

Закономерности перехода примесей из воды в пар

Солесодержания пара для i -ой примеси в общем случае:

$$C_{\Pi_i} = (K_{p_i} + w) C_{В_i}$$

C_{Π_i} – солесодержание пара;

K_{p_i} – растворимость веществ в паре;

w – влажность пара (величина уноса влаги в барабане);

$C_{В_i}$ – массовая доля i -ой примеси в воде.

В барабанных котлах при малых давлениях растворимость солей в паре K_{p_i} достаточно низка, и солесодержание пара определяется уносом влаги w .

С ростом давления растворимость веществ в паре будет расти.

Закономерности перехода примесей из воды в пар

Если пренебречь уносов влаги в пароперегреватель, что справедливо для прямоточных котлов, в том числе, на сверхкритические параметры пара:

$$K_{p_i} = \frac{C_{\Pi_i}}{C_{B_i}} \approx \left(\frac{\rho''_i}{\rho'_i} \right)^n$$

Растворимость в паре вещества разделяют на три группы по показанию степени n :

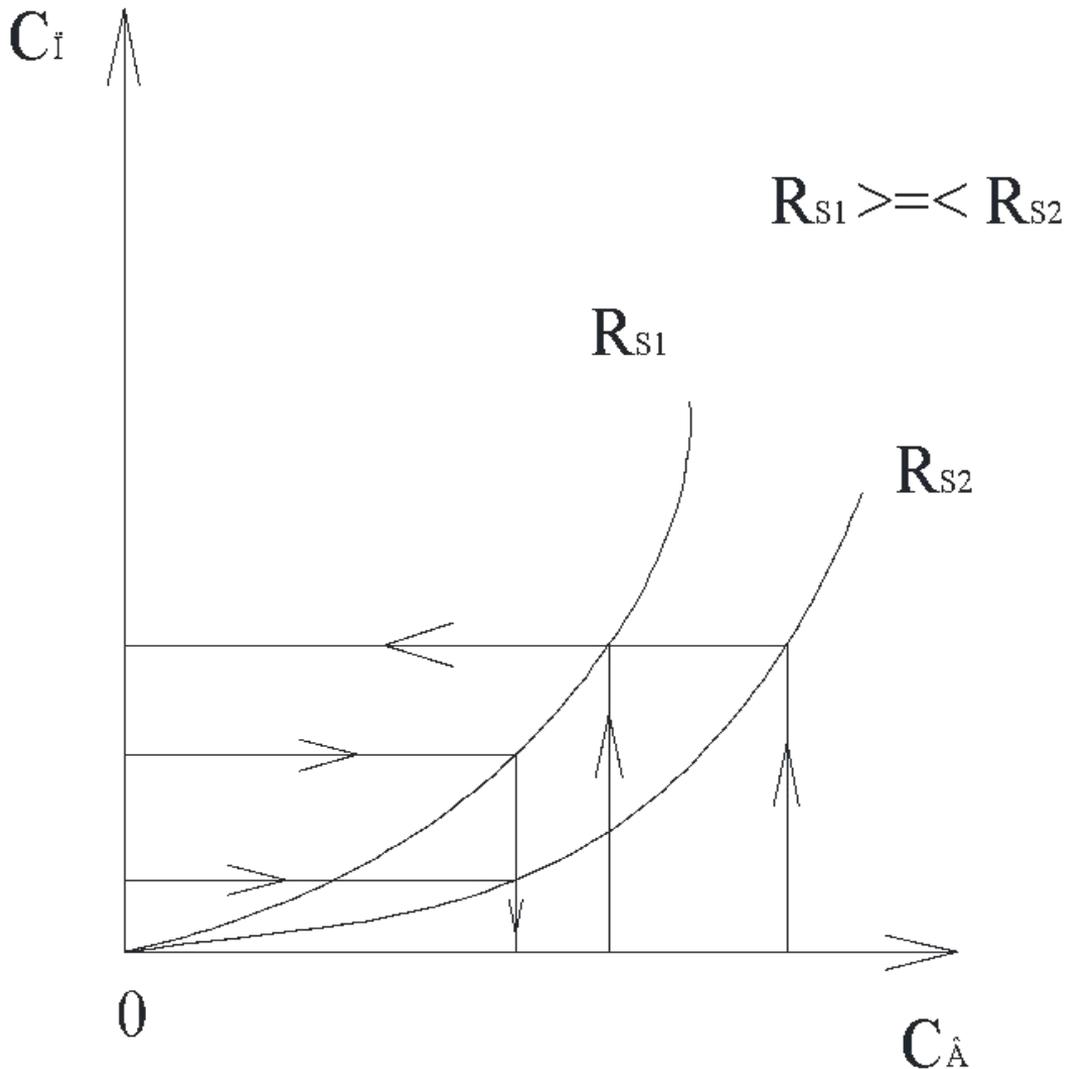
- слабые электролиты $n=0,65 \div 0,88$;
- слабые кислоты $n=1,5 \div 1,9$;
- сильные соли и основания $n=3,7 \div 8,4$.

Закономерности перехода примесей из воды в пар

в пар

Переход примесей из воды в пар будет зависеть и от нагрузки зеркала испарения – условной поверхности границы раздела воды и пара.

Нагрузка зеркала испарения R_s , $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ (R_v , $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{ч}$) – это отношение объёмного расхода пара к площади поперечной поверхности или паровому объёму барабана.



Получение чистого пара

Одной из основных задач котла является получение среды заданных параметров (P , t) и качества. Получение пара с требуемым солесодержанием является довольно важной технической задачей для ТЭС. От её выполнения, во многом, зависит безаварийный режим работы станции.

Пар с повышенным солесодержанием может вызвать отложение солей :

- в пароперегревателе;
- в арматуре котла;
- паровой турбине.

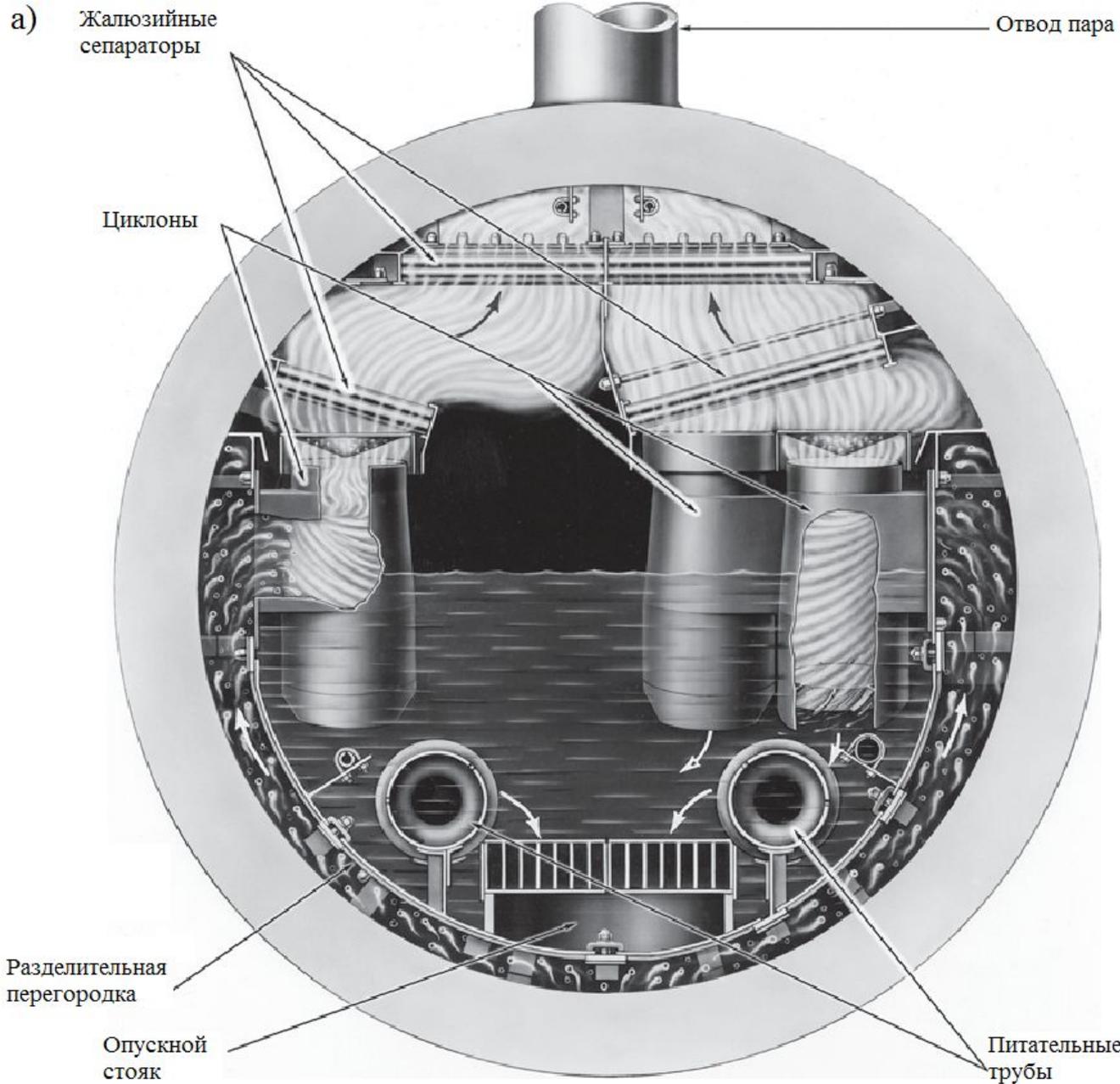
Даже небольшое количество капельной влаги, большее, чем 0.25% по массе может чрезвычайно сильно повысить вынос солей и их недопустимое отложение в пароперегревательном тракте котла и турбины

Получение чистого пара

В котлах с естественной и многократной принудительной циркуляцией организации сепарации, испарения, промывки пара и др. осуществляется в длинном цилиндрическом сосуде большого диаметра – барабане. Функции барабана:

1. Сепарация пароводяной смеси, поступающей из испарительных поверхностей. Отделившийся пар после него поступает в пароперегреватель. Смешение котловой воды из контура циркуляции с водой из экономайзера.
2. Очистка пара от оставшихся примесей (промывка).
3. Осуществление поперечных связей между контурами циркуляции.
4. Осуществление водно-химического режима, контроль коррозии.
5. Запас воды для компенсации быстрых изменений в режиме работы котла.

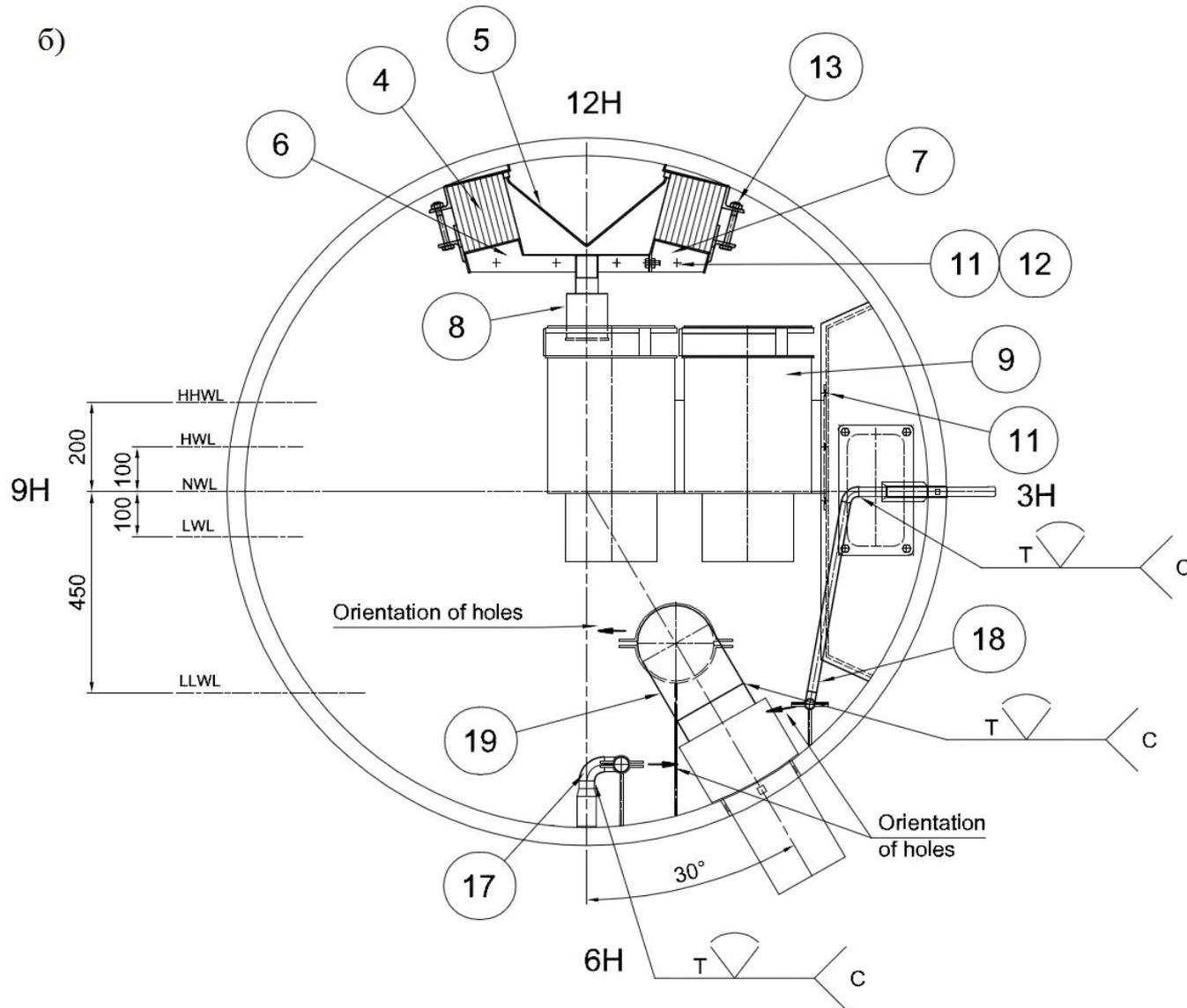
Получение чистого



Барaban
котла на
давление
19.3 МПа

Получение чистого пара

пары

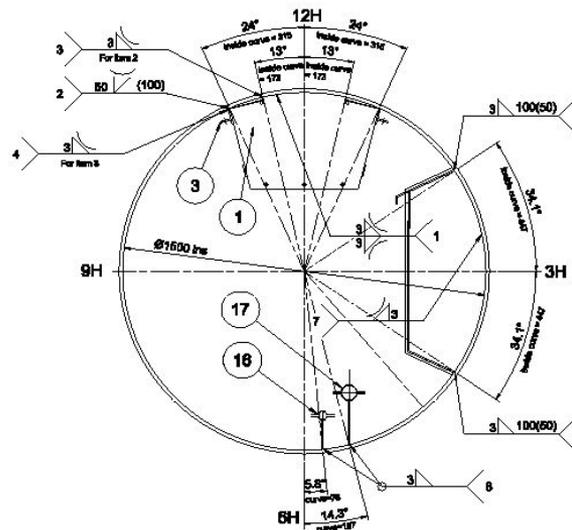
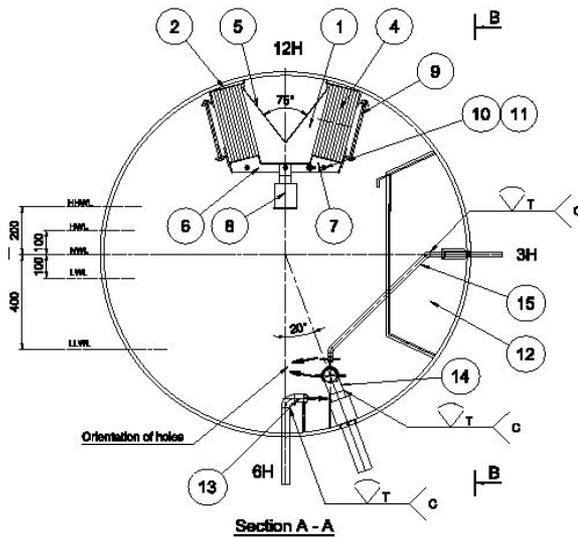
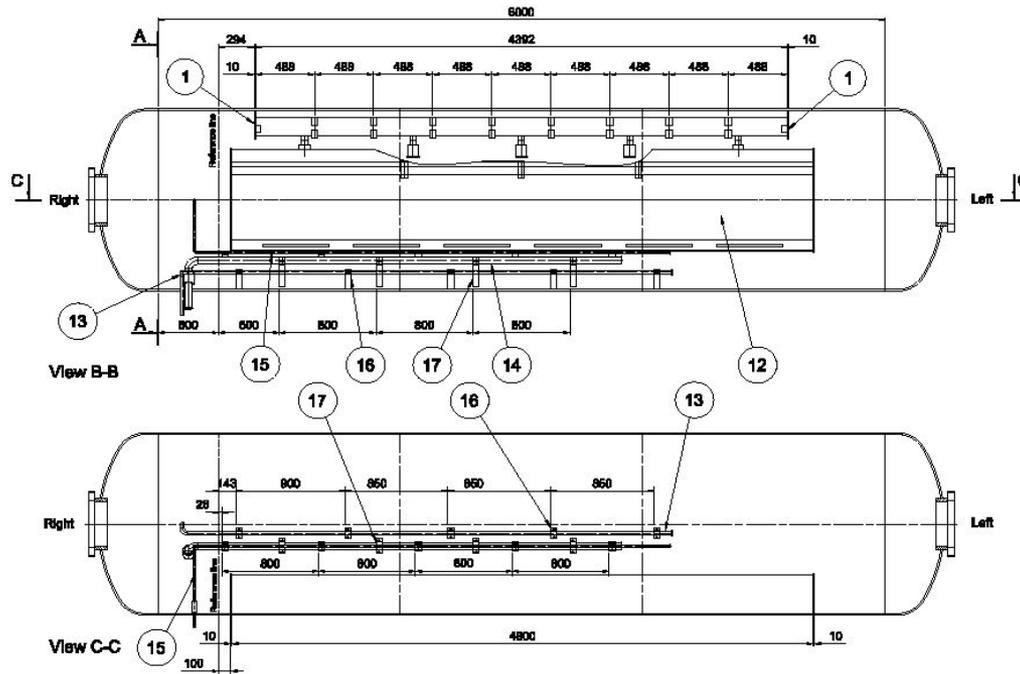


Барабан
котла на
давление
5.9 МПа

Получение чистого пара

пана

B)



Барабан котла на давление 0.8 МПа

Получение чистого пара

Высокоэффективная сепарация необходима для:

1. Предотвращения выноса капельной влаги в пароперегреватель, которая может повредить последний.
2. Отсутствия сноса пузырей пара в опускные трубы.
3. Препятствие выноса твердых частиц.

На сепарацию в барабане влияют различные факторы. Их можно разделить на две группы:

1) проектные:

- давление;
- длина и диаметр барабана;
- объёмный расход пара (паропроизводительность);
- степень сухости пароводяной смеси на входе в барабан;
- компоновка внутрибарабанных устройств;
- конфигурация подвода и отвода среды из барабана.

Получение чистого пара

2) эксплуатационные:

- давление;
- нагрузка котла;
- химический режим (солесодержание котловой воды);
- уровень воды в барабане (высота парового объёма не сказывается сколько-нибудь значительно при величине более 1000 мм).

Сепарация влаги в барабане определяется:

- временем пребывания капли в паровом пространстве барабана;
- длиной пройденного пути (высотой парового пространства);
- скоростью витания.

Скорость витания частицы – это скорость, при которой сила аэродинамического воздействия потока равняется силе тяжести частицы

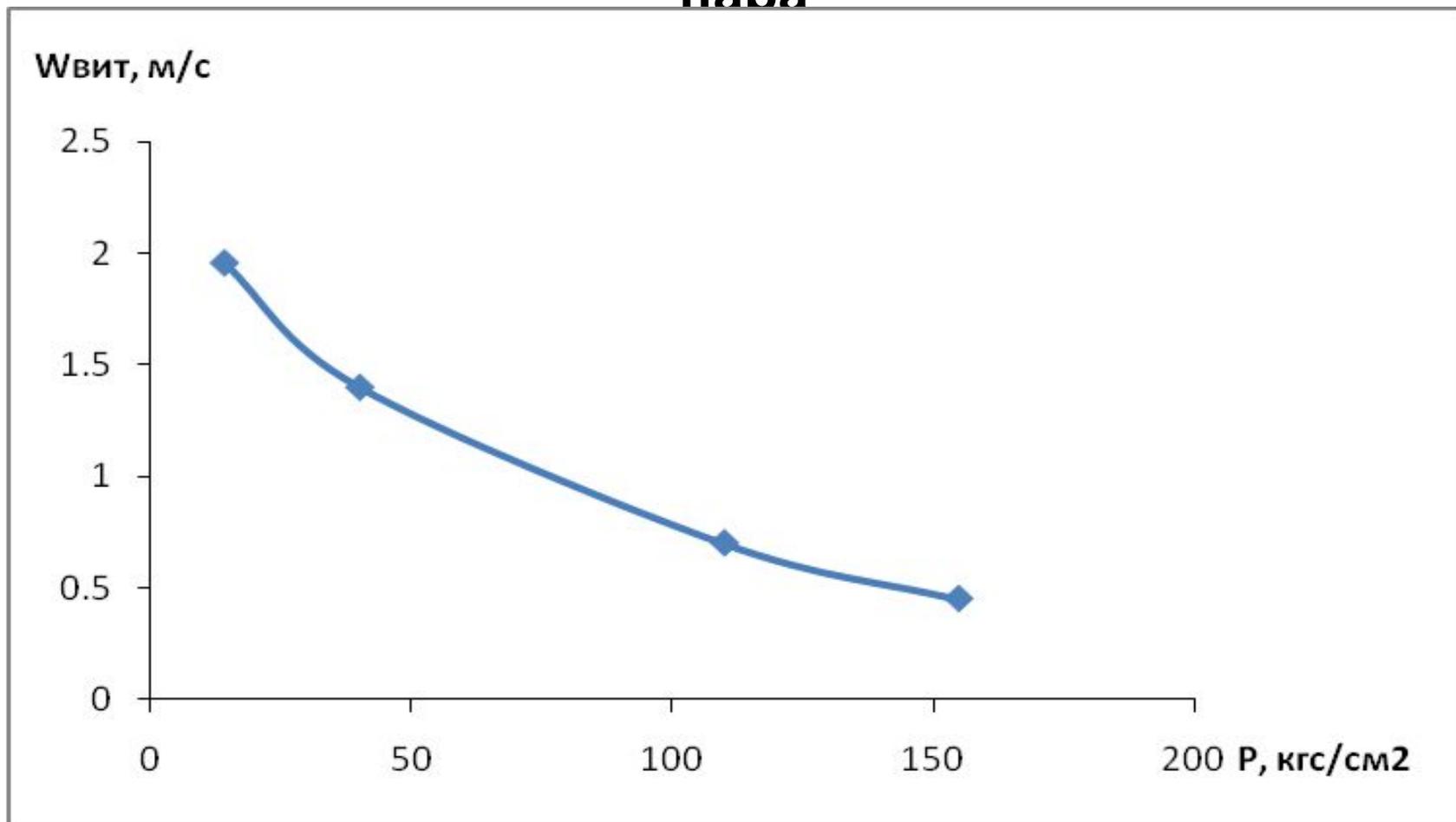
Получение чистого пара

- Если скорость частицы равна скорости витания, то она может находиться во взвешенном состоянии в потоке среды бесконечно долгое время.
- При $w < w_{\text{ВИТ}}$ капли из парового пространства барабана будут выпадать на зеркало испарения.
- При $w > w_{\text{ВИТ}}$ капли воды будут уноситься потоком пара в отводящие патрубки.

Капельная влага в паровом пространстве барабана образуется при разрыве оболочек барбортируемых пузырей пара за счёт динамического воздействия парового потока.

Частички воды при этом возникают с диаметрами широкого спектра.

Получение чистого пара



Изменение скорости витания капли с диаметром 2 мм в зависимости от давления в барабане

Получение чистого пара

По мере увеличения в котловой воде взвешенных *твёрдых частиц*, (оксидов железа и шлама) начинает проявляться склонность воды к вспениванию. Это происходит за счёт образования на поверхностном слое высокодисперсных смесей.

При сверхкритическом солесодержании паровая фаза не успевает выделиться. Многие «капли» представляет двухфазную среду, в которой жидкость имеет ячеистую структуру (жидкость вспенивается).

Пленки паровых пузырей утоняются больше, вследствие чего происходит образование более мелкодисперсных капель.

На практике в сторону увеличения уноса влияет уменьшение парового пространства барабана.

Получение чистого пара

Критическое солесодержание воды в барабане

Давление	Низкое	Среднее	Высокое
$S_{кр}$ мг/кг	3000	1300-1500	300-500

Получение чистого пара

Способы сепарации пара:

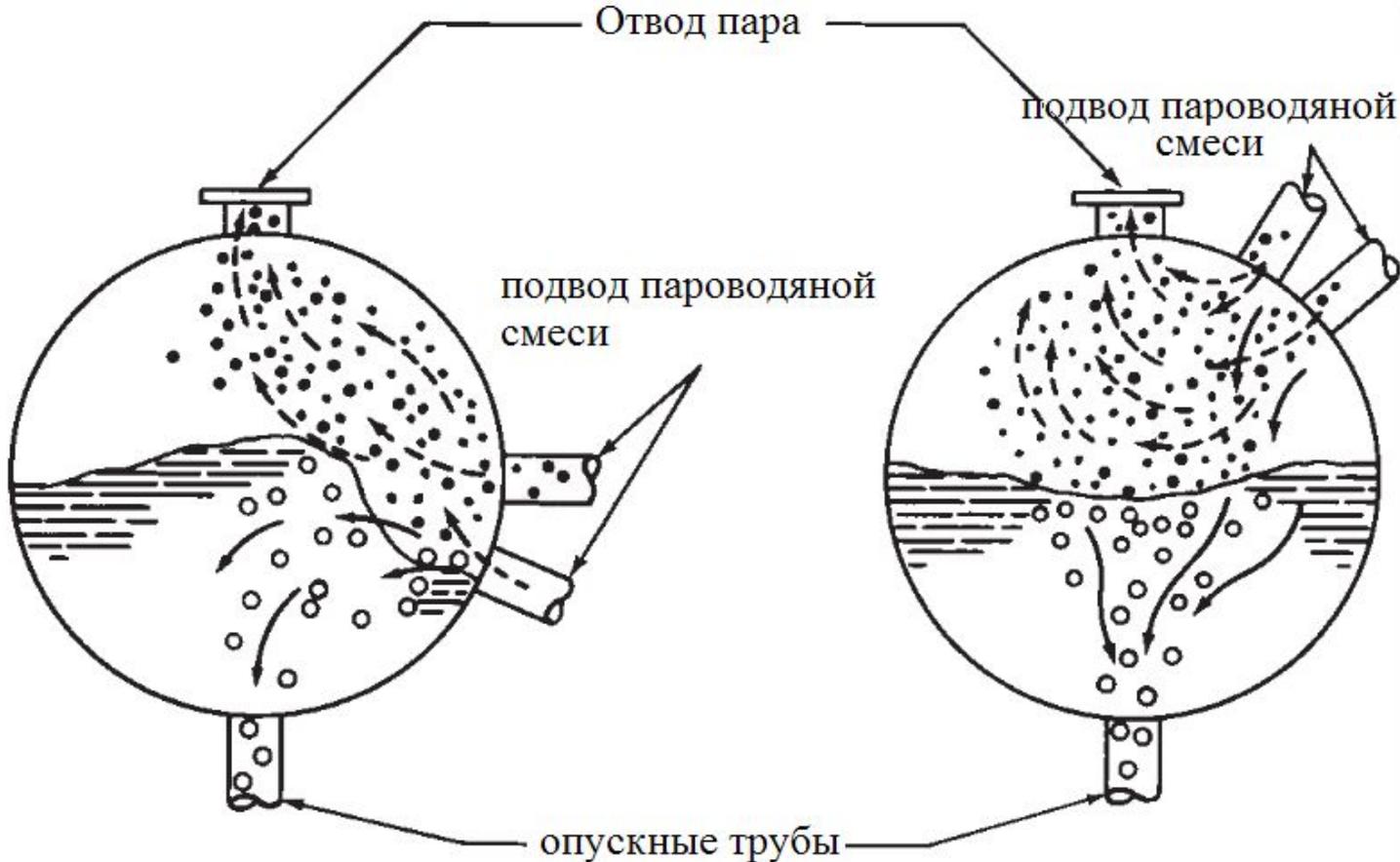
- гравитационно-осадительная;
- инерционная.

В основе гравитационно-осадительной сепарации лежит принцип выпадения капельной влаги из парового потока под действием сил тяжести.

Необходимые условия обеспечения гравитационно-осадительной сепарации пара :

- обеспечить достаточную высоту парового пространства (около 1 м);
- равномерно распределить паровую нагрузку по барабану;
- обеспечить низкую скорость пара в барабане (менее 0,3-1,0 м/с) и достаточное время пребывания среды в паровом пространстве барабана

Получение чистого

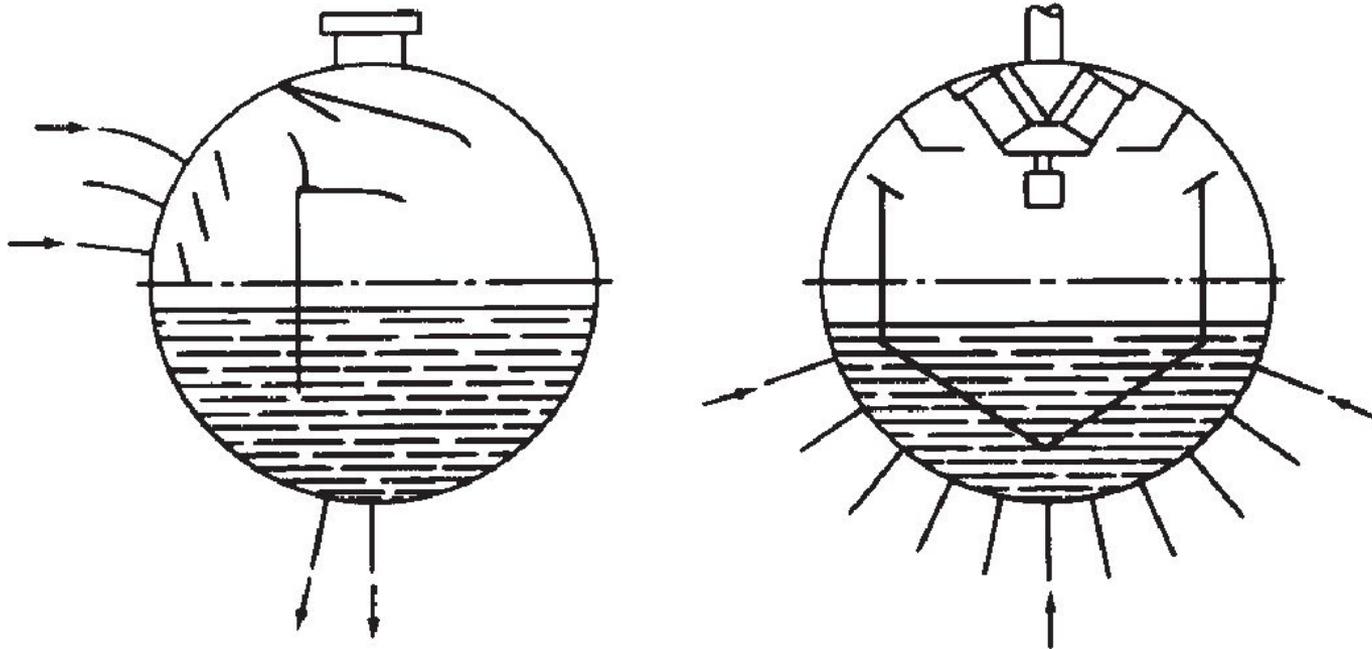


а) подвод смеси рядом со средней линией барабана

б) подвод труб над средней линией барабана

Неудовлетворительное распределение пароводяной смеси по барабану вместе с неоптимальным местом ввода

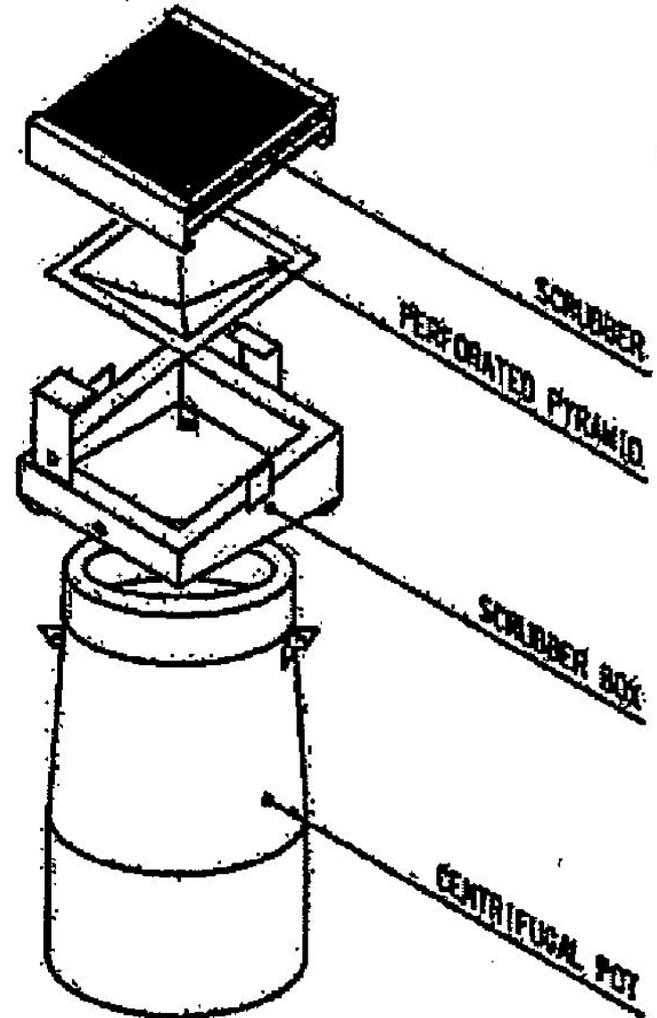
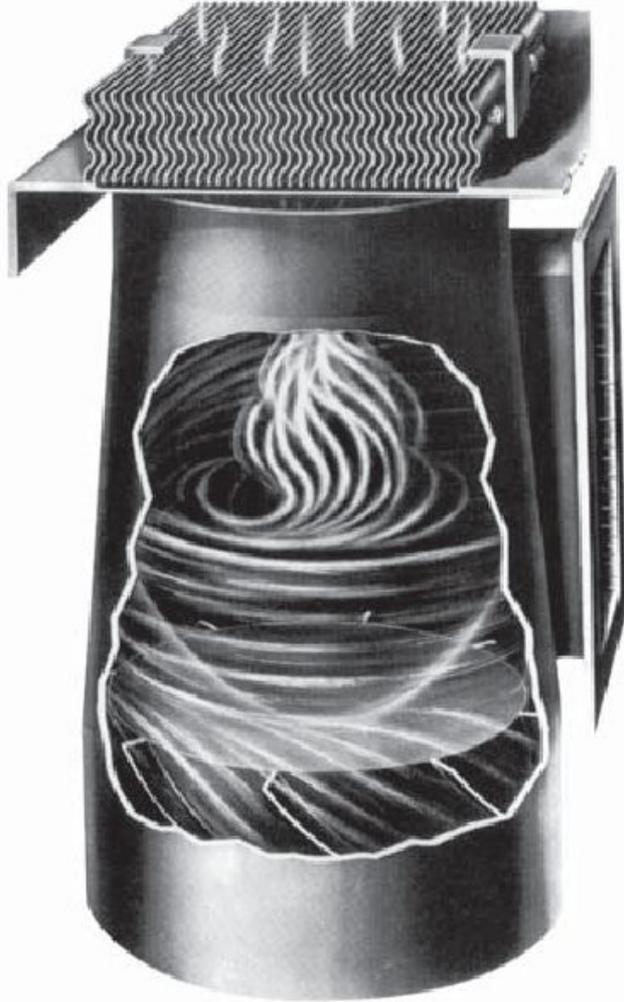
Получение чистого



Барабана котла среднего давления с направляющими

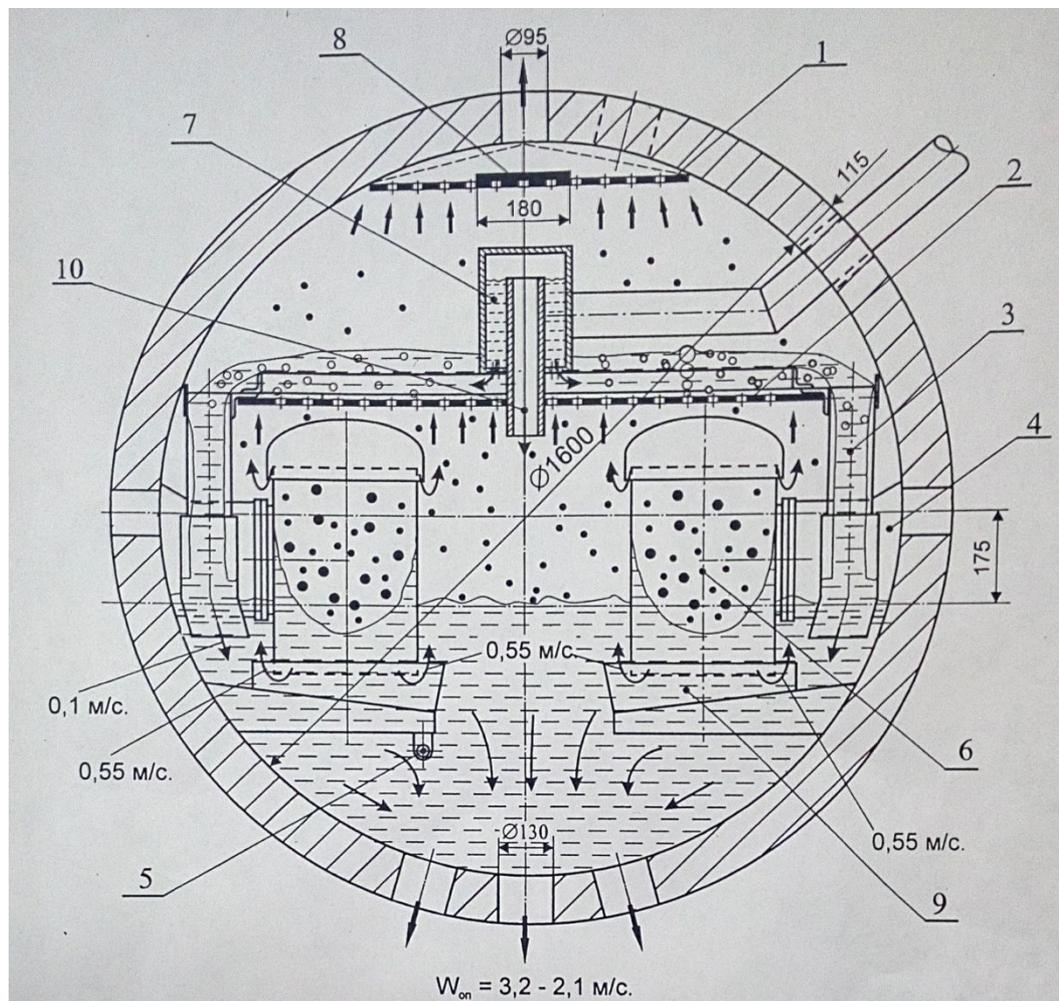
- изменение направления потока;
- добавление сопротивления;
- более равномерное распределению потока;
- увеличение пути прохождения потоком и времени пребывания в паровом пространстве барабана;
- гашение кинетической энергии потока.

Получение чистого пара



Внутрибарабанные циклоны в котлах большого давления

Получение чистого



Максимальный диаметр циклона ограничен по условиям монтажа 350 мм.

Поэтому число циклонов и рядов их установки возрастает с 1-2 при 0,7 МПа до 3-4 при 19 МПа.

Барaban котла ТРЕ-208:

1 – потолочный дырчатый лист; барботажный дырчатый лист; 3 - сливной короб; 4 – короб циклона; 5 – коллектор фосфатирования; 6 – циклон; 7 – короб подвода п.в.; 8 – диск; 9 – поддон; 10 – сбросной канал

Получение чистого пара

Допустимые скорости пара в элементах сепарационных устройств котлов

P_B , кгс/см ²	w_0'' , м/с (в диаметральной сечении циклона)	
	Внутрибарабанные циклоны	Выносные циклоны (с улиточным вводом)
14	1.25	1.3 (2.3)*
40	0.9	0.8 (1.3)*
115	0.45	0.5
155	0.3	0.4

Примечание: * — в скобках указана приведенная скорость пара для подвода среды тангенциальными сплюснутыми патрубками

Получение чистого пара

Условия установки внутрибарабанных циклонов:

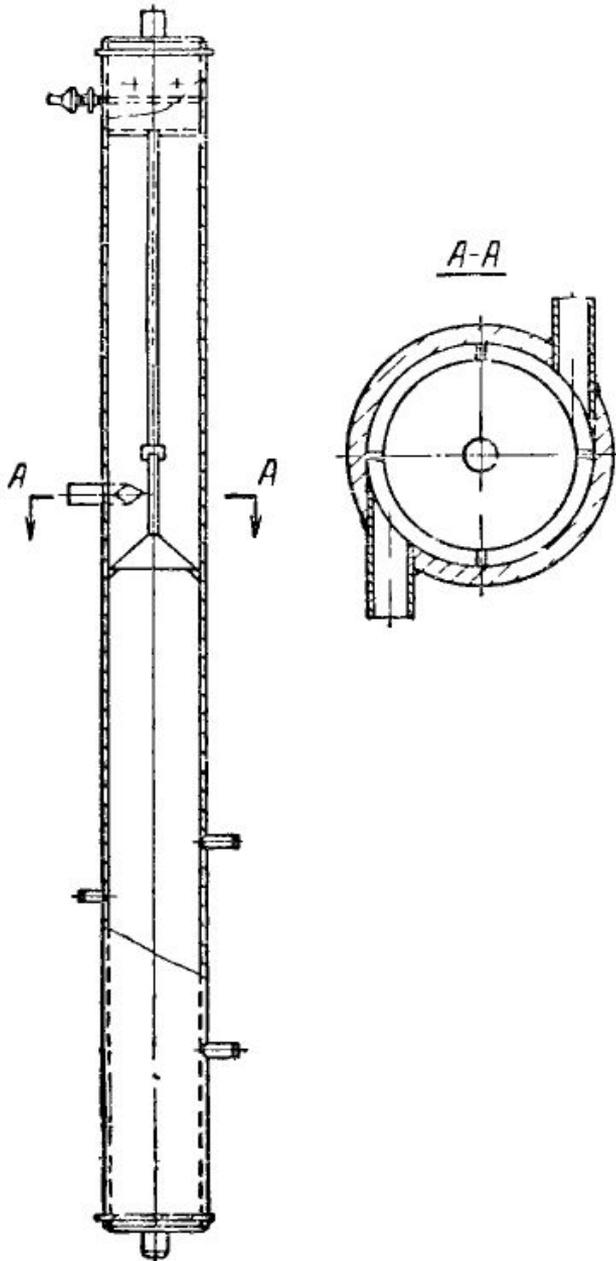
- верхняя кромка входного окна должны быть на 100 мм выше верхнего уровня воды;
- максимальный уровень воды не должен подниматься выше середины входного патрубка (при невыполнении этого условия возрастает унос влаги из циклона);
- минимальный уровень не должен опускаться ниже уровня, при котором гидрозатвор (расстояние от уровня до поддона) составляет не менее 100 мм;
- Максимальный диаметр по условию монтажа 350 мм.

Получение чистого пара

пара

Особенности работы выносных циклонов:

- увеличенное отношение u/w_0 10÷20 (тангенциальной скорости входа к подъёмной скорости пара);
- Большая высота парового пространства;
- наружный диаметр циклона ограничивается имеющимися сортаментом и составляет 426 мм.



Толщина стенок обычно составляет от 10 до 26

Получение чистого

пара

Двухступенчатая схема

испарения выносными
циклонами:

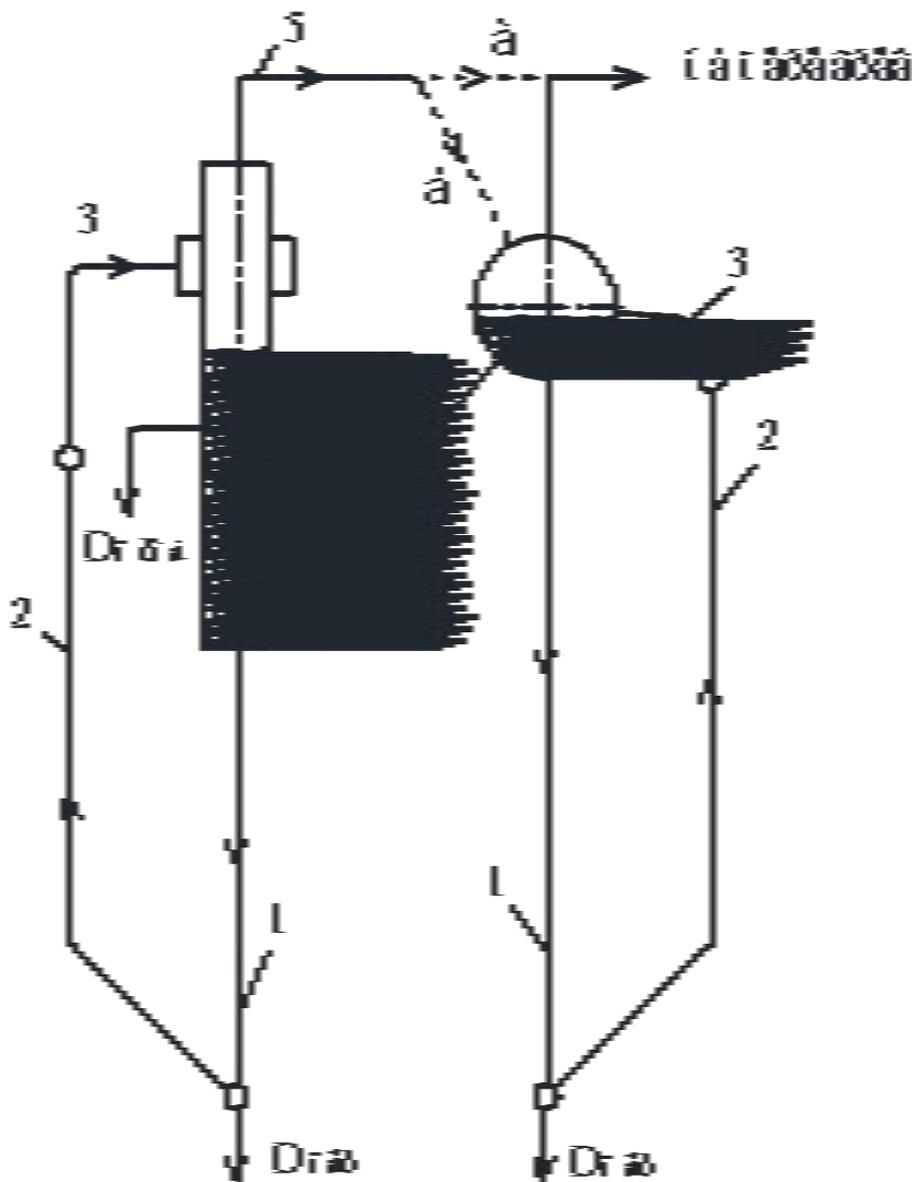
1 – опускные трубы;

2 – экраны;

3 – пароподводящие трубы;

4 – выносной циклон;

5 – паропроводящая труба.



Плюсы использования
выносных циклонов:

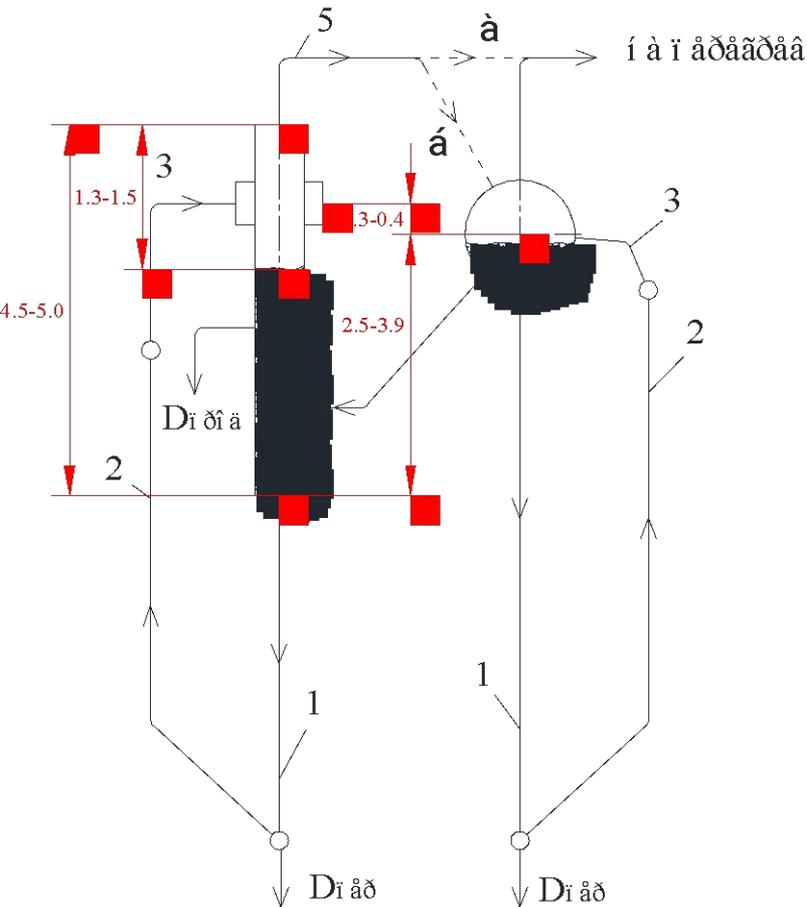
- меньшая металлоёмкость котла (при проектировании);
- большая паропроизводительность (при реконструкции).

Получение чистого

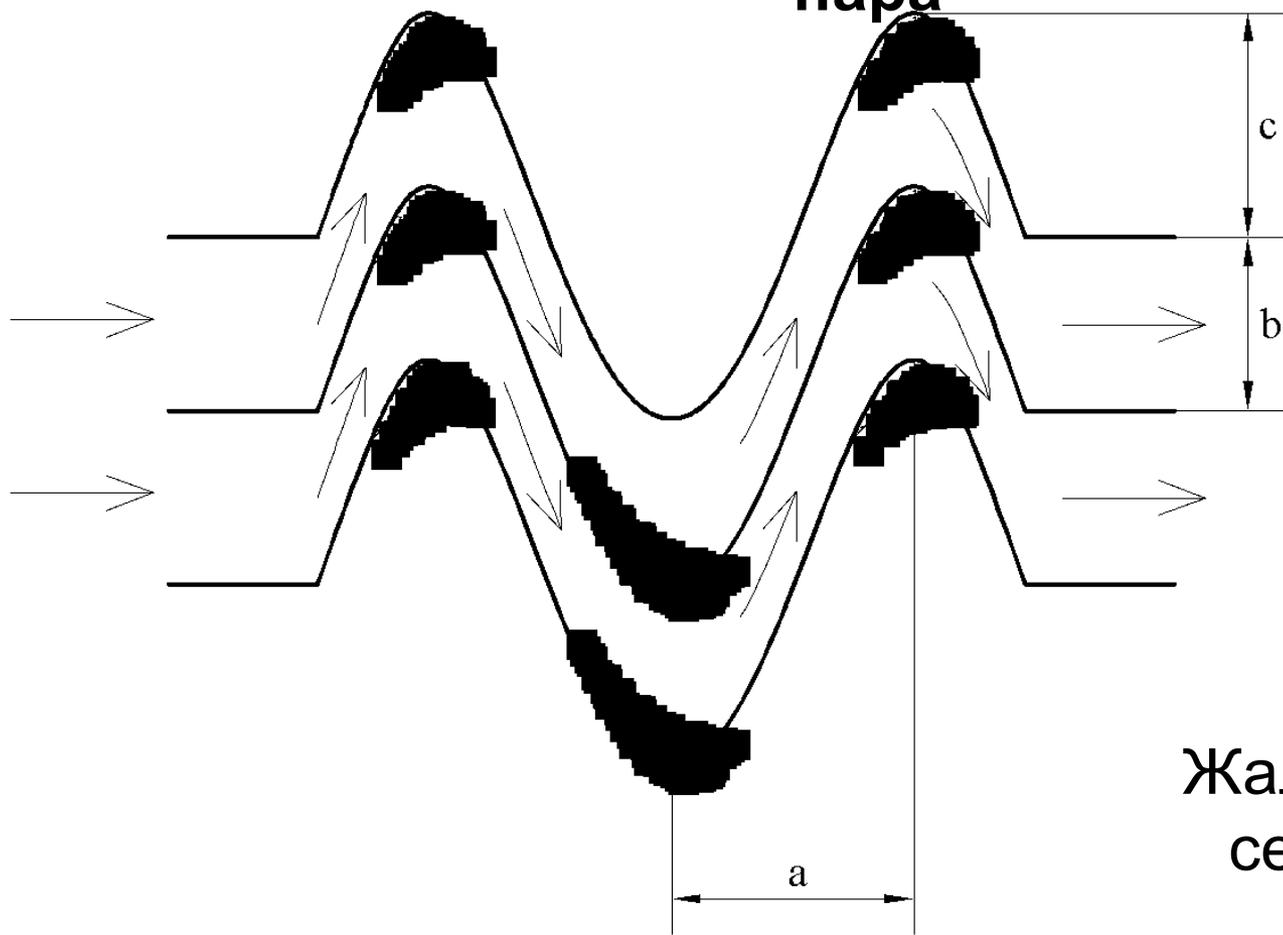
пара

Особенности установки выносных циклонов:

- Высота парового объёма циклона 1.3-1.5 м.
- Общая высота циклона 4.5-5.0 м.
- Расстояние от нижней кромки до входного штуцера пароводяной смеси до уровня воды в барабане ограничивается по условию предотвращения сильного воронкообразования и захвата паром котловой воды: 300÷400 мм
- Высота водяной части ограничивается по условию обеспечения надёжности циркуляции: 4.5-5.0 м.



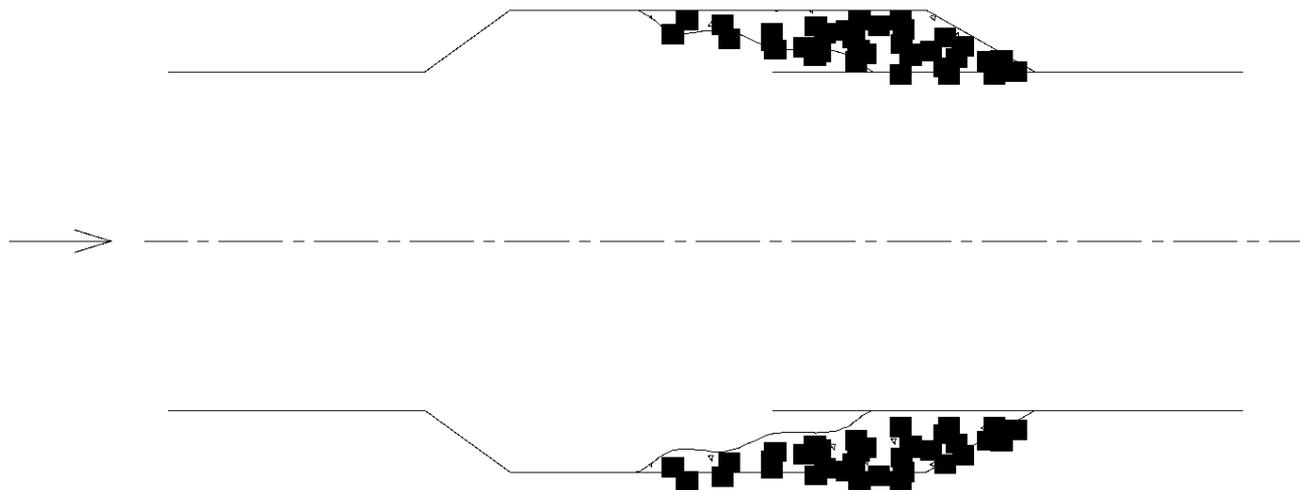
Получение чистого пара



При $a/b \rightarrow \min$ увеличивается эффективность работы и сопротивление сепаратора.

Для эффективной работы $c/b > 1$.

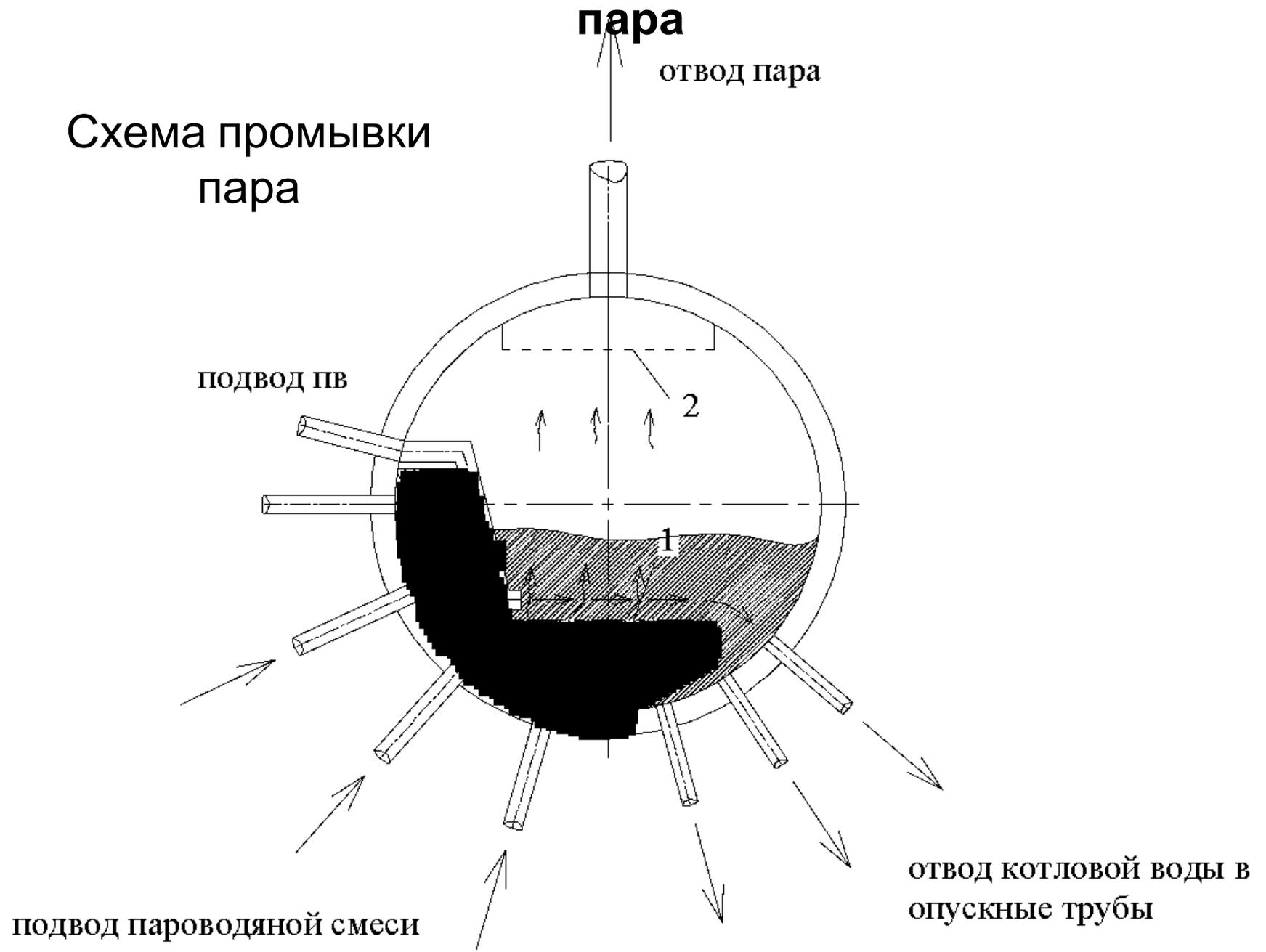
Получение чистого пара



Плёночный
сепаратор

Получение чистого пара

Схема промывки пара



Получение чистого пара

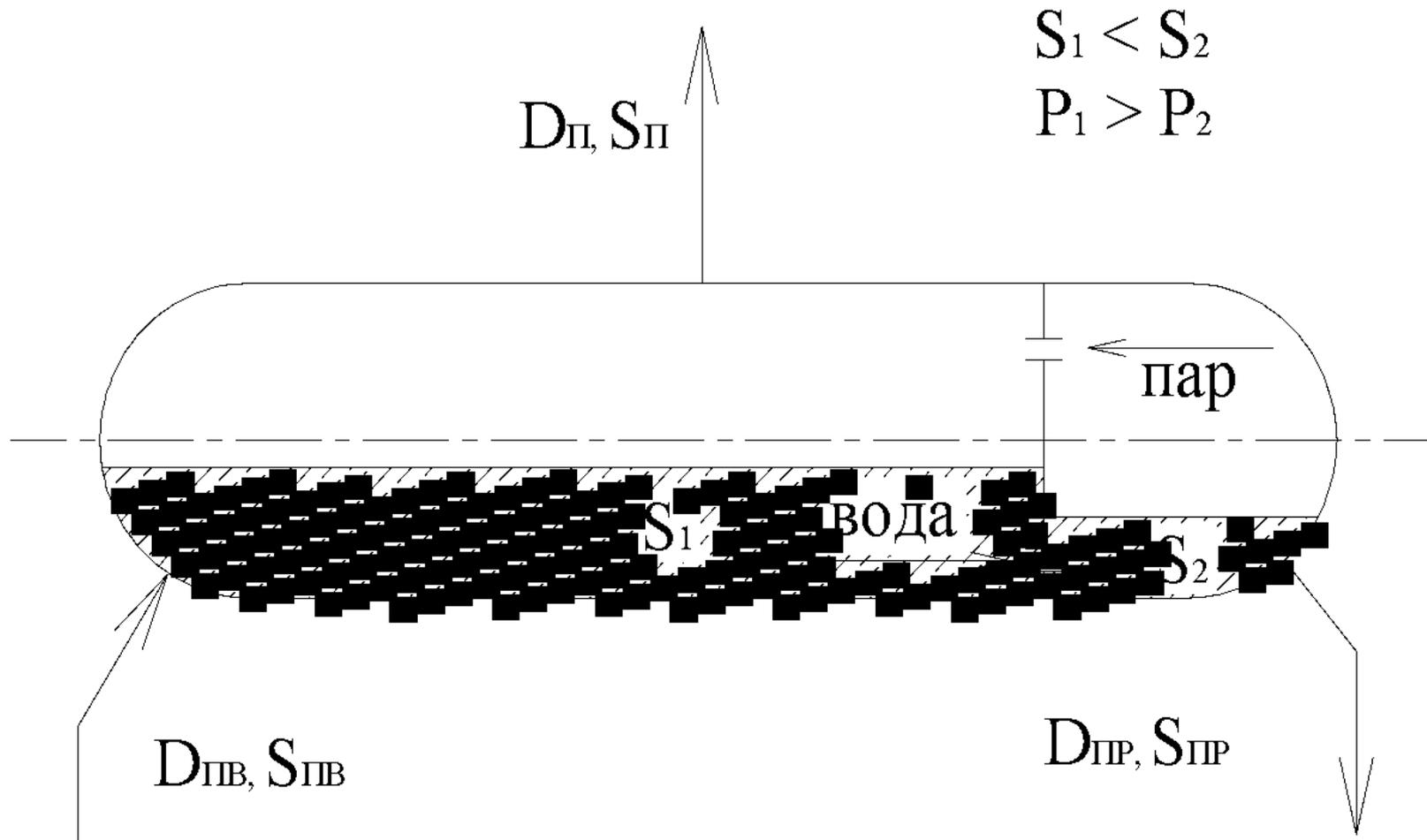
Ступенчатое испарение пара при его постоянном качестве направлено на снижение расхода непрерывной продувки и возможности работы на питательной воде ухудшенного качества.

Непрерывная продувка предназначена для поддержания солевого баланса при испарении. Производится из места с наибольшим солесодержанием.

Периодическая продувка предназначена для очистки контура циркуляции от скопившегося шлама. Производится из нижних точек контура циркуляции.

Получение чистого пара

Схема двухступенчатого испарения



Получение чистого пара

Ступенчато испарение организуется таким образом, что солесодержание воды соленого отсека равно солесодержанию воды в барабане при одноступенчатом испарении.

Большая часть пара образуется в чистом отсеке. При этом:

$$S_{cp} = \frac{S_1 \cdot D_1 + S_2 \cdot D_2}{D} < S_2$$

Получение чистого пара

Ступенчато испарение организуется таким образом, что солесодержание воды соленого отсека равно солесодержанию воды в барабане при одноступенчатом испарении.

Большая часть пара образуется в чистом отсеке. При этом:

$$S_{cp} = \frac{S_1 \cdot D_1 + S_2 \cdot D_2}{D} < S_2$$

Оптимальное распределение паропроизводительности по ступеням имеет место при одинаковой кратности упаривания ступеней a

$$a = \frac{S_1}{S_{нв}} = \frac{S_2}{S_1}$$

Получение чистого пара

Солевой баланс барабана (1 ступень)

$$(D + D_{np}) \cdot S_{нв} = S_{np} \cdot D_{np} + S_{нап} \cdot D(1 - \omega) + S_{\epsilon} \cdot \omega \cdot D$$

$$(D + D_{np}) \cdot S_{нв} = S_{np} \cdot D_{np}$$

$$(a =) \frac{S_{np}}{S_{нв}} = \frac{D + D_{np}}{D_{np}}$$

Для двухступенчатого испарения

$$S_1 = a \cdot S_{нв}$$

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{S_2}{a \cdot S_{нв}} = a \rightarrow \frac{S_2}{S_{нв}} = a^2 \rightarrow a = \sqrt{\frac{D + D_{np}}{D_{np}}}$$

Получение чистого пара

Солевой баланс барабана (1-ой ступени)

$$(D + D_{np}) \cdot S_{не} = (D + D_{np} - D_1) \cdot S_1 \rightarrow \frac{D_1}{D}$$

Солевой баланс барабана (2-ой ступени)

$$(D + D_{np} - D_1) \cdot S_1 = (D + D_{np} - D_1 - D_2) \cdot S_2 \rightarrow \frac{D_2}{D}$$

Получение чистого

$$(D + D_{np}) = \left(D + D_{np} - D_1 \right) \cdot a, \quad | :D$$

$$\frac{D_1}{D} \cdot a = a \left(1 + \frac{D_{np}}{D} \right) - \left(1 + \frac{D_{np}}{D} \right),$$

$$\frac{D_1}{D} = \left(1 + \frac{D_{np}}{D} \right) \cdot \left(\frac{a-1}{a} \right).$$

$$\left(1 + \frac{D_{np}}{D} - \frac{D_1}{D} \right) = \left(1 + \frac{D_{np}}{D} - \frac{D_1}{D} - \frac{D_2}{D} \right) \cdot a$$

$$\frac{D_2}{D} \cdot a = \left(1 + \frac{D_{np}}{D} - \frac{D_1}{D} \right) \cdot a - \left(1 + \frac{D_{np}}{D} - \frac{D_1}{D} \right)$$

$$\frac{D_2}{D} = \left(1 + \frac{D_{np}}{D} - \frac{D_1}{D} \right) \cdot \left(\frac{a-1}{a} \right)$$

Получение чистого пара

Оптимальное соотношение расхода непрерывной продувки и паропроизводительности каждой ступени

Расход продувки, в %	Расход 1-ой ступени	Расход 2-ой ступени
0.5	0.935	0.065
1.0	0.91	0.09
2.0	0.87	0.13
3.0	0.85	0.15