

# **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  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и другие
- продукты коррозии конструкционных материалов (оксиды Fe, Cu, Cl, Ni, Zn, Co, Al)
- летучие примеси  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$
- 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 <sup>3</sup> , для котлов:			
на жидком топливе	≤ 5	≤ 1	≤ 1
на других видах топлива	≤ 10	≤ 3	≤ 1
Содержание соединений железа, мкг/дм <sup>3</sup> , для котлов:			
на жидком топливе	≤ 50	≤ 20	≤ 20
на других видах топлива	≤ 100	≤ 30	≤ 20
Содержание соединений меди в воде перед деаэратором, мкг/дм <sup>3</sup> , для котлов			
на жидком топливе		≤ 5	≤ 5
на других видах топлива	≤ 10	5	5
Содержание растворенного кислорода в воде мкг/дм <sup>3</sup>	≤ 20	≤ 10	≤ 10
Содержание нефтепродуктов, мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,5	≤ 0,3	≤ 0,3
рН	8,5–9,5	9,1±0,1	9,1±0,1
Содержание кремниевой кислоты, мкг/дм <sup>3</sup>			
для ГРЭС и отопительных ТЭЦ			≤ 30
для ТЭЦ с производственным отбором пара			≤ 60
Концентрация нитратов и нитритов, мкг/дм <sup>3</sup>			≤ 20
Концентрация ионов натрия, мкг/дм <sup>3</sup>			≤ 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

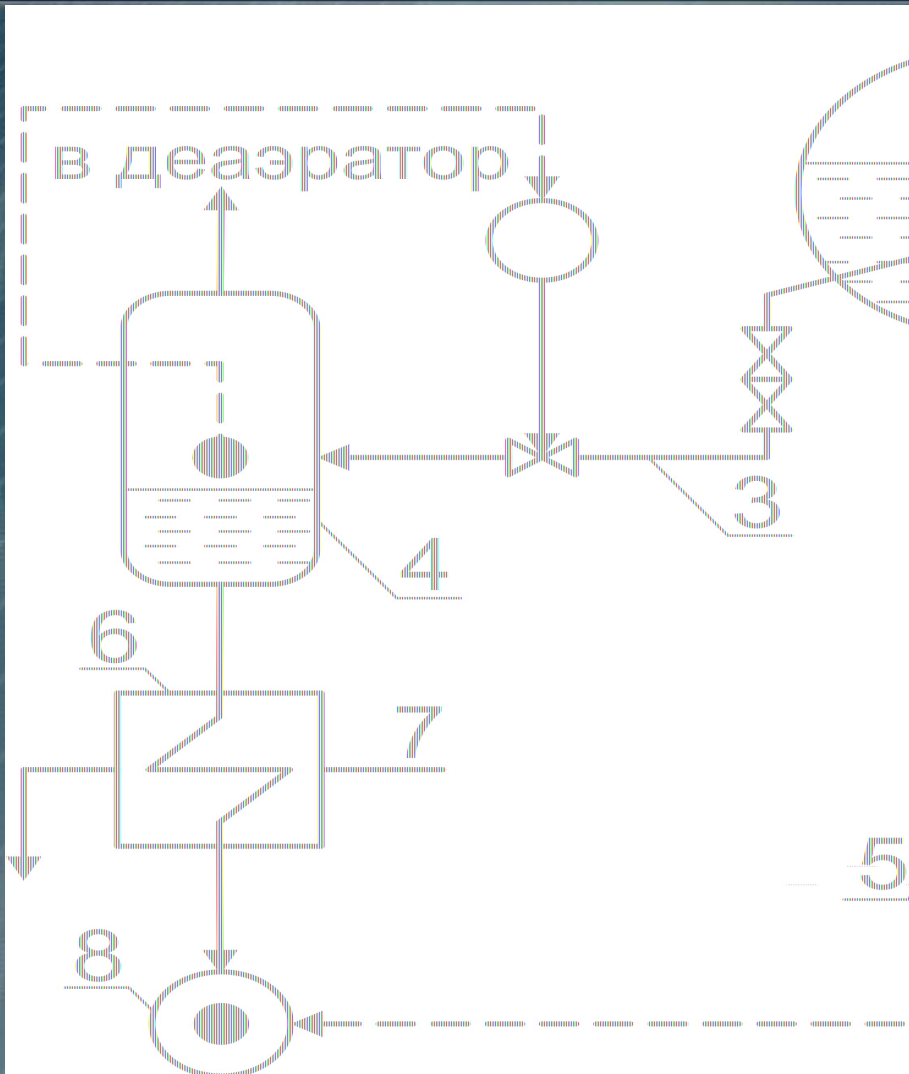
# НЕПРЕРЫВНАЯ И ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ПРОДУВКА

**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

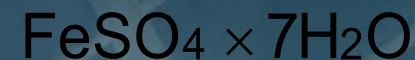
## Предочистка:

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

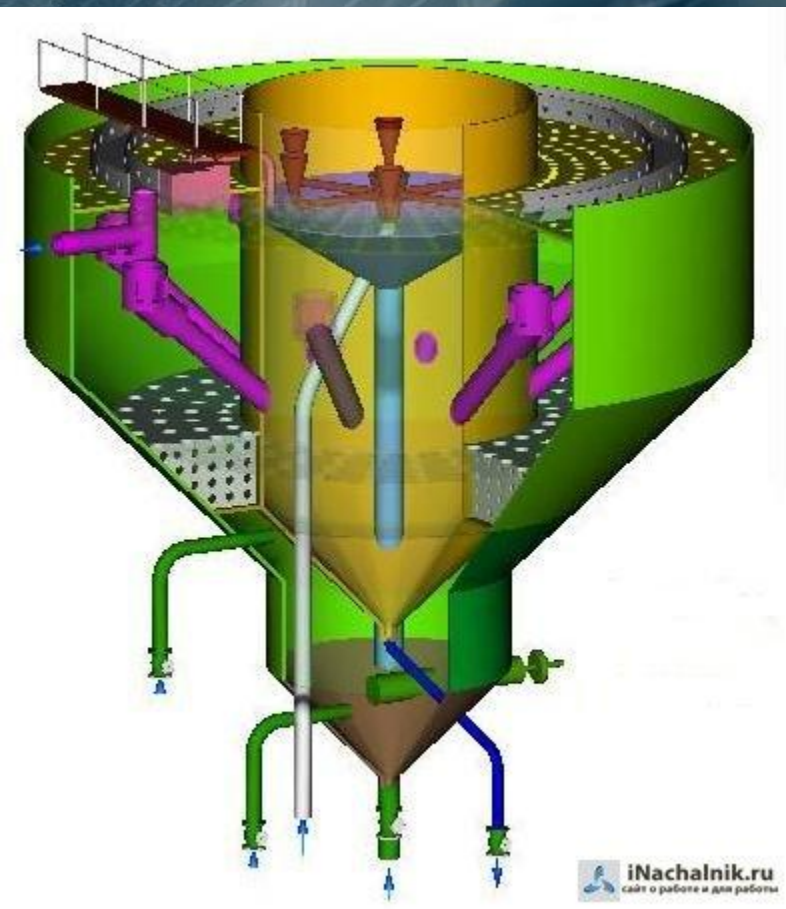
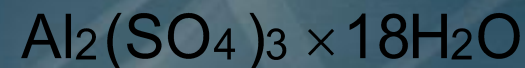
# ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

## Предочистка: коагуляция

добавлением в исходную воду  
коагулянтов:  
сернокислого железа

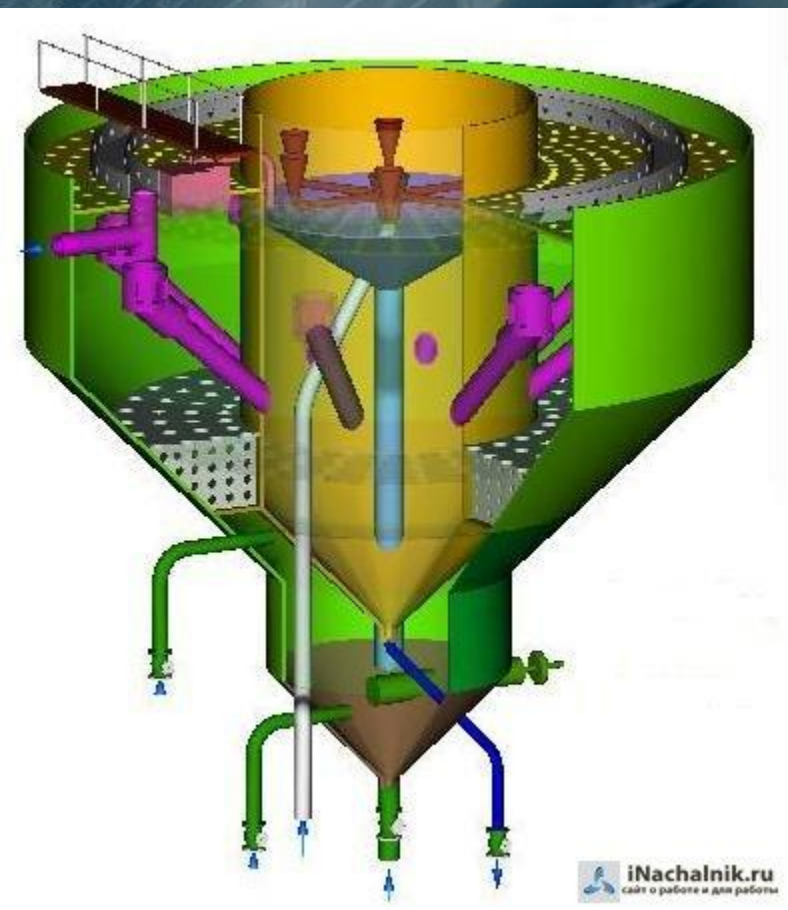


сернокислого алюминия -



# 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:

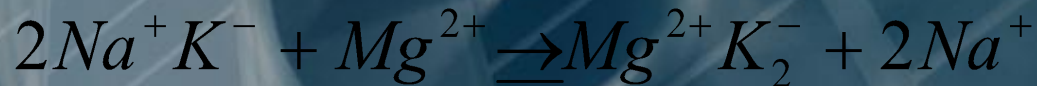
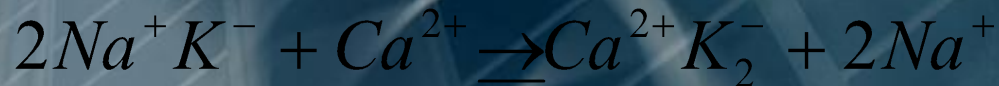


ZXCC.RU

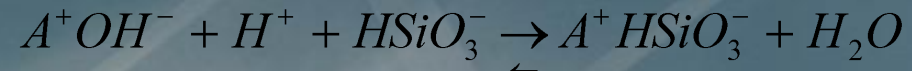
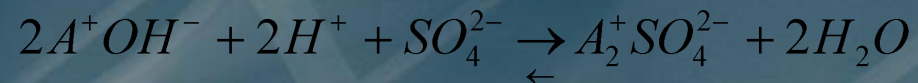
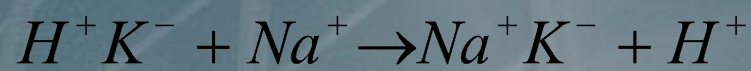
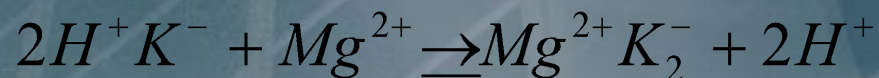
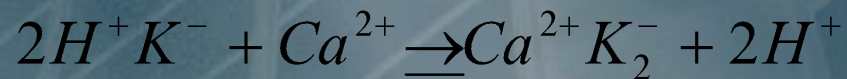
# ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

## Ионный обмен:

### 1. Умягчение (Na-катионирование)



### 2. Обессоливание



**H-катионирование**

**OH-катионирование**

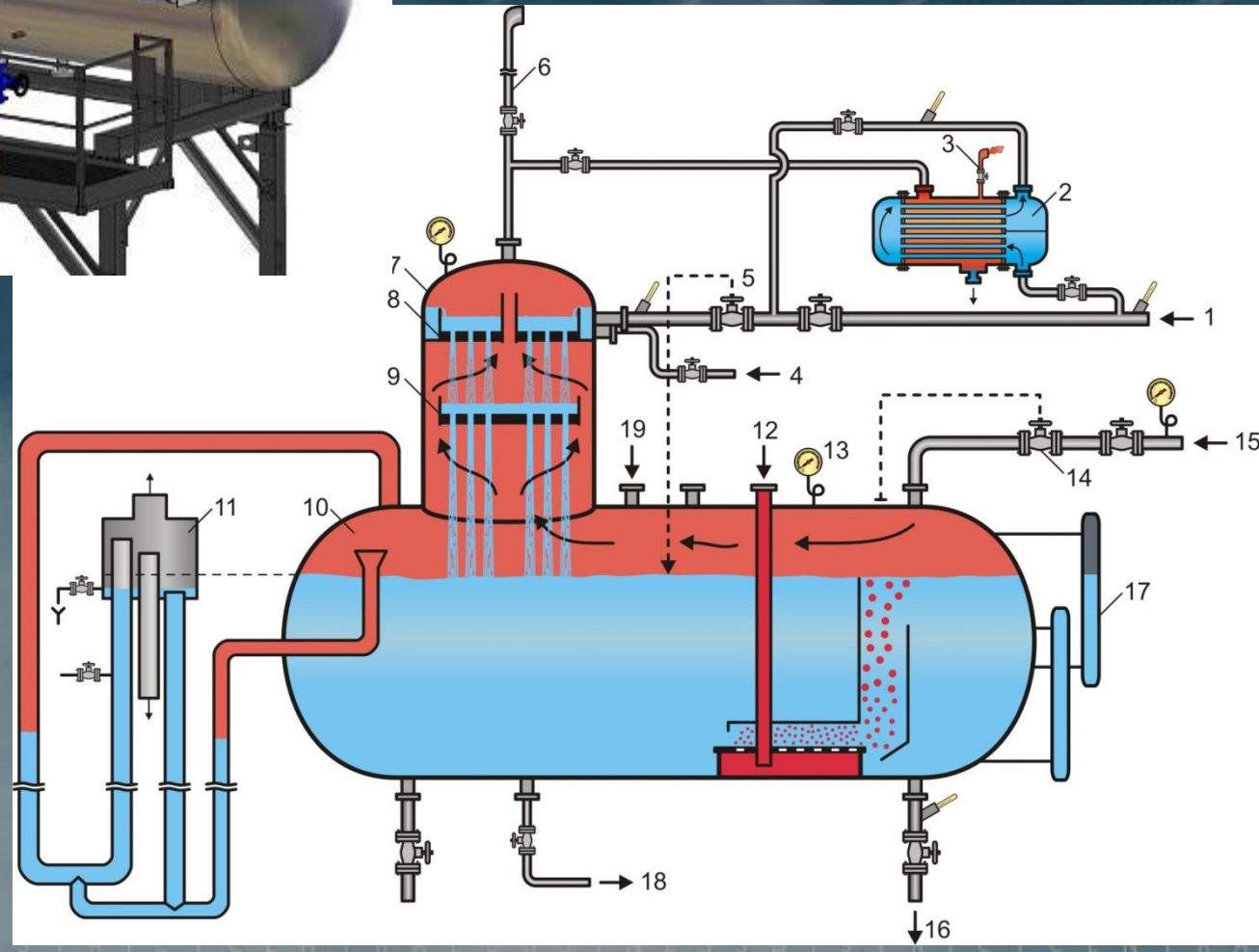
# ХИМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ

## 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  $\rho'$  и  $\rho''$  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

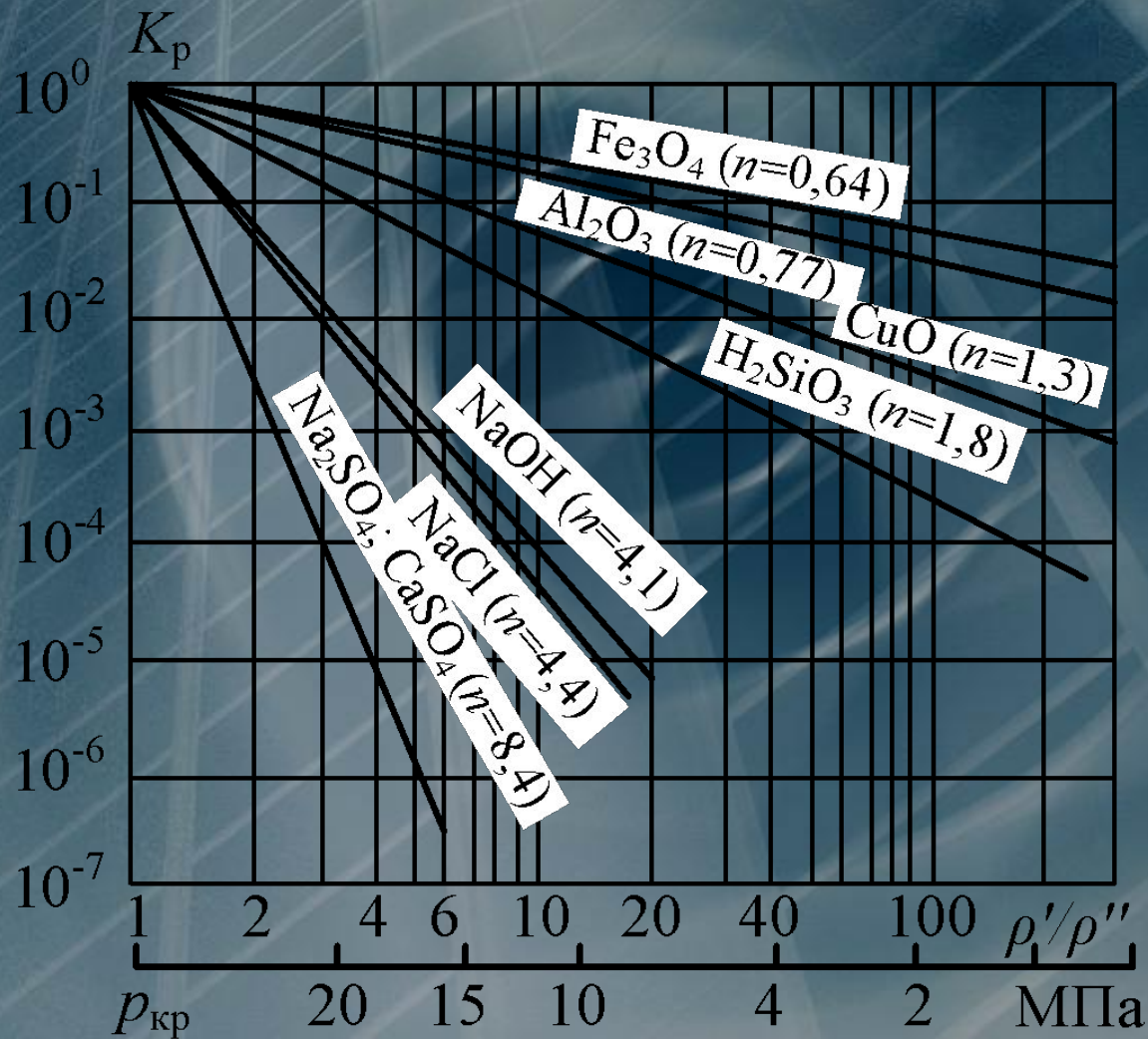
Неорганические соединения по способности растворяться в насыщенном паре можно условно разделить на три группы:

**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.);

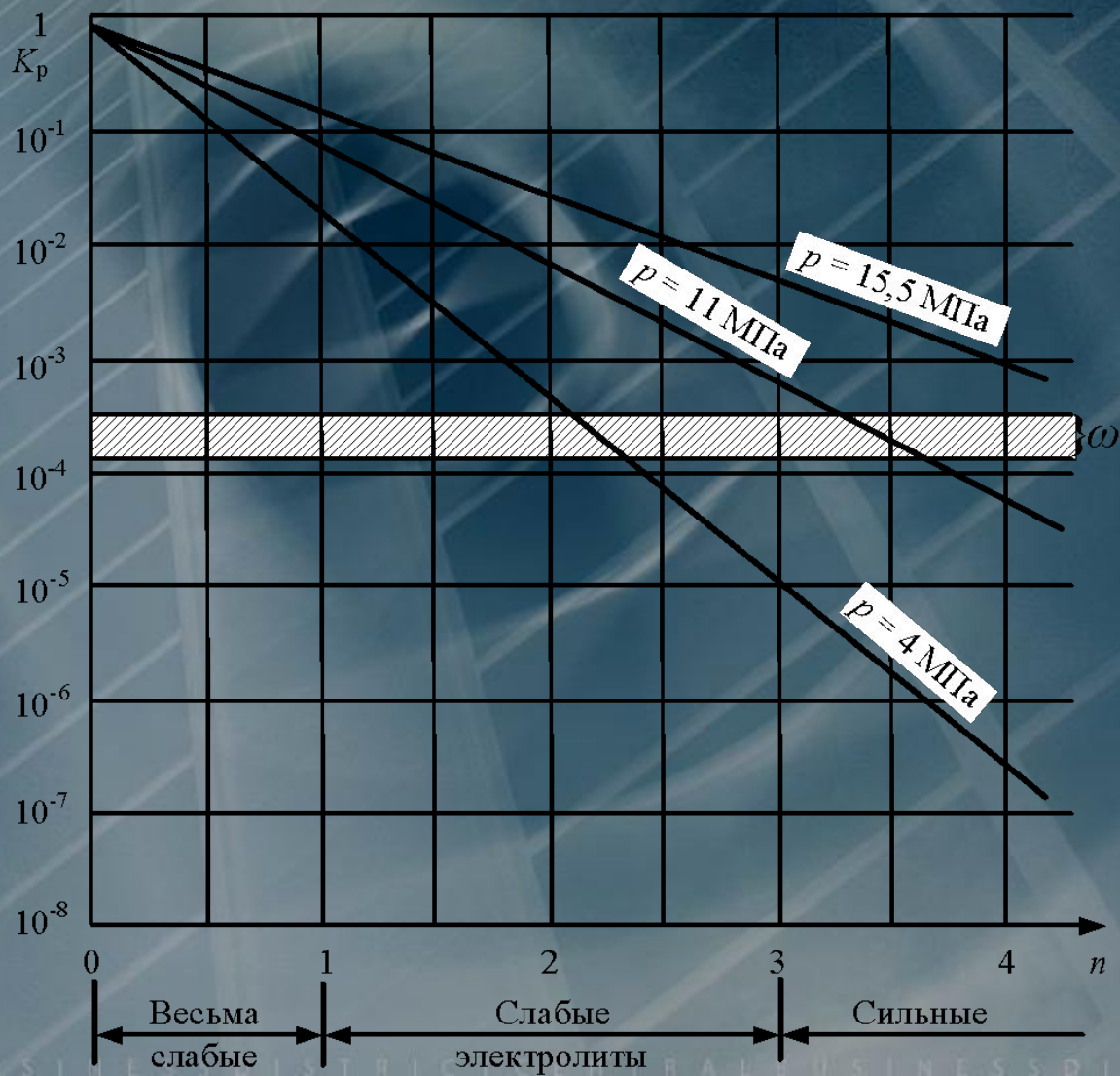
**2 – слабые электролиты ( $n = 1 - 3$ ),** коэффициент распределения при тех же параметрах – проценты (типа кремнекислоты);

**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)

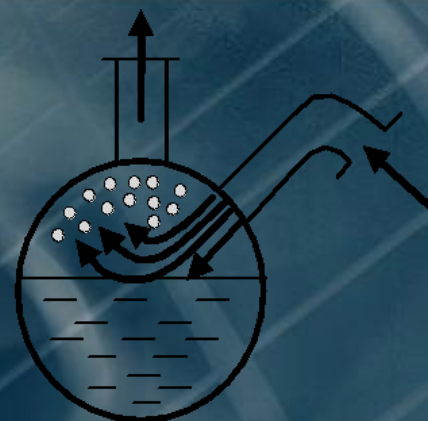
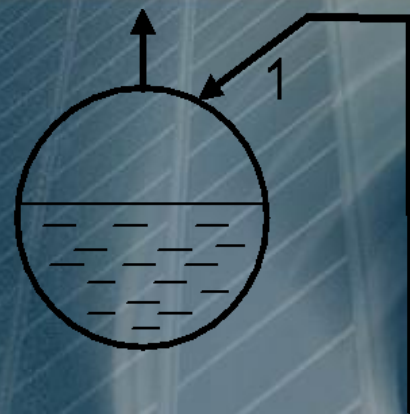
# МЕХАНИЧЕСКИЙ УНОС С КАПЛЯМИ ВЛАГИ

**Возникает:**

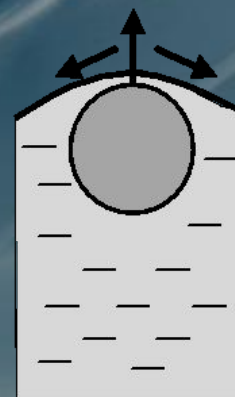
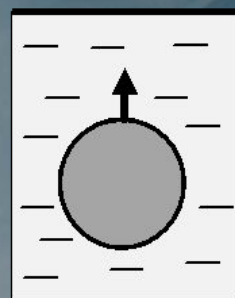
- при ударе о зеркало испарения мощных струй пароводяной смеси, подаваемой на зеркало испарения из парогенераторных труб
- при разрыве тонкой водяной оболочки у пузырьков насыщенного пара, покидающих зеркало испарения

*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

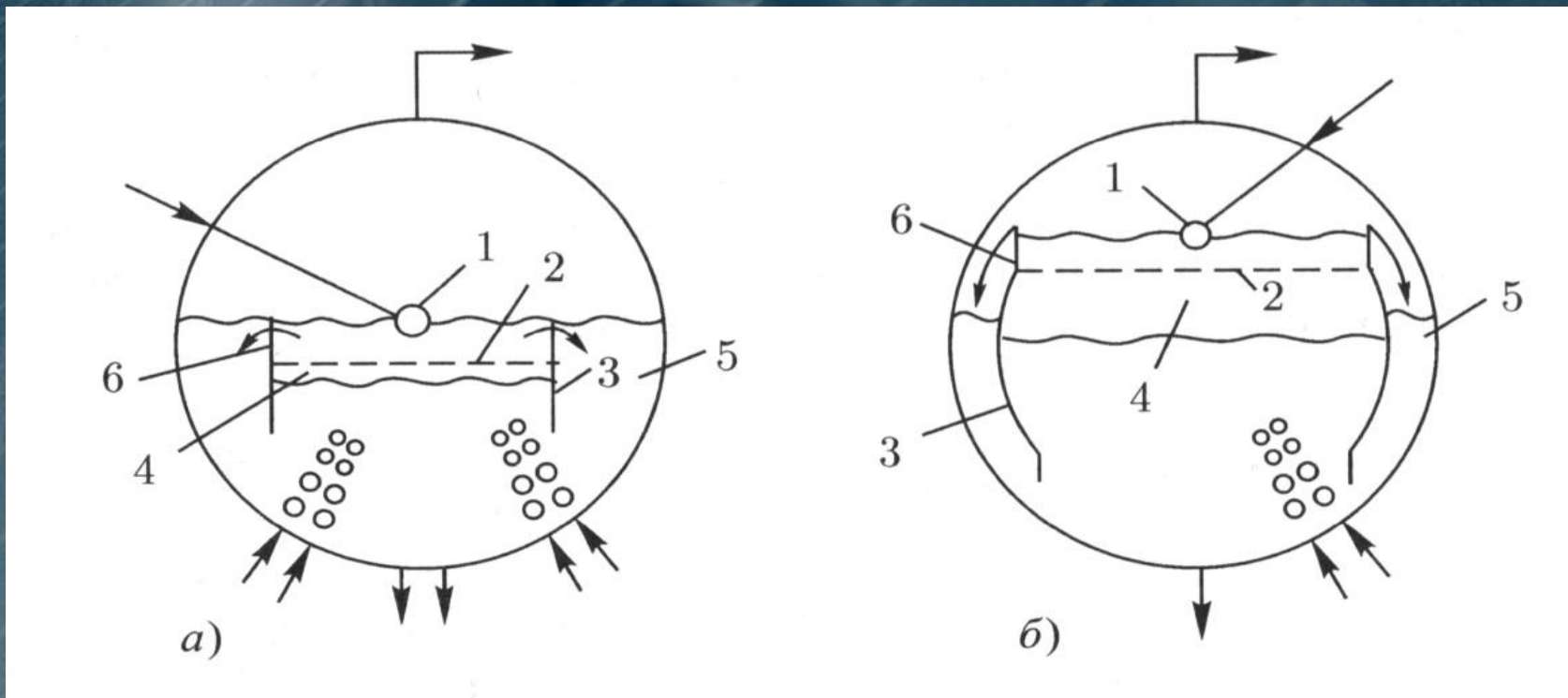
1. осушка пара
2. промывка пара
3. ступенчатое испарение



*Осуществляется в специальных  
внутрибарабанных устройствах*

# РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРОВОЙ ФАЗЫ ПО СЕЧЕНИЮ БАРАБАНА

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



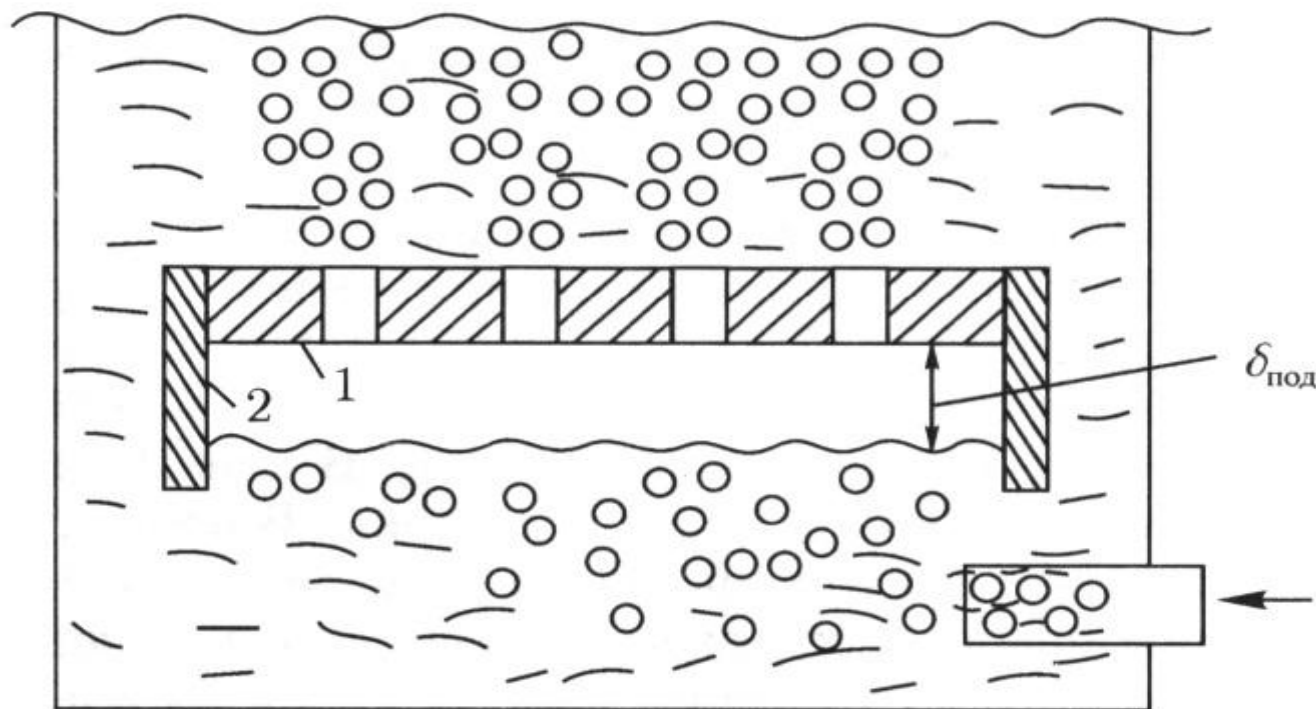
Погруженное  
(в объеме жидкой фазы)

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:

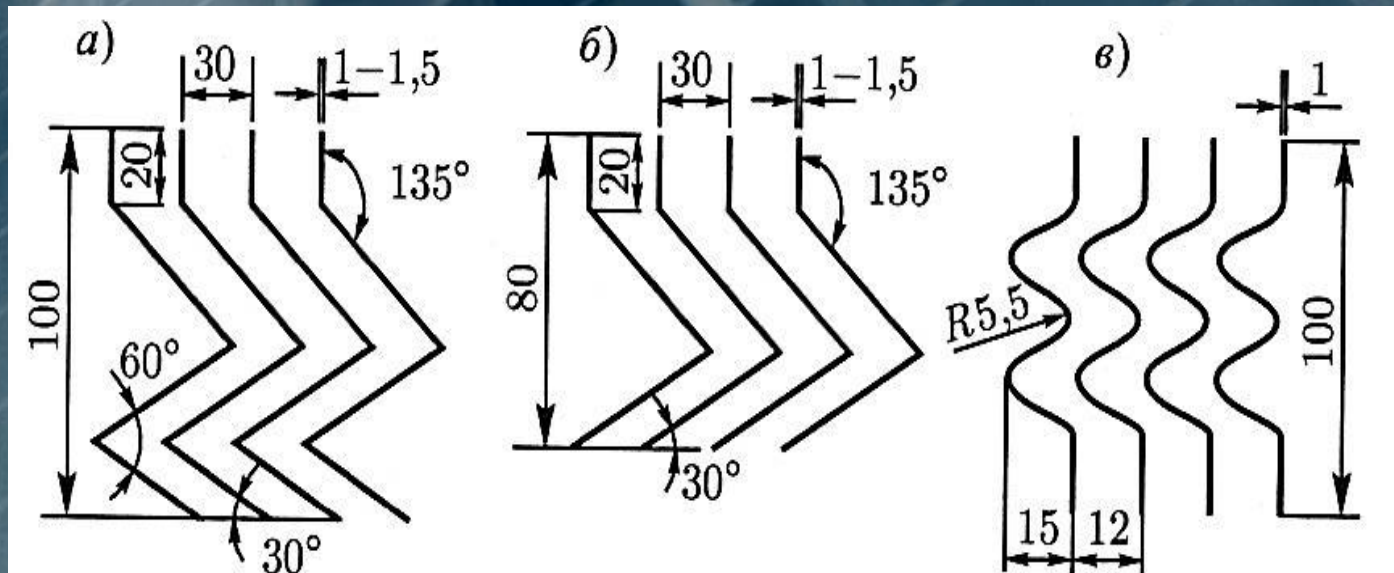
.естественная (за счет высоты парового пространства)

.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**

# ВНИТРИБАРАБАНЫЙ 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



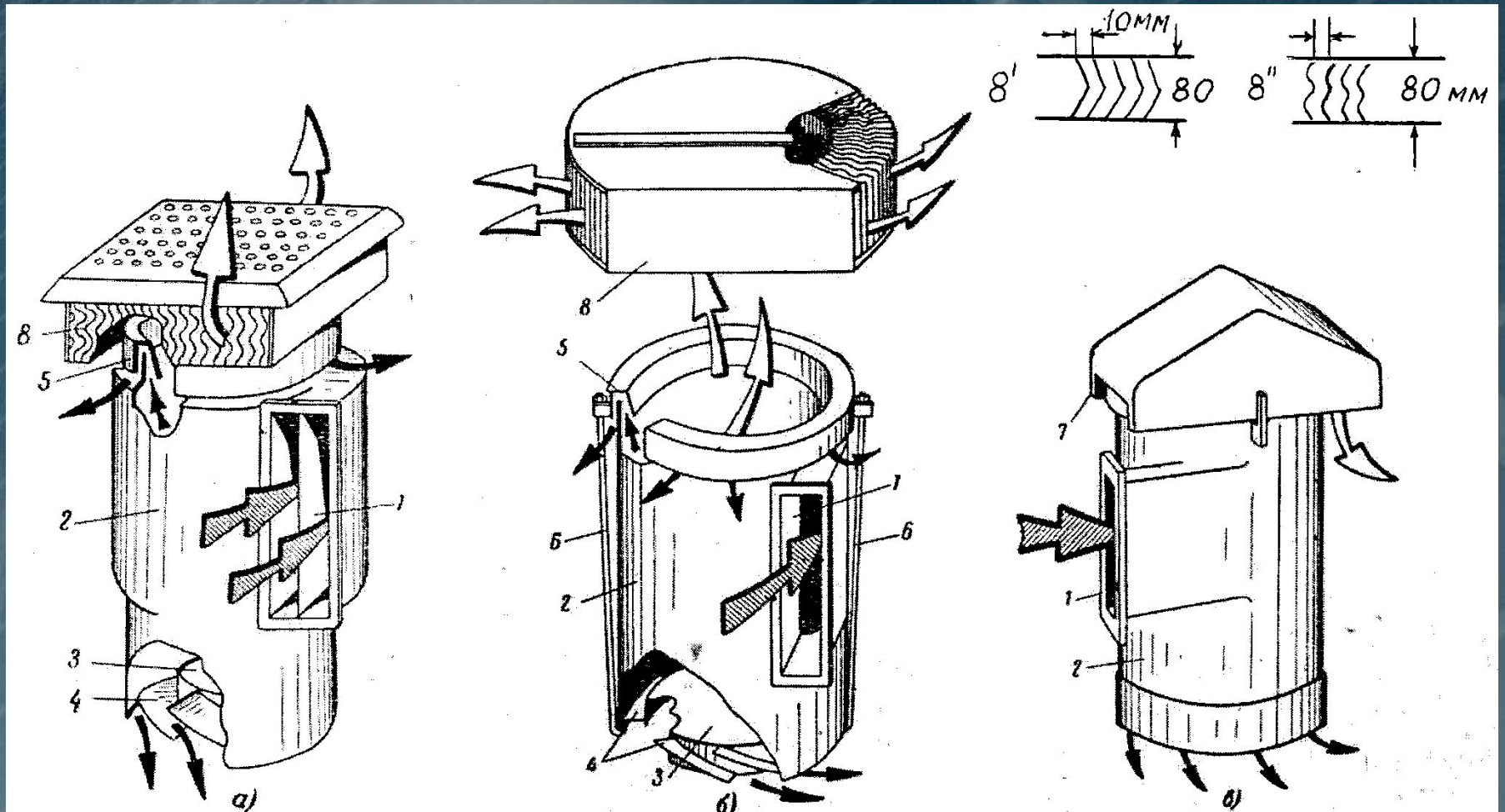
# ВНИТРИБАРАБАННЫЙ ЦИКЛОН

**1-я ступень** – **центробежная**, она создается за счет тангенциального подвода пароводяной смеси. Пар со скоростью  $\sim 1$  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

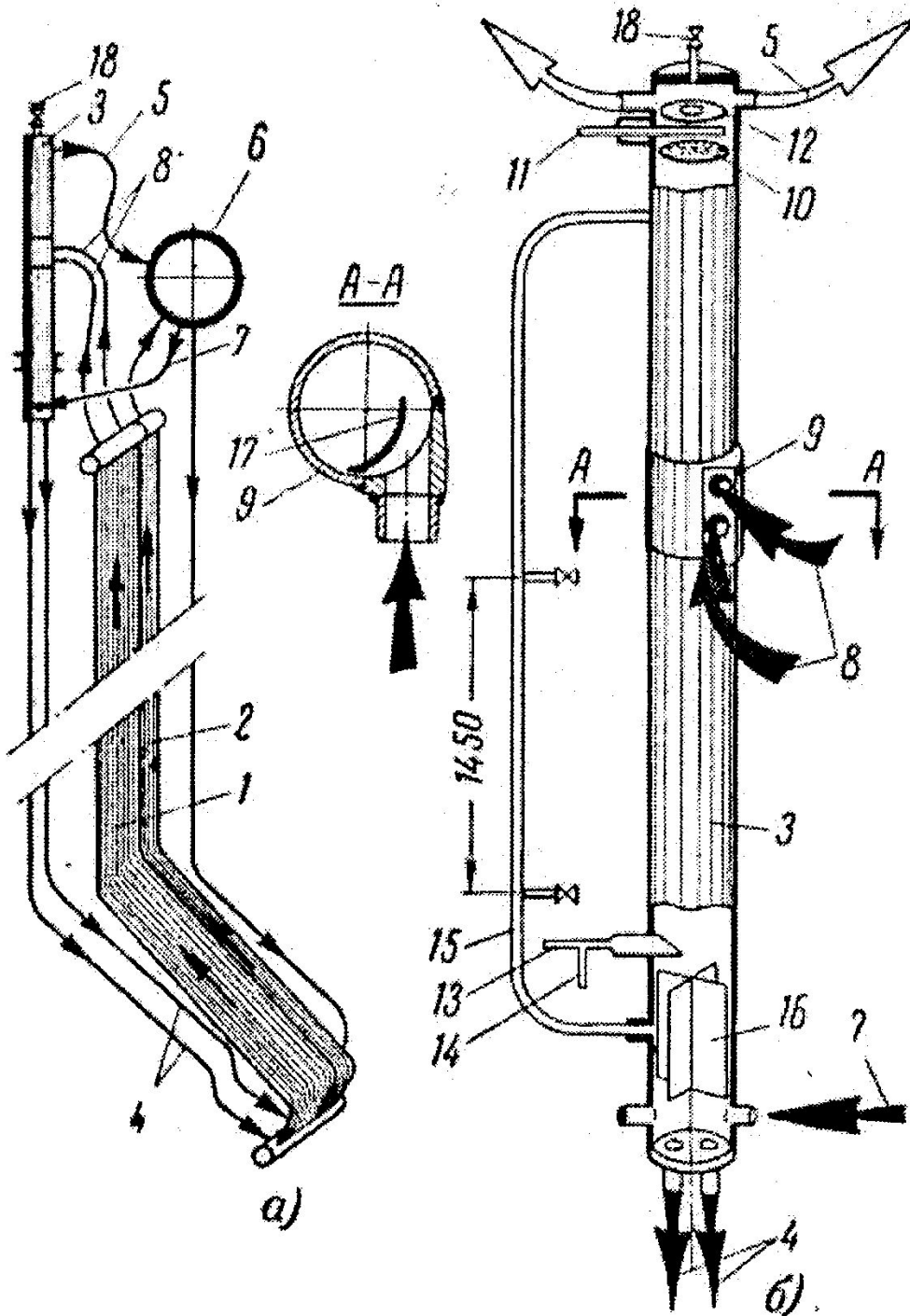


# ВЫНОСНОЙ ЦИКЛОН

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

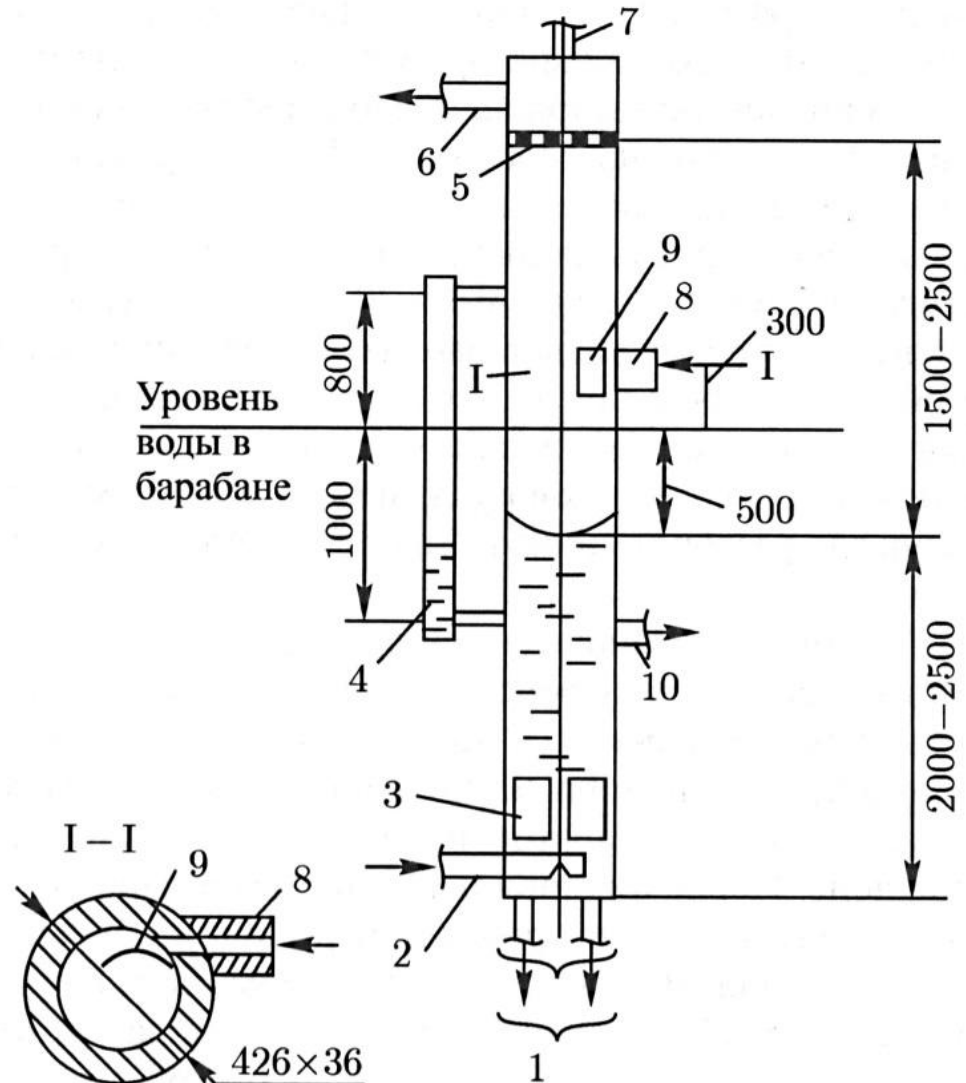
Применяется при  
организации  
ступенчатого  
испарения

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

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

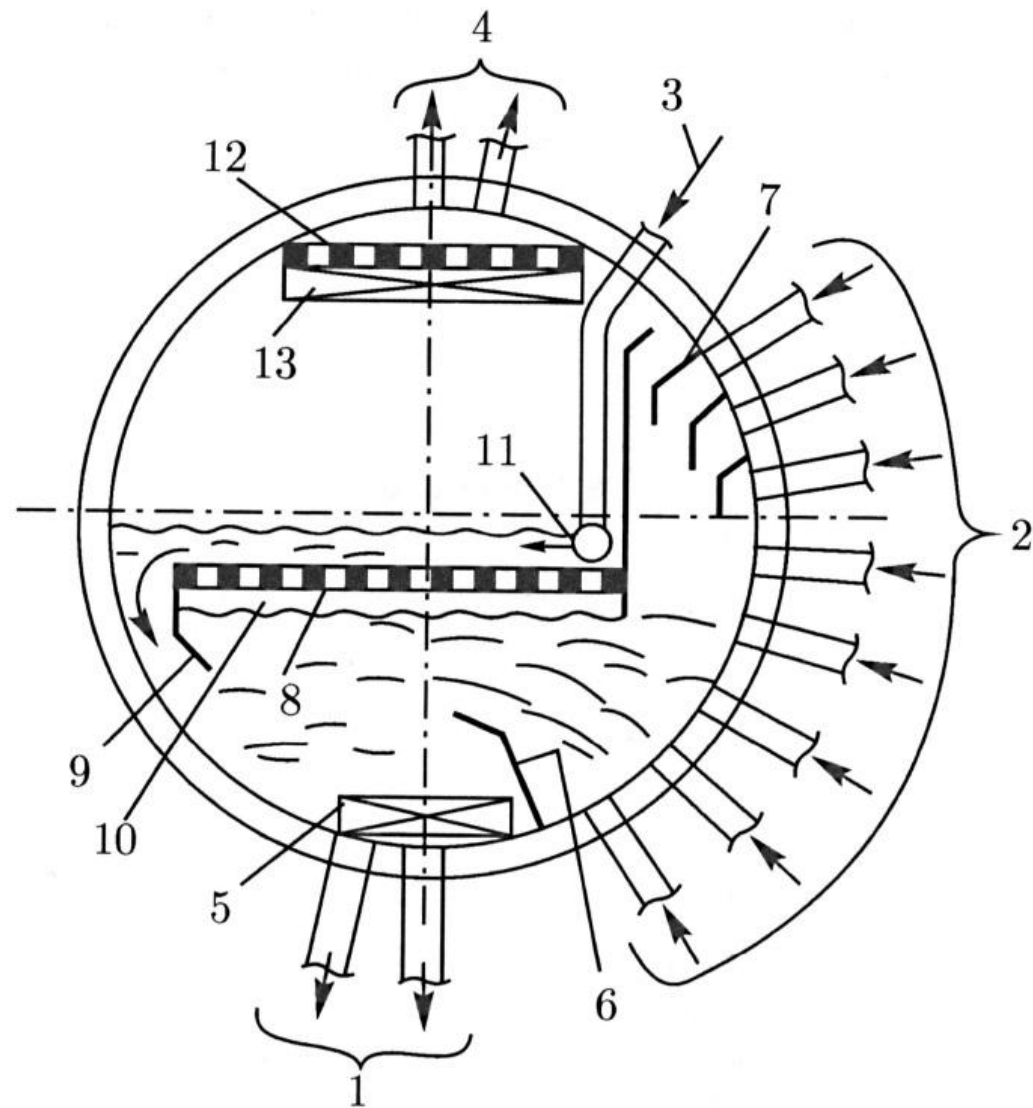
← для высокого и сверхвысокого давления ( $p_6 < 15 \div 19$  МПа) →

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.

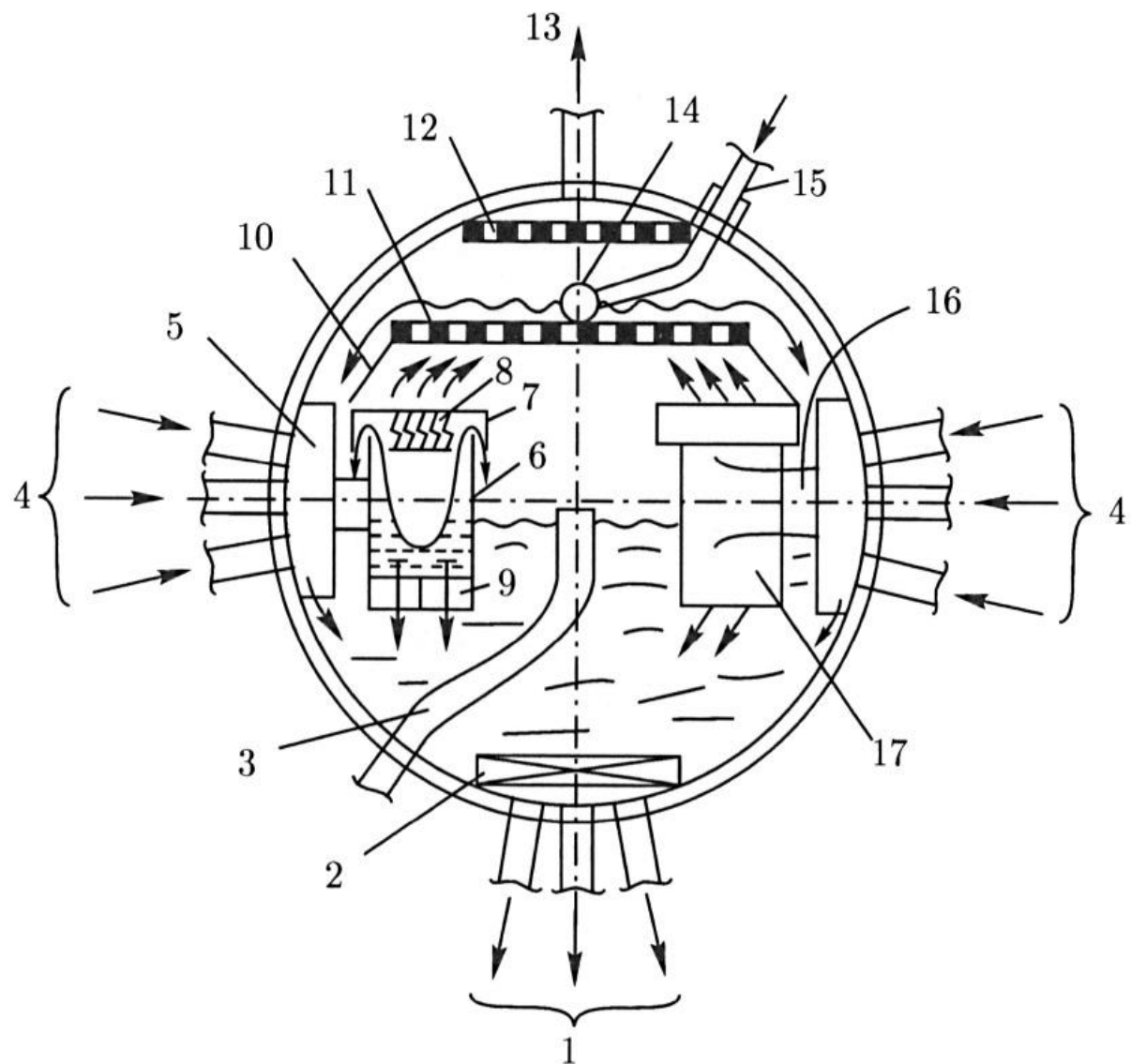
# ВНУТРИБАРАБАННЫЕ УСТРОЙСТВА КОТЛОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

- 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

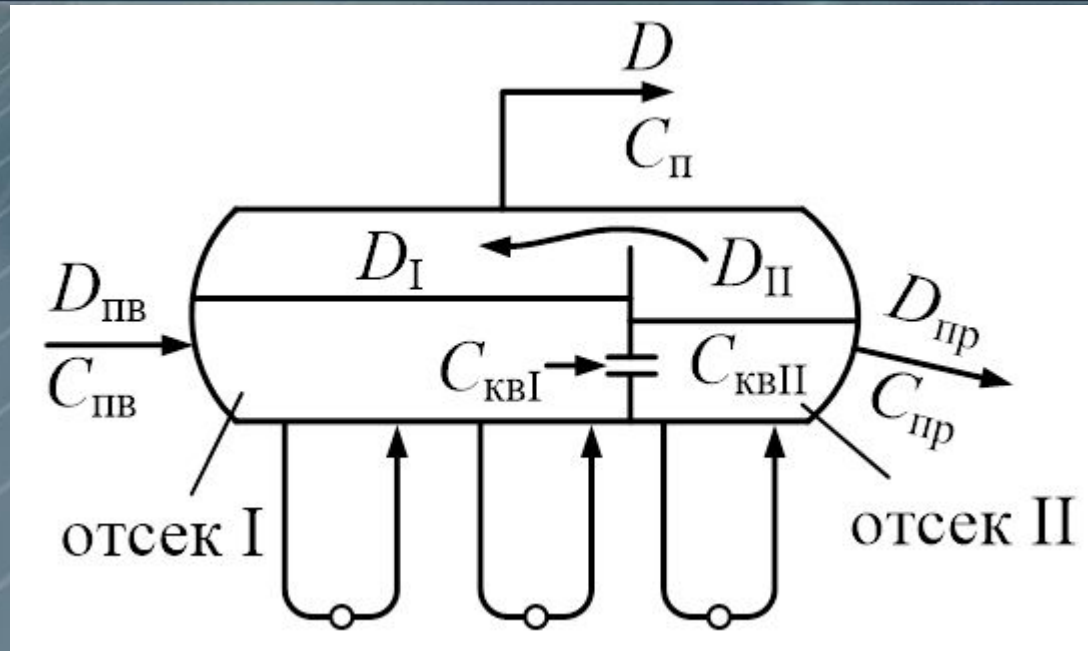
- 1 - опускающие трубы
- 2 - решетки (препятствуют воронкообразованию)
- 3 - аварийный слив
- 4 - подвод ПВС
- 5, 16 - входной (гасит скорость, отделяет воду) и перепускной короба
- 6, 7 - корпус и крышка циклона
- 8 - жалюзийный сепаратор
- 9 - крестовины
- 10 - сливной короб
- 11 - паропромывочное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



# СТУПЕНЧАТОЕ ИСПАРЕНИЕ

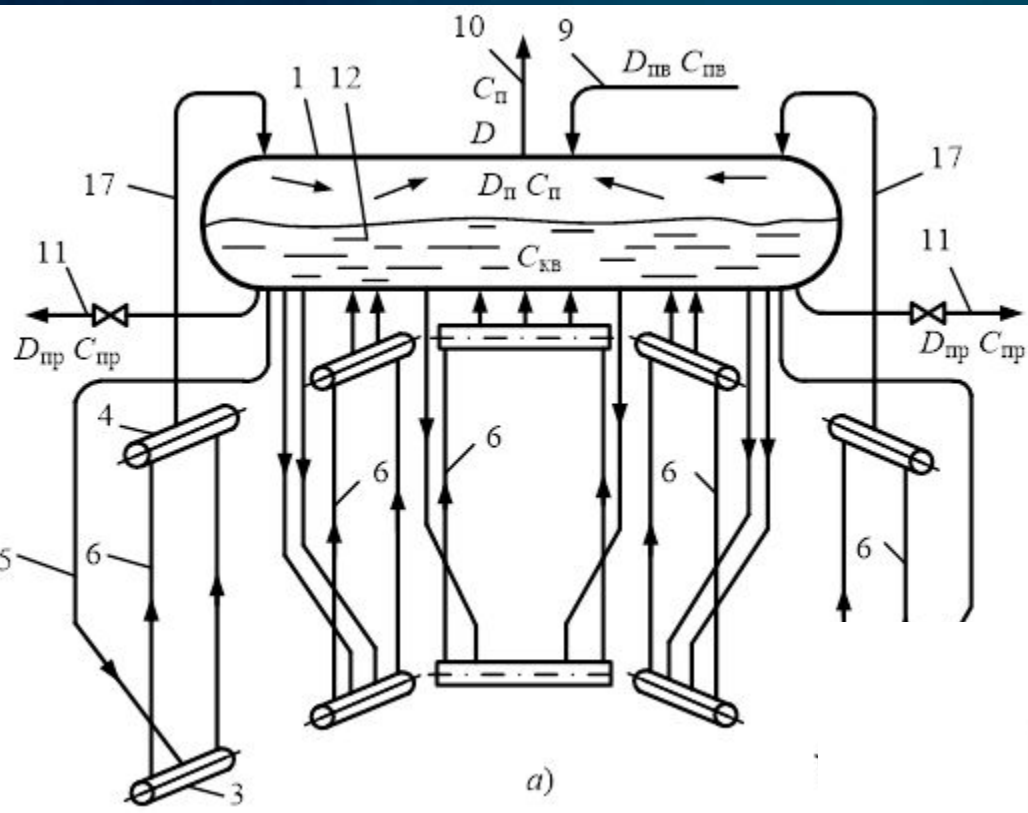
*При увеличении числа ступеней качество котловой воды и пара будут улучшаться. Практически делают 2–3 ступени испарения, причем в качестве второй или третьей ступени во многих случаях используют выносные циклоны*

# СТУПЕНЧАТОЕ ИСПАРЕНИЕ

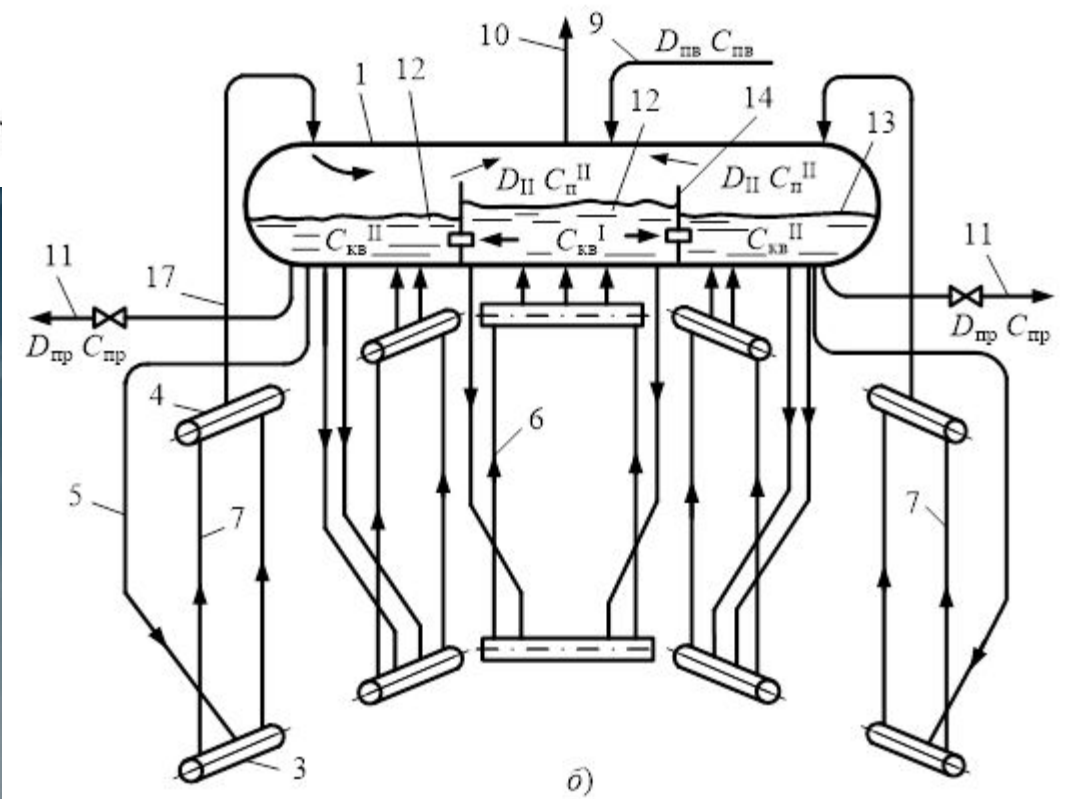


Концентрация примеси в котловой воде 2 ступени значительно выше, чем в первой, и соответствует концентрации в одноступенчатой схеме. Поэтому 1 отсек называют «**ЧИСТЫМ**», а 2 – «**СОЛЕВЫМ**». Выигрыш ступенчатого испарения заключается в том, что 80% (в нашем примере) котловой воды и, следовательно, 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

# МАТОЕ ИСПАРЕНИЕ

Двухступенчатое с  
выносными циклонами

Трехступенчатое с  
выносными циклонами

