отношения плотностей воды ρ' и ρ'' на линии насыщения (формула Стириковича):

$$K_p = \frac{C_{\text{П}}}{C_{\text{В}}}$$

ПЕРЕХОД ПРИМЕСЕЙ В ПАР

Физически коэффициент n можно трактовать как координационное число растворенного в воде вещества, показывающее, сколько молекул воды находится в ближайшем окружении молекулы или иона растворенного вещества. Это число зависит от индивидуальных свойств вещества: чем сильнее электрически заряжена молекула (ион), тем больше координационное число.

ПЕРЕХОД ПРИМЕСЕЙ В ПАР

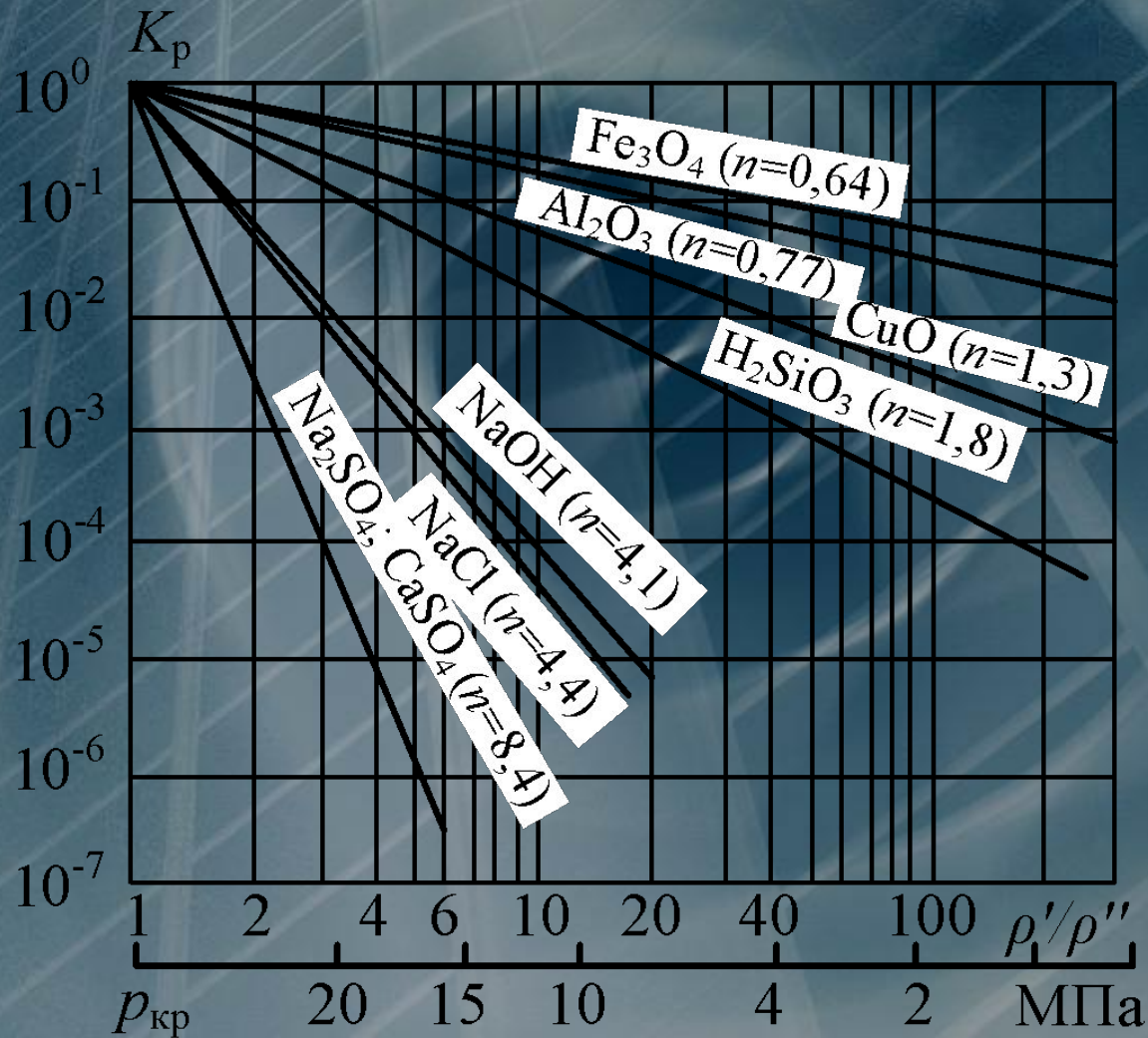
Неорганические соединения по способности растворяться в насыщенном паре можно условно разделить на три группы:

1 – весьма слабые электролиты ($n < 1$); они в водных растворах почти недиссоциированы; коэффициент распределения при $p = 11$ МПа и выше составляет десятки процентов (типа гидратированных оксидов железа, алюминия и т. д.);

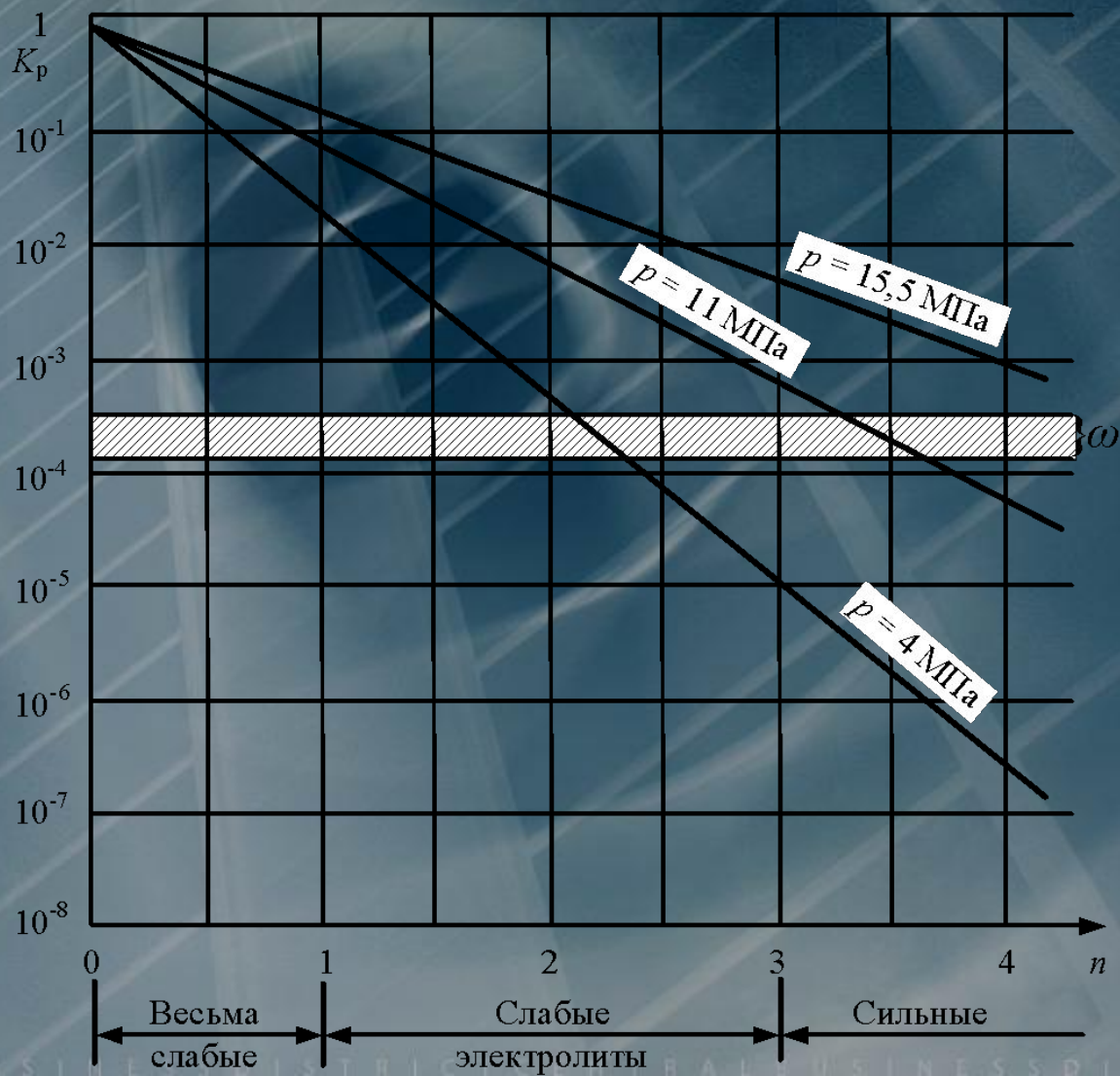
2 – слабые электролиты ($n = 1 - 3$), коэффициент распределения при тех же параметрах – проценты (типа кремнекислоты);

3 – сильные электролиты ($n > 3$); практически полностью диссоциированы; коэффициент распределения – десятые, сотые и меньше доли процента (силикаты, сульфаты, фосфаты натрия, кальция).

ПЕРЕХОД ПРИМЕСЕЙ В ПАР



ПЕРЕХОД ПРИМЕСЕЙ В ПАР



МЕХАНИЗМ ПЕРЕХОДА ПРИМЕСЕЙ В ПАР

Основным способом борьбы с отложениями в турбинах и в пароперегревателях паровых котлов является предупреждение их образования путем обеспечения высокого качества генерируемого пара.

Причинами загрязнения насыщенного пара примесями являются:

- **механический унос с каплями влаги** (капельный унос)
- **растворение в паре** (избирательный унос)

ВНУТРИБАРАБАННОЕ УСТРОЙСТВО

ЛЕКЦИЯ 7-2

п. 11.5

НАЗНАЧЕНИЕ БАРАБАНА

Барaban представляет собой цилиндрический горизонтальный сосуд с внутренним диаметром до **1600-1800 мм** и длиной, зависящей от паропроизводительности котла (**до 15-20 м и более**)



НАЗНАЧЕНИЕ БАРАБАНА

Первая задача внутрибарабанных устройств – гашение кинетической энергии водяной или пароводяной струи из труб после экономайзера

Вторая задача – организация плавного входа воды в опускные трубы с малым сопротивлением входа, предотвращающие воронкообразование и захват (снос) пара опускающейся водой

Третья задача – организовать равномерный по длине и сечению барабана ввод пароводящих труб и гашение энергии поступающей пароводяной струи; обеспечить равномерность распределения паровой фазы по сечению барабана

НАЗНАЧЕНИЕ БАРАБАНА

Четвертая задача – организовать равномерное заполнение потоком пара сечение барабана, чтобы снизить скорость пара; обеспечить интенсивную сепарацию пара от воды, уменьшив унос влаги до приемлемого значения

Пятая задача — организация очистки пара внутри барабана

МЕХАНИЗМ ПЕРЕХОДА ПРИМЕСЕЙ В ПАР

Основным способом борьбы с отложениями в турбинах и в пароперегревателях паровых котлов является предупреждение их образования путем обеспечения высокого качества генерируемого пара.

Причинами загрязнения насыщенного пара примесями являются:

- **механический унос с каплями влаги** (капельный унос)
- **растворение в паре** (избирательный унос)

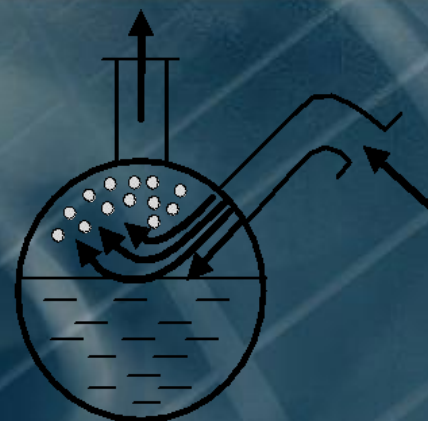
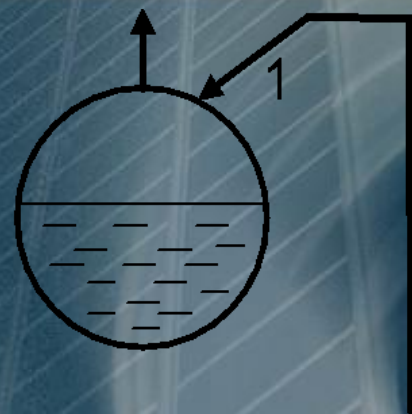
МЕХАНИЧЕСКИЙ УНОС С КАПЛЯМИ ВЛАГИ

Возникает:

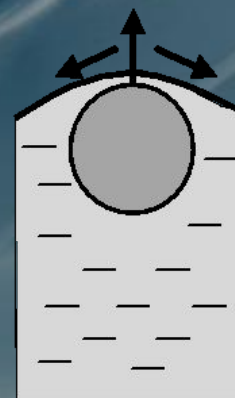
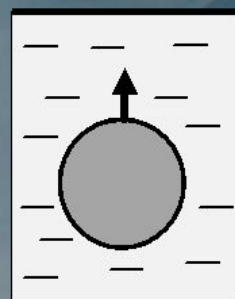
- при ударе о зеркало испарения мощных струй пароводяной смеси, подаваемой на зеркало испарения из парогенераторных труб
- при разрыве тонкой водяной оболочки у пузырьков насыщенного пара, покидающих зеркало испарения

Крупные капли возвращаются в слой, а мелкие уносятся паром в пароперегреватель и испаряются внутри змеевиков. Это приводит к отложению растворённых в них веществ с последующим пережогом труб пароперегревателя.

МЕХАНИЧЕСКИЙ УНОС С КАПЛЯМИ ВЛАГИ



a)



б)

МЕХАНИЧЕСКИЙ УНОС С КАПЛЯМИ ВЛАГИ

На капельный унос оказывает влияние:

- Расход пара

При малой подъемной скорости пара с ним увлекаются только капли очень малых размеров. С увеличением расхода пара в унос включаются капельки все больших размеров. Поэтому чем выше нагрузка, тем больше влажность выдаваемого пара.

- Высота парового объема в барабане

Начиная с некоторого значения высоты (~ 0.8 м), которую не достигают даже самые дальнобойные крупные капли, обладающие наибольшей кинетической энергией, дальнейшее увеличение высоты парового объема уже практически не приводит к снижению влажности пара

МЕХАНИЧЕСКИЙ УНОС С КАПЛЯМИ ВЛАГИ

На капельный унос оказывает влияние:

- Давление

С повышением давления увеличивается плотность пара. Возрастает сопротивление паровой среды подъему капель, но уменьшается разность плотностей воды и пара, усиливается транспортирующая способность пара. В результате влажность пара растет

МЕРЫ БОРЬБЫ С КАПЕЛЬНЫМ УНОСОМ

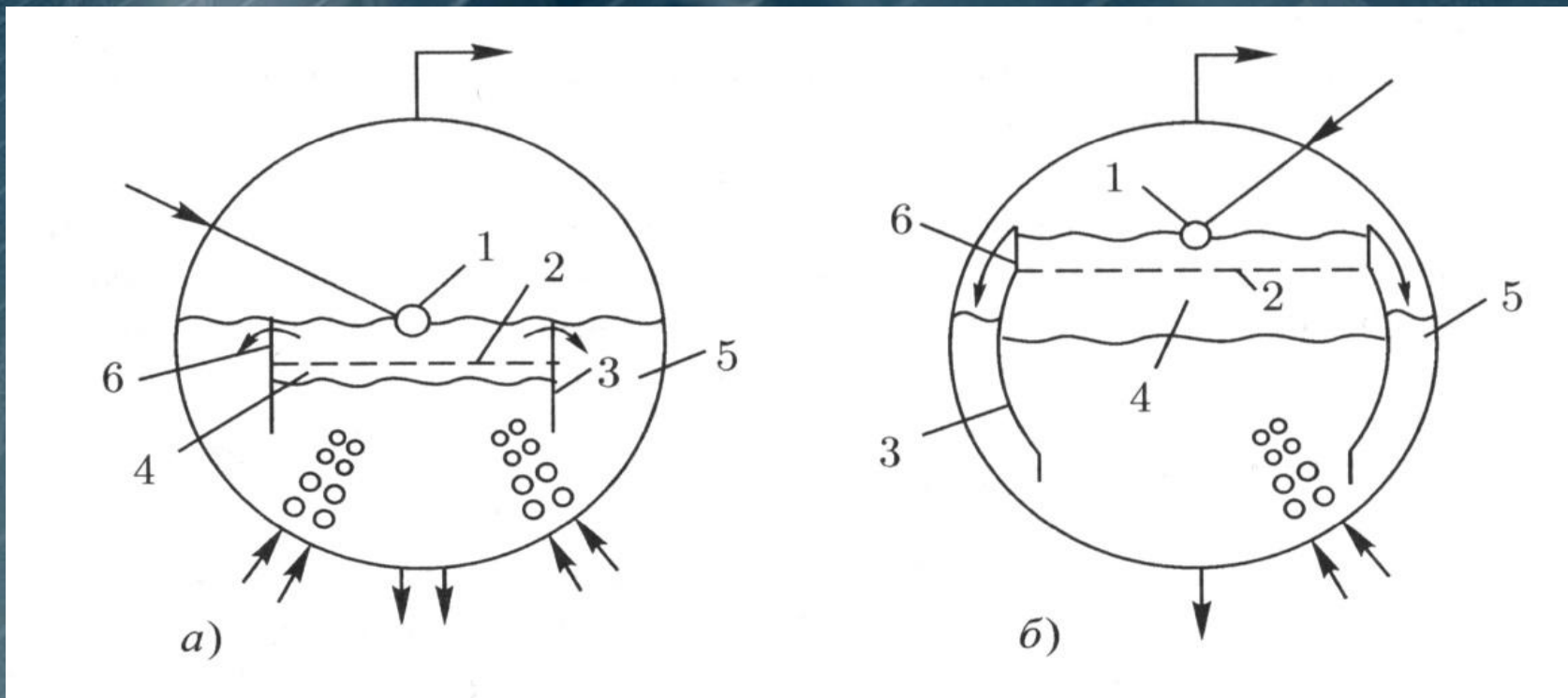
1. осушка пара
2. промывка пара
3. ступенчатое испарение



*Осуществляется в специальных
внутрибарабанных устройствах*

РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРОВОЙ ФАЗЫ ПО СЕЧЕНИЮ БАРАБАНА

Достигается установкой **дырчатого листа** с соответствующим образом рассчитанным количеством отверстий выбранного диаметра

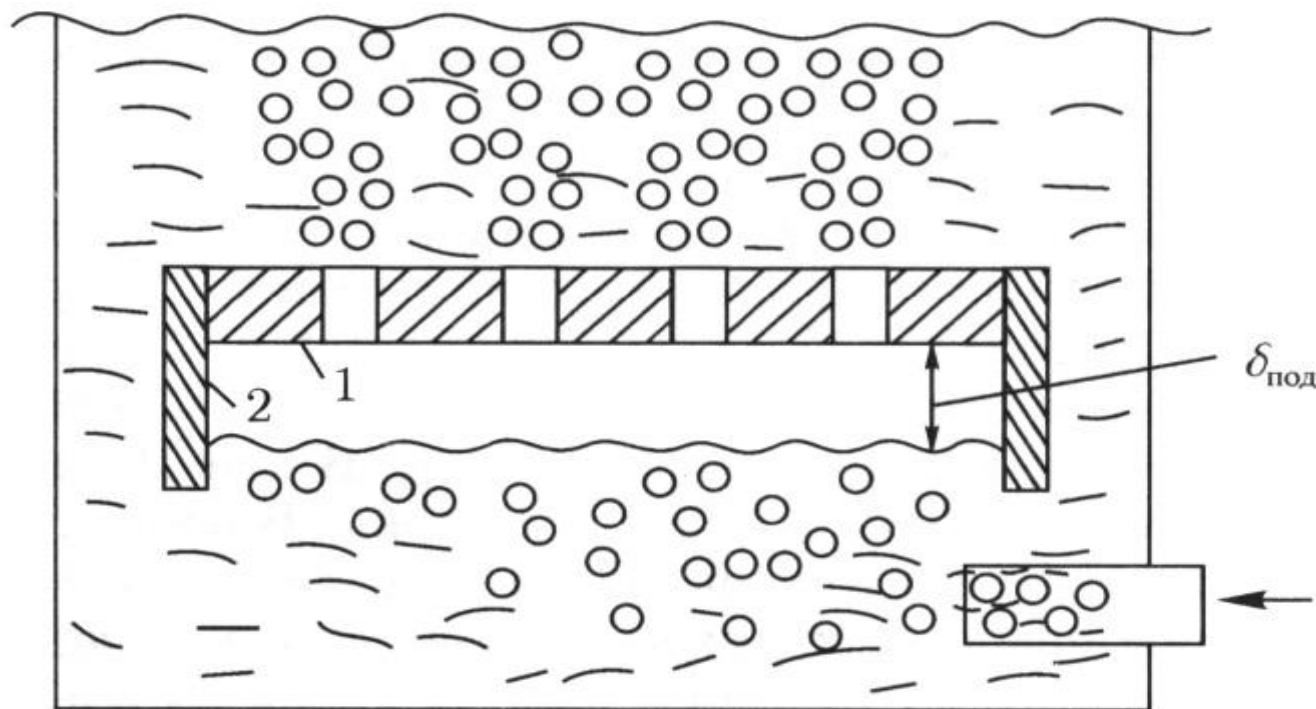


Погруженное
(в объеме жидкой фазы)

Подвешенное
(в объеме паровой фазы)

РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРОВОЙ ФАЗЫ ПО СЕЧЕНИЮ БАРАБАНА

Над дырчатым листом формируется слой пароводяной смеси, в котором происходит **барботаж** пара, называется **динамическим двух-фазным слоем**.



**Важно
избегать
набухания
уровня и
пенообразова
ния**

СЕПАРАЦИЯ ПАРА

Осуществляется следующими способами:

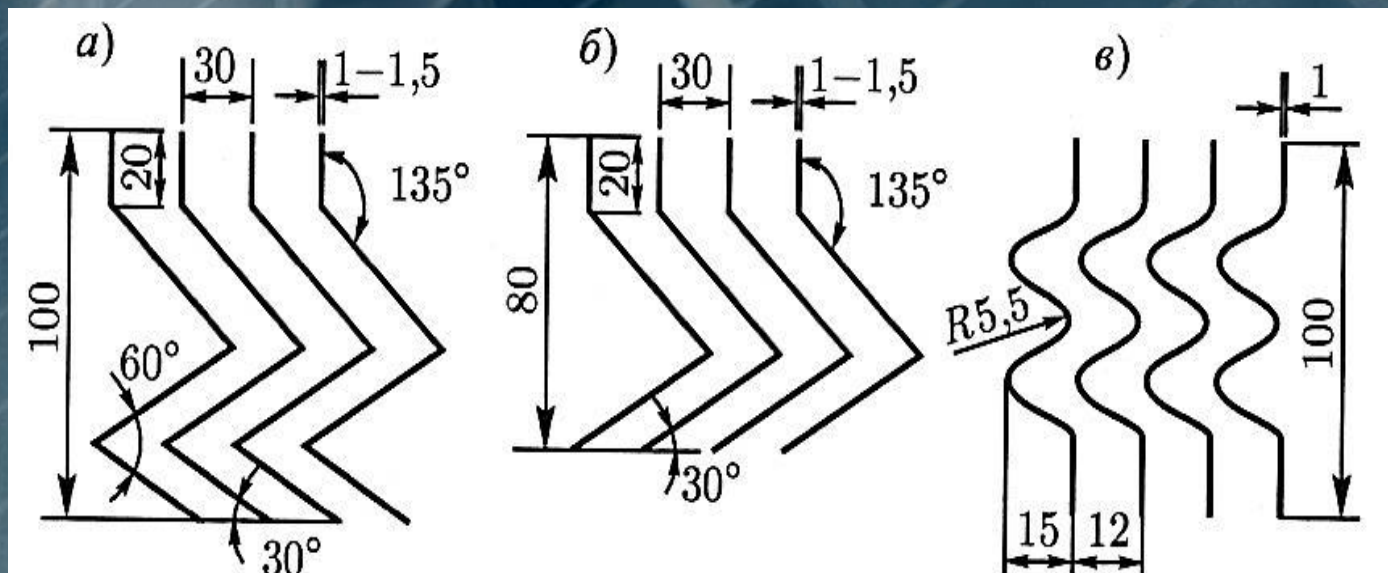
.естественная (за счет высоты парового пространства)

.в жалюзийных сепараторах

.в циклонах

ЖАЛЮЗИЙНЫЙ СЕПАРАТОР

При проходе пара в щелях **жалюзийного сепаратора** направление движения его изменяется и за счет инерционных сил капли воды осаждаются на пластинах сепаратора, сливаются в струи и стекают в водяной объем



Чтобы не происходило срыва пленки жидкости паром, скорость пара перед жалюзийным сепаратором не должна превышать 0,5 м/с при $p = 4$ МПа; 0,2 м/с при $p = 10$ МПа; 0,1 м/с при $p = 15$ МПа

ВНИТРИБАРАБАННЫЙ ЦИКЛОН

Используются в качестве основного паросепарационного устройства в мощных барабанных паровых котлах

Оптимальный диаметр циклона — **290 ÷ 300 мм.**

Высота порядка **500 мм.**

Нагрузка одного циклона при $P=15$ МПа составляет 7-8 т/ч.

Кол-во определяется паропроизводительностью котла



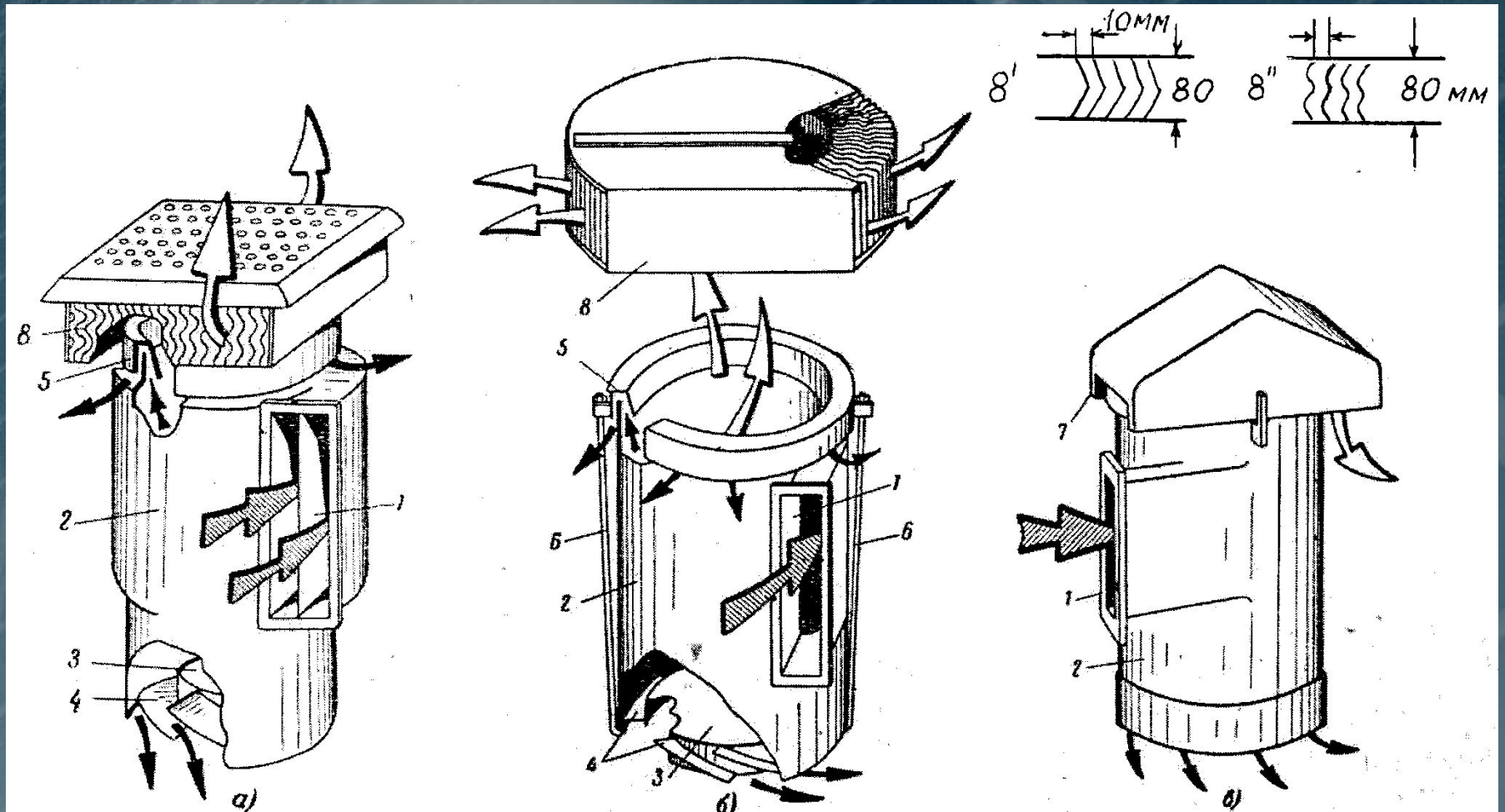
ВНИТРИБАРАБАННЫЙ ЦИКЛОН

1-я ступень – **центробежная**, она создается за счет тангенциального подвода пароводяной смеси. Пар со скоростью ~ 1 м/с равномерно по всему сечению циклона выходит из-под крышки в паровой объем барабана.

2-я ступень – **осадительная**. Для предотвращения прорыва пара через низ циклона его дно закрывается донышком, который образует по краю кольцевое выходное сечение с расположенными в нем лопатками.

3-я ступень – **жалюзийный сепаратор** на выходе из циклона.

ВНИТРИБАРАБАННЫЙ ЦИКЛОН

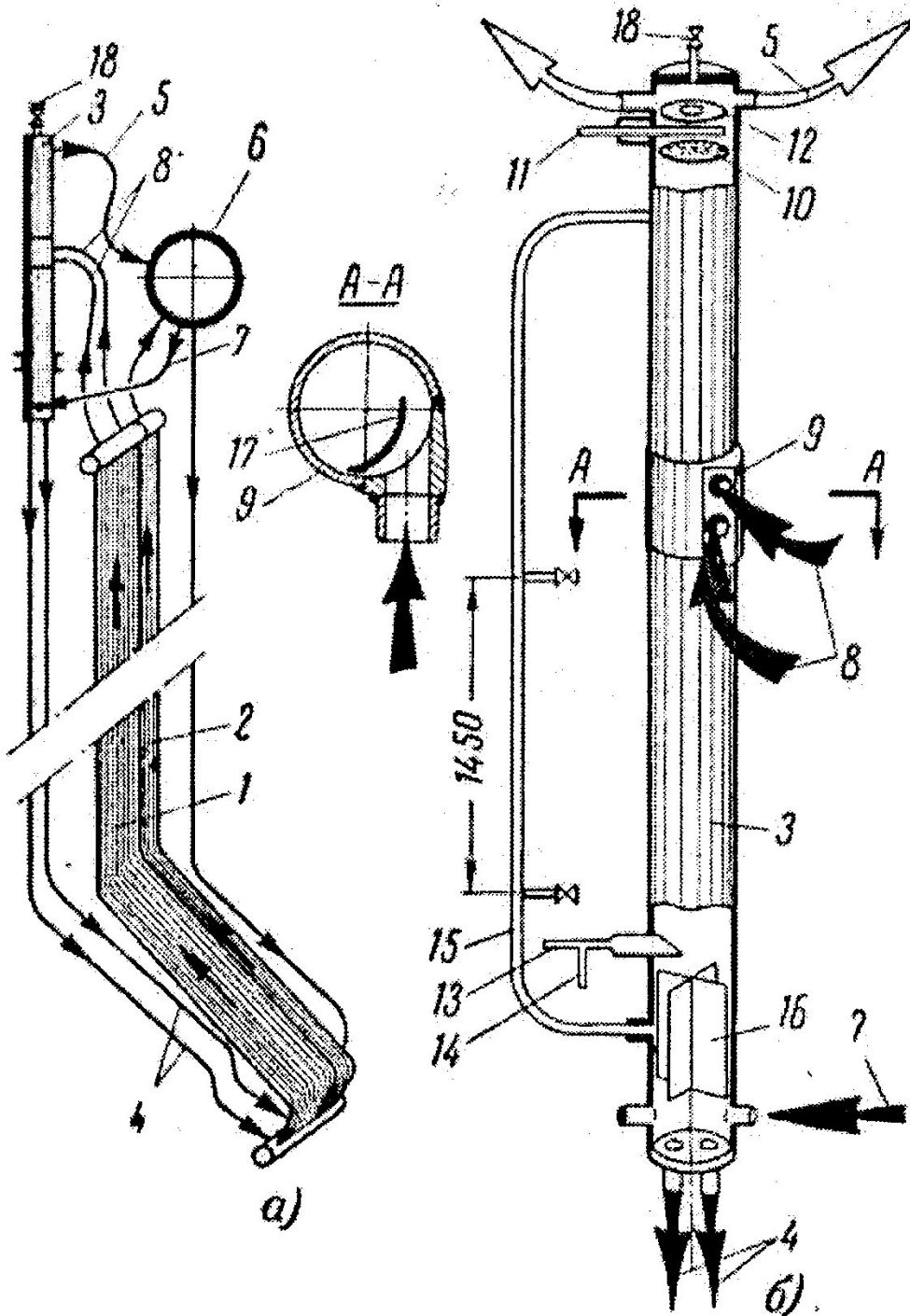


ВЫНОСНОЙ ЦИКЛОН

Вертикальная труба
диаметром 300-500 мм и
высотой до 4-5 м

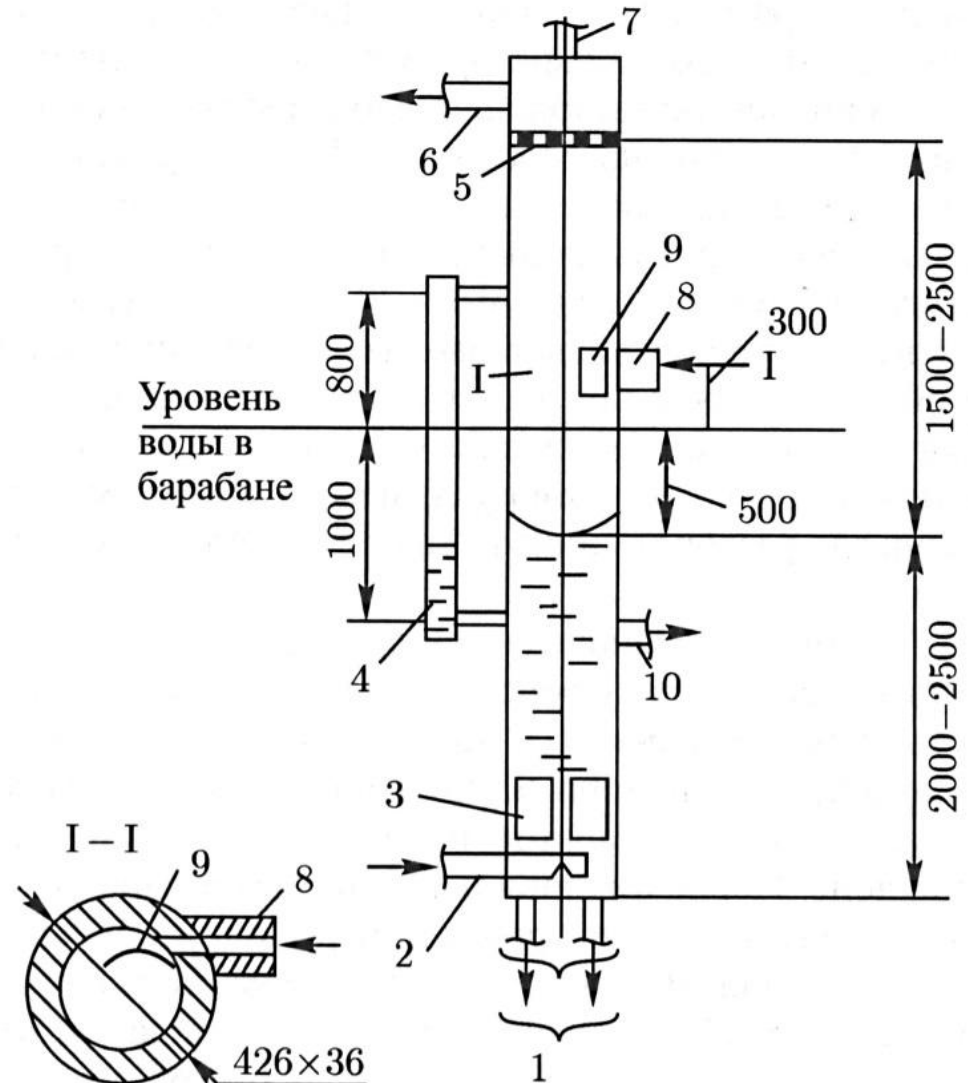
Применяется при
организации
ступенчатого
испарения

Благодаря большой
высоте обеспечивают
лучшую осушку пара,
чем внутрибарабанные
«низкие» циклоны



ВЫНОСНОЙ ЦИКЛОН

- 1 - опускающие трубы
- 2 - подвод воды из барабана
- 3 - крестовина (ликвидирует вихри)
- 4 - водомерное стекло
- 5 - дырчатый лист (выравнивает скорость пара)
- 6 - отвод пара
- 7 - воздушник (при пуске)
- 8, 9 - улитка и завихритель
- 10 - продувка



МЕРЫ БОРЬБЫ С КАПЕЛЬНЫМ УНОСОМ

По набору основных устройств барабаны условно делятся

$$K_p = \frac{C_{II}}{C_I}$$

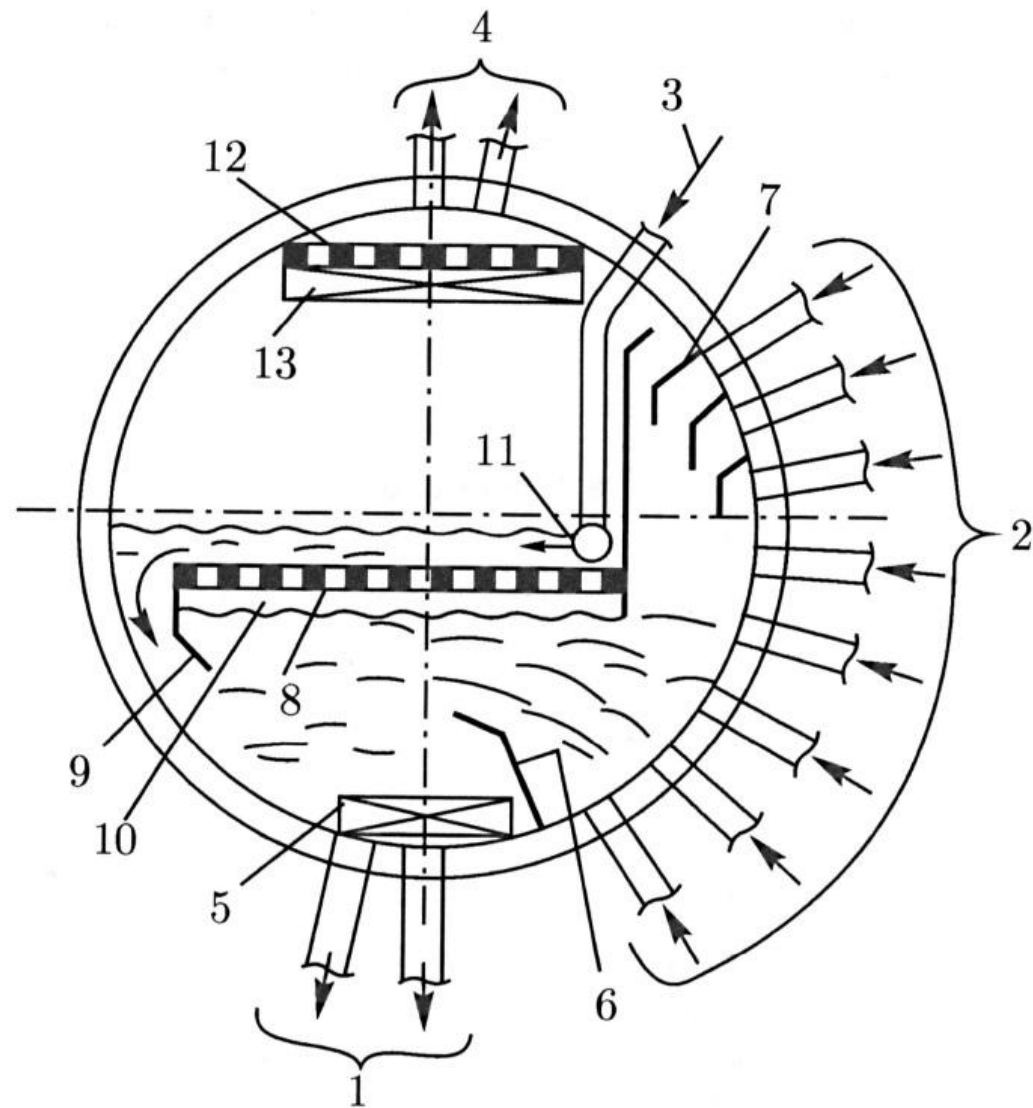
← для высокого и сверхвысокого давления ($p_6 < 15 \div 19$ МПа) →

промывку пара, как правило, не делают, паровое пространство остается свободным и создаются условия для естественной, **осадительной** сепарации влаги из пара

промывка пара делается обязательно, паропромывочное устройство загромаждает паровое пространство, оставшаяся высота парового объема недостаточна для естественной сепарации, приходится делать устройства для **вынужденной, механической** сепарации.

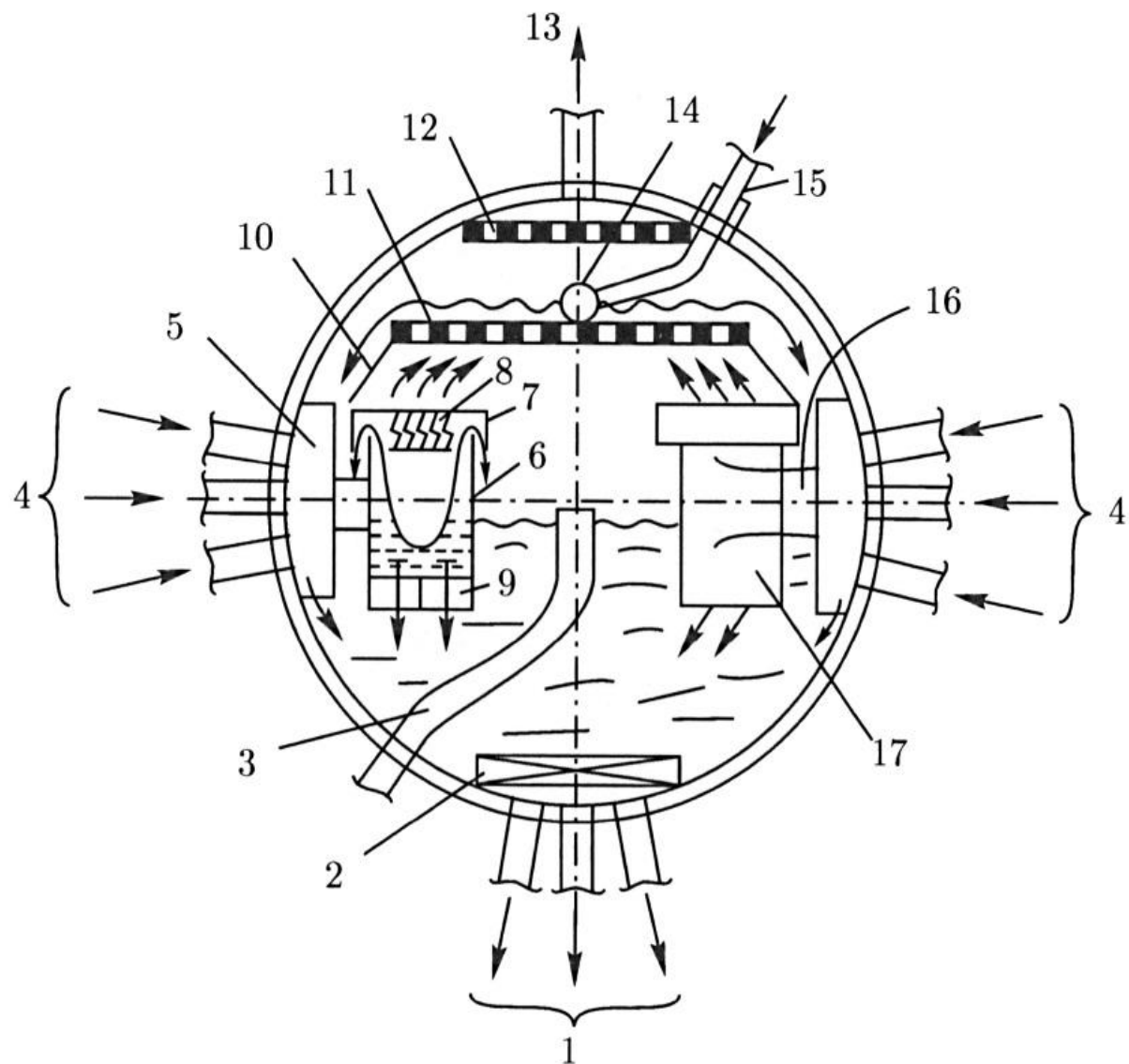
ВНУТРИБАРАБАННЫЕ УСТРОЙСТВА КОТЛОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

- 1 - опускные трубы
- 2 - подъёмные трубы
- 3 - вода из экономайзера
- 4 - отвод пара
- 5 - решетки (препятствуют воронкообразованию)
- 6 - перегородка
- 7 - отбойные щитки для гашения кинетической энергии ПВС
- 8 - погружной дырчатый лист
- 9 - отбортовка / щеки (предотвращают попадание пара помимо дырчатого листа)
- 10 - погружной дырчатый лист
- 11 - раздающая труба
- 12 - пароприемный потолок
- 13 - жалюзийный сепаратор



ВНУТРИБАРАБАННЫЕ УСТРОЙСТВА КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

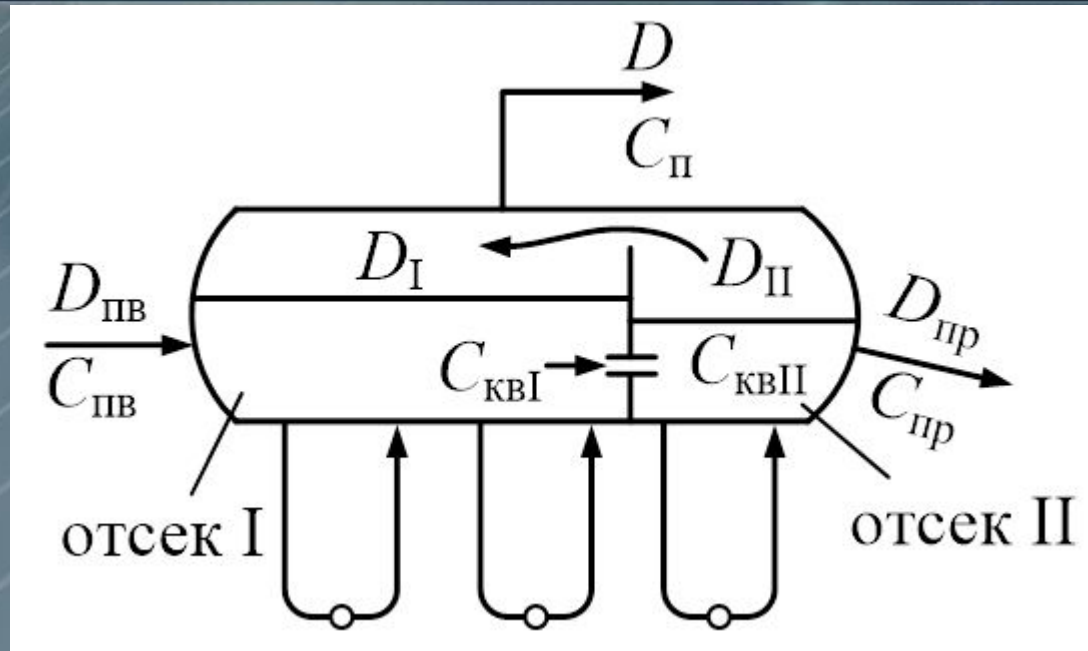
- 1 - опускные трубы
- 2 - решетки (препятствуют воронкообразованию)
- 3 - аварийный слив
- 4 - подвод ПВС
- 5, 16 - входной (гасит скорость, отделяет воду) и перепускной короба
- 6, 7 - корпус и крышка циклона
- 8 - жалюзийный сепаратор
- 9 - крестовины
- 10 - сливной короб
- 11 - паропромывочное устройство
- 12 - дырчатый лист
- 13 - отвод пара
- 14 - распределительный коллектор
- 15 - вода из экономайзера
- 17 - внутрибарабанный циклон



СТУПЕНЧАТОЕ ИСПАРЕНИЕ

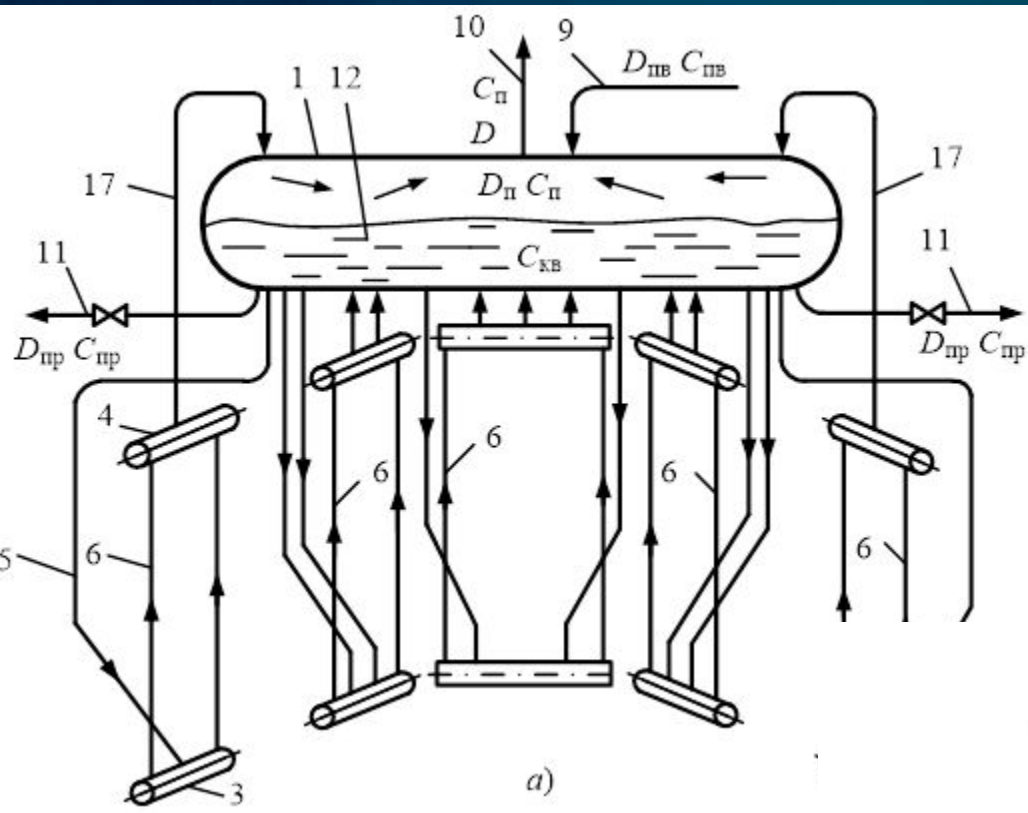
При увеличении числа ступеней качество котловой воды и пара будут улучшаться. Практически делают 2–3 ступени испарения, причем в качестве второй или третьей ступени во многих случаях используют выносные циклоны

СТУПЕНЧАТОЕ ИСПАРЕНИЕ

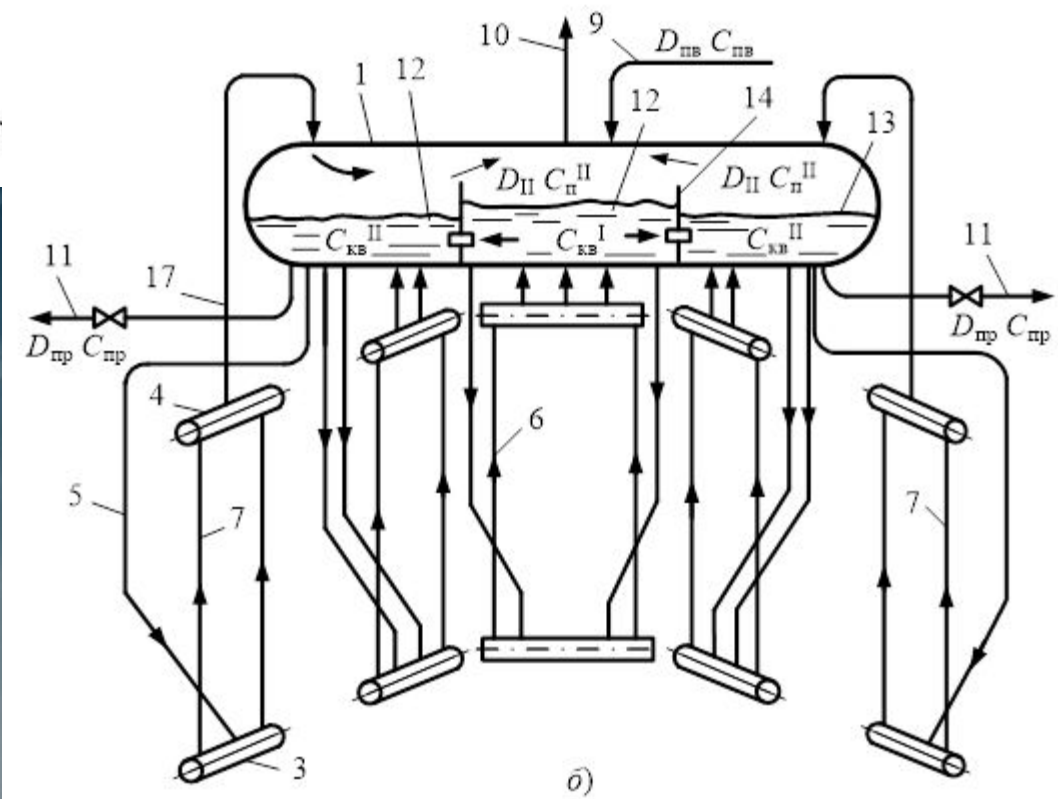


Концентрация примеси в котловой воде 2 ступени значительно выше, чем в первой, и соответствует концентрации в одноступенчатой схеме. Поэтому 1 отсек называют «**ЧИСТЫМ**», а 2 – «**СОЛЕВЫМ**». Выигрыш ступенчатого испарения заключается в том, что 80% (в нашем примере) котловой воды и, следовательно, пара получается значительно чище (в 20 раз); только 20% котловой воды и пара имеют такую же концентрацию, что и в одноступенчатой схеме.

ОДНОСТУПЕНЧАТОЕ ИСПАРЕНИЕ



a)



б)

Одноступенчатое

Двухступенчатое

