


# АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Тема 12. **ДЕАЭРАЦИЯ НА АЭС**



## Основные вопросы

- Пути поступления неконденсирующихся газов
- Назначение деаэрационной установки
- Методы деаэрации
- Основы термической деаэрации
- Деаэратор и его состав
- Типы деаэраторов
- Выбор закона изменения давления в ДПВ
- Схемы включения ДПВ



В воде конденсатно-питательного тракта могут присутствовать различные **примеси**

- 1. Газообразные*
- 2. Твердые*
- 3. Естественные химические соединения*

## Пути поступления неконденсирующихся газов в конденсатно-питательный тракт

- *Воздух - за счет присосов в конденсаторе и в вакуумных ПНД*
- *Радиолитические газы и РБГ поступают с паром*
- **CO<sub>2</sub> - разложение бикарбонатов ( $\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ )**



Из газовых примесей наиболее  
опасны коррозионно-агрессивные  
кислород и углекислота

*Углекислота особенно агрессивна  
к углеродистым сталям, из  
которых выполнены ПВД  
Ее удаляют до поступления воды  
в тракт ПВД*

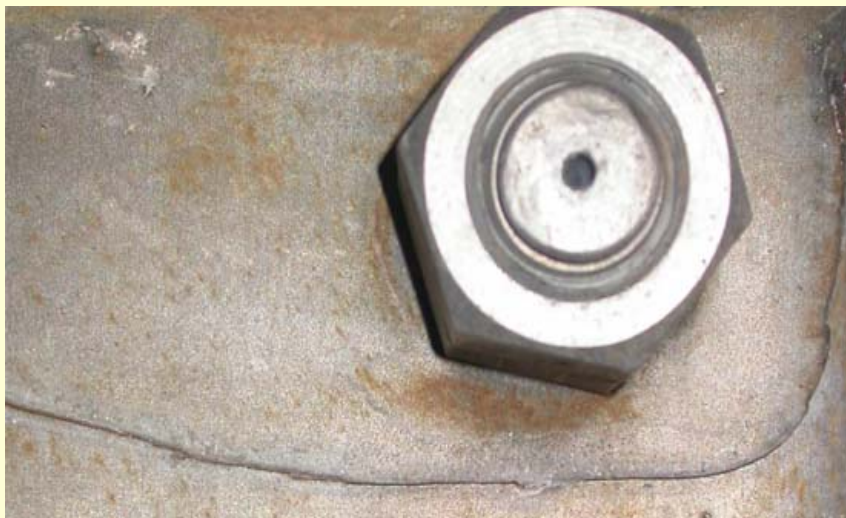


## В соответствии с требованиями ПТЭ

*Содержание кислорода в деаэрированной воде на двухконтурных АЭС с поверхностями нагрева ПГ, выполненными из стали ОХ18Н9Т (при всех давлениях, на которые они проектируются), - не выше 10 мкг/кг*

## Характерные виды коррозионных повреждений аустенитных нержавеющей сталей

Коррозионное растрескивание



Язвенная коррозия




Коррозия под напряжением





# Назначение деаэрационной установки





## Методы деаэрации

- термический метод
- химический способ (химреагент-гидразин)



## Преимущества термической деаэрации

- Возможно удаление любых газов
- Не вносятся дополнительные примеси



# Основы термической деаэрации

## Закон Генри

$$G_{O_2} = k_{O_2} \times P_{O_2}$$

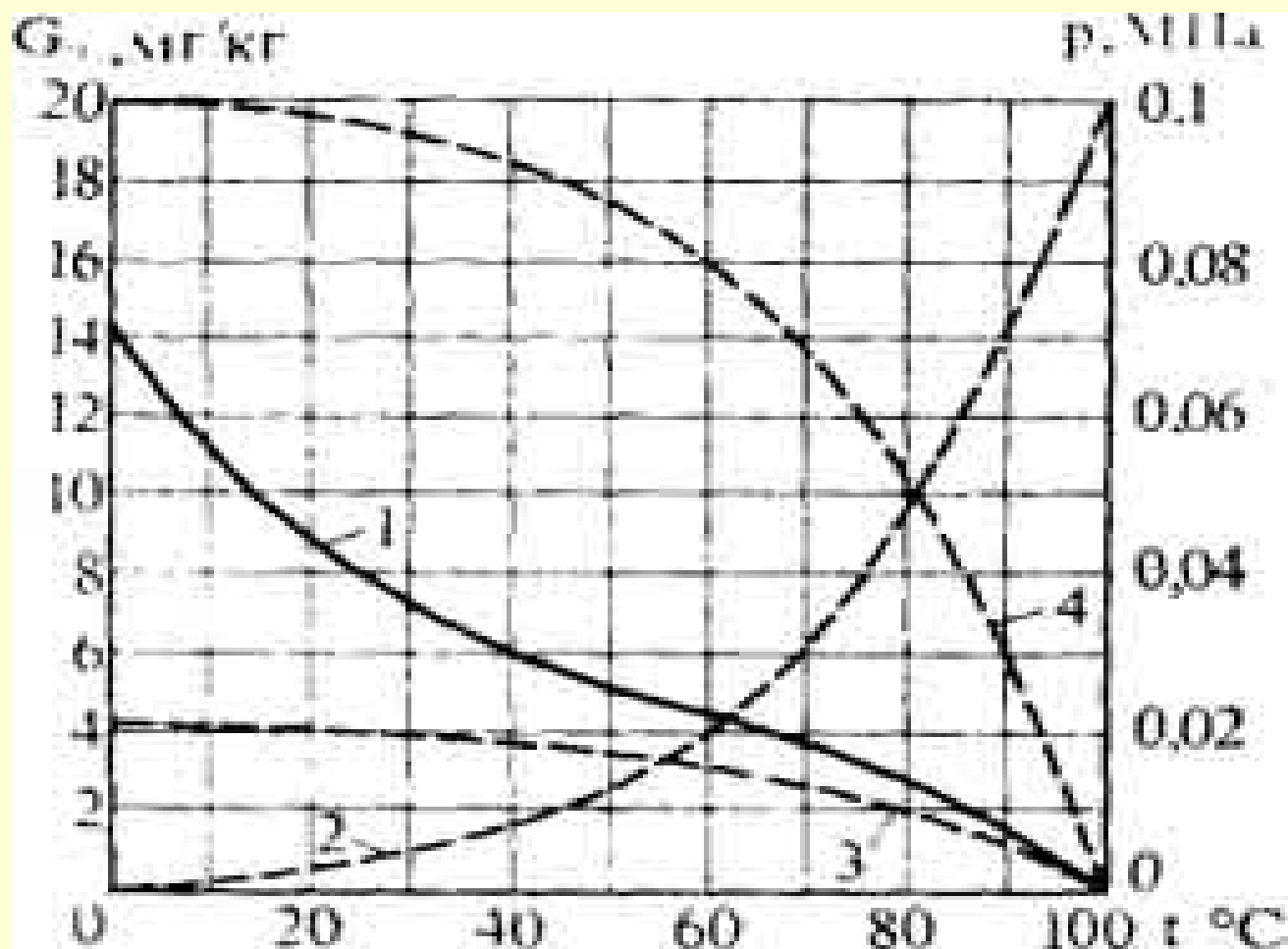


# Основы термической деаэрации

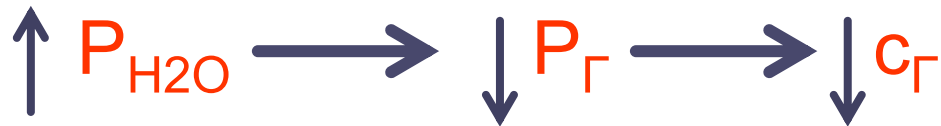
## Закон Дальтона

$$P = P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{O}_2} + \sum P_{\text{Г}}$$

## Парциальные давления газов и растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры



## Сущность процесса термической деаэрации



Если

$$P \approx P_{H_2O}, \text{ то } \Sigma P_{Г} \approx 0.$$

Сущность деаэрации

- нагрев воды до кипения
- создание возможно большего парциального давления водяных паров



## Факторы, повышающие эффективность термической деаэрации

1. повышение температуры
2. эжектирующее воздействие греющего пара



## Деаэратор (Д)

Аппарат, предназначенный для удаления из воды растворенных в ней газов






## Состав деаэратора

- деаэраторная колонка (ДК)
- бак-аккумулятор (БА)
- охладитель выпара (ОВ)

Большая поверхность контакта подогреваемой среды с паром за счет дробления воды различными способами



БА служат для сбора и хранения определенного запаса воды

в некоторых Д в баках устанавливаются барботажные устройства



## Типы деаэраторов (Д)

### 1. По назначению

деаэрация питательной воды

- ПГ и реакторов
- испарителей
- паропреобразователей

деаэрация

- продувки-подпитки теплоносителя 1-го контура
- подпиточной воды тепловых сетей



## Типы деаэраторов (Д)

### 2. В зависимости от рабочего давления

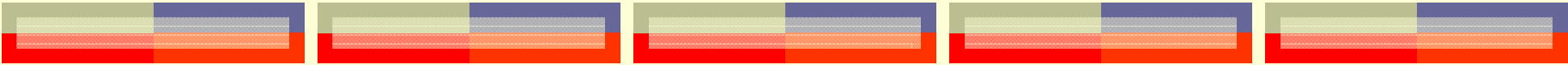
- повышенного давления **ДП** 0,6; 0,7 и 0,8 МПа
- атмосферного давления **ДА** 0,12 МПа
- вакуумные **ДВ** 0,0075 - 0,05 МПа



## Типы деаэраторов (Д)

### 3. По способу дробления воды

- струйные
- барботажные
- пленочные
- сопловые
- с насадками

- 
- На АЭС - струйные деаэраторы + барботаж



## Деаэраторы на АЭС

- для деаэрации питательной воды ПГ и реакторов **ДПВ** при давлениях 0,6; 0,7; 0,9 и 1,2 МПа  
струйные деаэраторы + барботаж
- для деаэрации питательной воды испарителей **ДА** при давлении около 0,12 МПа
- для деаэрации подпиточной воды тепловых сетей **ДВ** при температуре 60 - 70 °С



## Функции, выполняемые ДПВ на АЭС

1. удаление коррозионно-активных газов
2. подогрев питательной воды (смешивающий подогреватель)
3. создание запаса воды в БА
4. подача рабочего пара на эжекторы (основные, пусковые и др.)
5. сбор высокопотенциальных дренажей (ПВД, сепарата и др.)





## Выбор закона изменения давления в ДПВ

Допустимо переменное давление в Д

Минусы применения  *$p=var$*

Д соединен с БА и через питательную линию - с ПН

При снижении давления возможно вскипание, нарушение

- работа ПН
- деаэрация в результате набухания воды и заброса ее в ДК



## Минусы применения $p_d = \text{const}$

искажение оптимального распределения подогрева  
воды в системе РППВ

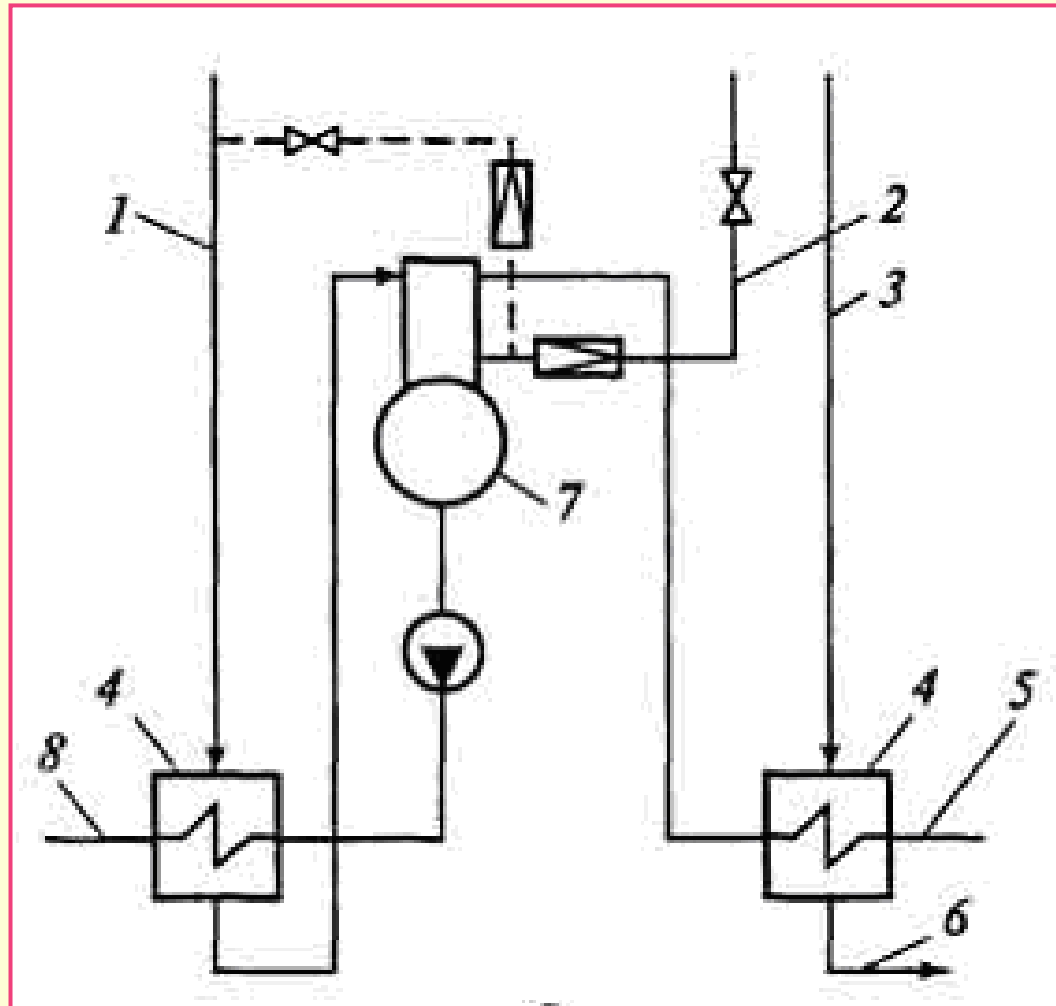


## Схемы включения ДПВ

2 схемы подключения деаэратора к отборам турбины:

- вильчатая схема
- в качестве самостоятельная ступень

## Самостоятельная - в качестве отдельного регенеративного подогревателя

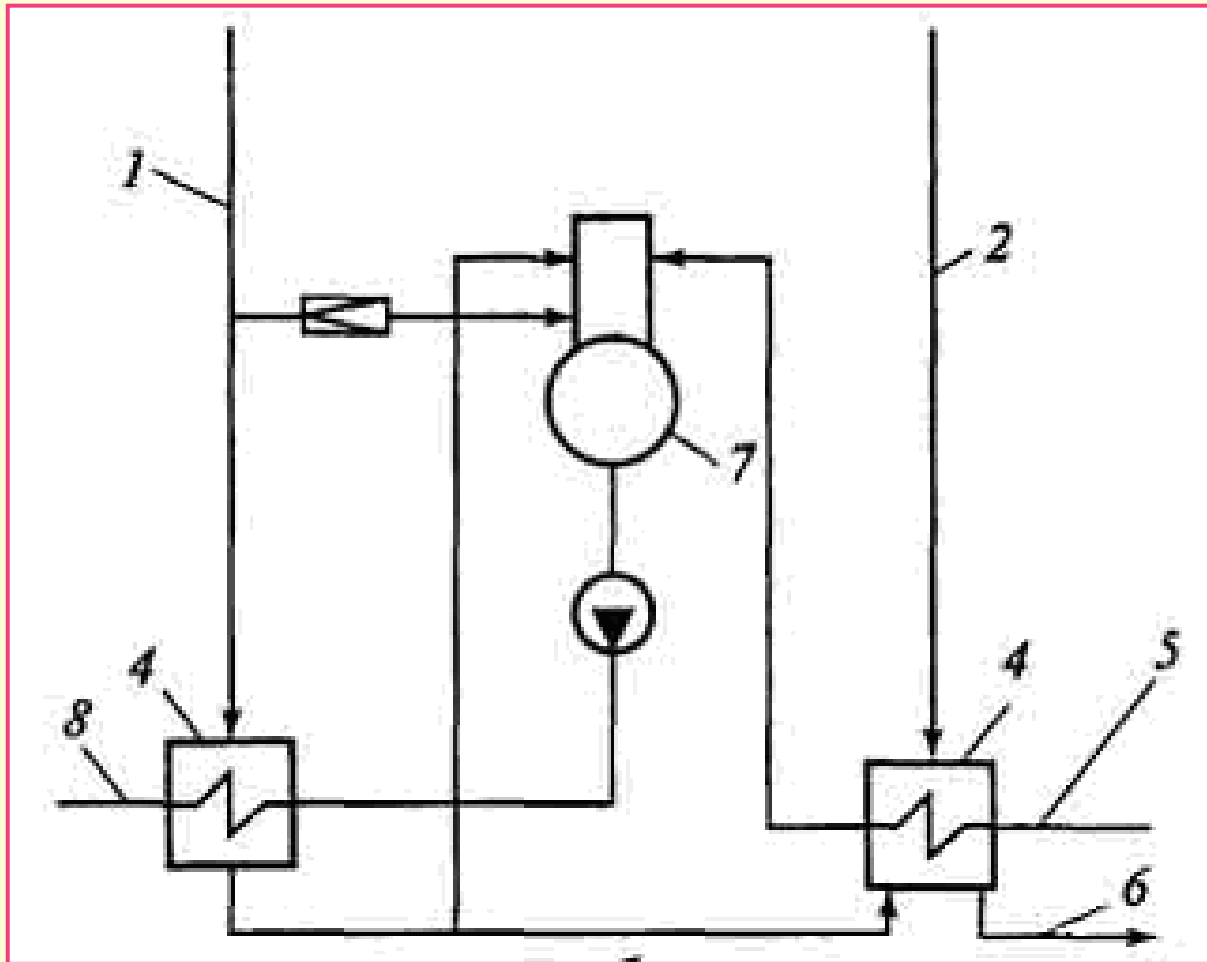


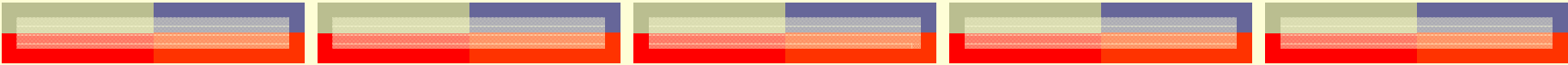


## Самостоятельное включение Д

- Д работает на скользящем давлении
- либо давление в отборе выбирается выше давления в Д на 30 % и снижается до  $p_d$  путем дросселирования пара

Вильчатая - перед основным поверхностным  
подогревателем на паре того же отбора





# Схемное и конструктивное оформление термической деаэрации



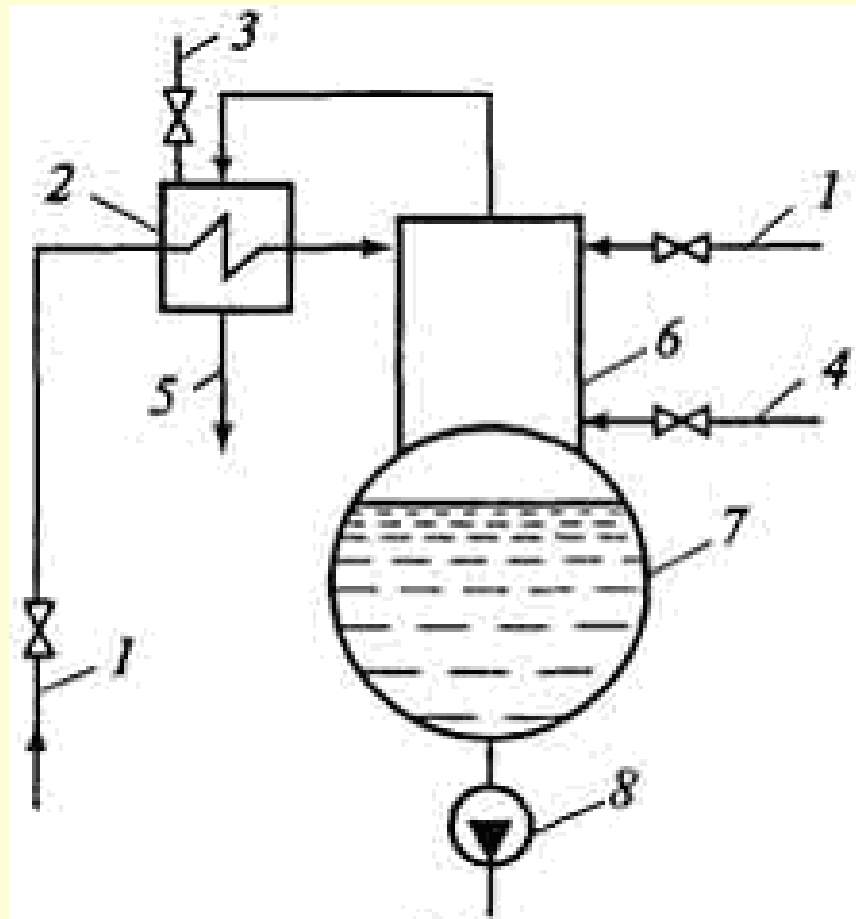
## Типы колонок

- струйная
- пленочная
- барботажная

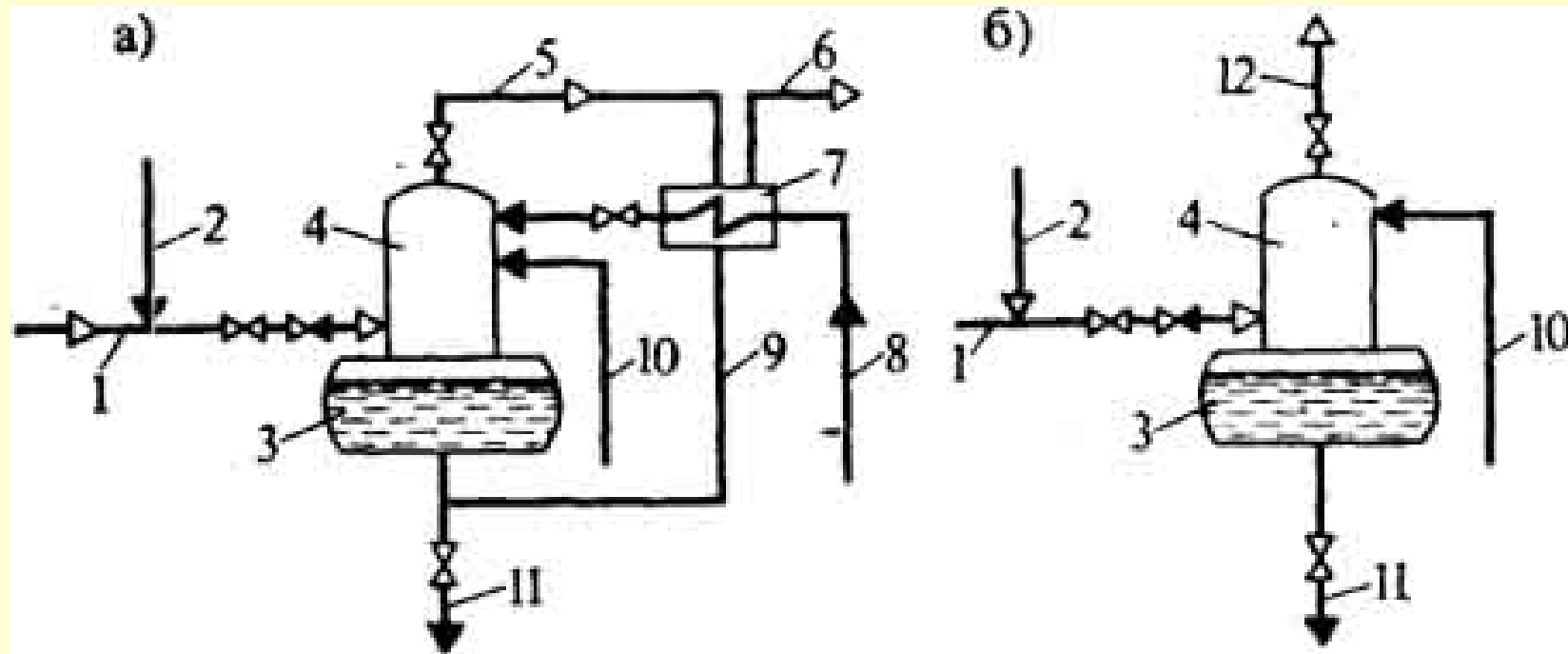
В настоящее время наиболее распространены Д струйного и барботажного типов



## Схема ДПВ



## Схема ДПВ

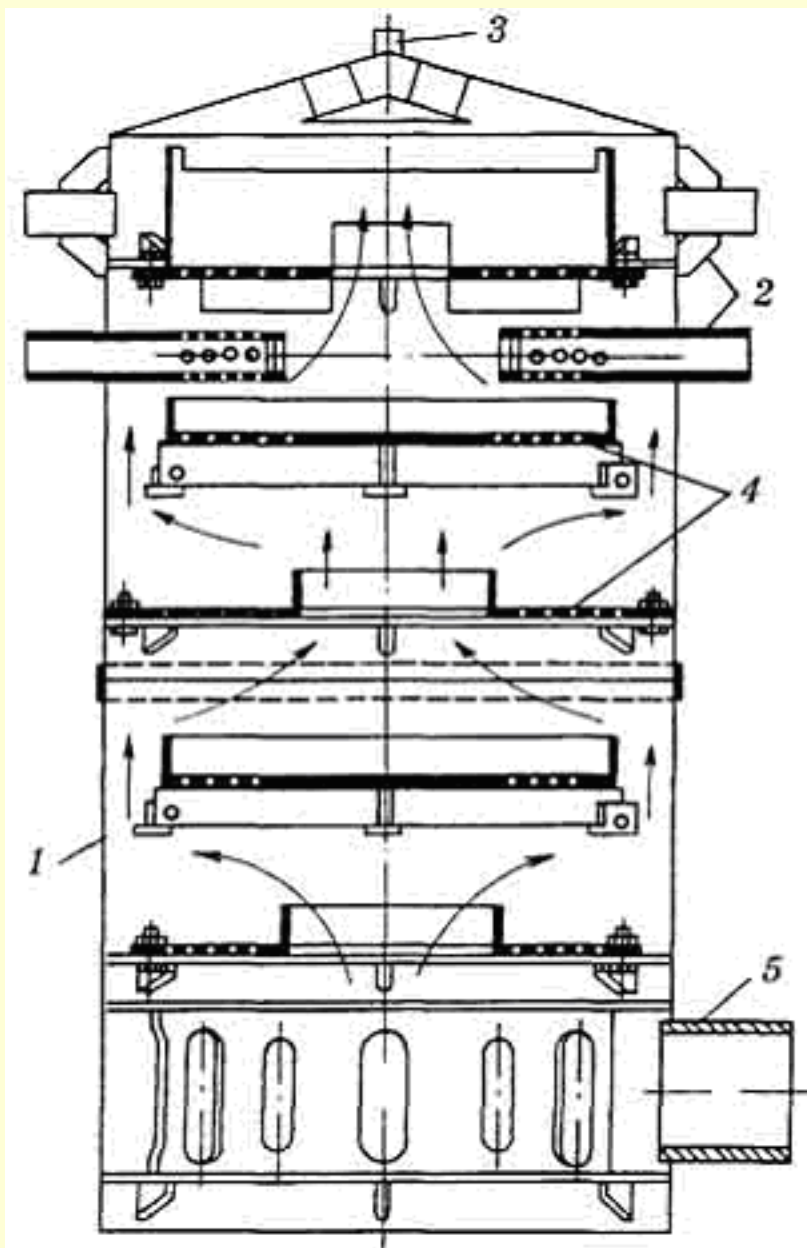




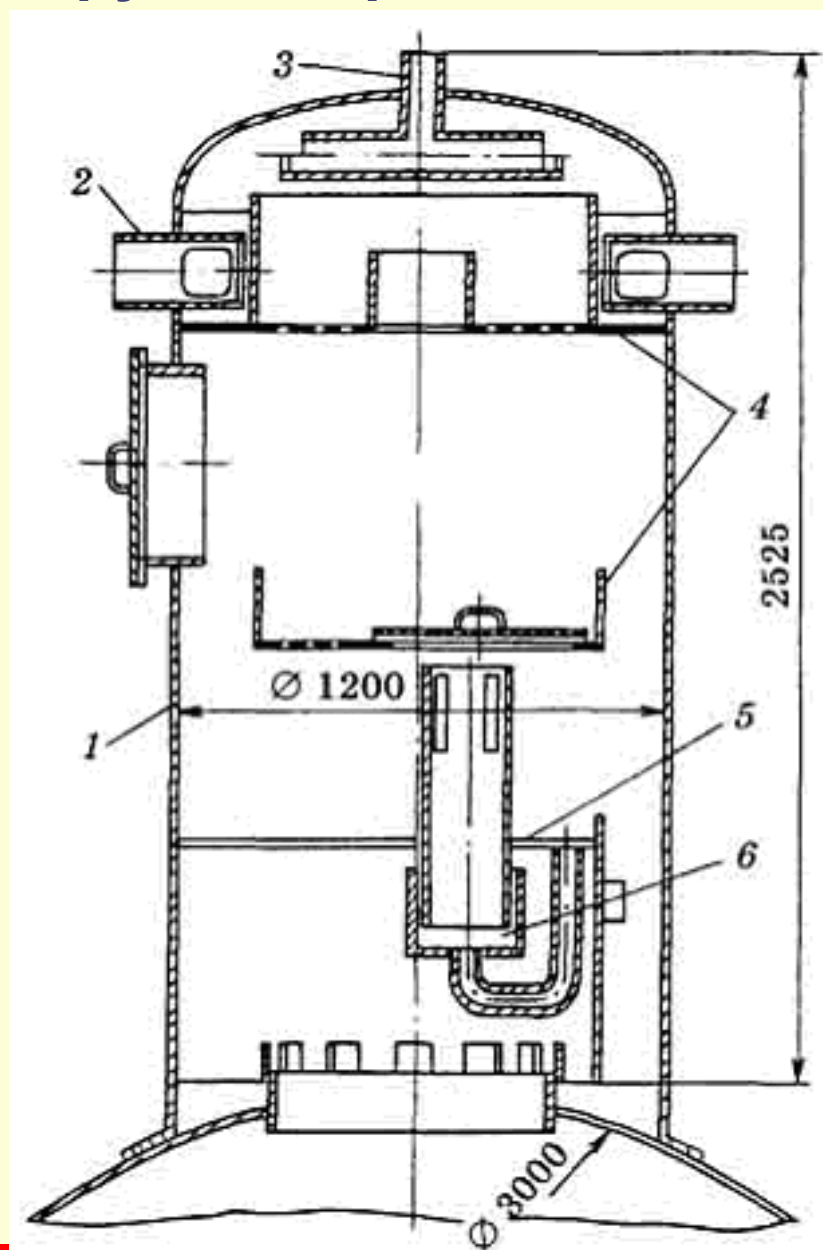
Необходимые условия  
для эффективной  
деаэрации питательной  
воды

1. нагрев воды до  $t_s$  при данном давлении
2. обеспечение достаточного времени деаэрации
3. обеспечение достаточной площади контакта пара с водой
4. удаление выпара

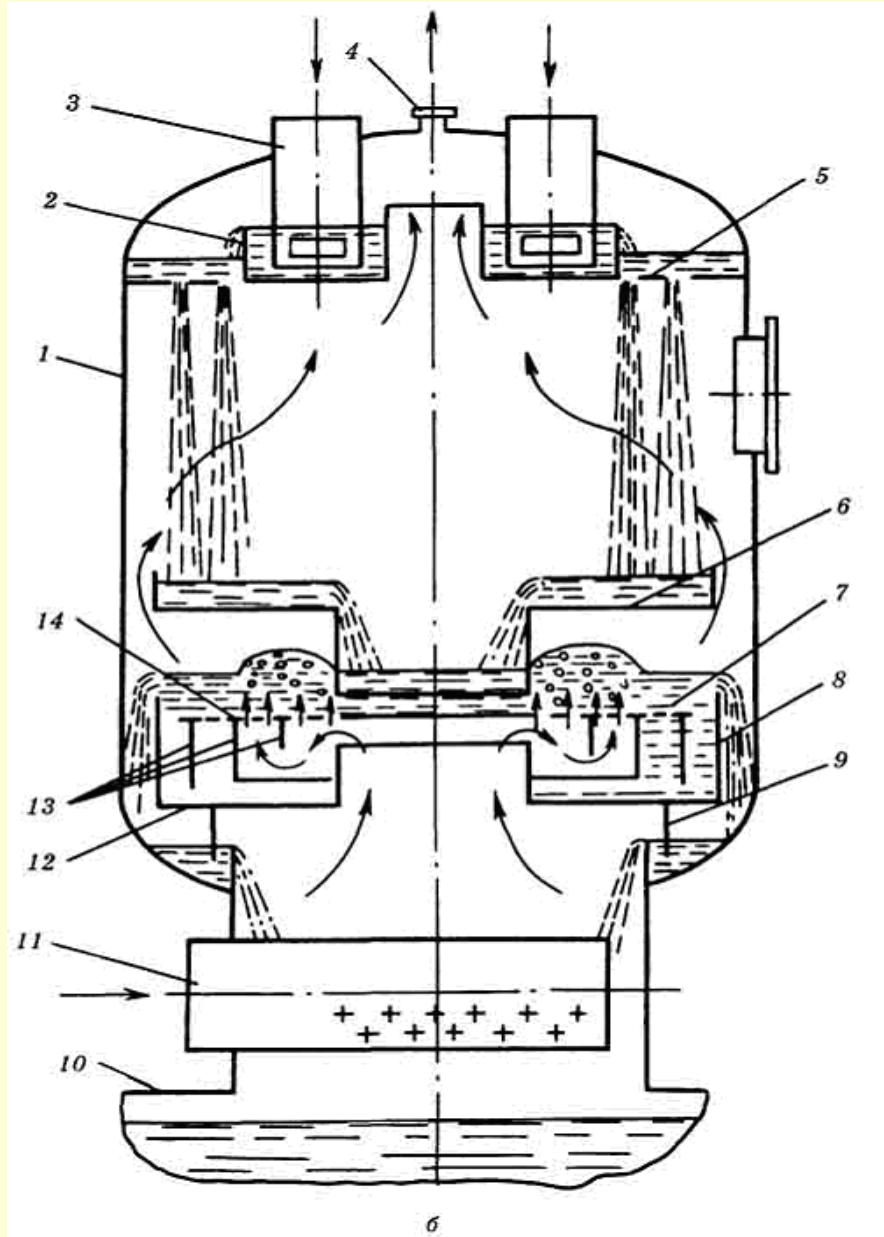
## Устройство ДК струйного типа

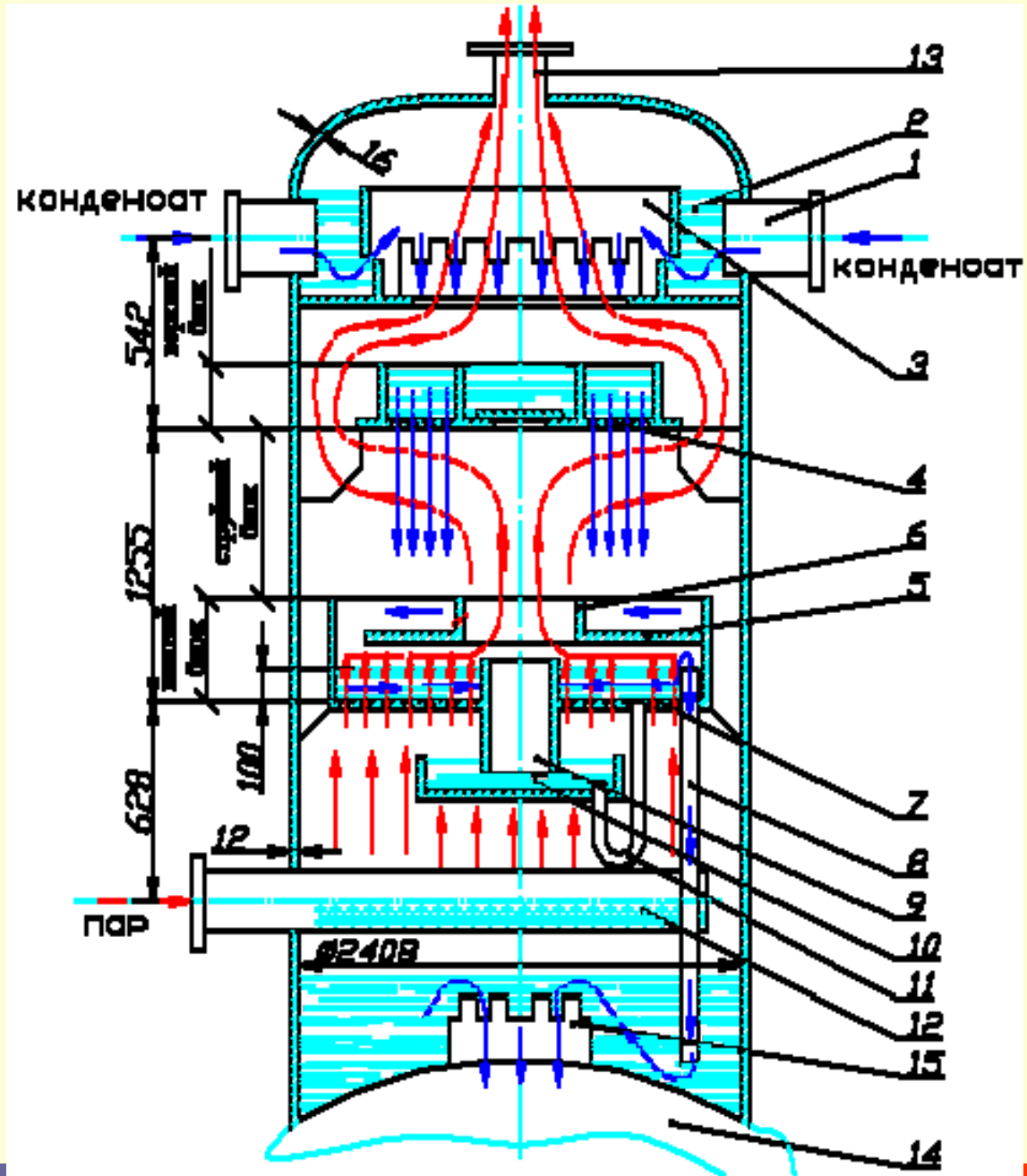


## Струйно-барботажная ДК



## схема движения потоков воды и пара



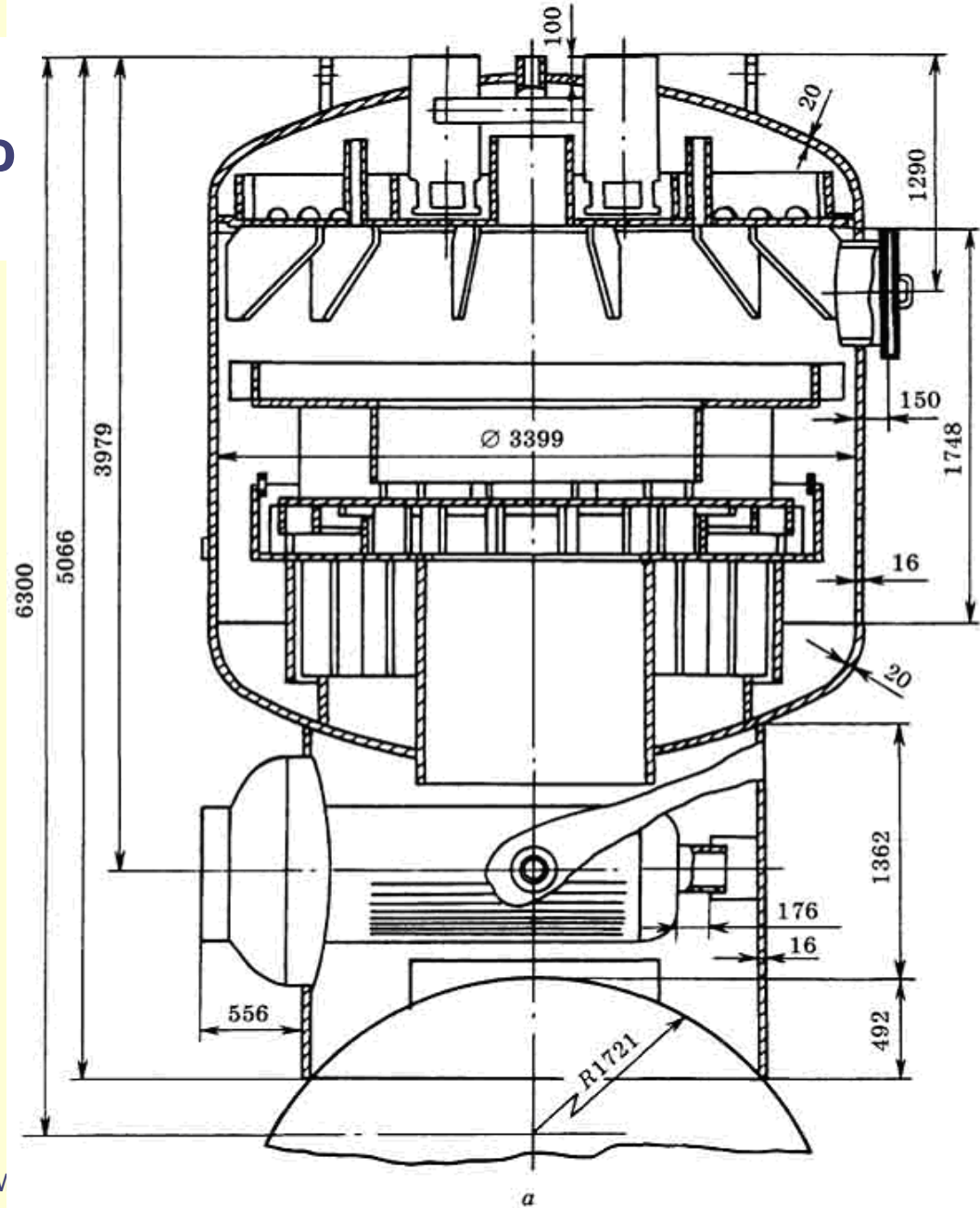


## Основные параметры деаэратора ДСП-100 на АЭС с реактором РБМК-1000

производительность	т/час	1000
давление рабочего тела	кгс/см <sup>2</sup>	6.6
давление расчетное	кгс/см <sup>2</sup>	7.5
температура рабочая	(°C)	167.5
внутренний диаметр	мм	2408
полная высота	мм	4661
емкость геометрическая	м <sup>3</sup>	17
масса (с водой)	кг	23440
Атомные Электрические Станции		40



**Общий вид колонки  
производительностью  
2000 т/ч**

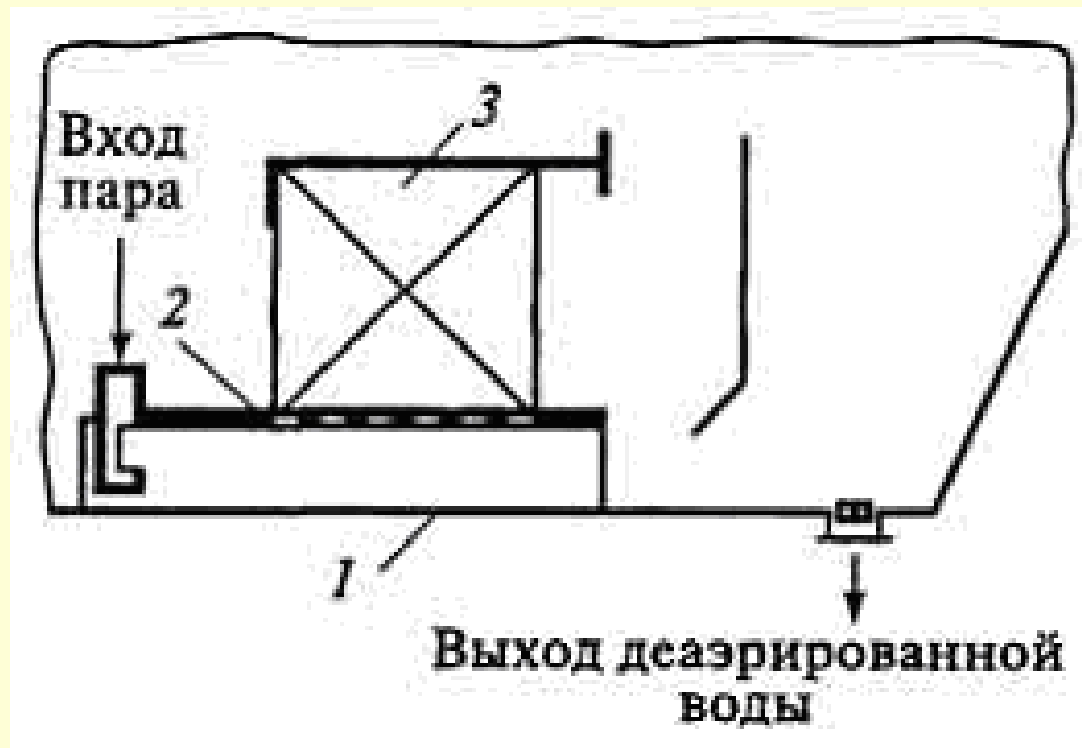


АТОМ

## Основные характеристики струйно-барботажных Д

Характеристика	Типоразмер деаэратора			
	ДП-1000	ДП-1600-2	ДП-2000	ДП-2600
Производительность ДК (номин.), т/ч	1000	1600	2000	2600
Давление пара в деаэраторе, МПа	0,7	0,7	0,7	0,7
Диаметр колонки, м	2,4	2,4	3,4	3,4
Высота колонки, м	4,6	7,5	5,07	7,54
Полезная вместимость бака-аккумулятора, м	100; 120	185	150; 185	120
Тип паротурбинной установки	К-500-65	К-500-60	К-500-60	К-750-65

## Барботажное деаэрационное устройство в БА



## Уравнения теплового и материального балансов деаэратора питательной воды

$$\left( D_{\text{п}} h_{\text{п}} + D_{\text{у}} h_{\text{у}} + \sum_1^n D_{j\text{в}} h_{j\text{в}} + D_{\text{о.к}} h_{\text{о.к}} \right) \eta_{\text{д}} = D_{\text{п.в}} h_{\text{п.в}} + \sum_1^k D_{j\text{п}} h_{j\text{п}}$$

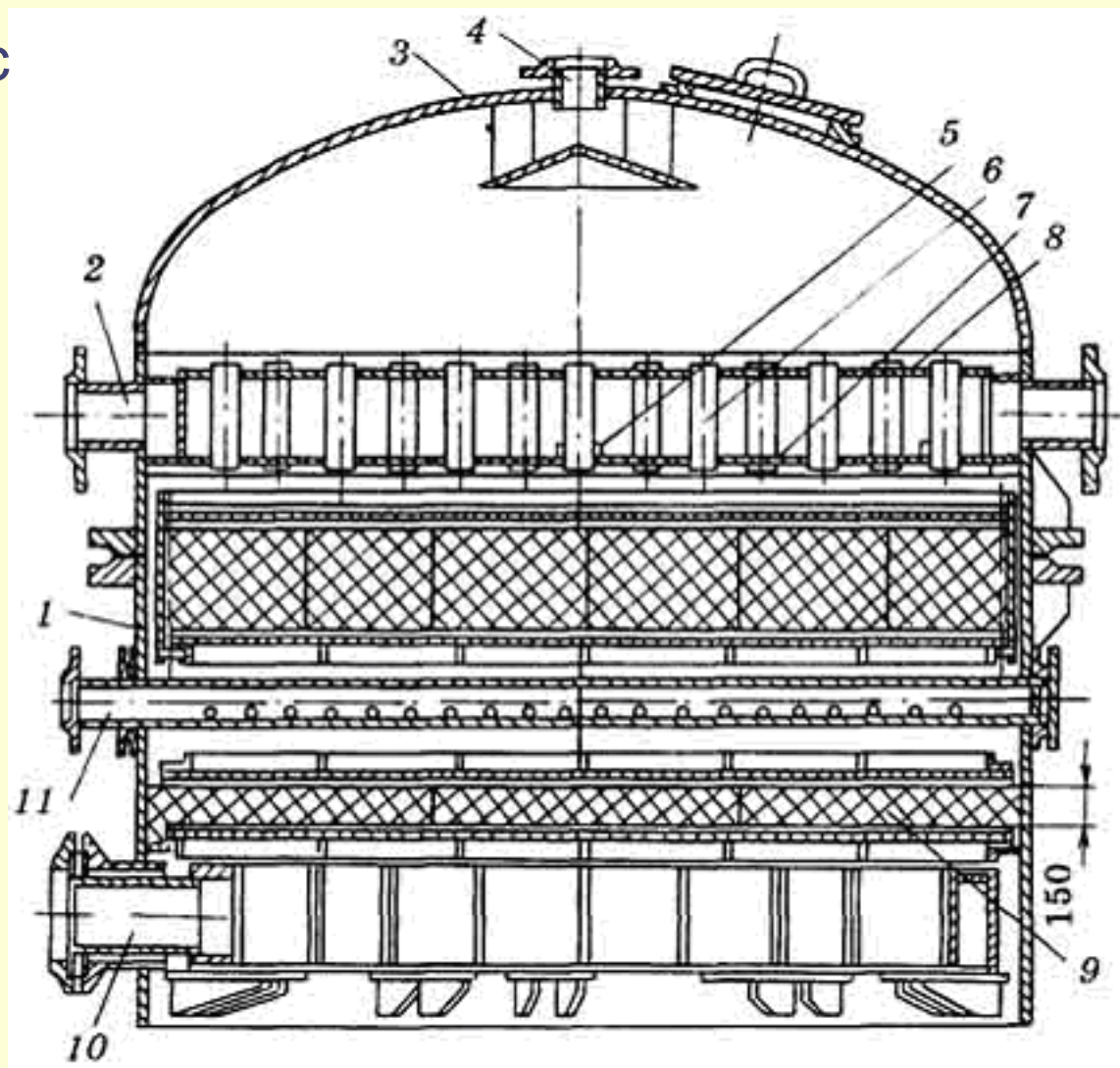
$$\left( \alpha_{\text{п}} h_{\text{п}} + \alpha_{\text{у}} h_{\text{у}} + \sum_1^n \alpha_{j\text{в}} h_{j\text{в}} + \alpha_{\text{о.к}} h_{\text{о.к}} \right) \eta_{\text{д}} = \alpha_{\text{п.в}} h_{\text{п.в}} + \sum_1^k \alpha_{j\text{п}} h_{j\text{п}},$$

## Уравнения материального баланса ДП

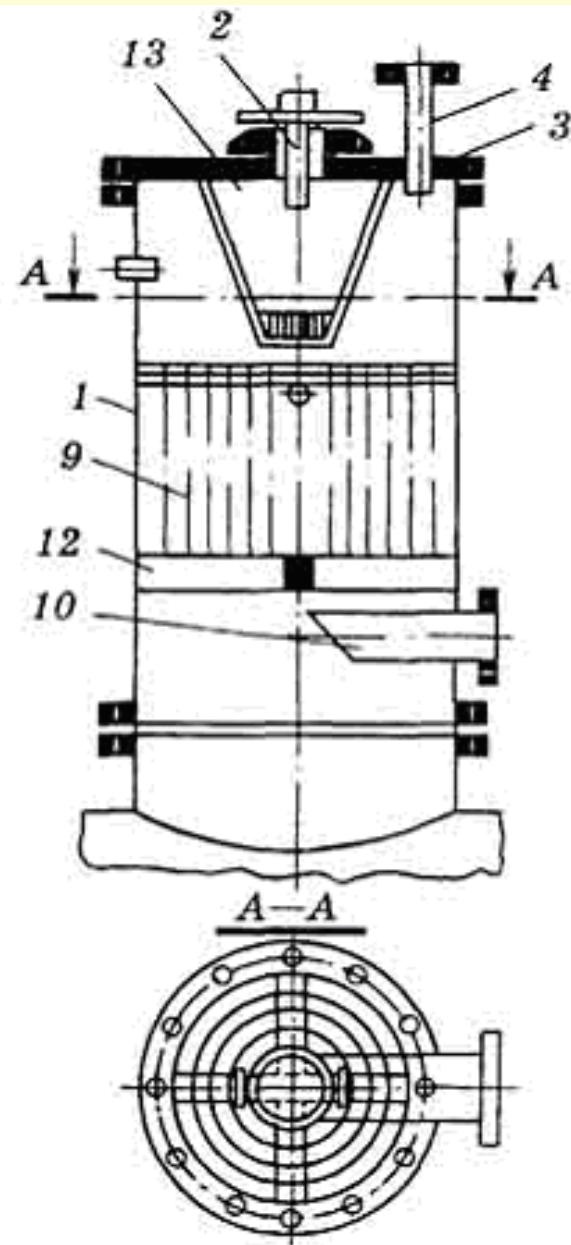
$$\left( D_{\text{п}} h_{\text{п}} + D_{\text{у}} h_{\text{у}} + \sum_1^n D_{j_{\text{в}}} h_{j_{\text{в}}} + D_{\text{о.к}} h_{\text{о.к}} \right) \eta_{\text{д}} = D_{\text{п.в}} h_{\text{п.в}} + \sum_1^k D_{j_{\text{п}}} h_{j_{\text{п}}}$$

$$\left( \alpha_{\text{п}} h_{\text{п}} + \alpha_{\text{у}} h_{\text{у}} + \sum_1^n \alpha_{j_{\text{в}}} h_{j_{\text{в}}} + \alpha_{\text{о.к}} h_{\text{о.к}} \right) \eta_{\text{д}} = \alpha_{\text{п.в}} h_{\text{п.в}} + \sum_1^k \alpha_{j_{\text{п}}} h_{j_{\text{п}}},$$

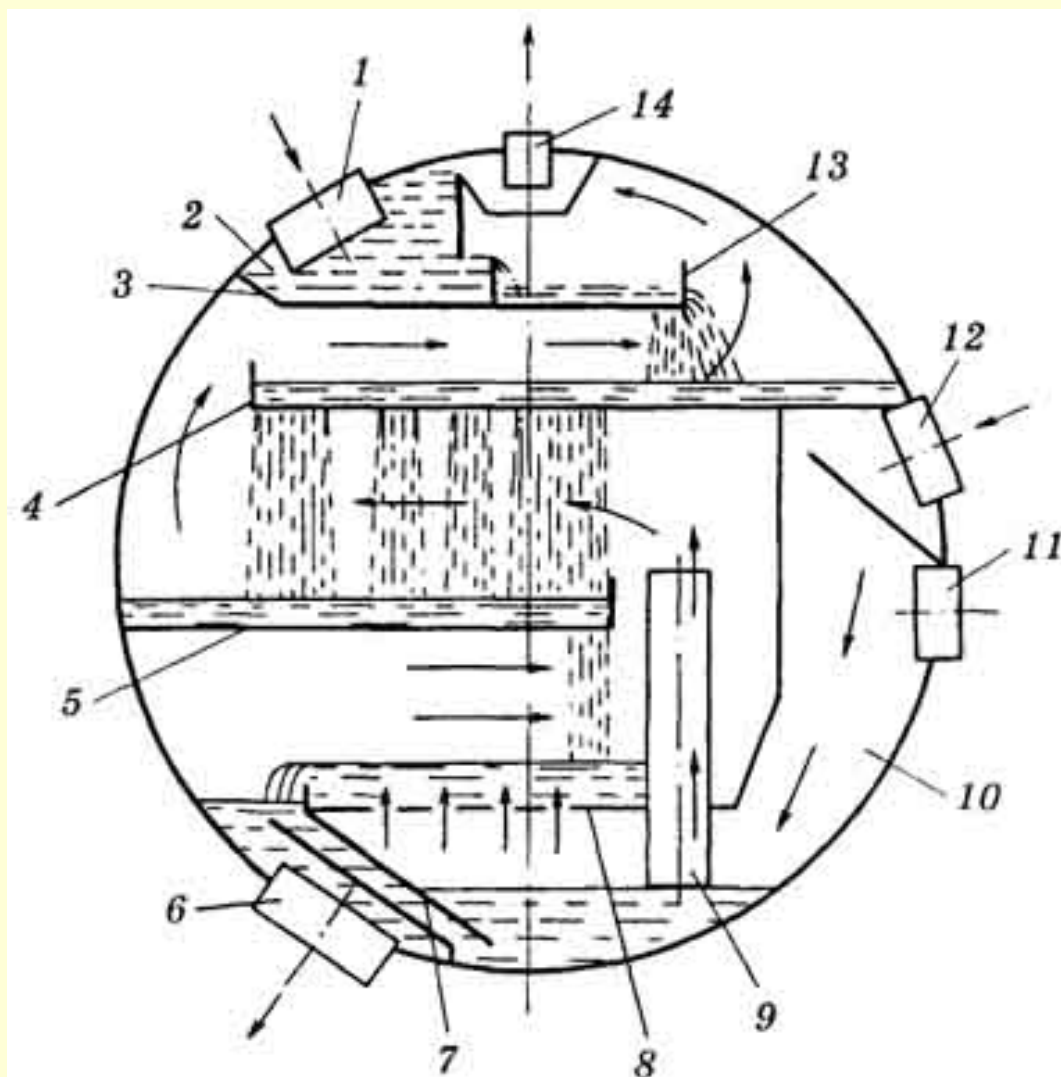
ДК с устройством  
пленочного типа с  
неупорядоченной  
насадкой



Деаэрационная колонка  
с устройствами  
пленочного типа с  
упорядоченной  
насадкой

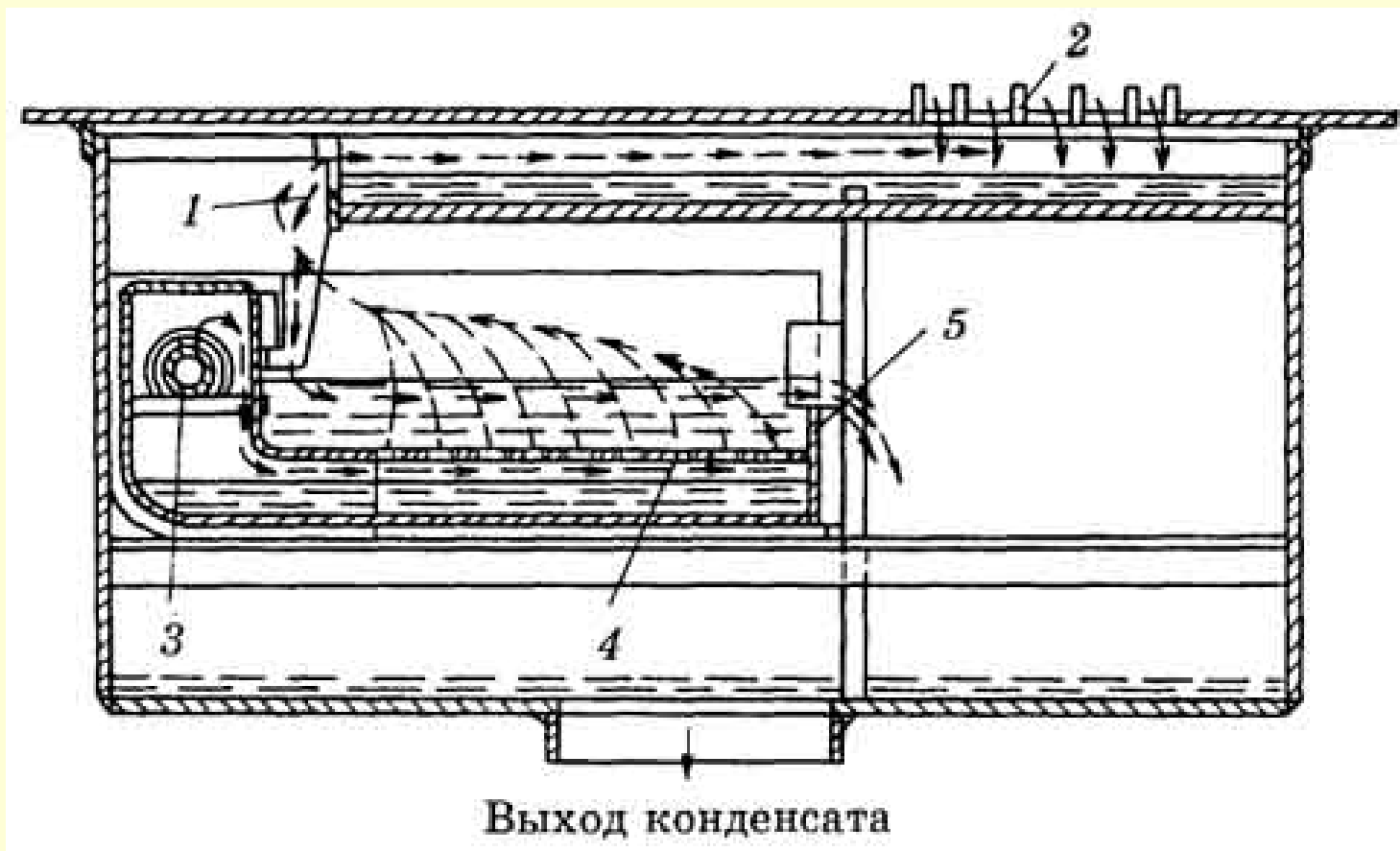


## Принципиальная схема горизонтального струйно-барботажного Д





## Барботажное устройство в конденсаторе К





# Химическая деаэрация

- связывание остаточного кислорода

в линию за БА вводят раствор гидразина