




# ВОДНО- РЕЖИМ ТЭС

Слюсарский К.В.



# Определение и задачи водно-химического режима ТЭС

- Водно-химический режим ТЭС – это система организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение и поддержание норм качества водного теплоносителя (для обеспечения допустимого состояния внутренних поверхностей оборудования основного контура в целях достижения безаварийной и экономичной работы оборудования в течение проектного срока эксплуатации).
- Основные задачи ведения ВХР являются:
  - *Минимальное количество отложений на теплообменных поверхностях, в проточной части турбин и в конденсатного тракта;*
  - *Предотвращение коррозионных и коррозионно-эрозионных повреждений конструкционных материалов, оборудования и трубопроводов.*

# Показатели качества воды

- Содержание грубодисперсных примесей – масса твердых частиц примесей на единицу массы ВОДЫ;
- Концентрация истинно растворенных примесей – концентрация конкретных ионов;
- Концентрации растворенных коррозионно-активных газов;
- Концентрация ионов водорода pH;
- Общие технологические показатели:
  - *Солесодержание – суммарная концентрация в воде катионов и анионов (мкг/кг). Для воды с малым солесодержанием и малыми концентрациями растворенных газов, может оцениваться на основании удельная электрической проводимости;*
  - *Общая жесткость – суммарная концентрация ионов кальция и магния в воде (мг-экв/кг). Часть жесткости, эквивалентная концентрации бикарбонат ионов называется карбонатной, остальная - некарбонатной;*
  - *Щелочность – сумма концентраций анионов кислот и гидроксидов за вычетом водорода;*
  - *Кремнесодержание – характеризует общее содержание ионов кремния в пересчете на  $\text{SiO}_2$ ;*
  - *Окисляемость – расход сильного окислителя ( $\text{KMnO}_4$ )б необходимый для окисления всей органики в воде (иногда нормируется как содержание нефтепродуктов);*

# Водно-химический режим ТЭС

- Основной особенностью водно-химического режима ТЭС является наличие фазового перехода рабочего тела из воды в пар в парогенераторе, и обратно из пара в воду в конденсаторе.
- Исходя из этого, имеет смысл условно разделить контур на два тракта:
  - *конденсатно-питательный, где рабочее тело находится в виде воды;*
  - *паровой тракт, где рабочее тело находится в виде пара.*
- К основным элементам контура относятся:
  - *Парогенератор/котлоагрегат;*
  - *паротурбинная установка (цилиндры высокого и низкого давления, сепараторы-пароперегреватели и др.);*
  - *конденсационная установка;*
  - *конденсатно-питательный тракт (конденсатные насосы, конденсатоочистка, деаэрационная установка, подогреватели высокого и низкого давления).*

# Основные источники загрязнения

- Присосы охлаждающей воды через неплотности гидравлической части конденсаторов турбины, приводов питательных насосов, бойлеров теплосети и др.;
- Присосы воздуха через неплотности вакуумной части конденсатного тракта;
- Добавочная вода после системы водоподготовки;
- Конденсат дренажных баков;
- Ионнообменные материалы и продукты их деструкции, попадающие в тракт из фильтров БОУ или СВО;
- Регенерационные растворы и отмывочные воды фильтров БОУ и СВО при некачественной отмывке смол после регенерации;
- Протечки турбинного масла через неплотности системы смазки;
- Коррозия конструкционных материалов оборудования второго контура;
- Присосы охлаждающей воды через неплотности гидравлической части конденсаторов турбины, приводов питательных насосов, бойлеров теплосети и др.

# Требования к ВХР

## ■ Системы обеспечения:

- *Химводоочистка;*
- *Система конденсации и дегазации;*
- *Блочная обессоливающая установка;*
- *Установка коррекционной обработки рабочей среды;*
- *Деаэраторы;*
- *Система продувки ПГ;*
- *Установка очистки продувочной воды ПГ.*

## ■ Методы поддержки:

- *Коррекционная обработка рабочей среды;*
- *Обработка рабочей среды перед остановом блока для консервации оборудования на период останова;*
- *Химические промывки ПГ;*
- *Обеспечение высокой плотности вакуумной части конденсаторов турбоустановок по охлаждающей воде и воздуху;*
- *Предпусковые промывки обессоленной водой КПТ*

# Показатели качества рабочего тела

## Нормируемые показатели качества

Показатели качества питательной и продувочной воды ПГ, поддержание которых обеспечивает проектный ресурс безопасной и надежной эксплуатации ПГ и оборудования второго контура без снижения экономичности

Отклонения показателей разделяются на уровни, для которых установлен диапазон отклонений показателей от допустимых значений, состояние и допустимое время работы энергоблока.

## Диагностические показатели качества

Показатели качества питательной и продувочной воды ПГ, конденсата турбин, насыщенного пара и воды вспомогательных систем, которые дополнительно информируют персонал о правильности ведения ВХР.

Отклонения этих показателей приводят к повышенному загрязнению теплообменных поверхностей ПГ, что интенсифицирует протекание коррозионных процессов.

# Нормируемые показатели качества воды барабанных КОТЛОВ

Нормируемый показатель	Номинальное давление за котлом, МПа		
	3,9	9,8	13,8
Общая жесткость, мкг-экв/дм <sup>3</sup> , не более, для котлов:			
на жидком топливе	5	1	1
на других видах топлива	10	3	1
Концентрация соединений железа, мкг/дм <sup>3</sup> , не более, для котлов:			
на жидком топливе	50	20	20
на других видах топлива	100	30	20
Концентрация соединений меди в воде перед деаэрато- ром, мкг/дм <sup>3</sup> , не более, для котлов:			
на жидком топливе	10	5	5
на других видах топлива	Не нормируется	5	5
Концентрация растворенного кислорода в воде после де- аэрата, мкг/дм <sup>3</sup> , не более	20	10	10
Концентрация нефтепродуктов, мкг/дм <sup>3</sup> , не более	0,5	0,3	0,3
Значение pH*	8,5—9,5	9,1 ± 0,1	9,1 ± 0,1
Концентрация кремниевой кислоты**, мкг/дм <sup>3</sup> , не более:			
для ГРЭС и отопительных ТЭЦ	—	—	30
для ТЭЦ с производственным отбором	—	—	60
Концентрация нитригов и нитратов***, мкг/дм <sup>3</sup> , не более	—	—	20



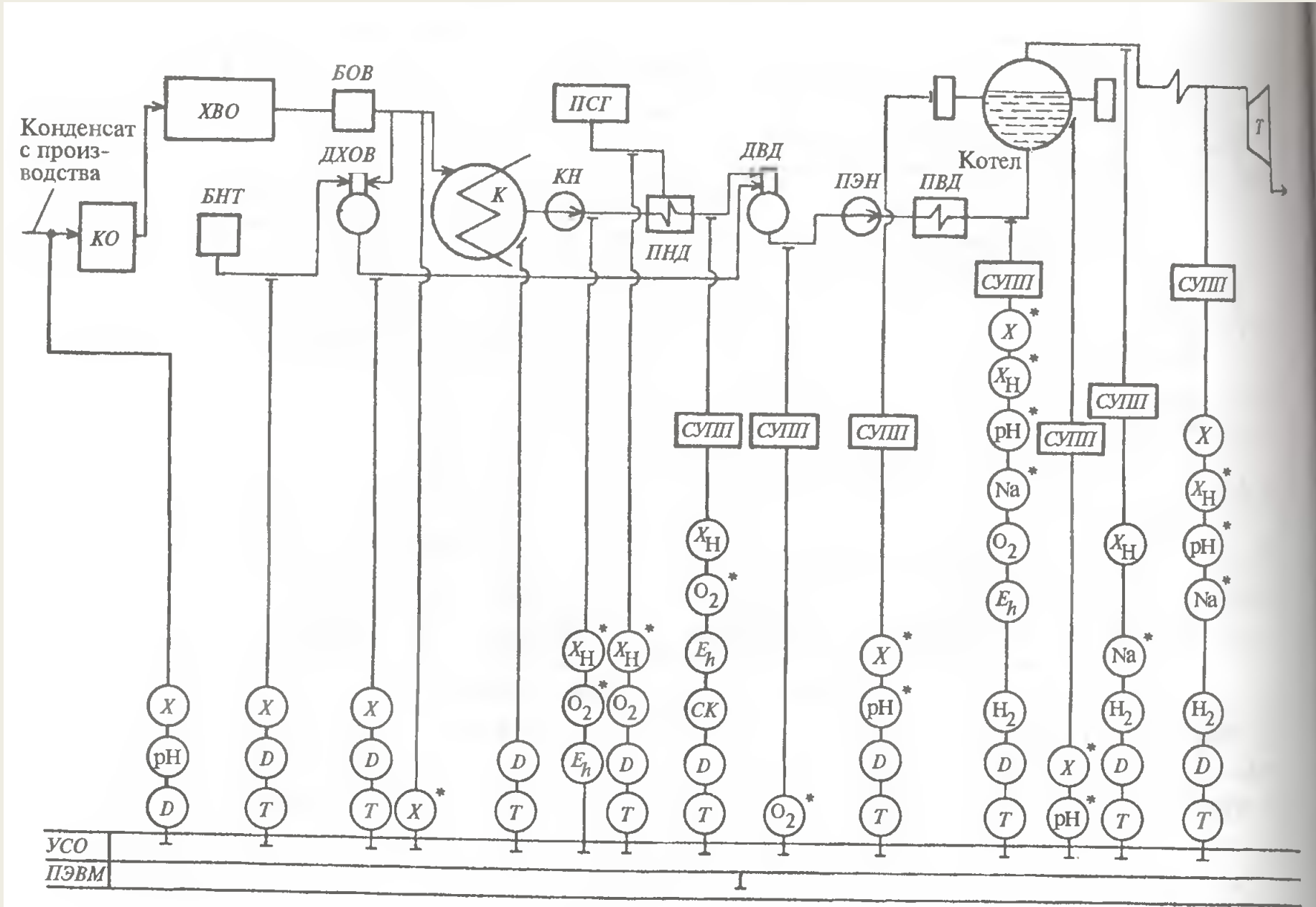
# Нормируемые показатели качества воды прямоточных котлов

Нормируемый показатель	Значение
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см, не более	0,3
Значение рН при водно-химических режимах:	
гидразинно-аммиачный	9,1 ± 0,1
гидразинный	7,7 ± 0,2
кислородно-аммиачный	8,0 ± 0,5
нейтрально-аммиачный	7,0 ± 0,5
Концентрация гидразина, мкг/дм <sup>3</sup> , при водно-химических режимах:	
гидразинно-аммиачный	20—60
гидразинный	80—100
пуск-останов, не более	3000
Концентрация нефтепродуктов (до конденсатоочистки), мкг/дм <sup>3</sup> , не более	0,1

Нормируемый показатель	Значение
Концентрация натрия, мкг/дм <sup>3</sup> , не более	5
Концентрация кремниевой кислоты, мкг/дм <sup>3</sup> , не более	15
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см, не более	0,3
Значение рН*, не менее	7,5

Нормируемый показатель	Значение
Общая жесткость, мкг-экв/дм <sup>3</sup> , не более	0,2
Концентрация, мкг/дм <sup>3</sup> :	
натрия, не более	5
кремниевой кислоты, не более	15
железа, не более	10
меди в воде перед деаэрагором*, не более	5
растворенного кислорода при кислородных водно-химических режимах	100—400
растворенного кислорода после деаэрагатора при гидразинно-аммиачном водно-химическом режиме, не более	10

# Пример реализации контроля на ТЭС



# Требования к ВХР котлов-утилизаторов

Показатель	Рабочее давление пара, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )				
	0,9 (9,0)	1,4 (14) и 1,8 (18) <sup>1)</sup>		4 (40) и 5 (50) <sup>1)</sup>	
	Температура греющего газа (расчетная), °С				
	до 1200 вкл.	до 1200 вкл.	свыше 1200	до 1200 вкл.	свыше 1200
1	2	3	4	5	6
Прозрачность "по шрифту", см, не менее	30	40	40	40	40
Общая жесткость, мкг-экв/кг	20	30	15	10	5
	40	20 <sup>2)</sup>			
Содержание соединений железа (в пересчете на Fe), мкг/кг	70	50	150	100	50 <sup>3)</sup>
	Не нормируется				
Содержание соединений меди (в пересчете на Cu), мкг/кг	Не нормируется				20
Содержание кремниевой кислоты (в пересчете на SiO <sub>2</sub> ), мкг/кг	Не нормируется				
Содержание растворенного кислорода, мкг/кг:					
для котлов с чугунным экономайзером или без экономайзера	150	100	50	50	30
для котлов со стальным экономайзером	50	30	30	30	20
Значение pH при 25 °С	Не менее 8,5 <sup>4)</sup>				
Содержание нитритов (в пересчете на NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), мкг/кг	Не нормируется			30 <sup>5)</sup>	20 <sup>5)</sup>
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	5	3	2	1	0,3

# Требования к ВХР водогрейных котлов

Показатель	Система теплоснабжения					
	открытая			закрытая		
	Температура сетевой воды, °С					
	115	150	200	115	150	200
Прозрачность по шрифту, см, не менее	40	40	40	30	30	30
Карбонатная жесткость, мкг-экв/кг: при рН не более 8,5	800/700*	750/600*	375/300*	800/700*	750/600*	375/300*
при рН более 8,5	Не допускается			По расчету РД 24.031.120-91		
Содержание, мкг/кг: растворенного кислорода	50	30	20	50	30	20
соединений железа (в пересчете на Fe)	300	300/250*	250/200*	600/500*	500/400*	375/300*
Значение рН при температуре 25 °С	От 7,0 до 8,5			От 7,0 до 11,0**		
Содержание нефтепродуктов, мг/кг	1,0					

\* В числителе приведены данные для котлов на твердом топливе, в знаменателе - на жидком и газообразном топливе.

\*\* Для теплосетей, в которых водогрейные котлы работают параллельно с бойлерами, имеющими латунные трубки, верхнее значение рН для сетевой воды не должно превышать 9,5.

# Виды ВХР

- Гидразинно-аммиачный ВХР – Коррекционная обработка гидразин-гидратом и, при необходимости, дополнительной обработкой аммиаком и гидроксидом лития
- Морфолиновый – Коррекционная обработка морфолином и гидразин-гидратом
- Этаноламиновый – Коррекционная обработка этаноламином и гидразин-гидратом
- Кислородно-аммиачный – Коррекционная обработка аммиаком и дозация кислорода в питательную воду
- Нейтрально-кислородный – Коррекционная обработка дозацией кислорода

# Гидразинно-аммиачный



## ■ Недостатки

- 1. Не полностью предупреждается коррозия медных сплавов, обусловленная присутствием кислорода и аммиака: гидразин не может полностью связать растворенный кислород; аммиак же способствует коррозии медных сплавов (латуни).  $2\text{Me} + \text{O}$
- 2. Аммиак, обладая высоким коэффициентом распределения ( $K_d = 10$  при  $150^\circ\text{C}$ ), практически полностью уносится с паром в ПГ, что приводит к снижению фильтроцикла катионитовых фильтров БОУ и уменьшению рН воды ПГ.
- 3. При ГА ВХР-2 не удастся избежать коррозионного повреждения коллекторов ПГ, причиной которого является снижение величины рН «котловой» воды ПГ.

## ■ Причины использования корректирующей добавки LiOH:

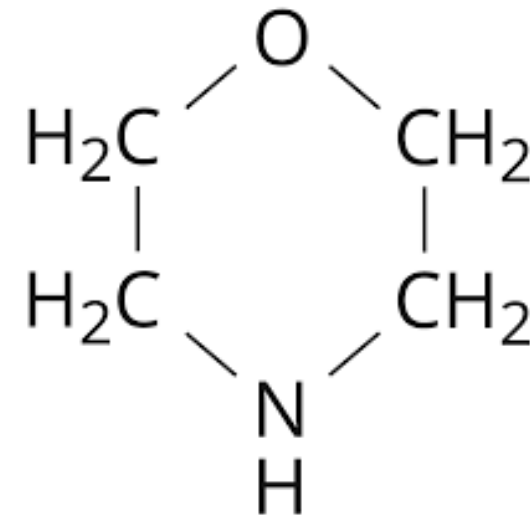
- 1. В ряду  $\text{NaOH} - \text{KOH} - \text{LiOH}$  уменьшается общая скорость растрескивания углеродистых и нержавеющей сталей, что
- подтверждено коррозионными испытаниями трубок из аустенитной нержавеющей стали при температуре испытаний  $360^\circ\text{C}$ .
- 2. Гидроокись лития образует с конструкционными материалами нерастворимую пленку феррита лития  $\text{LiFeO}_2$ , которая обладает хорошими защитными свойствами.
- 3. Гидроокись лития обладает хорошими нейтрализующими свойствами против сульфатов и хлоридов, т.к. образует
- растворимые соли  $\text{LiCl}$  и  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , которые выводятся с объема ПГ через систему продувки, что в конечном итоге позволяет увеличивать рН продувочной воды и рН водной среды в объеме, щелях и зазорах ПГ.



# Морфолиновый

## ■ Особенности морфолинового ВХР:

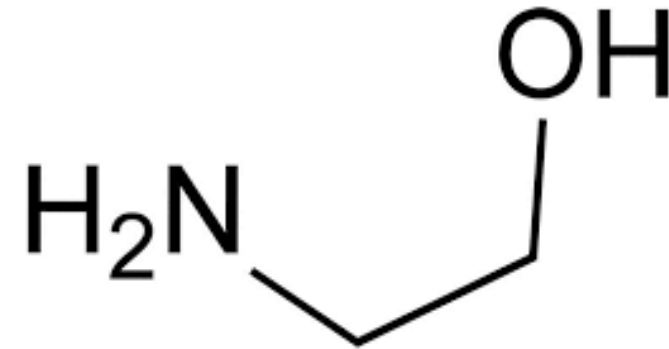
- Как органический амин морфолин обладает слабыми щелочными свойствами.
- Обеспечивает равномерность значений рН во всех потоках ( $K_d \approx 1$ ), снижая тем самым уровень эрозионных процессов.
- Снижение коррозионного воздействия на конструкционные материалы оборудования, в том числе и за счет связывания коррозионно-агрессивной углекислоты.
- Обладает высокой стабильностью к термическому разложению при воздействии высоких температур.
- Способствует разрыхлению отложений, облегчая их удаление.
- Не накапливается в отложениях и щелях.
- При переходе на МРФ зафиксировано увеличение удельной электропроводимости ( $\chi_H$ ) питательной воды, что указывает на образование и накопление незначительного количества органических кислот в питательном тракте.
- Отмечено устойчивое поддержание  $\chi_H$  продувочной воды парогенераторов независимо от технологии и режима эксплуатации конденсатоочистки, что указывает на отсутствие накопления органических кислот в парогенераторах при переходе на морфолиновый.



# Этаноламиновый

## ■ Особенности этаноаминового ВХР :

- *Значительно меньшая его концентрация в контуре по сравнению с другими аминами.*
- *Повышение и выравнивание pH в однофазных и двухфазных средах, что является благоприятным условием для снижения процессов эрозионно-коррозионного износа (ЭКИ) оборудования второго контура.*
- *Снижение концентрации оксидов железа и меди в конденсатном тракте.*
- *ЭТА обладает некоторым отмывочным эффектом - интенсивный вывод продуктов коррозии из объема ПГ на фильтры установки СВО-5 в течение первых месяцев дозирования ЭТА.*
- *Несмотря на некоторое повышение концентрации органических кислот, величина  $\chi_H$  не превышает нормируемых значений.*
- *ЭТА не влияет на работу ионообменной части БОУ и установки СВО-5 с точки зрения снижения фильтроциклов, снижает количество химических сбросов в окружающую среду.*





# Характерное коррозионное повреждение поверхностей

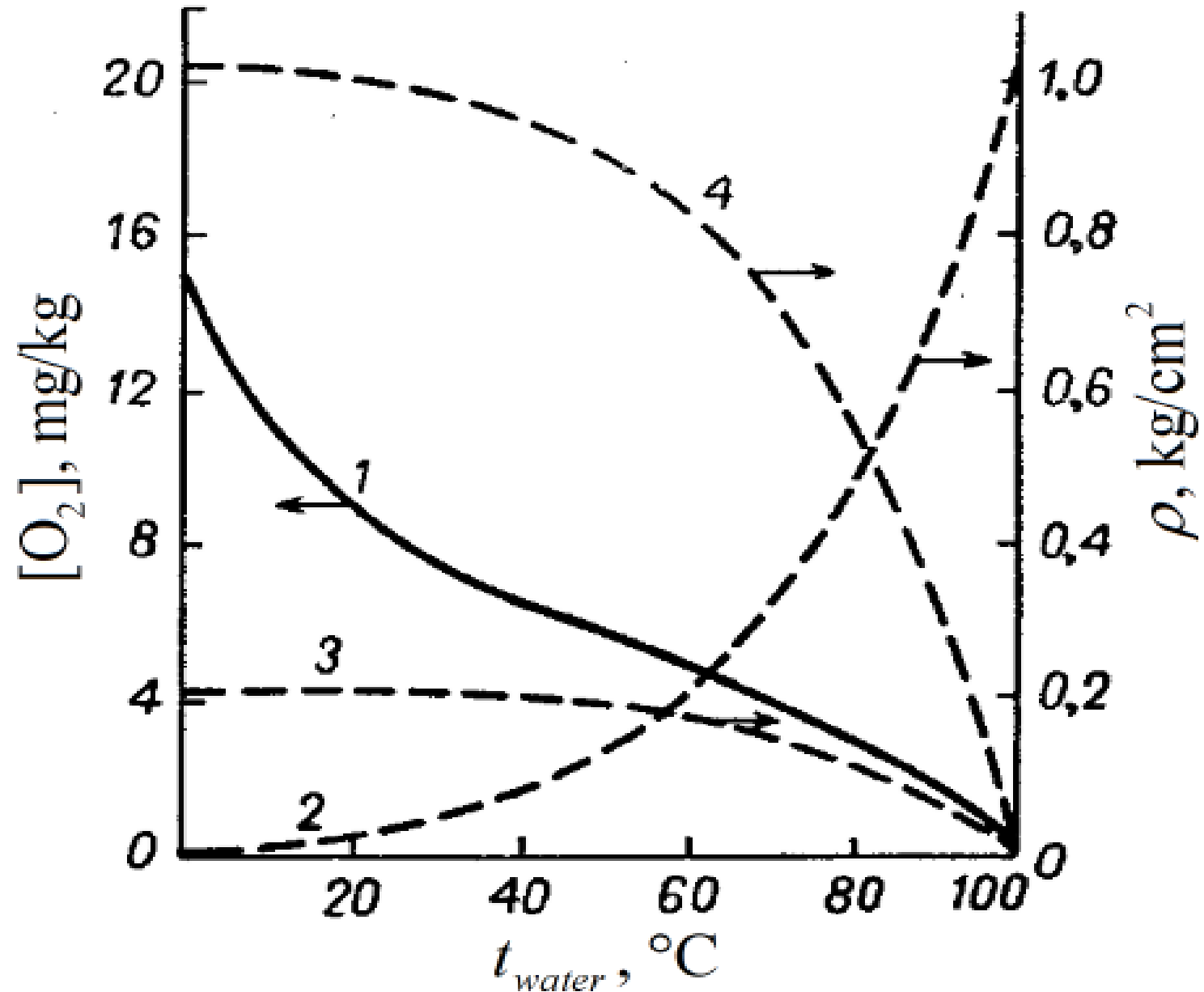


# Определение и функции деаэрационной установки

- Деаэратор – аппарат, предназначенный для удаление неконденсируемых газов (в первую очередь, воздуха) из воды.
  
- Способы деаэрации:
  - *Термическая (за счет повышения парциального давления водяных паров над поверхностью воды при кипении);*
  - *Химический (за счет связывания свободного кислорода в результате химических реакций).*
  
- Достоинства термической деаэрации:
  1. Удаление примесей всех видов из воды;
  2. В воду не вносятся дополнительные вещества.

# Теоретические основы термической деаэрации

- Закон Генри:  $G_{O_2} = k_{O_2} \cdot P_{O_2}$
- Закон Дальтона:  $P = P_{H_2O} + P_{O_2} + \sum P_{ig}$



# Суть термической деаэрации

## ■ Суть процесса деаэрации:

- *Нагрев воды до кипения;*
- *Повышение парциального давления пара.*

$$\uparrow P_{\text{H}_2\text{O}} \rightarrow \downarrow P_G \rightarrow \downarrow C_G$$

If  $P = P_{\text{H}_2\text{O}}$  then  $\sum P_G = 0$

## ■ Факторы, определяющие эффективность деаэрации:

- *Температура (чем выше температура – тем выше эффективность);*
- *Эжектирующие свойства греющего пара (чем выше давление – тем выше эжектирующие свойства);*
- *Площадь контакта воды и пара.*

## ■ Функции деаэратора:

- Удаление газов;
- Нагрев питательной воды;
- Создание аварийного запаса воды;
- Подача пара на эжекторы;
- Сбор дренажей.

## ■ Основные элементы деаэратора:

- Деаэрационная колонка;
- Бак-накопитель;
- Охладитель выпара.

## ■ Классификация деаэраторов по типу диспергирования:

- Струная;
- Барботажная;
- Пленочная;
- Сопловая (в т.ч. с направляющими соплами).

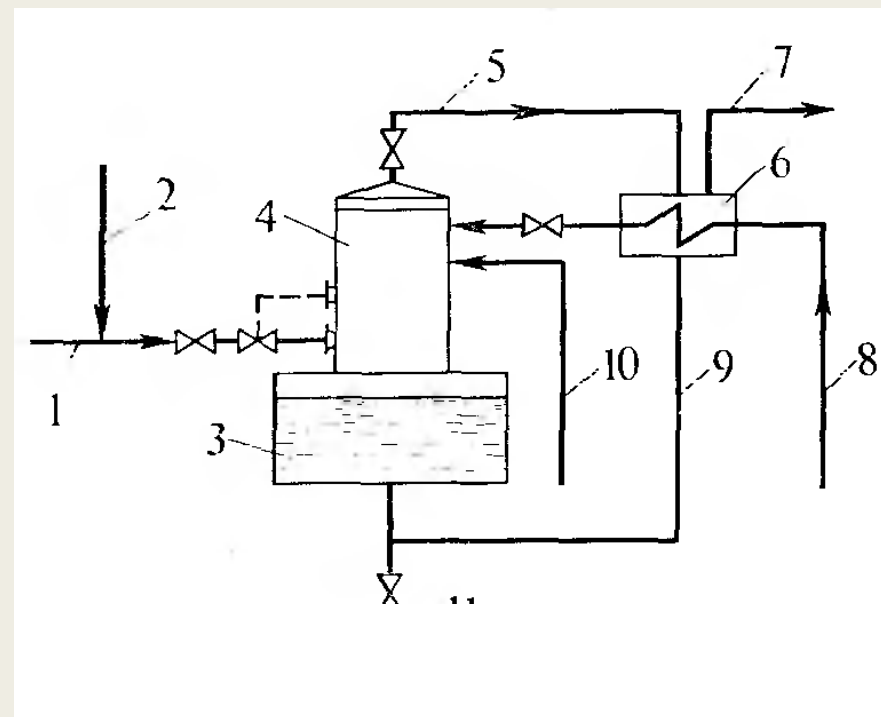
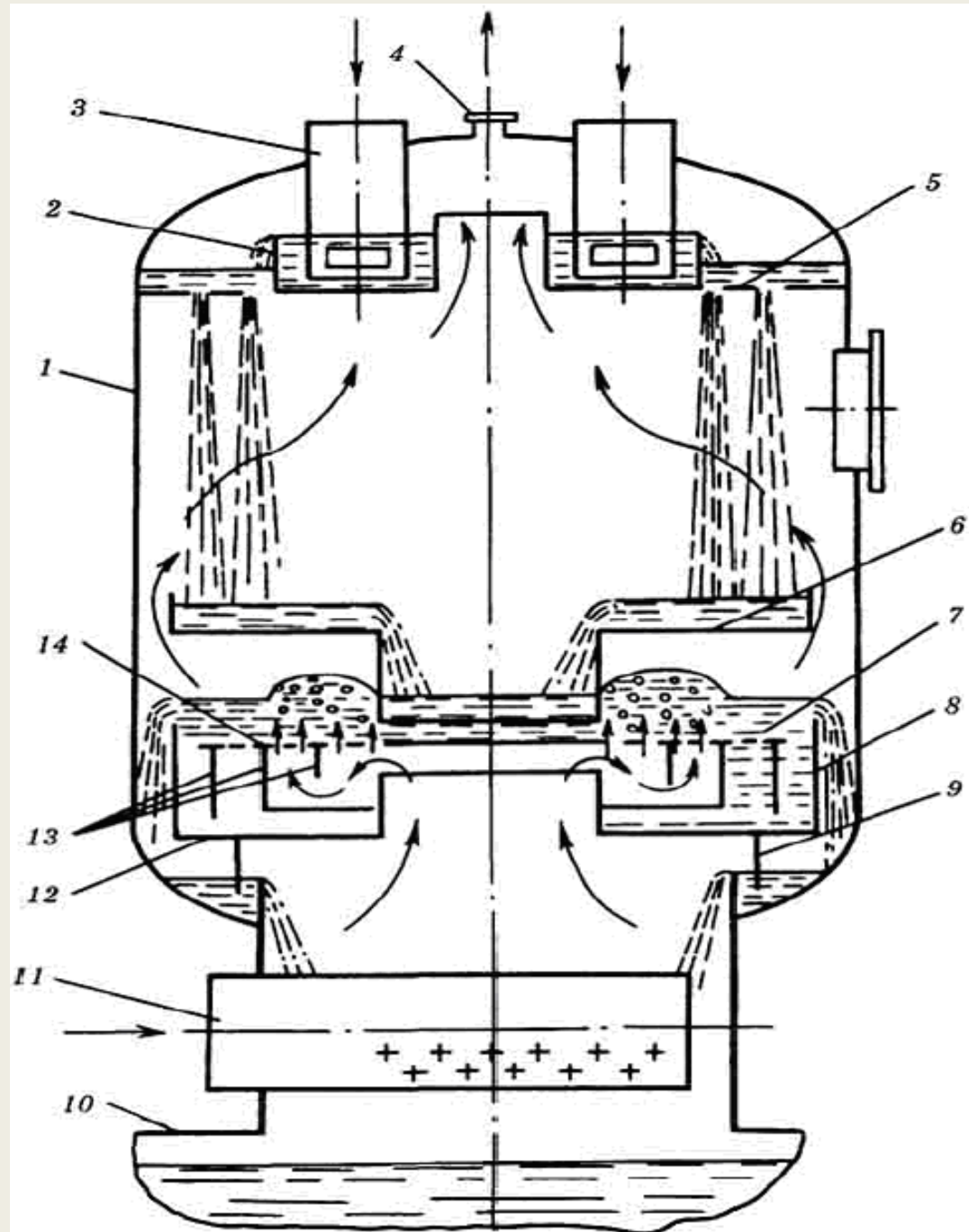


Рис. VI.11. Общая схема деаэраторной установки:

- 1 — греющий пар из отбора турбины;
- 2 — резервная подача греющего пара (от БРОУ);
- 3 — деаэраторный бак;
- 4 — деаэраторная колонка;
- 5 — отвод выпара;
- 6 — охладитель выпара;
- 7 — сброс газов;
- 8 — подача части конденсата, минуя ПНД;
- 9 — отвод конденсата выпара;
- 10 — подача основного конденсата после ПНД;
- 11 — к питательному насосу

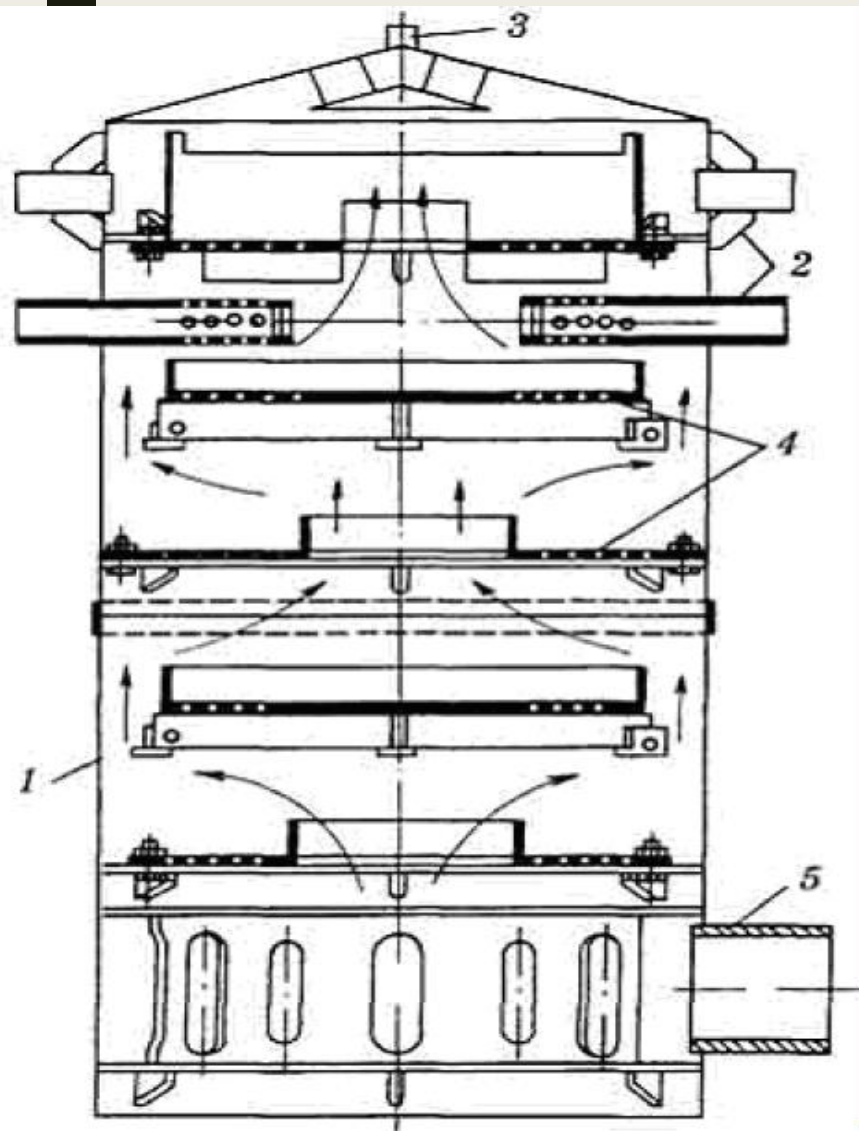
# Условия эффективной деаэрации

- Нагрев питательной воды до температуры насыщения при заданном давлении отбора;
- Обеспечение необходимой продолжительности деаэрации;
- Обеспечение достаточной площади контакта пара с водой;
- Удаление выпара.

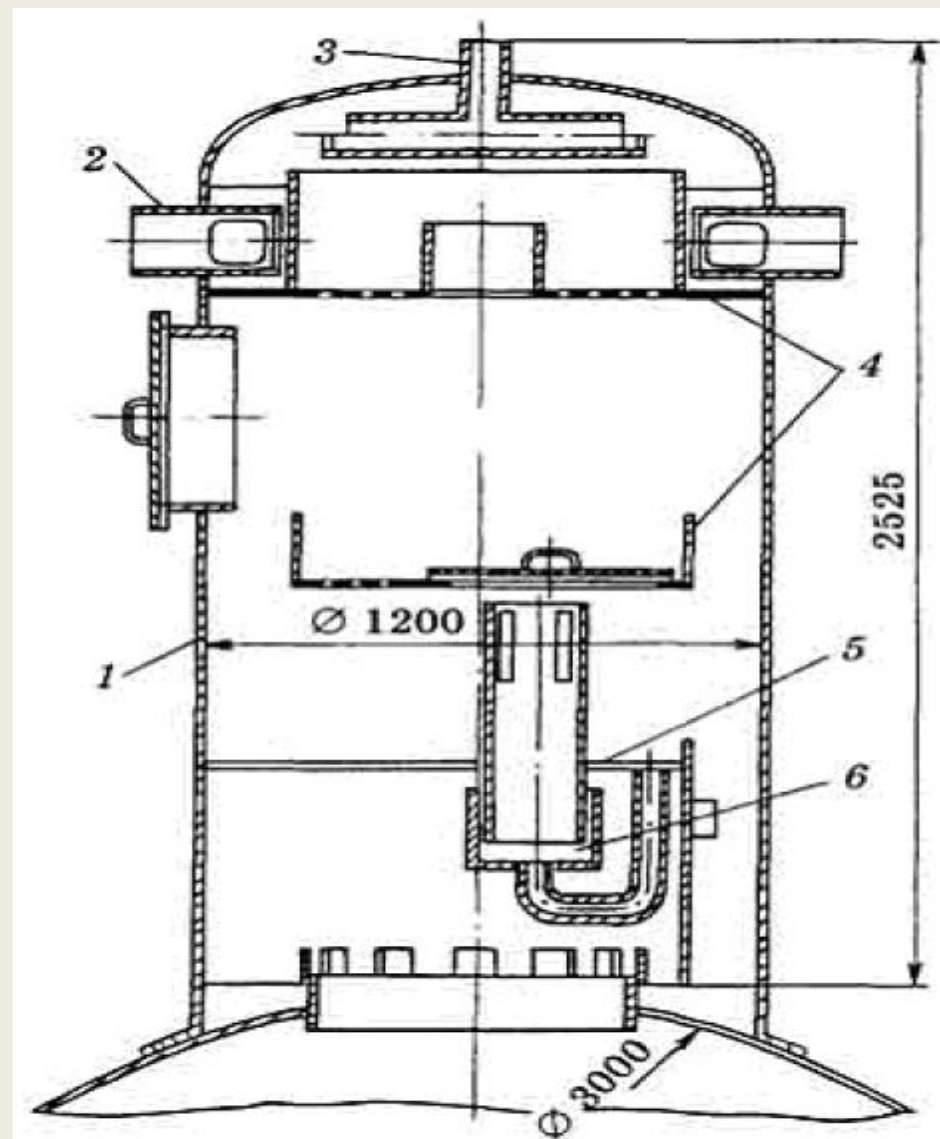




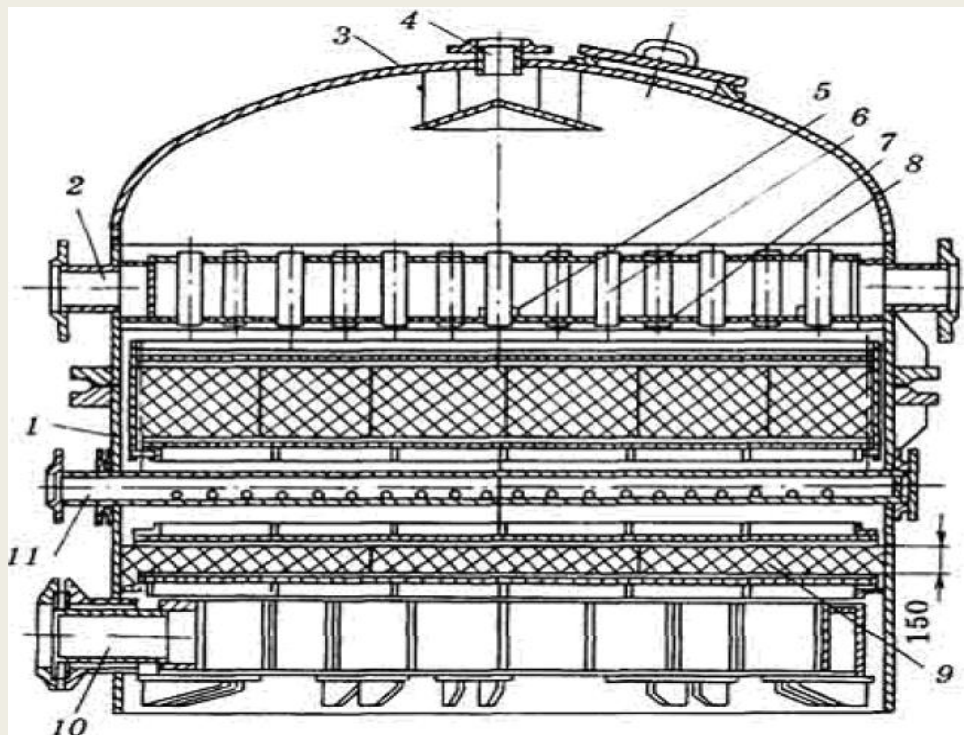
# Конструкция деаэрационной колонки



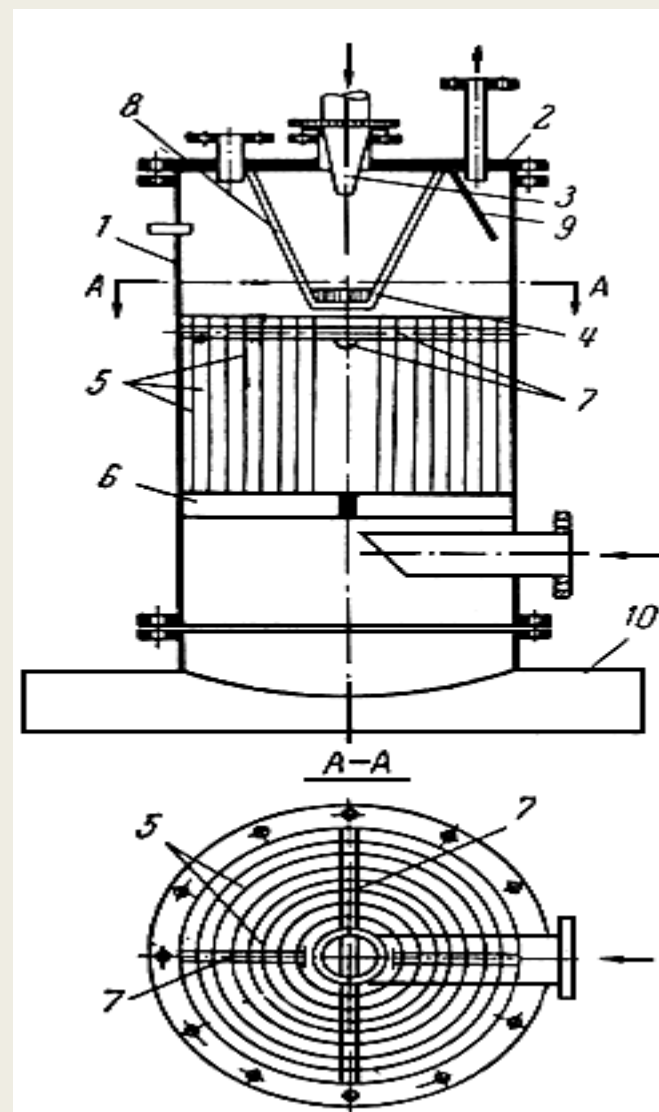
- Струйная
- Комбинированная струйно-барботажная



# Конструкция деаэрационной колонки



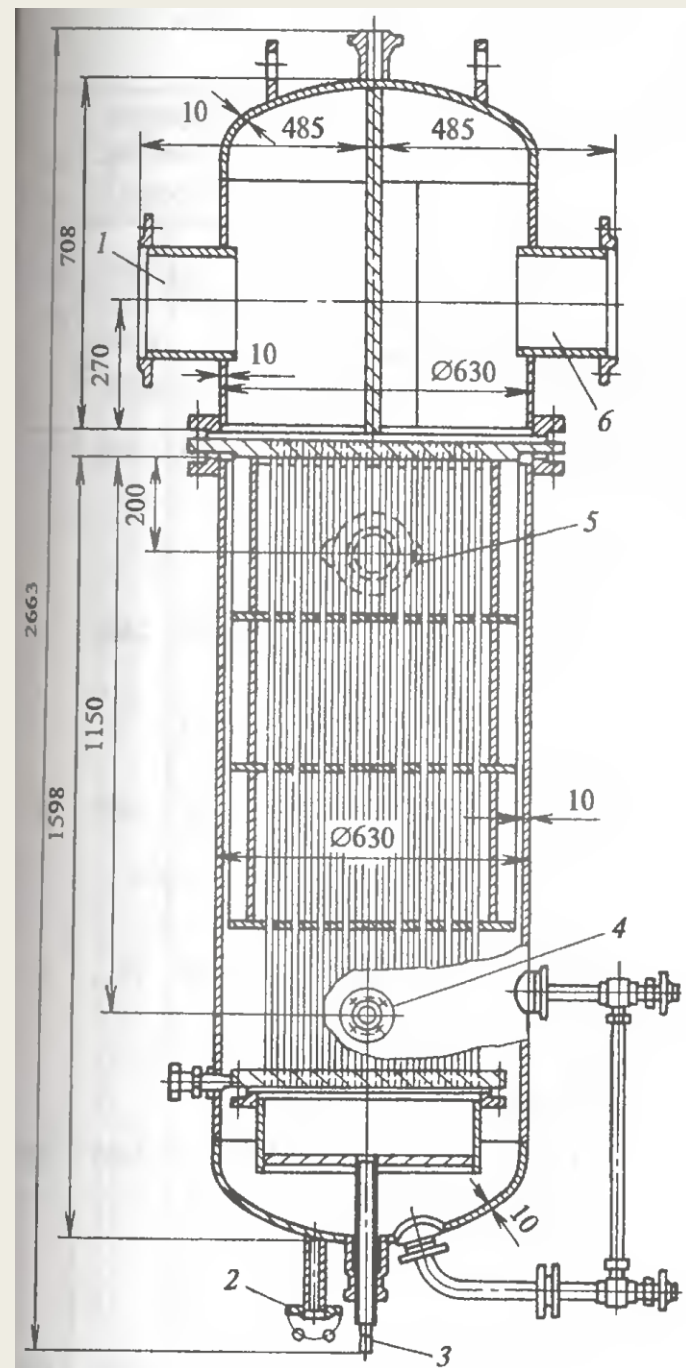
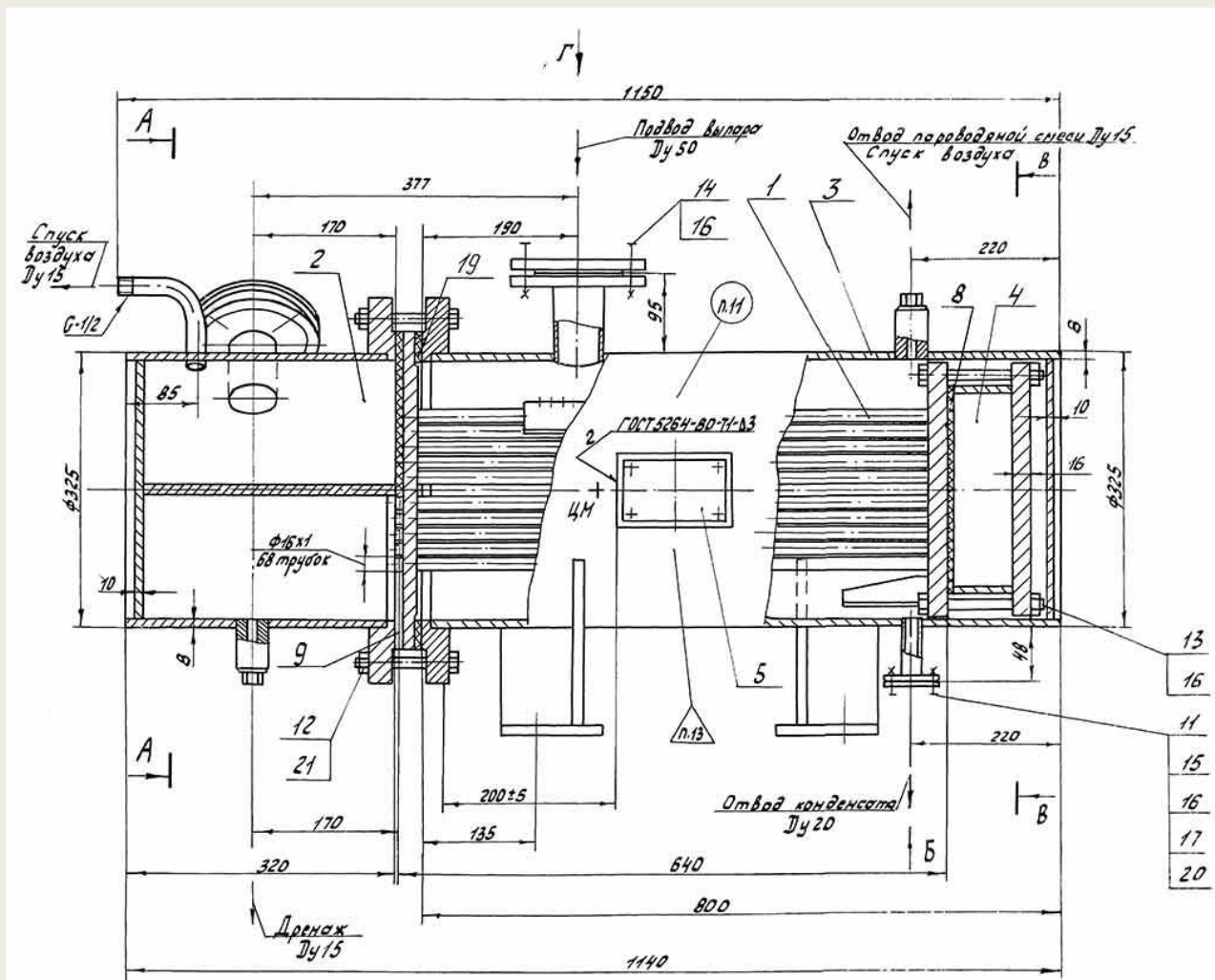
■ Колонка с неупорядоченной насадкой



■ Колонка с упорядоченной насадкой



# Конструкция охладителя выпара



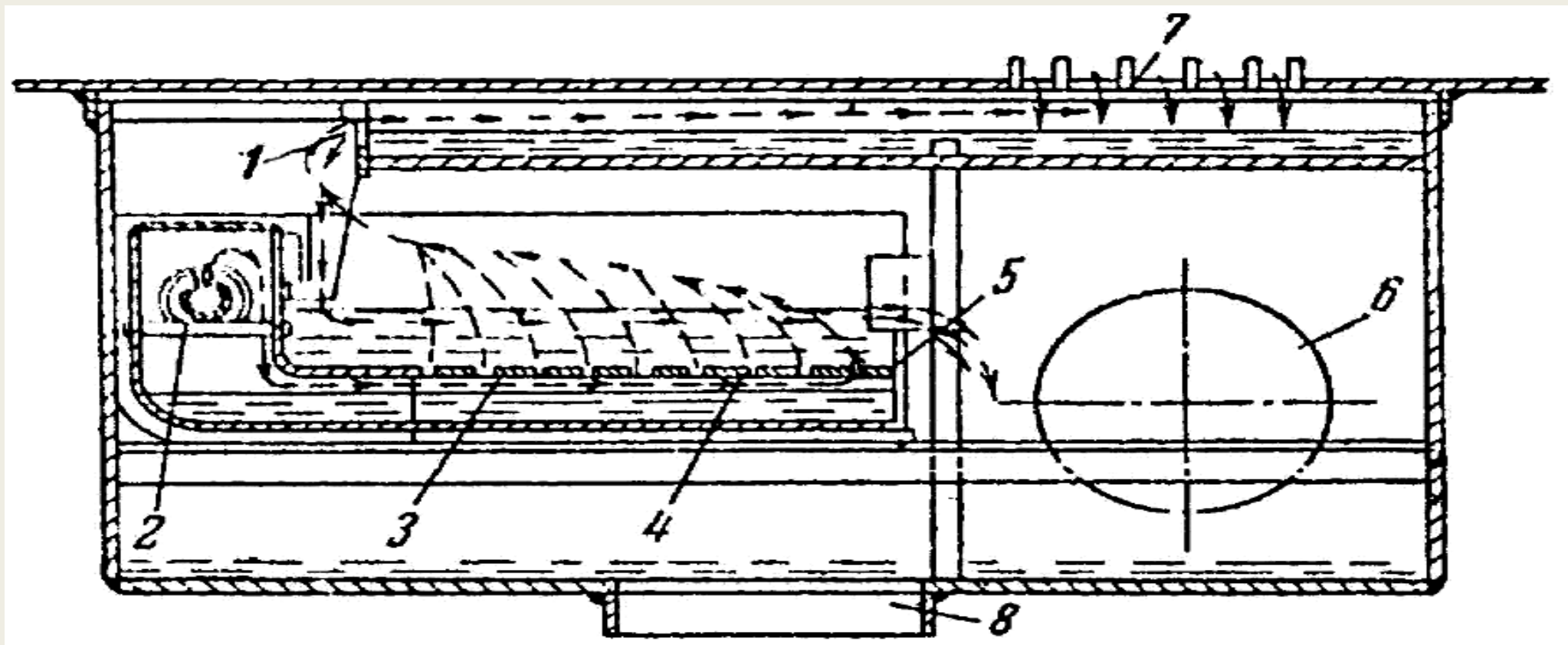
# Расчет деаэратора

$$D_{\text{п.д}} + D_{\text{в пнд}} + D_{\text{к пвд}} + \sum D_{\text{п}} + \sum D_{\text{в}} = D_{\text{в.д}} + D_{\text{п.вып}}$$

$$0,005 < a_{\text{д}} < 0,01$$

$$Q_{\text{вып}} = \alpha_{\text{вып}} r D_{\text{п.вып}} = \alpha_{\text{вып}} r a_{\text{д}} D_{\text{в.д}} \approx \alpha_{\text{вып}} r a_{\text{д}} D_{\text{п.в}}$$

# Конструкция барботажного устройства в конденсатном баке



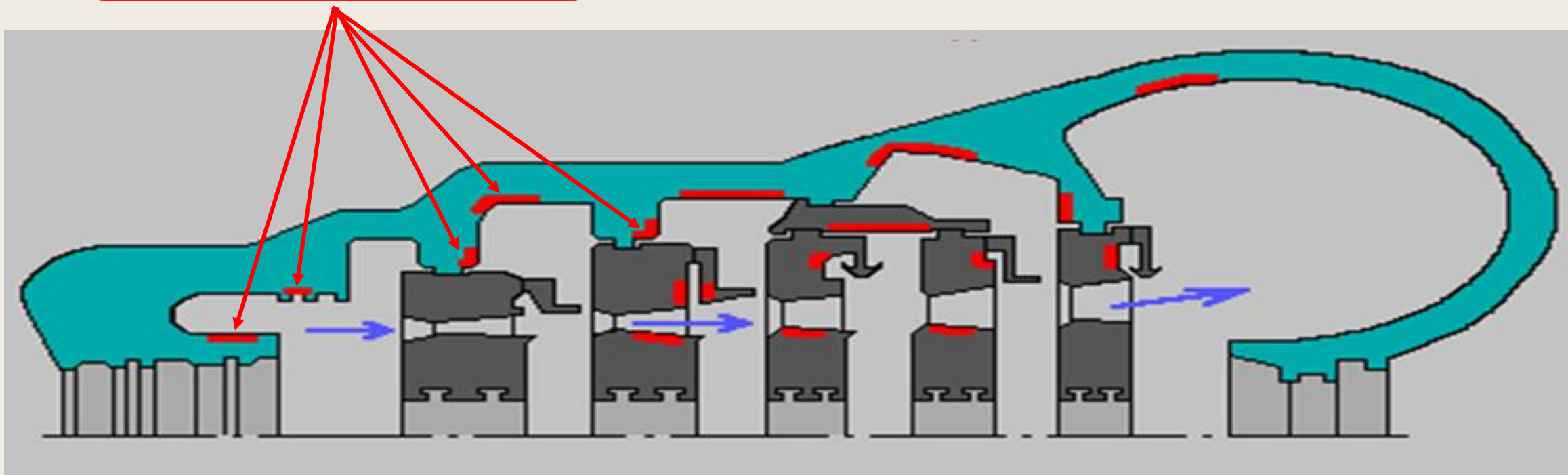
# Обоснование необходимости сепарации

Влага (капли воды) в паре, образовавшемся в испарителе ПГ, способствует:

- **эрозионному и коррозионному износу (ЭКИ)** паровпускных устройств турбины (снижение надежности);
- **заносу** солями поверхностей лопаток турбин насыщенного пара, паропроводов (рост шроховатости, снижение КПД);
- **отложению примесей** на поверхности труб паро-перегревателя ПГ (снижение эффективности теплообмена в ПЕ)

# Обоснование необходимости сепарации

Типичные места отложений в ЦНД турбин, работающих в области насыщенного пара





# Характерный вид **эрозионных** повреждений лопаток паровых турбин



Характерный вид **отложений** на лопатках паровых турбин



## Обоснование необходимости сепарации



Снижение КПД турбинной ступени с ростом шероховатости



# Требования к качеству пара

(относительно содержания влаги)

- влажность пара **на входе в турбину** насыщенного пара

$$y \leq 0,2 \dots 0,25 \% ;$$

- влажность пара **на входе в пароперегревателя** прямоточного ПГ

$$y \leq 0,02 \dots 0,05 \%$$

