

# АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Тема 11. **СИСТЕМА РППВ**

# УСТРОЙСТВО РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ



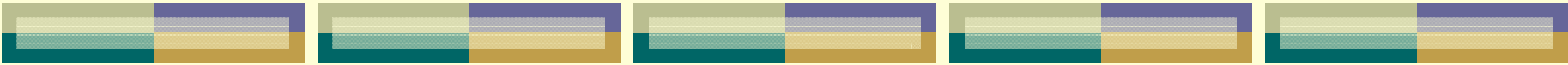


## Основные вопросы

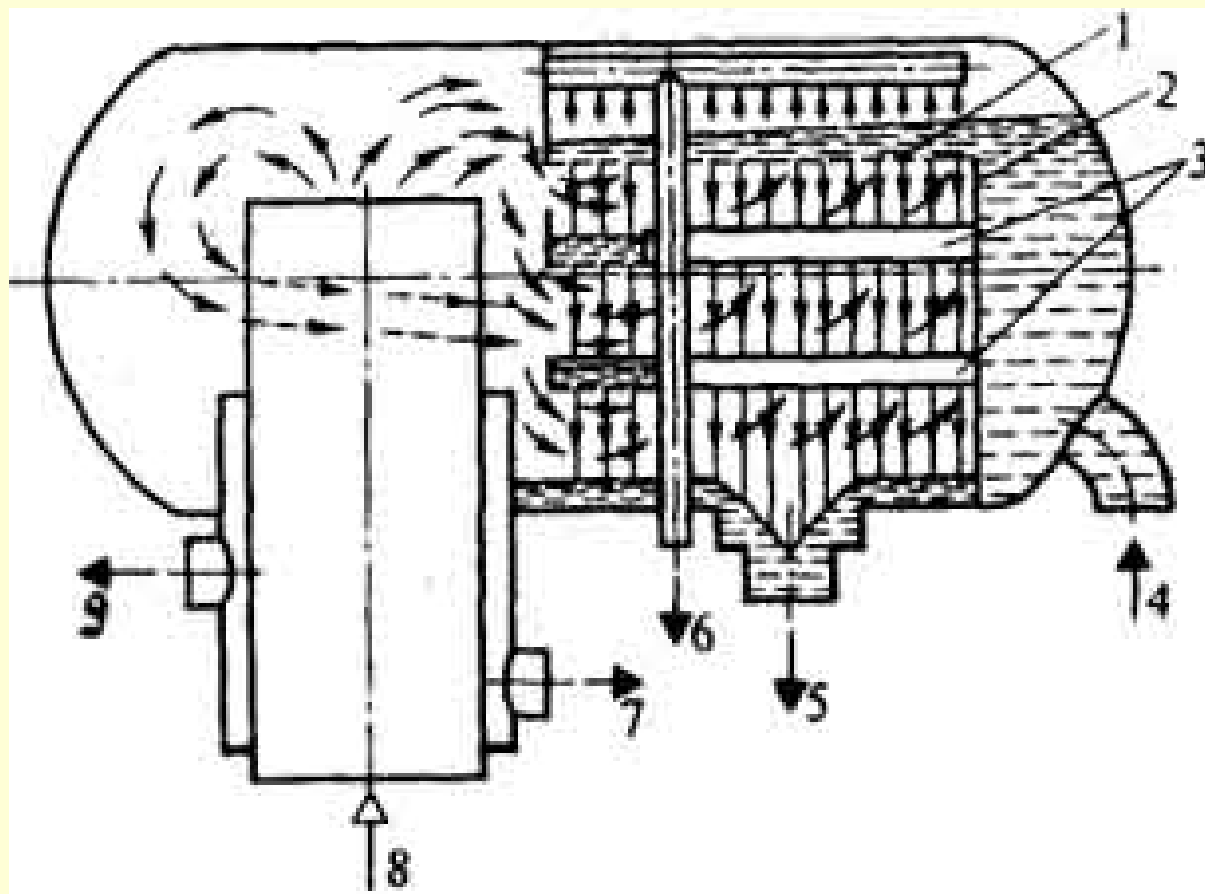
- Особенности конструкций ПНД
- Особенности конструкций ПВХ

## Особенности конструкций ПНД

- ПНД бывают поверхностные и смешивающие
- Среда с б'ольшим давлением - в трубках, с меньшим - в корпусе
- Конструкция: камерного типа с трубной доской
- По ориентации корпуса: вертикальные
- Вынесенные охладители дренажа
- Нижнее расположение водяных камер
- Широкое использование 2-х стенных корпусов
- Материал теплообменных труб - нержавеющая сталь

- 
- ПНД смешивающего типа, которые могут быть как вертикальными, так и горизонтальными

## Конструктивная схема смешивающего регенеративного подогревателя

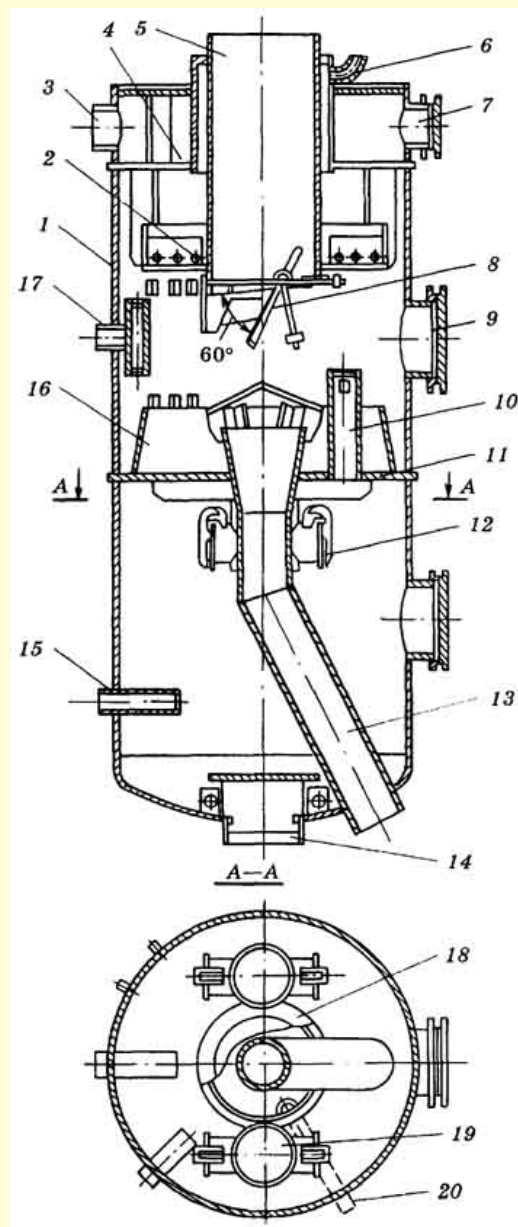




## Вертикальные смешивающие ПНД

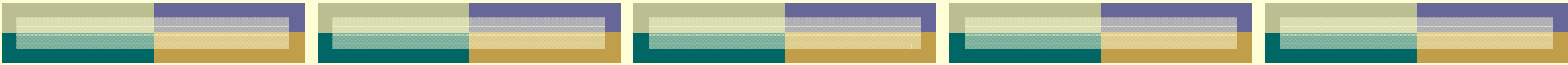
- в настоящее время - на блоках 200, 300, 500 и 800 МВт
- для блока с турбиной К-200-130 корпус подогревателя имеет диаметр 2200 и высоту 6000 мм

# Вертикальные смешивающие ПНД



АЭС

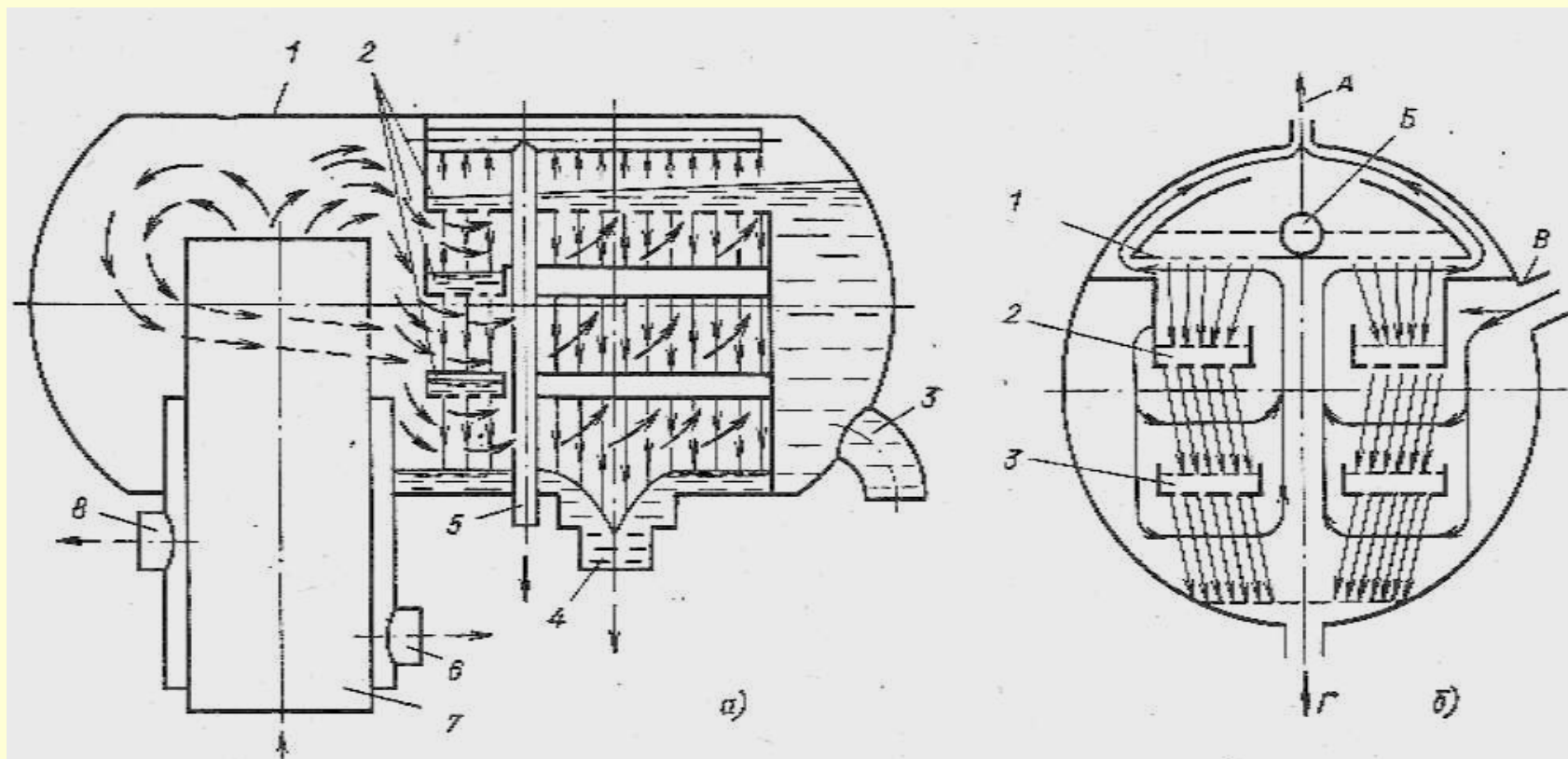




## Достоинства смешивающих подогревателей

- Простота
- дешевизна
- более высокая тепловая экономичность установки

# Горизонтальный смешивающий подогреватель

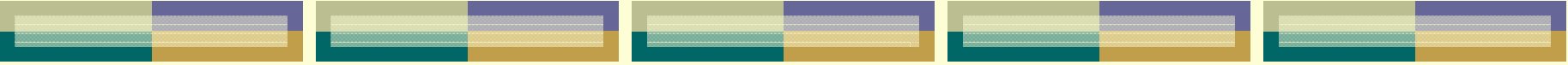


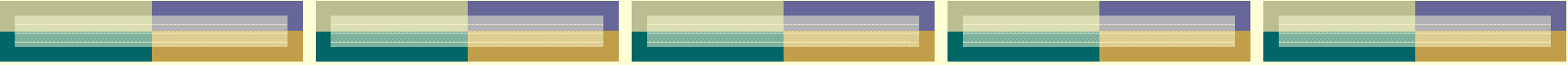


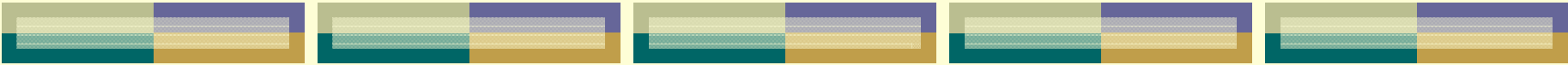
# Принципиальное устройство поверхностных регенеративных подогревателей

основной тип подогревателей в регенеративной системе

1. Теплообменная поверхность - в корпусе
  - При компоновке машзала предусматривается возможность снятия корпуса

- 
- **2. Среда с большим давлением (вода) - внутри труб малого диаметра**
    - греющий пар – снаружи

- 
- 3. Греющий пар - сверху вниз  
облегчается
    - вывод воздуха из корпуса
    - отвод конденсата из нижней части
  
  - 4. Трубки отвода неконденсирующихся газов - из  
нержавеющих аустенитных сталей

- 
- 5. Невскипание воды и отсутствие гидравлических ударов обеспечивается за счет большего давления питательной воды



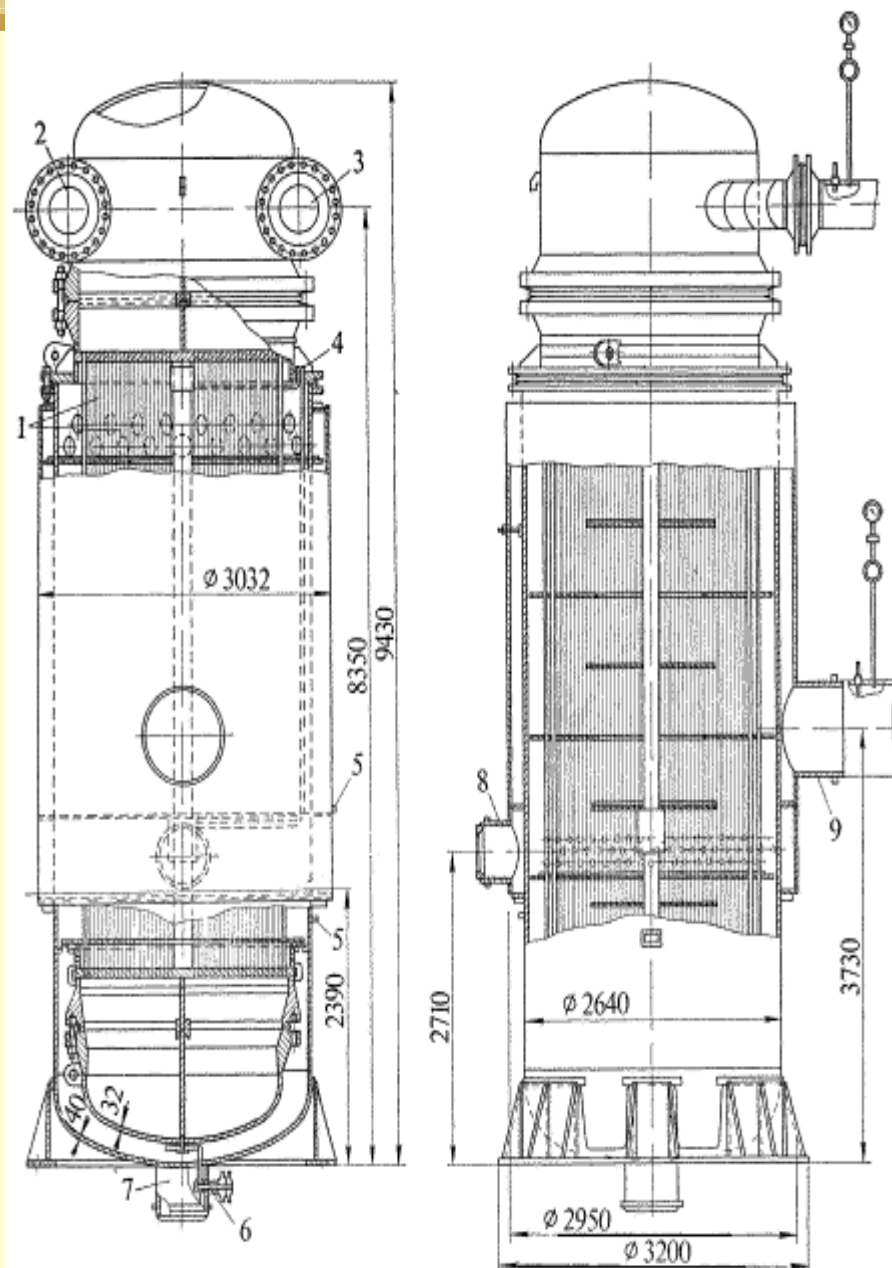
## Поверхностные ПНД

- ПНД поверхностного типа обычно выполняют вертикальными

## ПН-1800, блок РБМК-1000

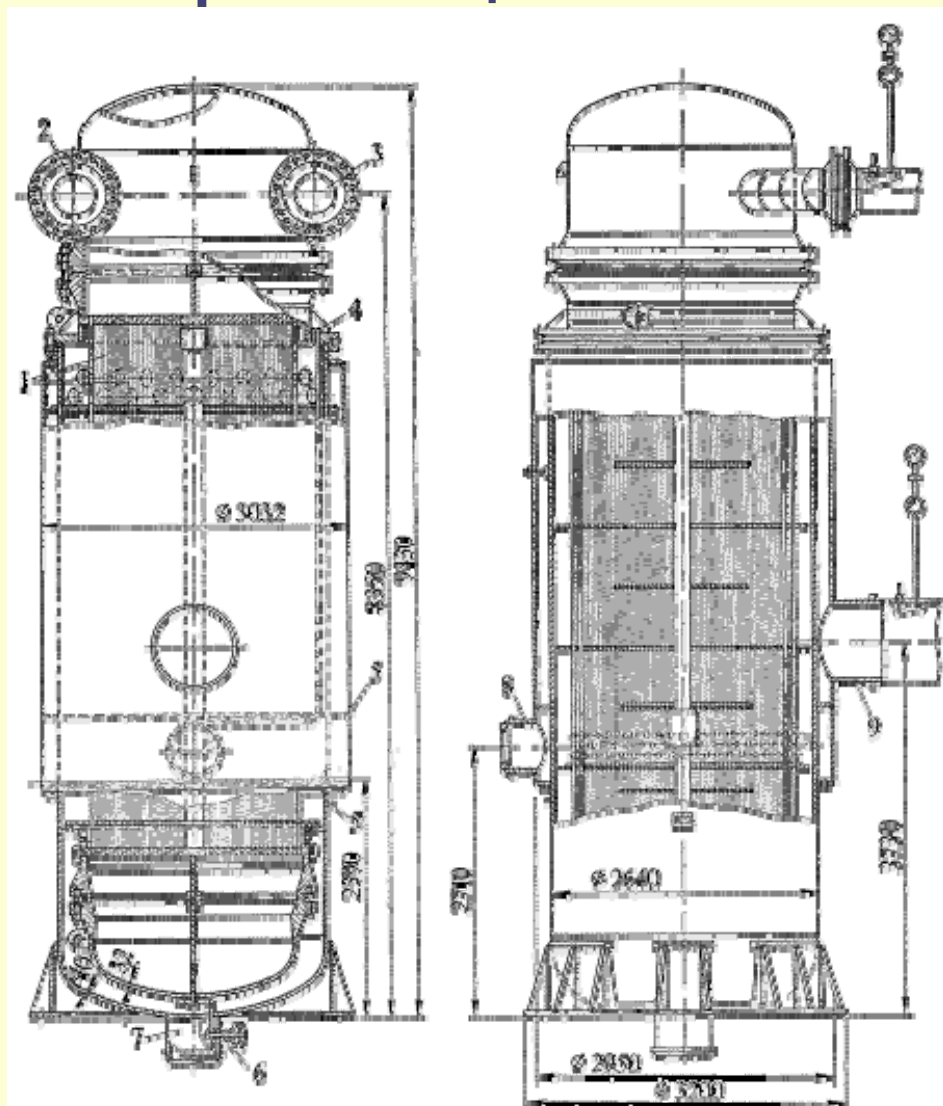
### Особенности конструкции

- прямые трубы  $\varnothing 16 \times 1$  мм
- плавающая нижняя водяная камера
- Число ходов основного конденсата - 4
- Фланцевые соединения завариваются
- Направляющие перегородки диск-кольцо



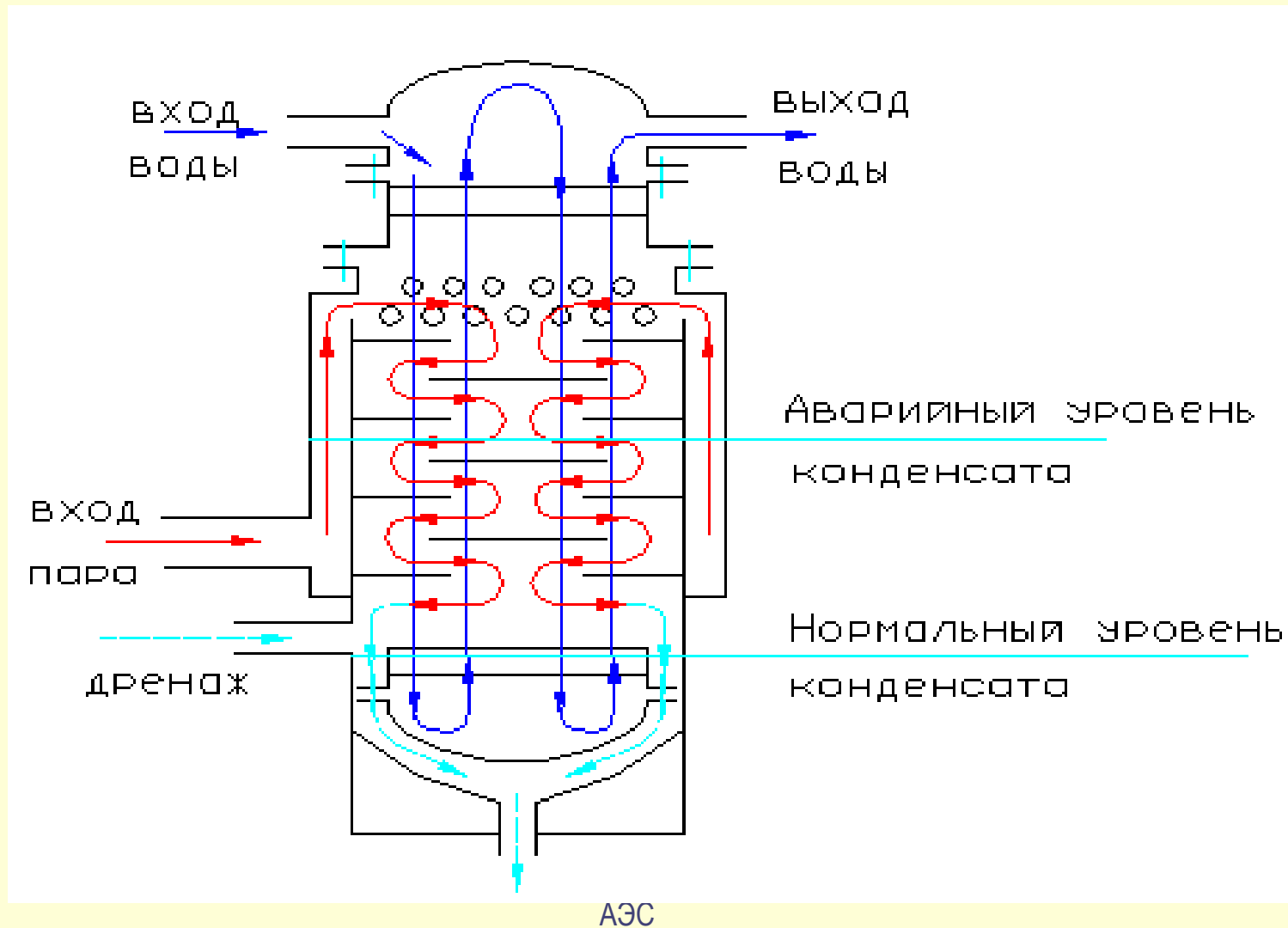


## ПНД с трубной системой из аустенитной нержавеющей стали

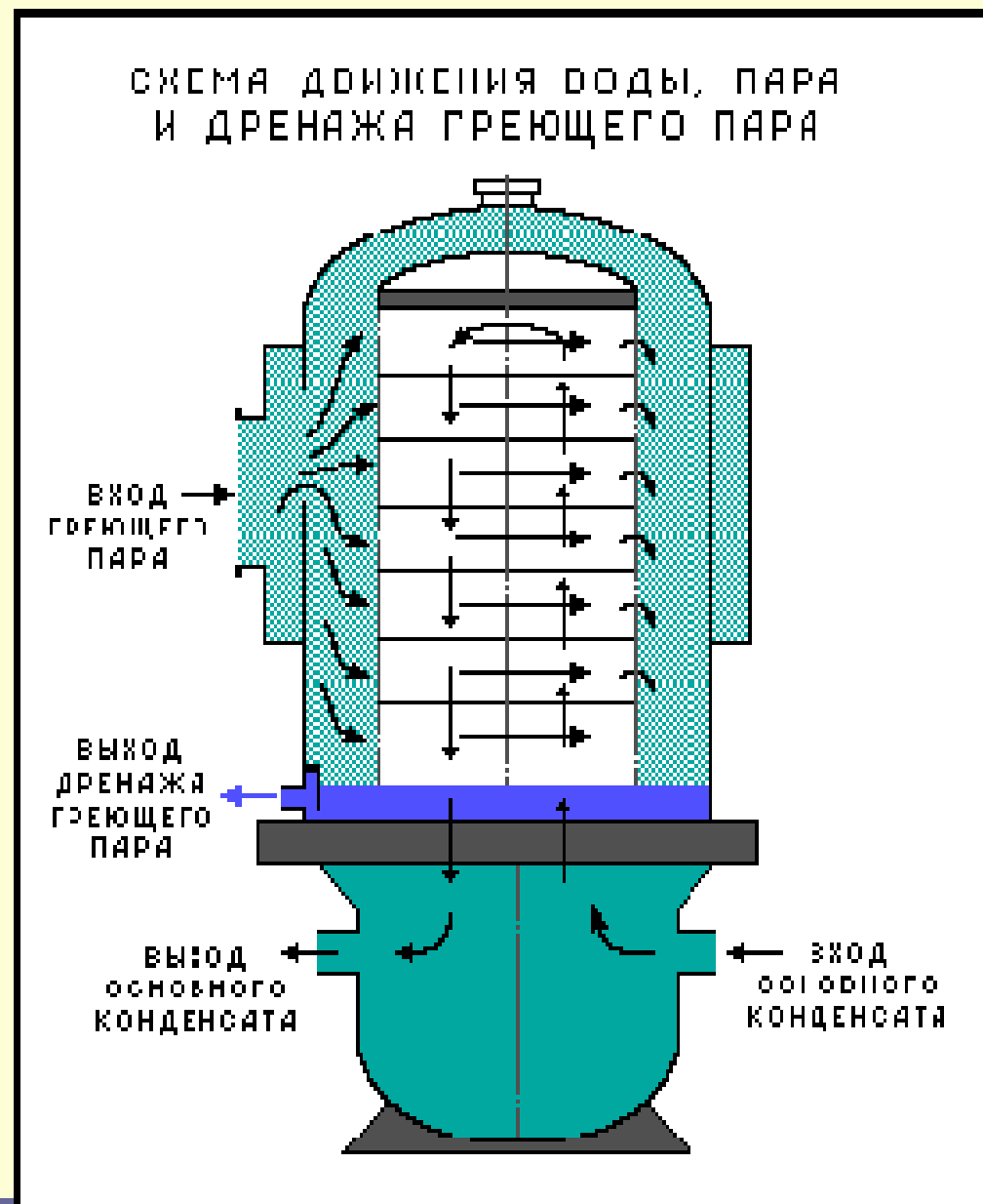


АСУ

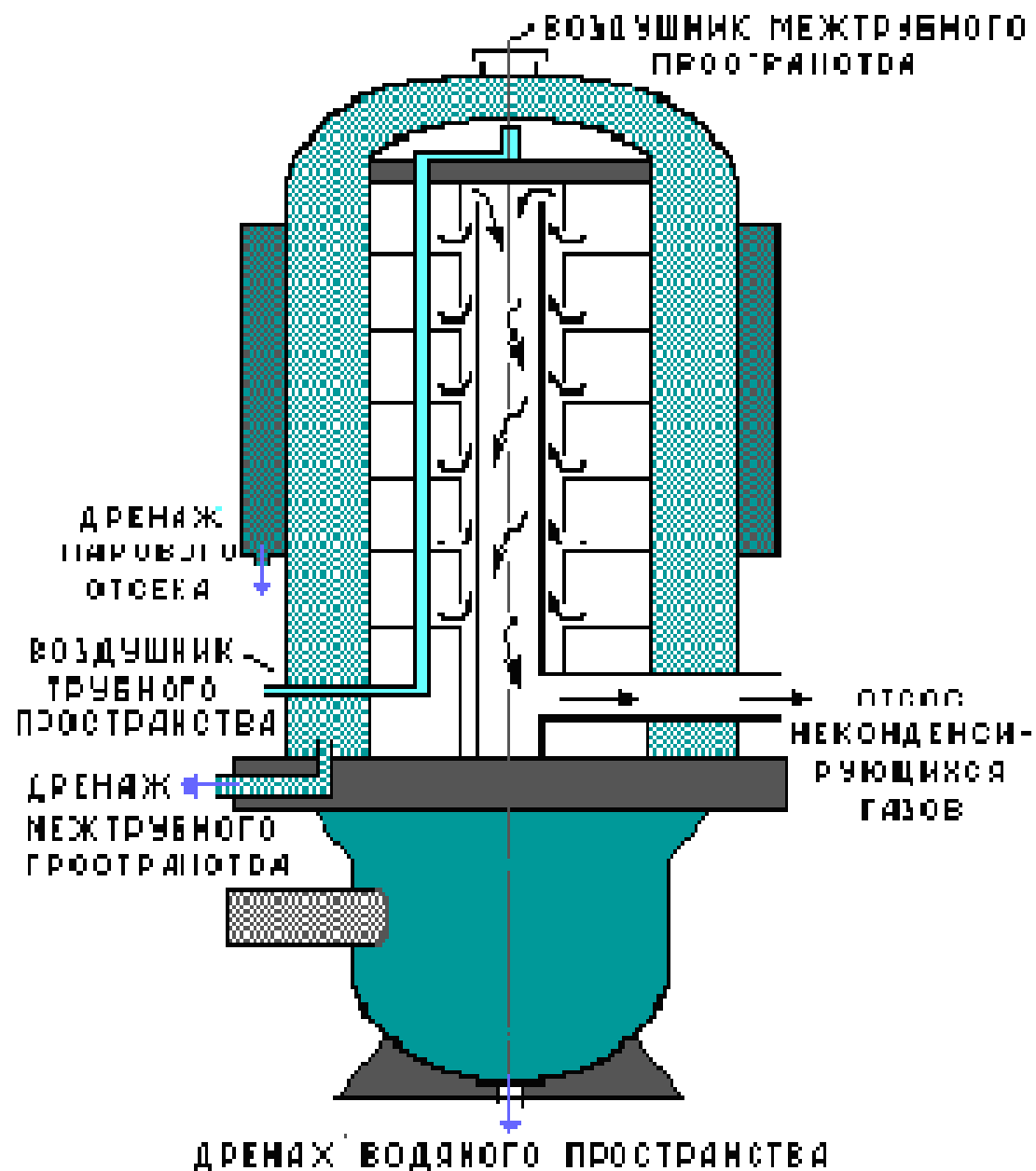
## Схема движения пара и воды в четырехходовом ПНД



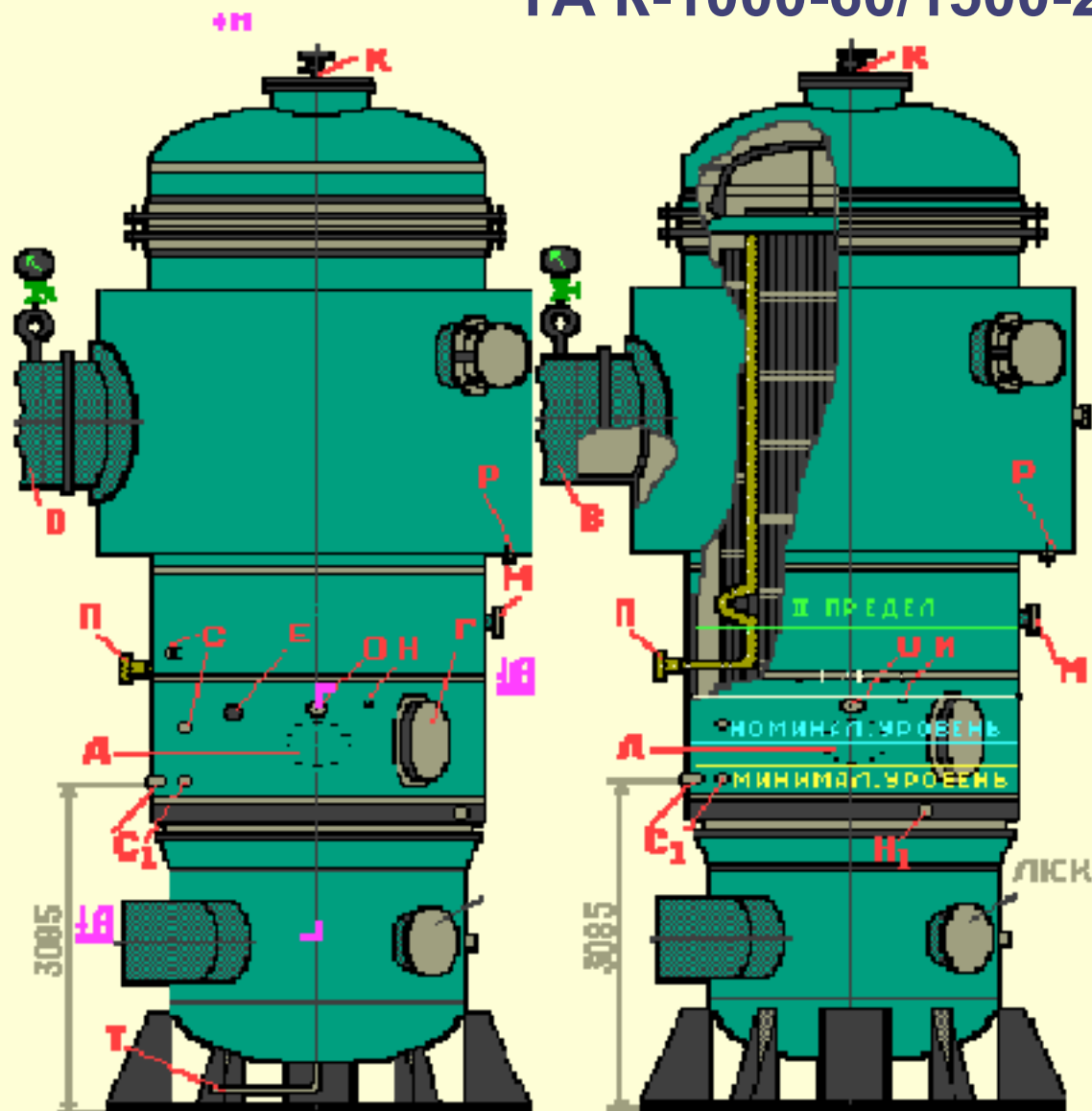
## Схема движения пара и воды в двухходовом ПНД



# СХЕМА ОТСОСА НЕКОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ГАЗОВ И ДРЕНИРОВАНИЯ ПАРОВОГО И ВОДЯНОГО ПРОСТРАНСТВА



# Регенеративный подогреватель ПН-3000-25-16-IVA ТА К-1000-60/1500-2



НОМИНАЛЬНЫЙ  
уровень  
конденсата -  
570 мм

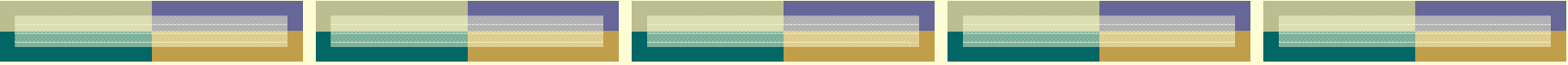
## ТАБЛИЦА ПРИСОЕДИНЕНИЙ ПНД – 4

ОБОЗН.	НАИМЕНОВАНИЕ ПРИСОЕДИНЕНИЯ	Ди, мм	КОЛ
А В Г Д Е Ж И К Н О П Р С Т	ВХОД ОСНОВНОГО КОНДЕНСАТА	800	1
	ВЫХОД ОСНОВНОГО КОНДЕНСАТА	800	1
	ВХОД ГРЕЮЩЕГО ПАРА	1000	1
	ВЫХОД ДРЕЧАЖА ГРЕЮЩЕГО ПАРА	600	1
	ВХОД ДРЕНАЖА ИЗ ПНД-3	600	1
	ПОДВОД НЕКОНДЕНСИР. ГАЗОВ ИЗ ПНД-3	80	1
	ВПУСК ДРЕЧАЖА ПАРОВОГО ОТСЕКА ИЗ ПНД-3	25	1
	ОГОРОЖЕНИЕ МЕЖТРУБНОГО ПРОСТР-ВА	25	1
	ВСЗДУШНИК МЕЖТРУБНОГО ПРОСТР-ВА		1
	ПРИСОЕДИНЕНИЕ ВОДОУКАЗ. СТЕКЛА		2
	ОТСОС НЕКОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ГАЗОВ	00	1
	ВСЗДУШНИК ТРУБНОГО ПРОСТРАНСТВА		1
	ДРЕНАЖ ПАРОВОГО ОТСЕКА	25	1
	ПРИСОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТНЫХ БАЧКОВ	10	1
	ОГОРОЖЕНИЕ ТРУБНОГО ПРОСТРАНСТВА	25	1



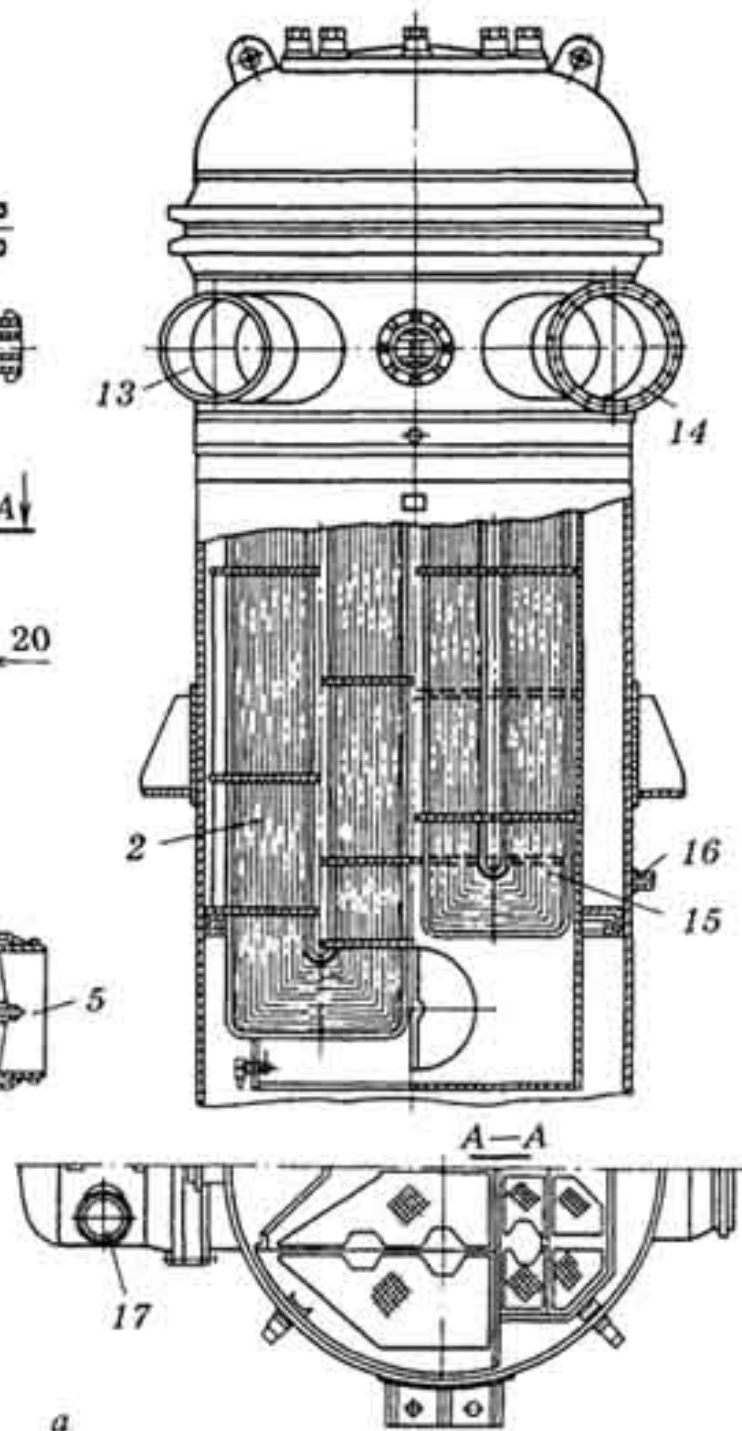
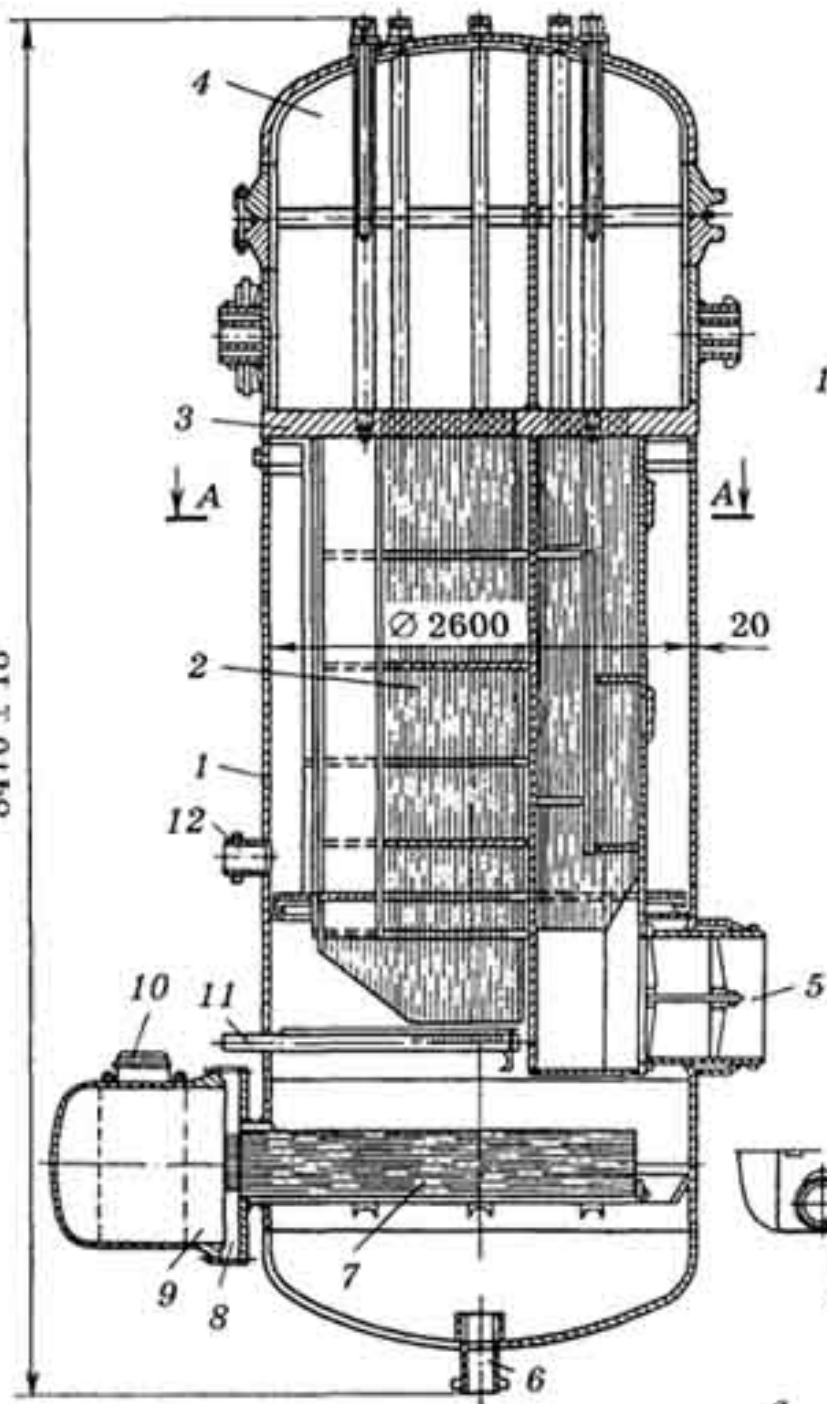
## ПНД с U-образными трубками, с ОП и ОД

- Трубы ОП - в выделенном отсеке корпуса подогревателя
- Пучок этих труб располагается параллельно трубам СП
- Внизу корпуса подогревателя располагается ОД
- Перегретый пар от отбора турбины поступает в нижнюю часть подогревателя
- КГП стекает в ОД, где охлаждается частью потока основного конденсата
- КГП отводится через штуцер в нижней части корпуса

- 
- Основной конденсат проходит последовательно четырехходовые СП и ОП
  - Небольшая часть потока основного конденсата подается в ОД
  - Трубные пучки ОД собраны из труб диаметром 16×1 мм, сталь Х18Н10Т
  - Установлен на блоке с турбиной К-800-240



8470 ± 18



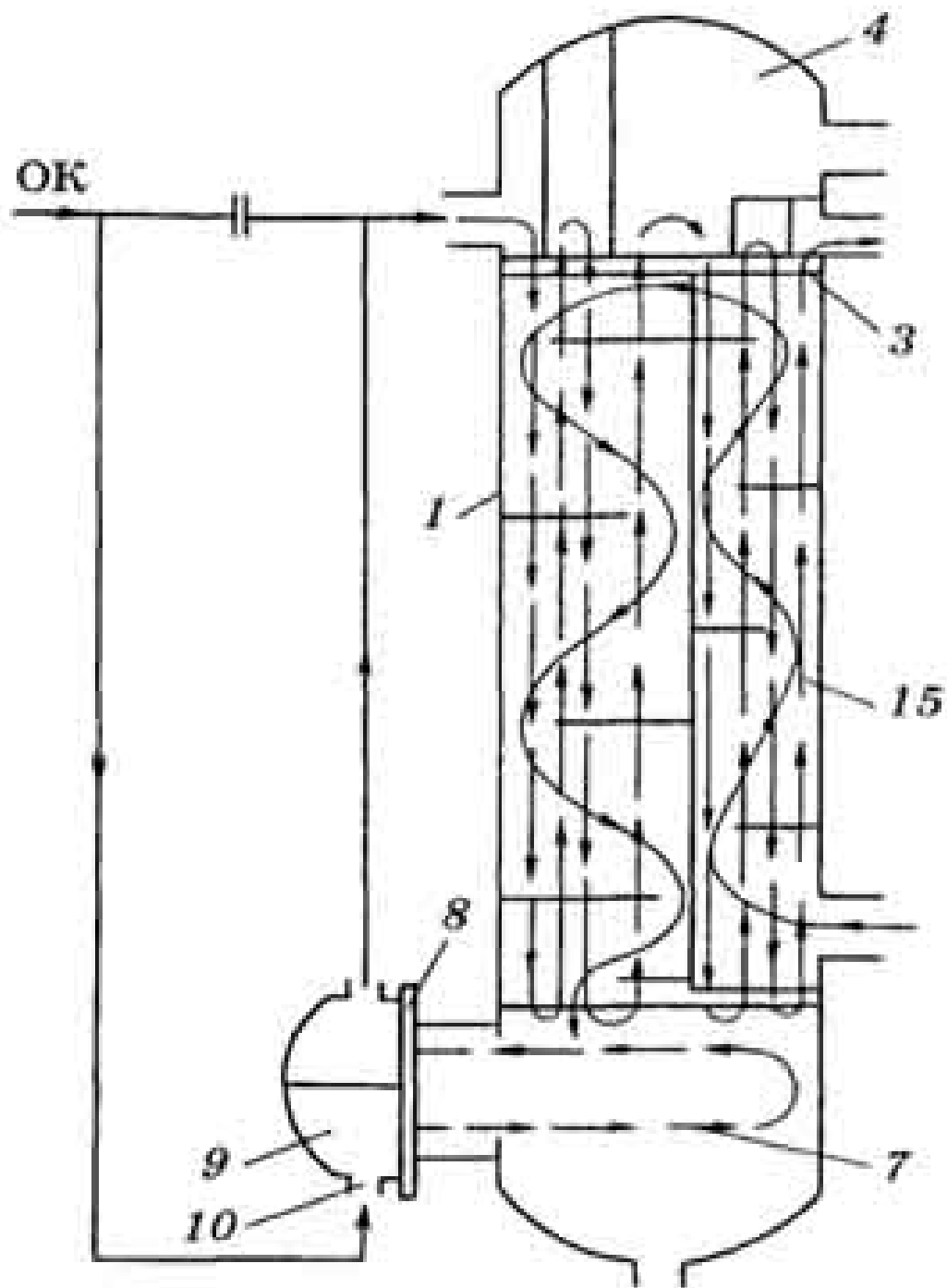
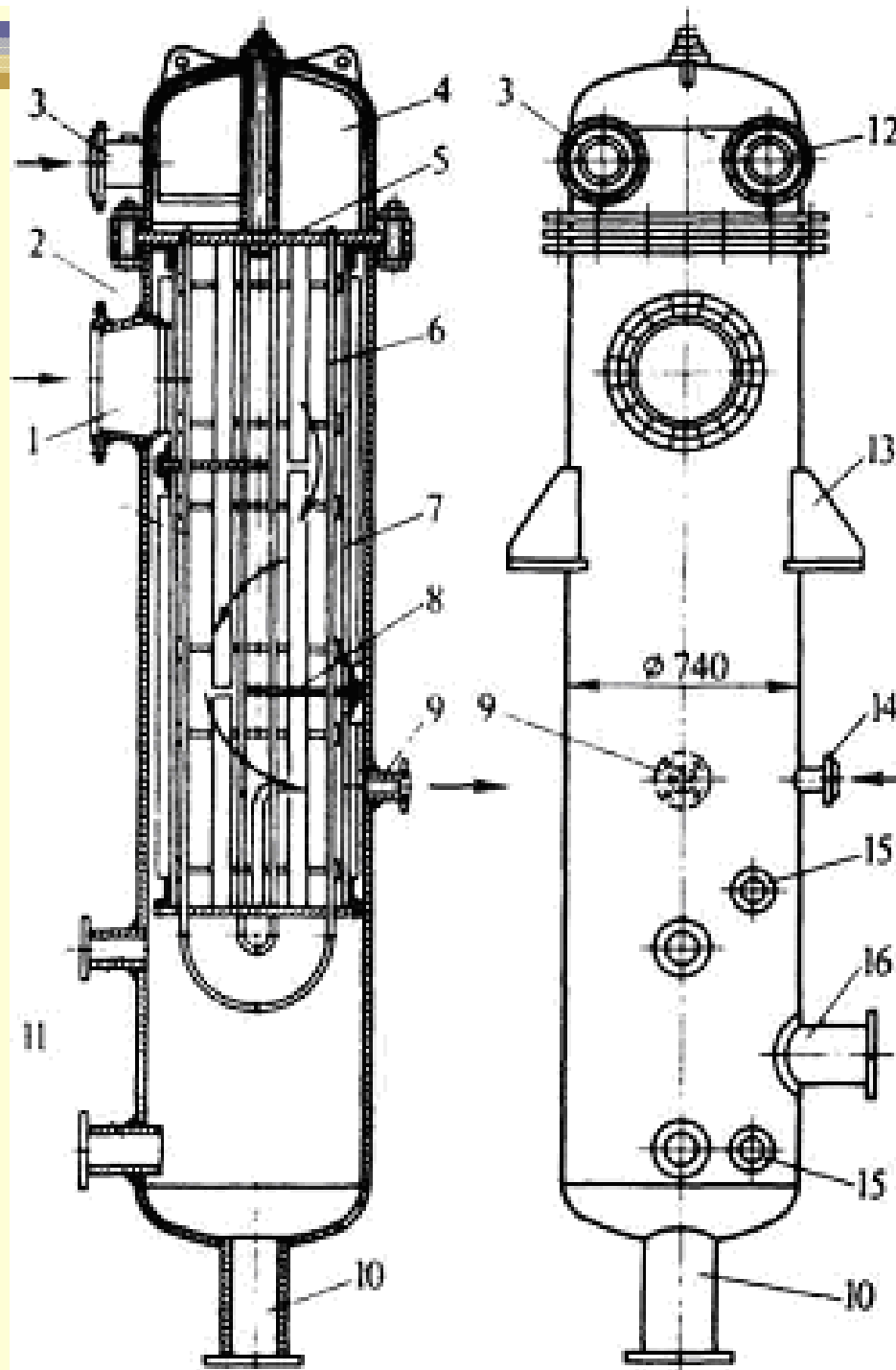


Схема движения пара и КГП

Регенеративный  
ПНД с трубной  
системой из латуни





## Особенности конструкций ПВД

- ПВД - **кожухотрубные** (поверхностные) теплообменники
- Среда с б'ольшим давлением - в трубках, с меньшим - в корпусе
- Два типа конструкций:
  - **камерного** типа с трубной доской
  - **коллекторно-спиральные**
- По ориентации корпуса:
  - **горизонтальные**
  - **вертикальные**
- **Встроенные** ОД
- Отсутствие **пароохладителей** (в ПВД турбин насыщенного пара)

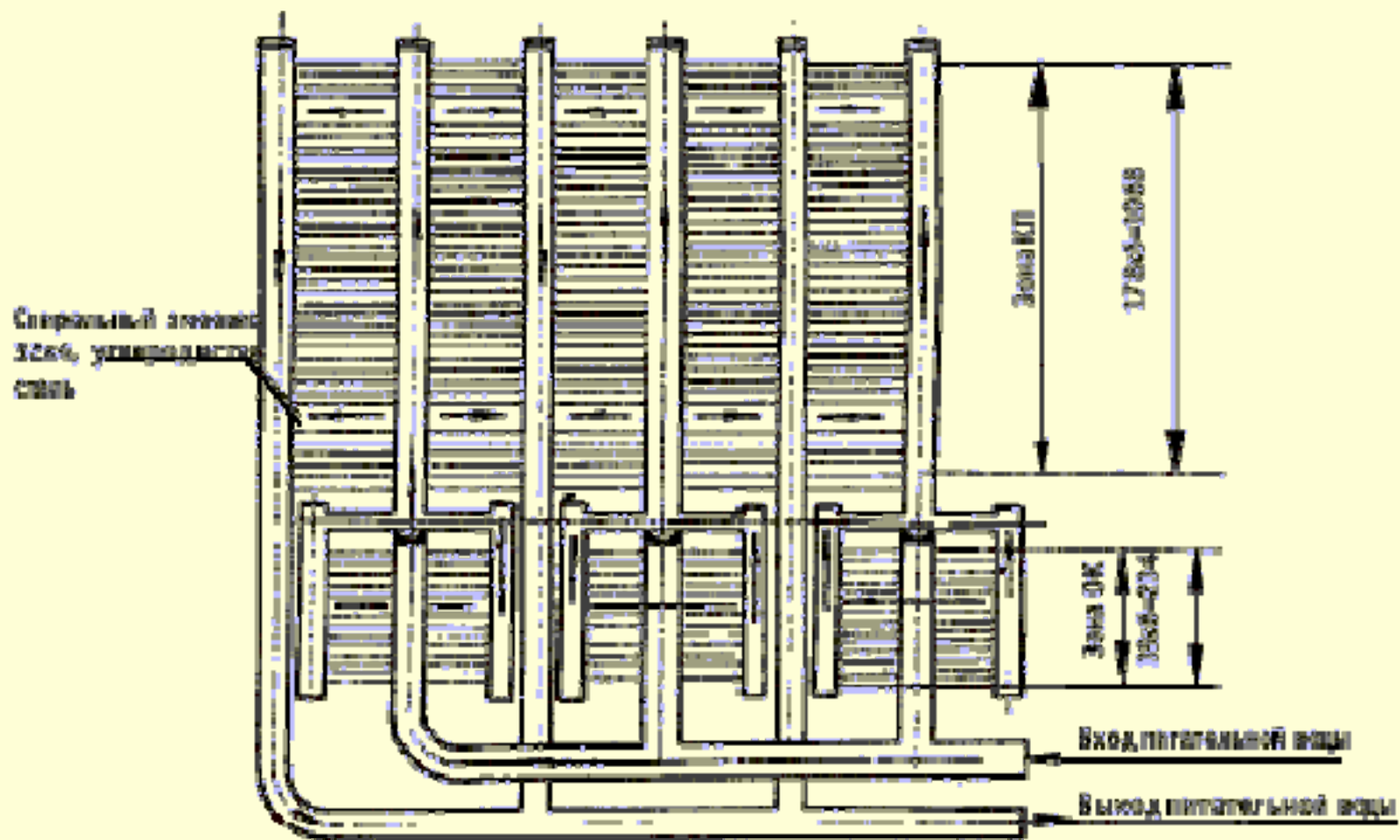


## Конструкция ПВД коллекторно-спирального типа

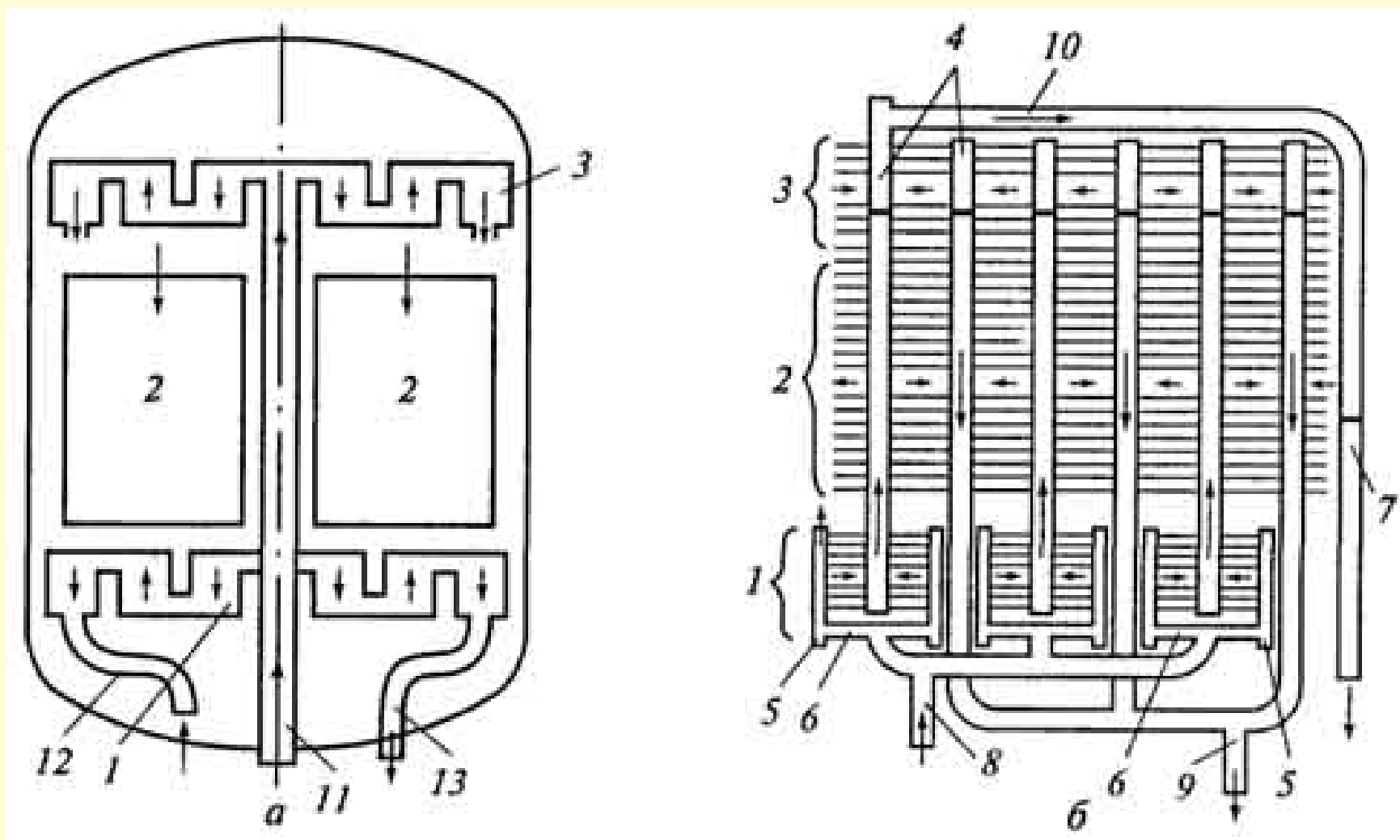
Трубная система:

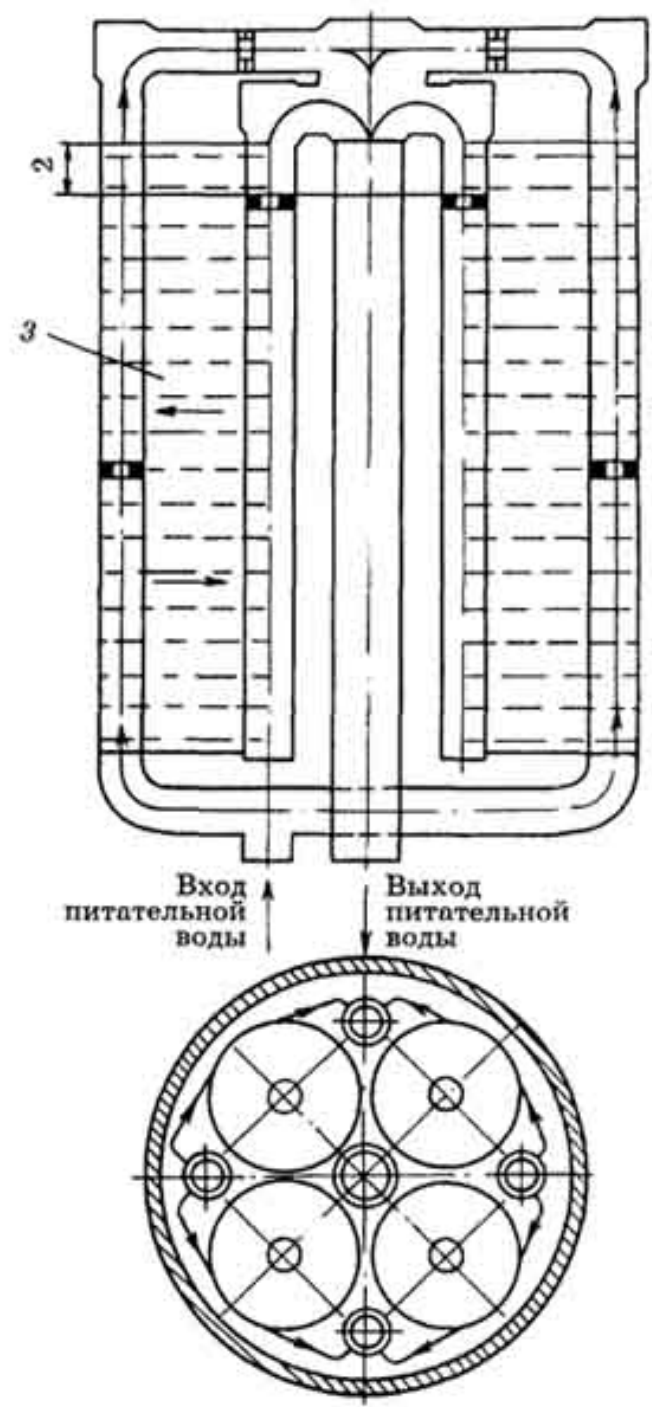
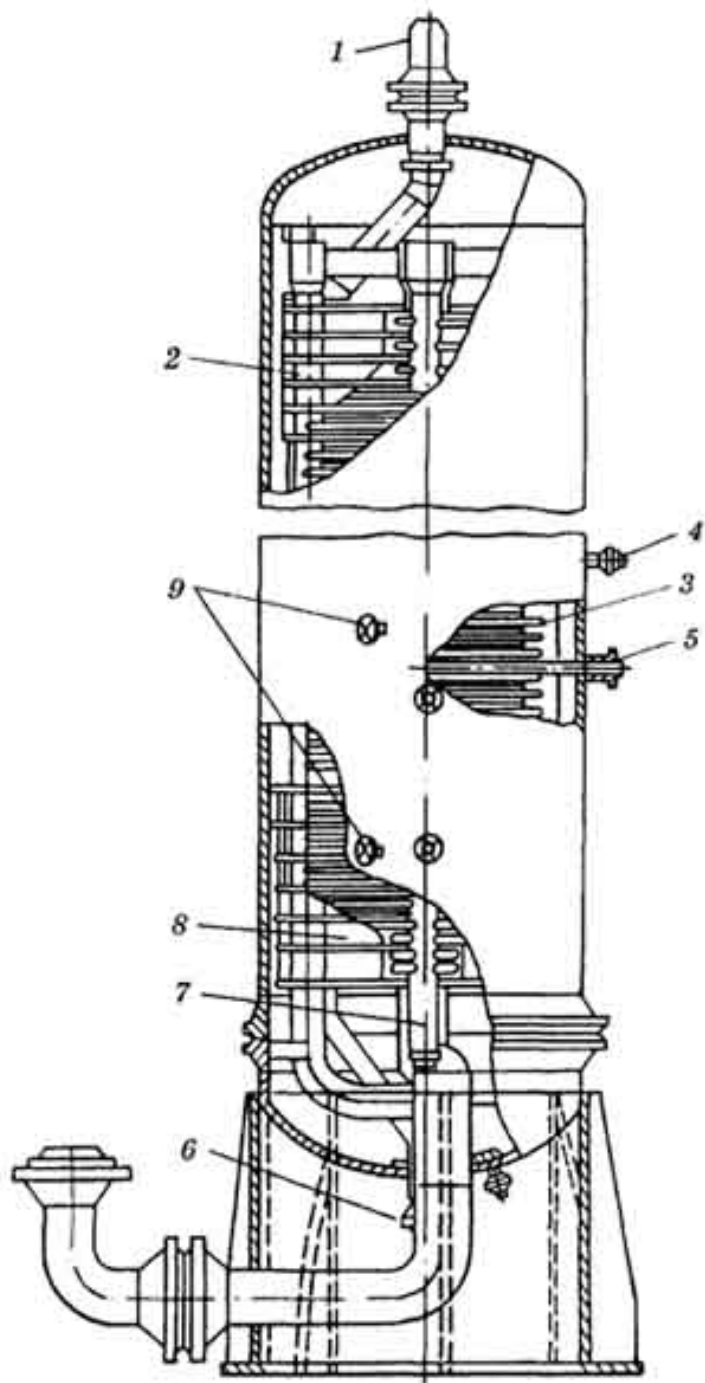
- вертикальные коллекторы
- горизонтальные одноплоскостные или двухплоскостные спиральные змеевики

## Схема движения воды в ПВД



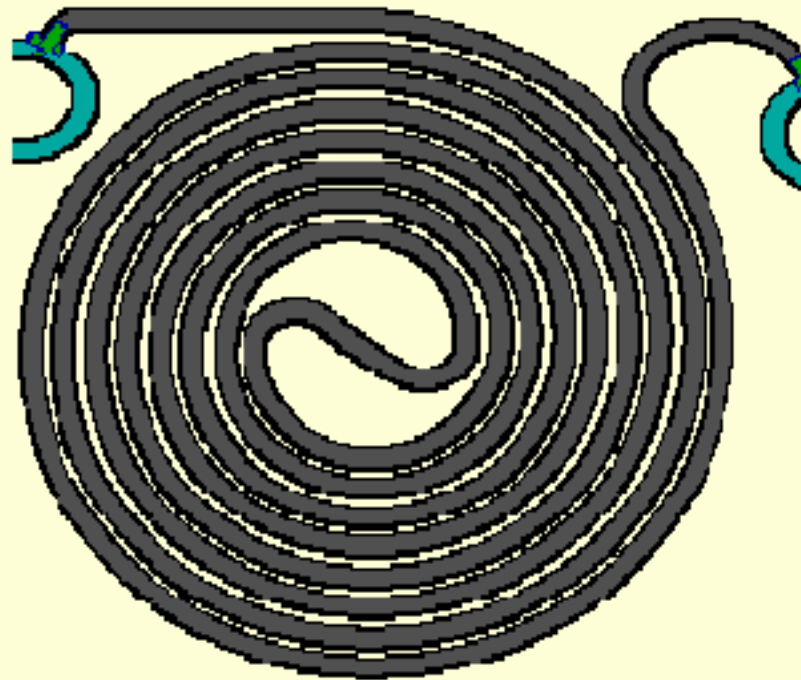
## Схемы движения потоков пара, конденсата и питательной воды в ПВД с ОП и ОД



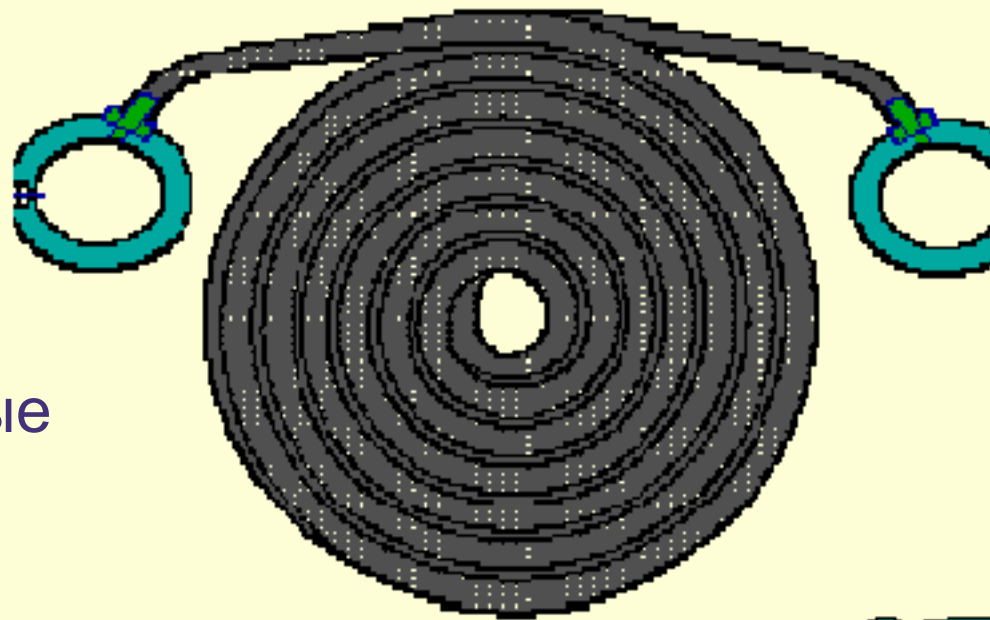
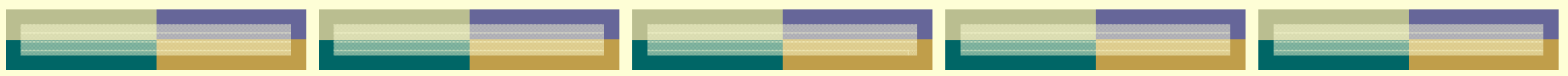




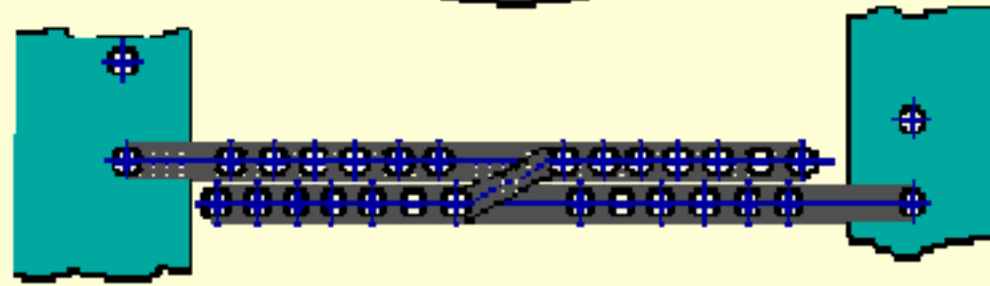
## Спиральные трубки



Одноплоскостная форма заготовки  
СПИРАЛЬНЫХ ТРУБ



материал — простые  
углеродистые стали



Двухплоскостная форма навивки  
спиральных труб

АЭС





## Секционирование коллекторов

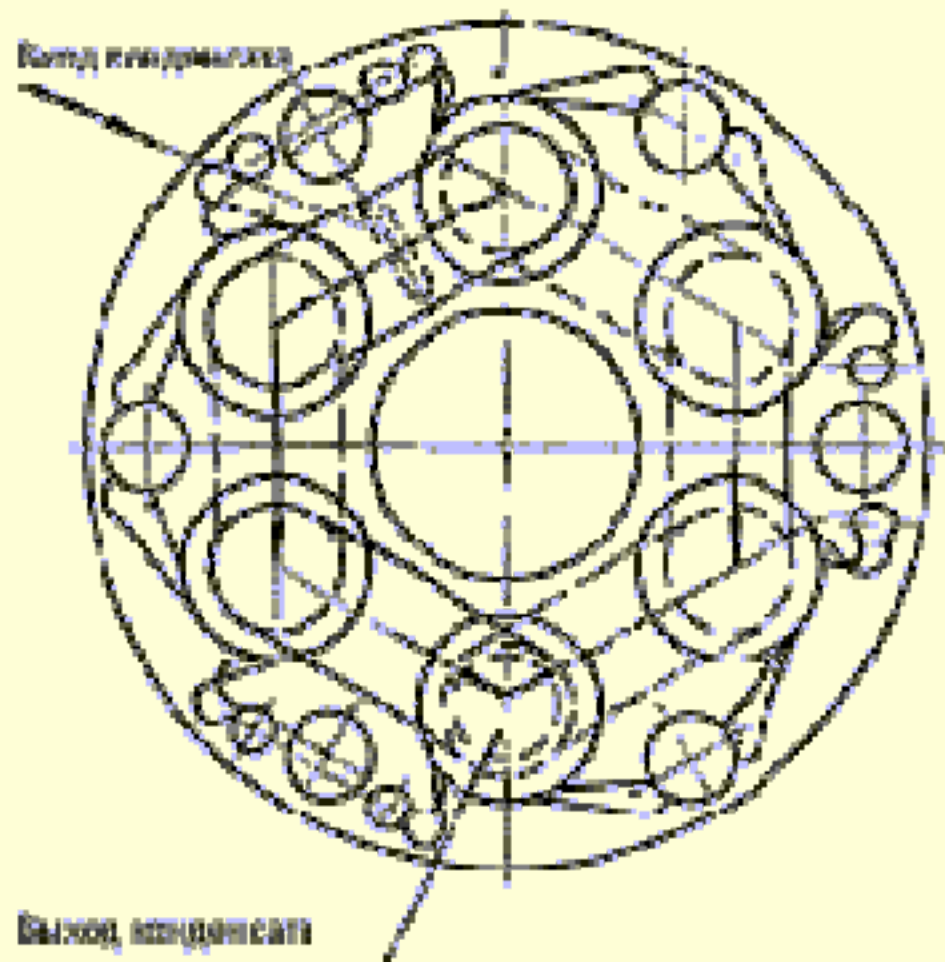
- для получения в змеевиках достаточно больших скоростей воды: 4-5 м/с
  - увеличение коэффициента теплопередачи
  - уменьшение поверхности нагрева



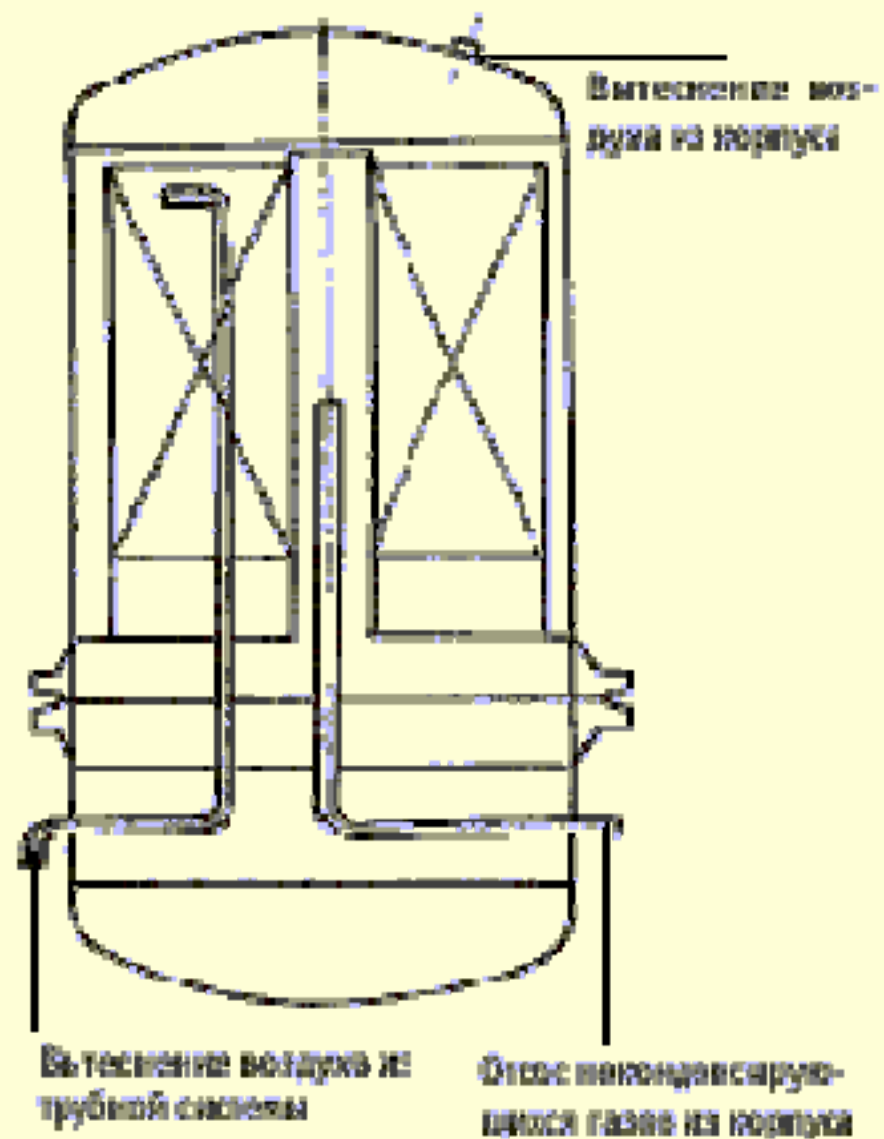
## Омывание змеевиков паром

горизонтальные направляющие перегородки

- в перегородках - отверстия, по которым перетекают пар и КГП



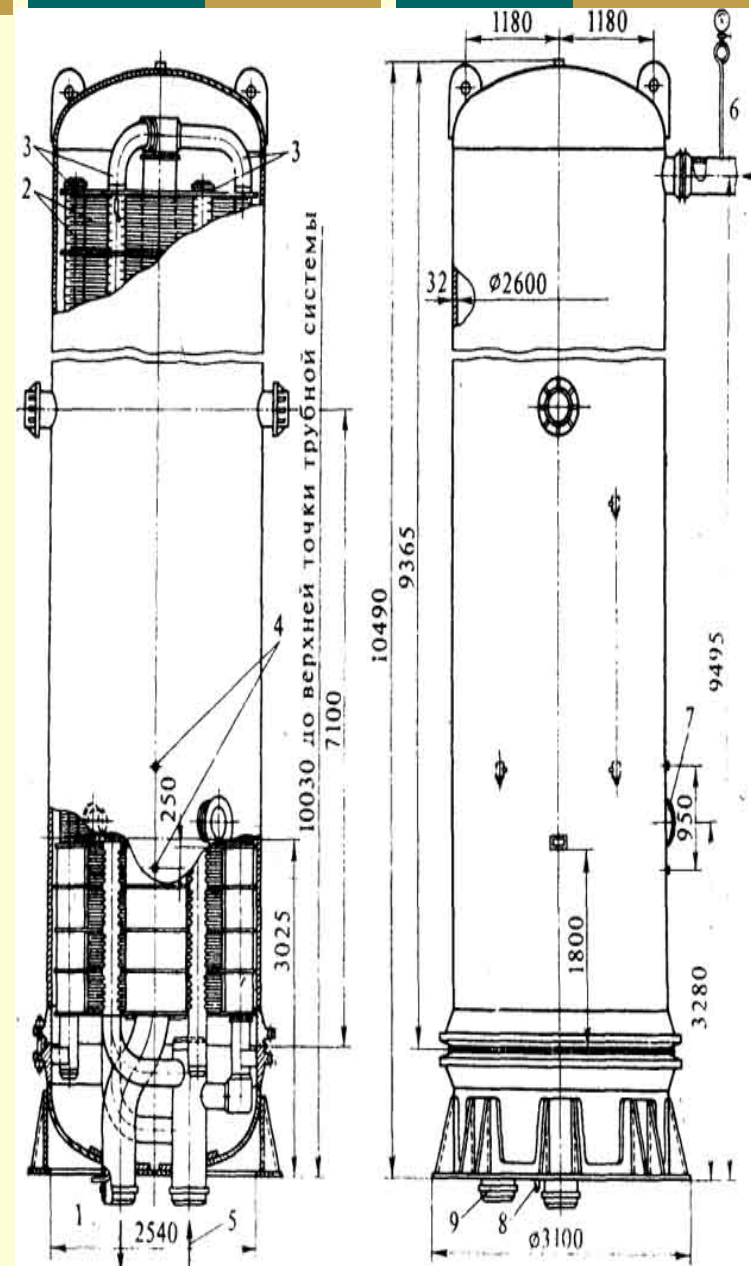
**Схема движения конденсата в охладителе конденсата**

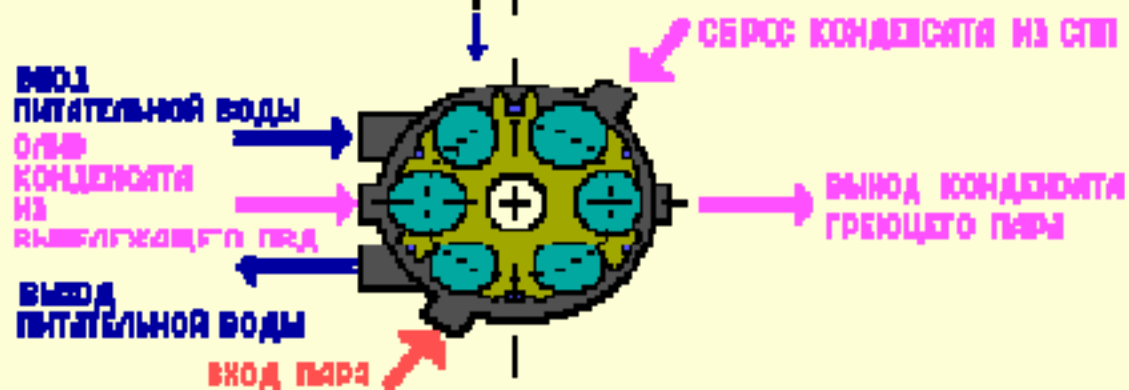
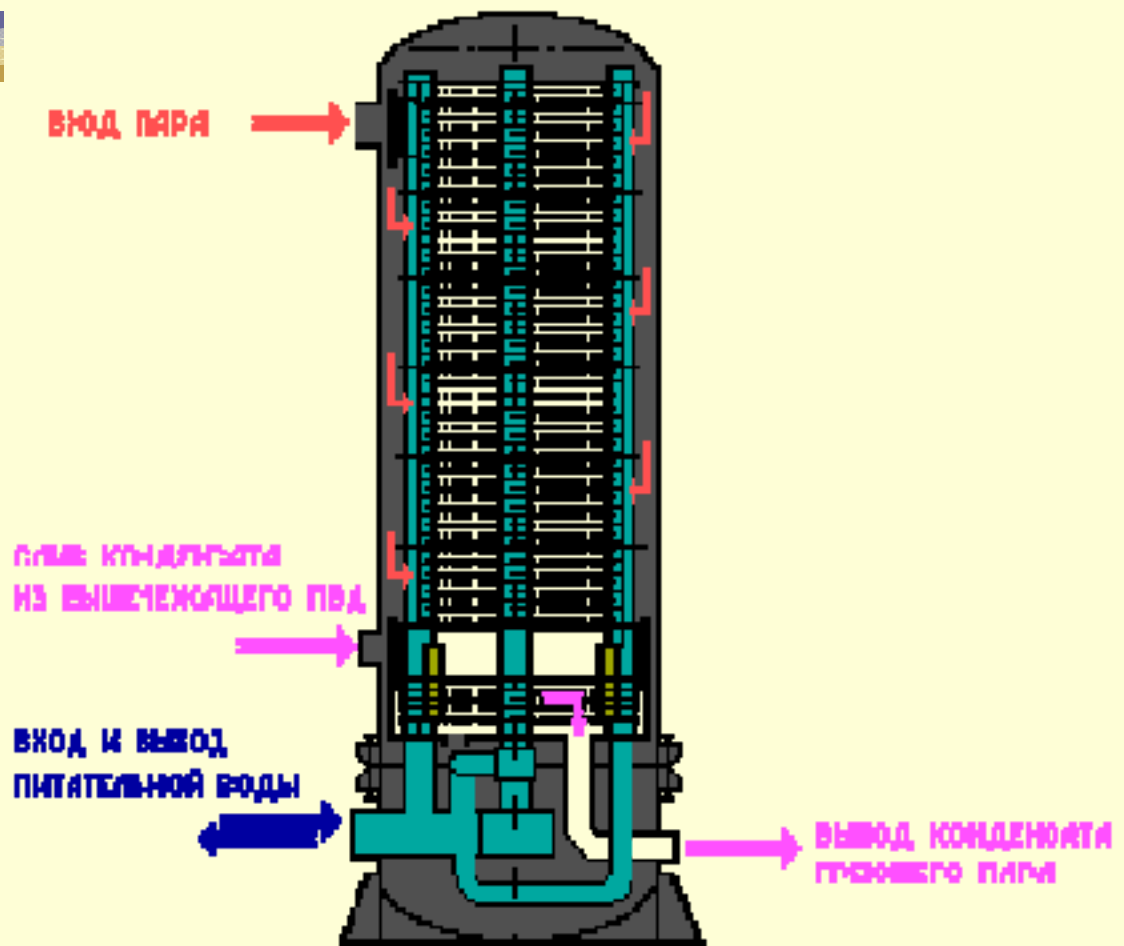


## Вертикальный ПВД коллекторно-спирального типа

### Особенности конструкции

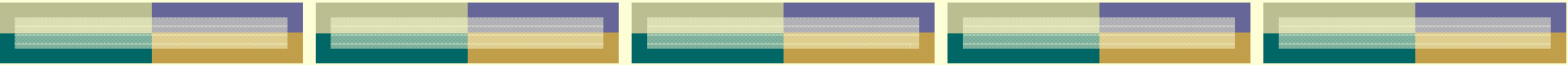
- Теплообменная поверхность из плоских спиралей  $\varnothing 32 \times 5$  мм
- Одноходовой в зоне КП
- Верхняя часть - съемная





ТУРБИНА В СХЕМЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ  
КОЛЛЕКТОРНО-СПИРАЛЬНОГО ТИПА





## Преимущества спирально-коллекторной конструкции

- возможность замены любой из спиралей
- противоточное движение греющей и обогреваемой сред

## Сравнительные достоинства и недостатки коллекторно-спиральных ПВД

### Достоинства:

- Технологичность.
- Хорошая.  
ремонтпригодность.
- Высокая надежность в  
эксплуатации (*до определенных мощностей*).

### Недостатки:

- Бо'льшие гидравлические  
потери (в 5-6 раз).
- Ухудшение компактности с  
ростом мощности.
- Бо'льшая материалоемкость.



## Конструкция ПВД камерного типа

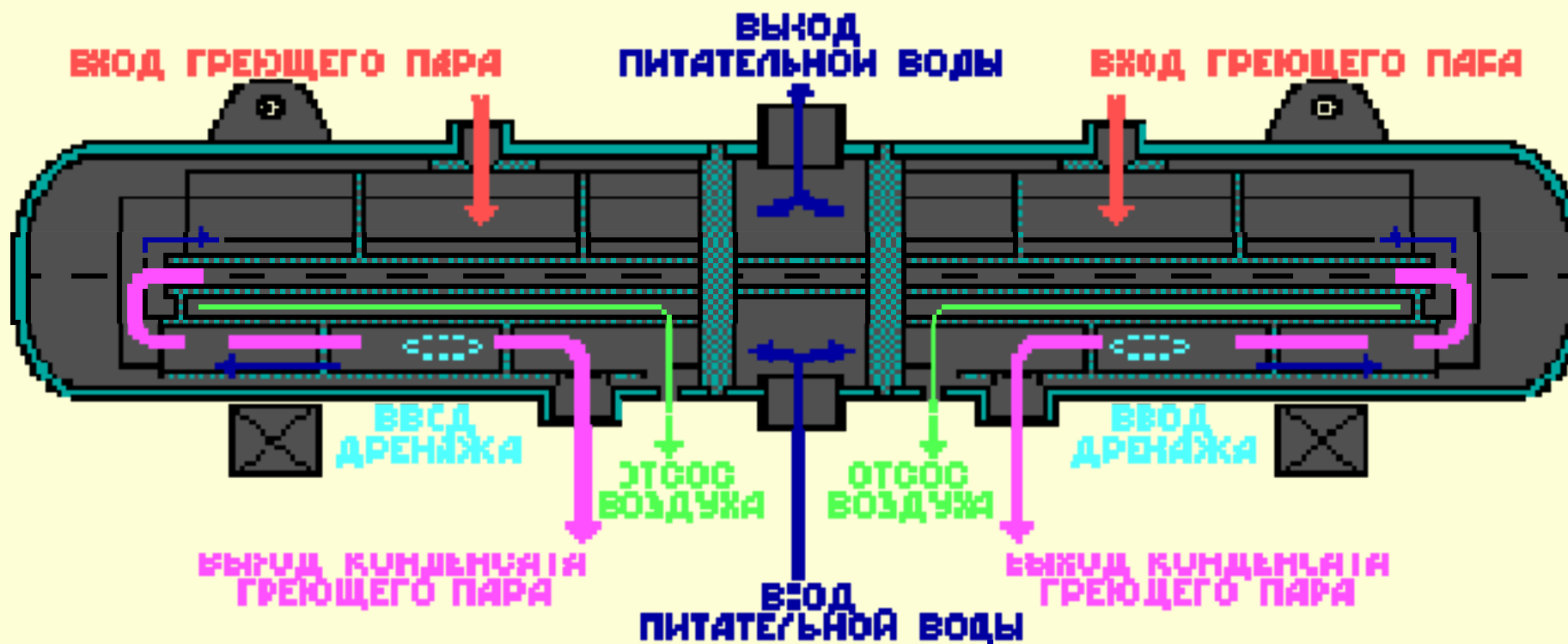
- Горизонтальные
- Вертикальные



## Горизонтальные ПВД

- два U-образных трубных пучка
  - В центре корпуса - общая водяная камера с двумя трубными досками
  - горизонтальная перегородка водяной камеры образует 2 хода воды

## Схема движения воды и пара в горизонтальном ПВД





# Вертикальные ПВД камерного типа

## Особенности

- обеспечение плотности кожухов ОК
- исключение накопления шлама

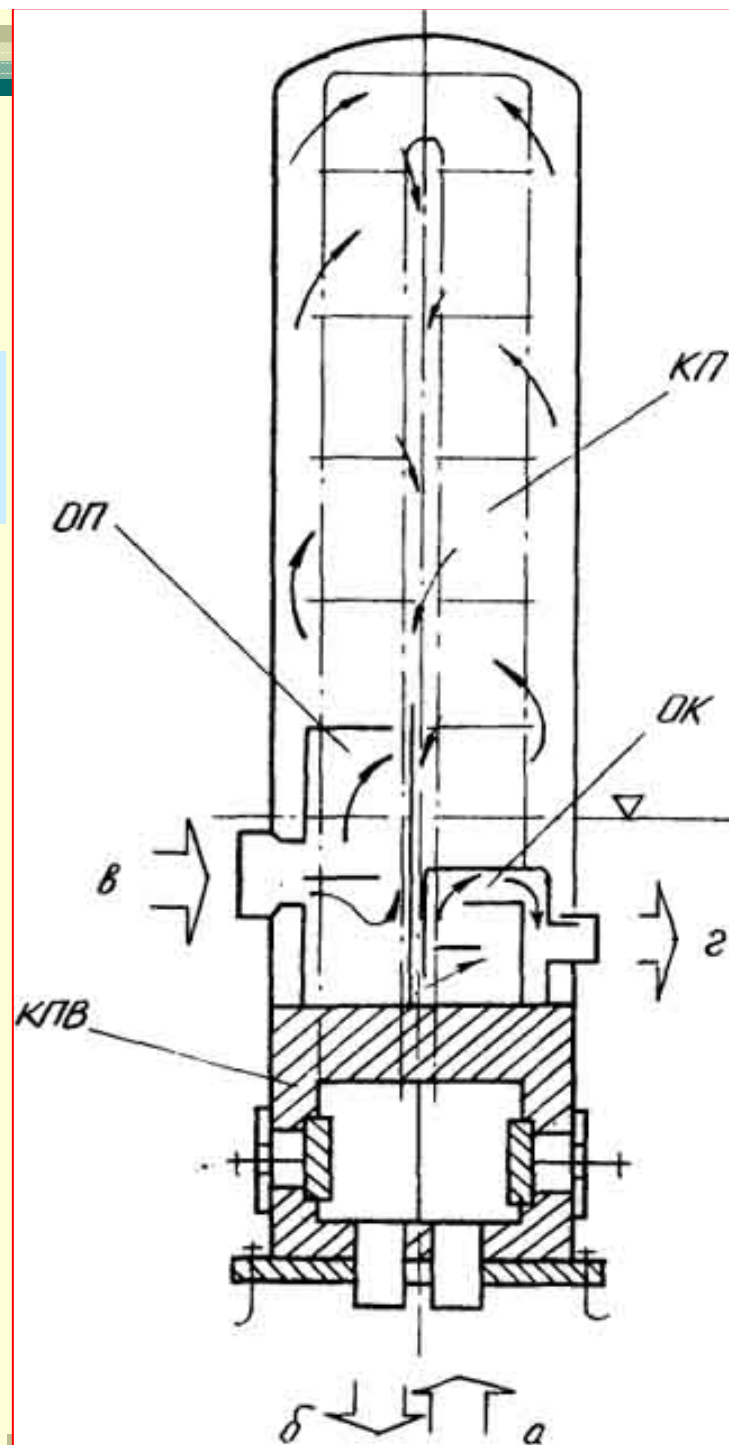
## Вертикальный ПВД камерного типа

Совместный проект ЦКТИ и ЗИО  
для ПТУ К-1000-60/3000

### Особенности конструкции

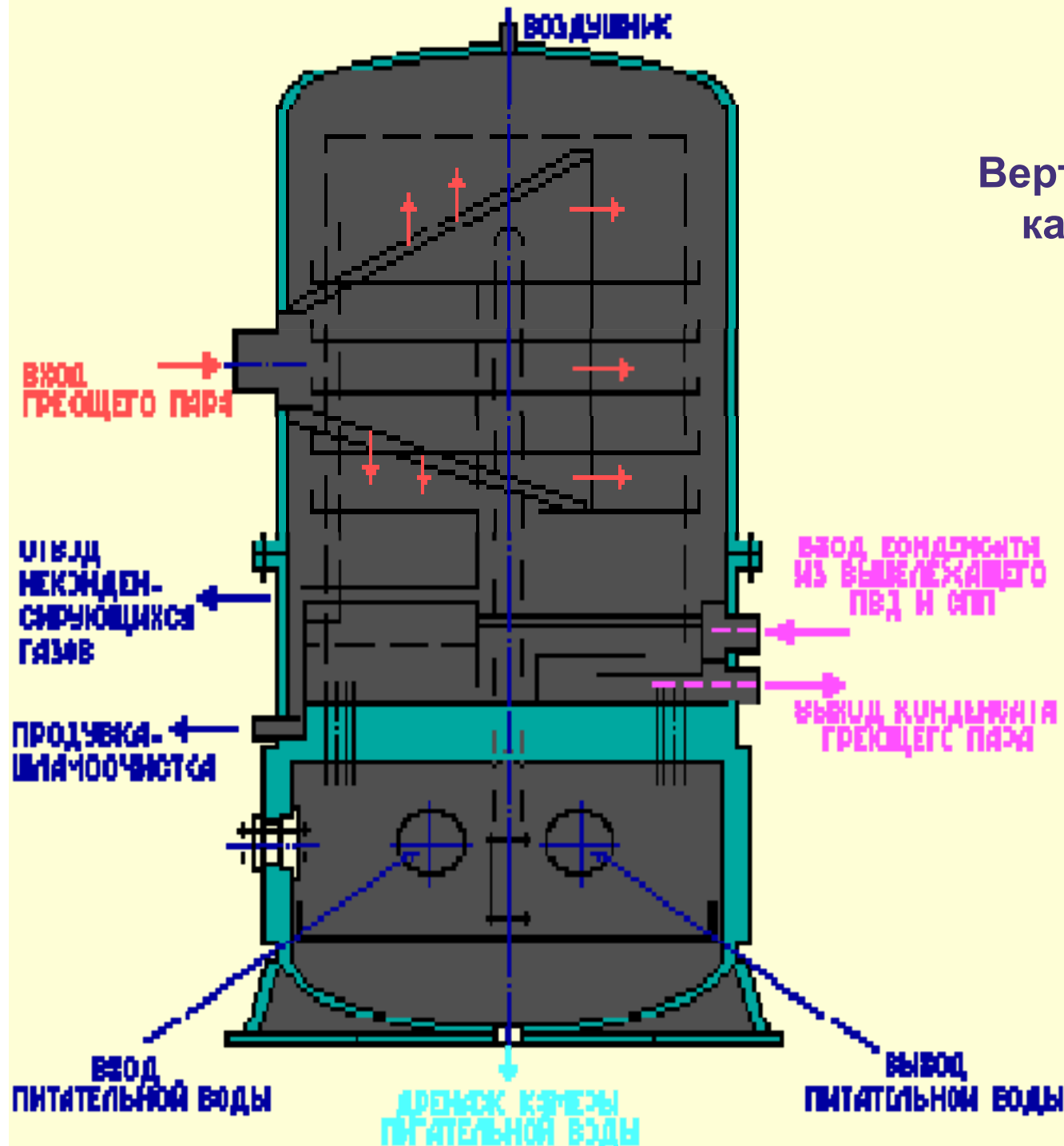
- П-образные трубы  $\varnothing 16 \times 1,5$  мм
- Нижнее расположение водяной камеры
- Встроенный ОД

АЭС





## Вертикальный ПВД камерного типа

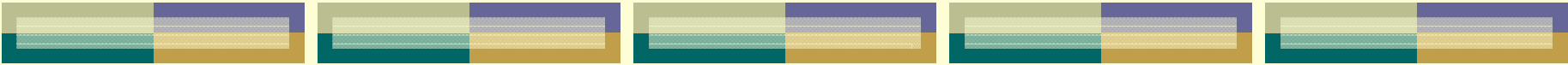






## Достоинства бесколлекторной конструкции ПВД

- ниже гидравлическое сопротивление подогревателя
- выше экономичность турбоустановки
- лучшие показатели металлоемкости и компактности
- по технологическим причинам изготовление таких ПВД в настоящее время возможно только из **аустенитных сталей**



## Решение проблем коллекторно – спиральных ПВД при замене на камерные

- исключение узла бесштуцерной приварки змеевиков к коллекторам
- существенное снижение веса (до 30 %)
- уменьшение габаритов
- снижение загрязненности воды ПК при использовании нержавеющей стали
- сокращение объема сварочных работ
- упрощение сборки трубных систем

## Сравнительные характеристики ПВД разных типов

Показатель	Колл.- спиральный	Камерный (гориз.)
Число параллельных ниток ПВД	2	2
Расход питательной воды, т/ч	3250	3200
Полная высота, м	14	1,1
Диаметр корпуса, м	3,2	2,8
Компактность, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	26-28	50
Сухая масса 1-го ПВД, т	175	125

## Шифр и типоразмер подогревателей

- первые буквы - тип подогревателя
- первые цифры - поверхность нагрева в м<sup>2</sup>
- вторые - давление питательной воды в трубной системе в кгс/см<sup>2</sup>
- третьи - давление греющего пара в корпусе
- буква “А” - ПВД применяется на АЭС
- четвертая цифра - порядковый номер модернизации
- ПВД типа ПВ 2500-97-18А и ПВ 2500-97-28А
- ПНД типа ПН-1200-25-6-ІА

## Недостатки современных регенеративных подогревателей

- Повышенные недогревы в вакуумных ПНД (до 15-20 °С)
- Вынос продуктов коррозии в тракт
- Дороговизна
- Большая материалоемкость

## Пути совершенствования поверхностных РППВ

### Коллекторно-спиральные ПВД

- уменьшение  $\varnothing$  труб (с 32\*5 мм до 22\*3,5 мм)
- применение наклона спиралей
- увеличение числа коллекторов (до 6-8 шт.)
- совершенствование схемы крепления труб

## Пути совершенствования поверхностных РППВ

- широкое применение **камерных** ПВД
- интенсификация теплообмена в ПНД за счет **негладких** труб
- замена дорогих нержавеющей сталей типа 12Х18Н10Т на **безникелевую** 08Х14МФ

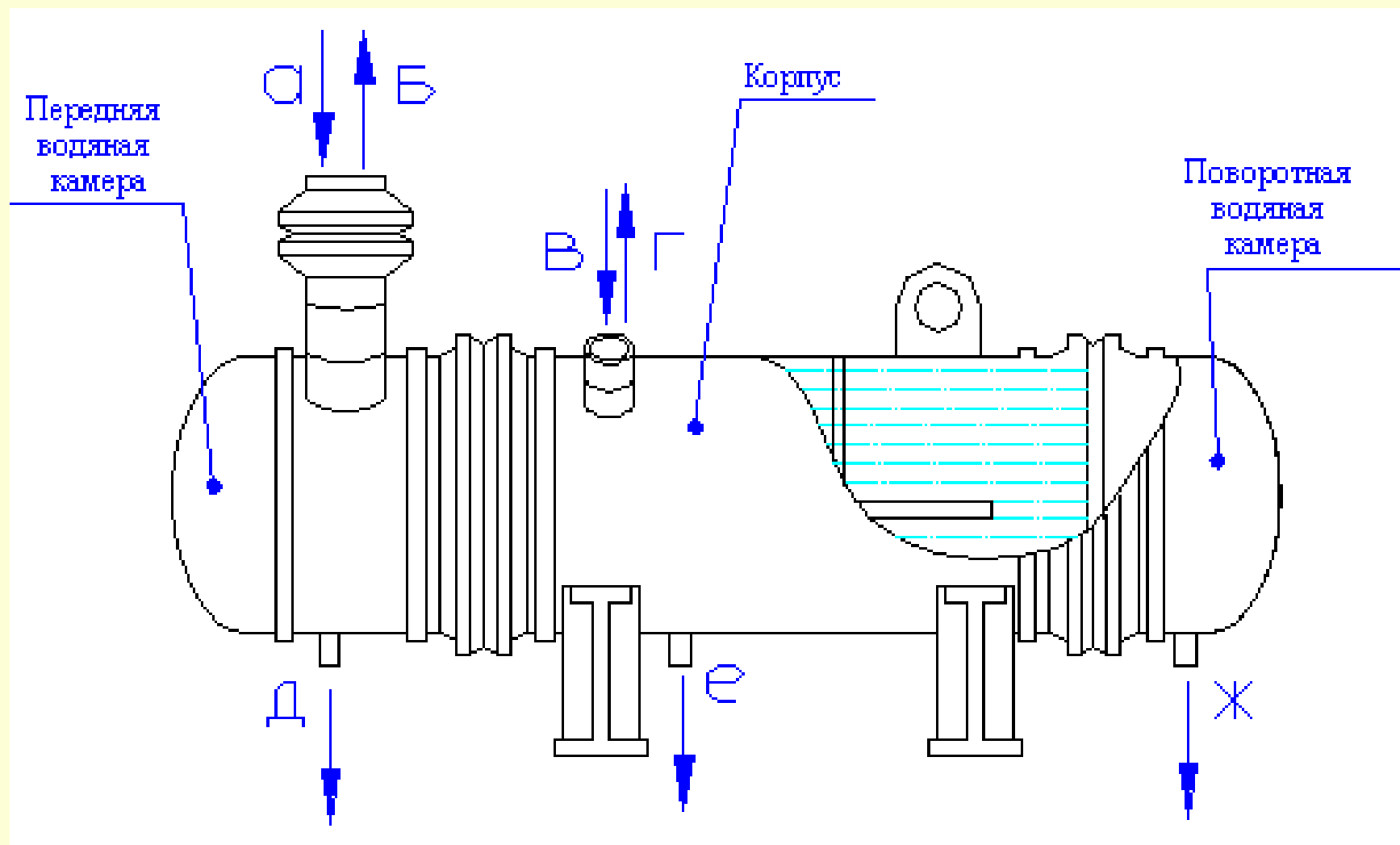


## Охладитель дренажа (ОД)

- отдельный теплообменник
- пропускается часть воды из основного потока конденсата
- Охладитель дренажа СДП-600-1 - горизонтальный кожухотрубный теплообменник с гладкими прямыми трубами поверхности нагрева



## Устройство охладителя дренажа



АЭС



## Материал

- корпус – сталь 12Х18Н10Т
- трубная система – сталь 08Х18Н10Т