

# ПАРОГЕНЕРАТОРЫ АЭС

Тема. **Классификация парогенераторов  
АЭС**

# ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ

- ◎ **Понятие парогенератора АЭС**
- ◎ **Требования к ПГ АЭС**
- ◎ **Общие характеристики ПГ АЭС**
- ◎ **Классификация ПГ АЭС**

# ПОНЯТИЕ ПГ АЭС

**Теплообменный аппарат**, производящий во втором (третьем) контуре нерадиоактивный пар за счет теплоты первичного теплоносителя.

Это **поверхностный теплообменник**, предназначенный для генерации рабочего тела (пара) за счет тепла, вносимого теплоносителем.

**Теплоноситель** (*первичный теплоноситель*) – среда, отдающая в ПГ тепло.

**Рабочее тело** (*вторичный теплоноситель*) – среда, принимающая в ПГ тепло и изменяющая свое агрегатное состояние.

# ТРЕБОВАНИЯ К ПГ АЭС

1. ПГ должен производить пар заданных параметров в требуемом количестве при любых режимах работы энергоблока.
2. Все элементы ПГ должны обладать безусловной надежностью и абсолютной безопасностью (герметичность, коррозионно-эрозионные процессы).
3. ПГ должен иметь низкую стоимость изготовления, транспортировки и монтажа (простота, компактность конструкции).
4. Конструкция ПГ должна обеспечивать требуемую долговечность с учетом обслуживания и ремонта.
5. Схема и конструкция ПГ должны обеспечивать высокие ТЭП.

# ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПГ АЭС

- ◎  $Q_{\text{ПГ}}$  - тепловая мощность, МВт.
- ◎  $D$  - паропроизводительность, т/ч (кг/с).
- ◎  $G$  - расход теплоносителя, т/ч (кг/с).
- ◎  $p_2, t_2$  - параметры пара, МПа, °С.
- ◎  $p_1, t'_1, t''_1$  - параметры теплоносителя, МПа, °С.
- ◎  $Y$  - влажность пара на выходе ПГ.

# ТИПЫ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС

1. По виду теплоносителя.
2. По составу входящих в ПГ элементов.
3. По способу организации движения рабочего тела в испарителе и экономайзере.
4. По типу поверхности теплообмена.

# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС ПО ВИДУ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

**1.1. С жидким теплоносителем.**

**1.2. С газообразным теплоносителем.**

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС ПО СОСТАВУ ВХОДЯЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

**В самом общем случае ПГ содержит:**

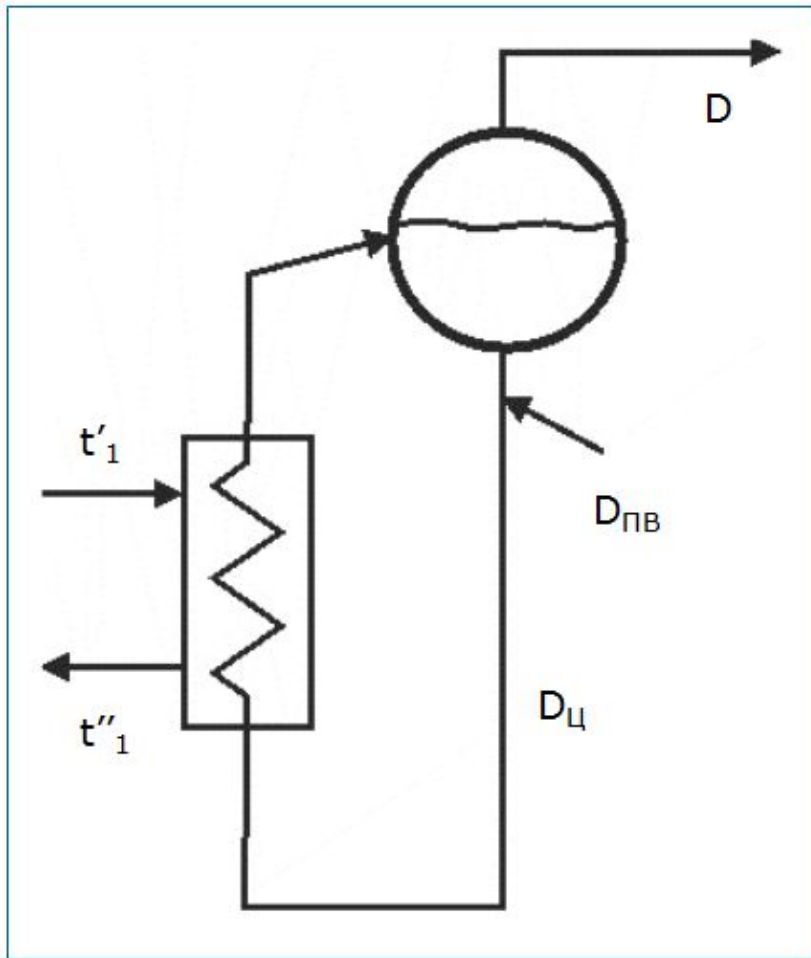
- **водяной экономайзер;**
- **испаритель;**
- **пароперегреватель;**
- **вторичный (промежуточный) пароперегреватель.**



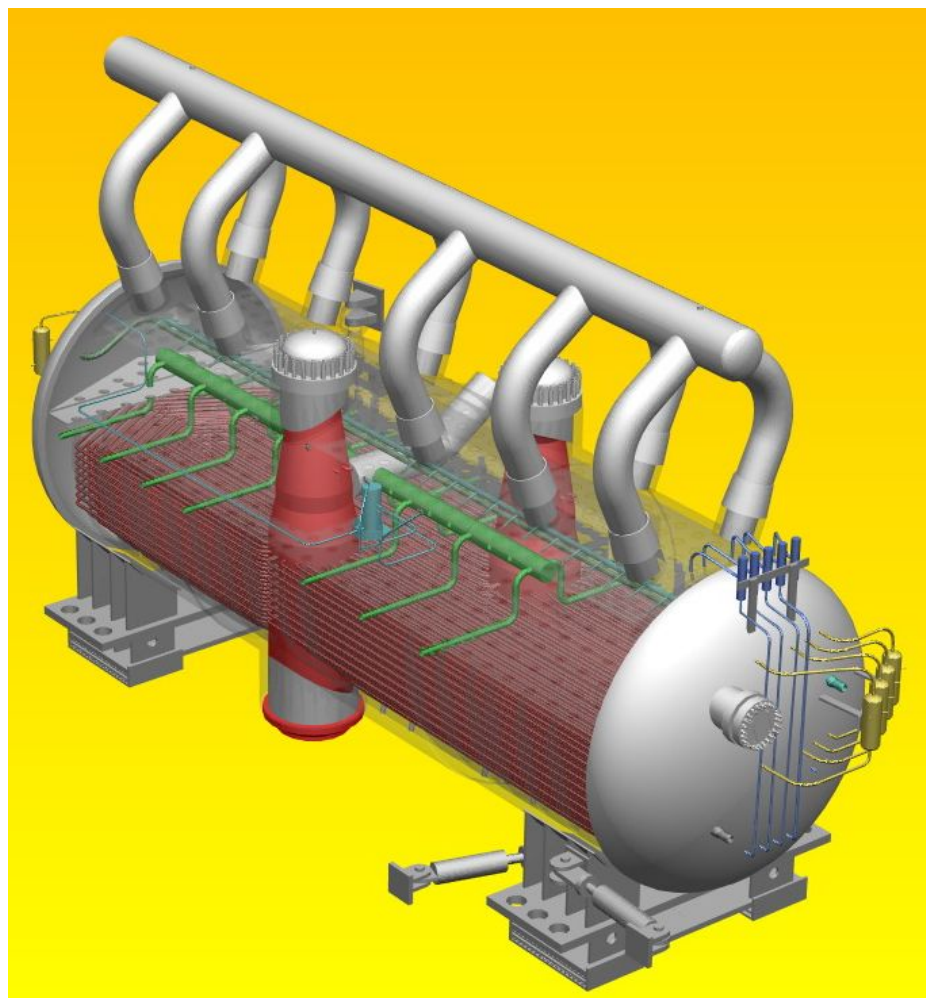
### 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ПГ АЭС ПО СПОСОБУ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ИСПАРИТЕЛЕ И ЭКОНОМАЙЗЕРЕ

- ПГ с естественной циркуляцией;
- ПГ с многократной вынужденной циркуляцией;
- ПГ прямоточный.

# СХЕМА ПГ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ (ЭНЕРГОБЛОКИ ВВЭР И РВР)



# ВНЕШНИЙ ВИД ПГ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР



**ПГ насыщенного пара, с естественной циркуляцией,  
горизонтальный**

# ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПГ ЕЦ

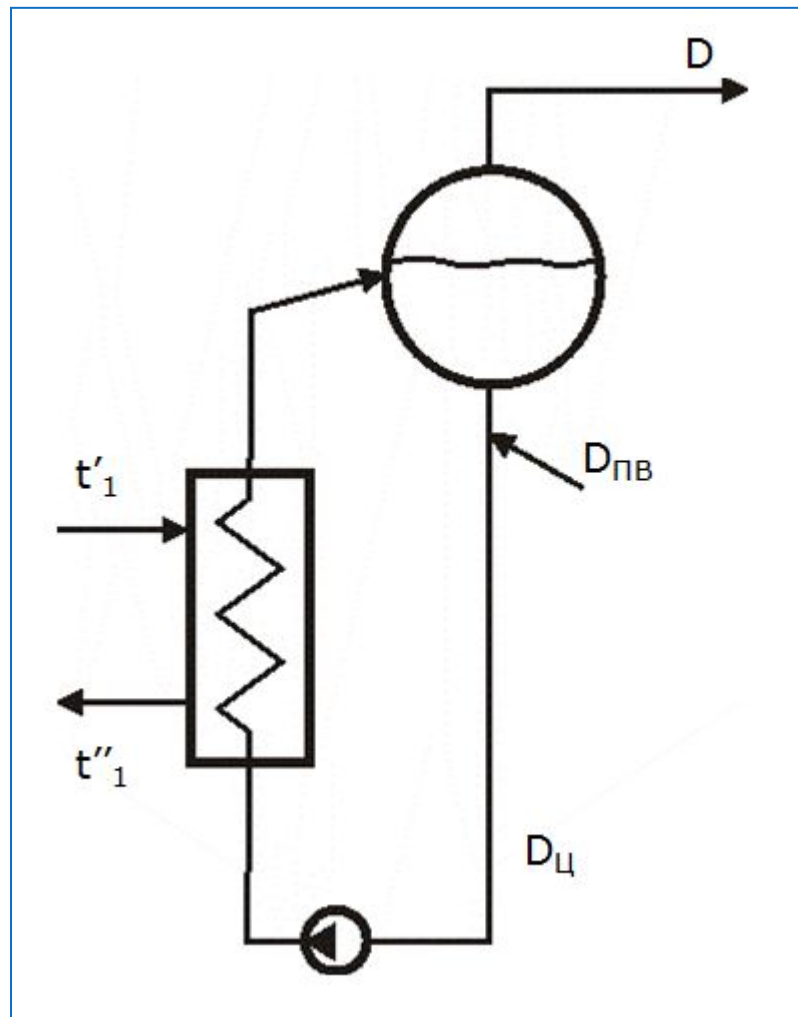
## ◎ **Достоинства**

- Удобство эксплуатации.
- Пониженные требования к качеству воды.
- Отсутствие циркуляционных насосов.

## ◎ **Недостатки**

- Сложность схемы.
- Большая металлоемкость.

# СХЕМА ПГ С МНОГОКРАТНОЙ ВЫНУЖДЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ



# ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПГ МВЦ

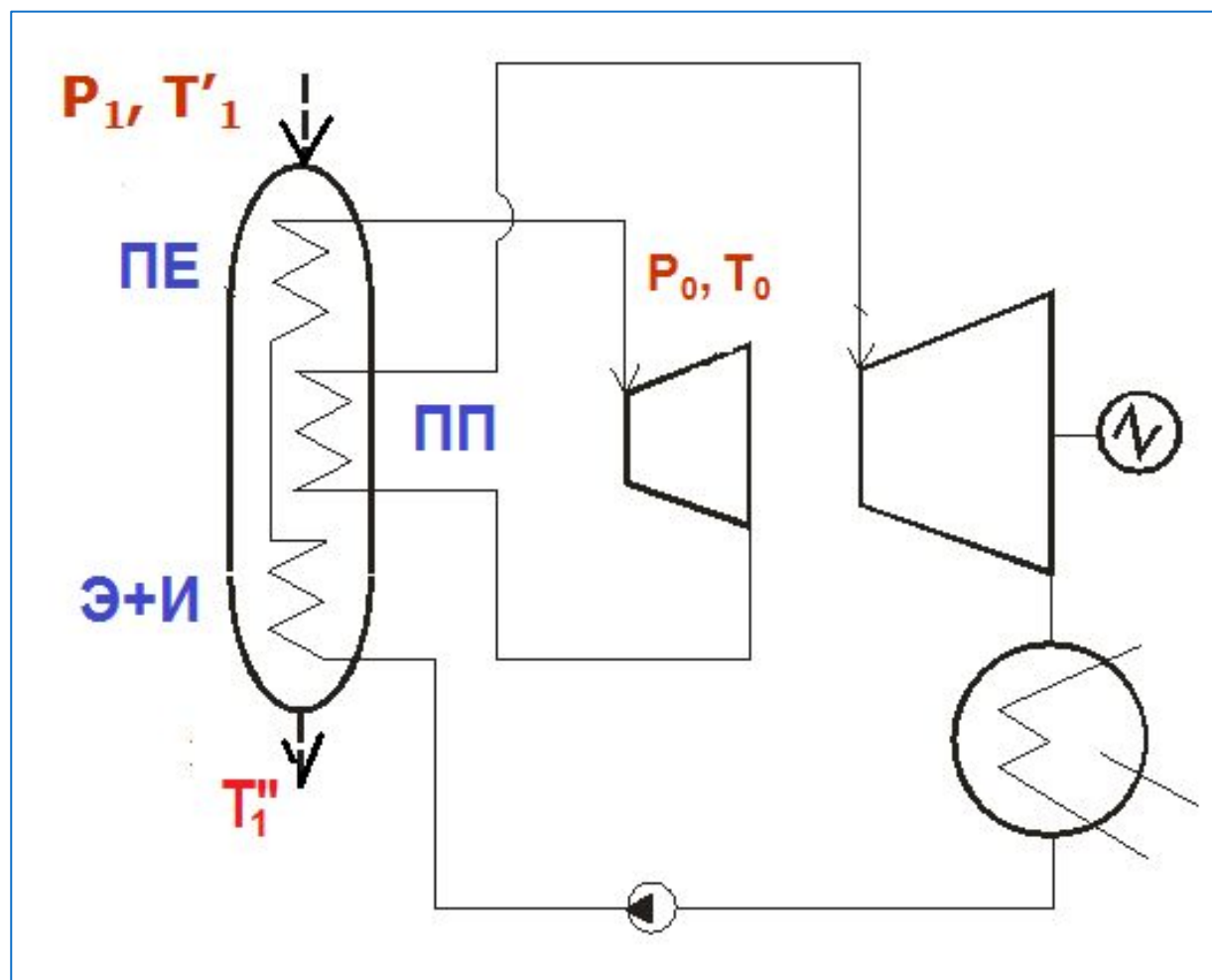
## ◎ **Достоинства**

- Удобство эксплуатации.
- Пониженные требования к качеству воды.
- Меньшая материалоемкость (по сравнению с ЕЦ).

## ◎ **Недостатки**

- Сложность схемы.
- Большая металлоемкость.
- Наличие циркуляционных насосов.

# СХЕМА ПРЯМОТОЧНОГО ПГ



# ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРЯМОТОЧНЫХ ПГ

## ◎ **Достоинства**

- Простота схемы..
- Небольшая металлоемкость.

## ◎ **Недостатки**

- Повышенные требования к качеству воды.
- Наличие циркуляционных насосов.



## 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС ПО ТИПУ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА

- 4.1. По способу омывания теплообменной поверхности (ТП).
- 4.2. По схеме взаимного движения т/н и р.т.
- 4.3. По конфигурации трубного пучка.
- 4.4. По компоновке трубок в трубном пучке и их форме .
- 4.5. По способу крепления трубок.
- 4.6. По пространственной ориентации корпуса.
- 4.7. По компоновке отдельных элементов ПГ.
- 4.8. По способу осуществления сепарации пара.

## 4.1. ПО СПОСОБУ ОМЫВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**а) ПРЯМАЯ.** Среда с большим давлением - в трубках, с меньшим - в МТП.

Пример: ПГ ВВЭР, ПГ БН.

**б) ОБРАТНАЯ.** Среда с большим давлением - в МТП, с меньшим - в трубках.

Пример: ПГ ЖМТ типа ОПГ-2.

## ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПГ ОБРАТНОГО ТИПА

- ⦿ Достоинства: *уменьшение эффекта утечки Na при разгерметизации*
- ⦿ Недостатки: *большая металлоемкость, необходимость интенсификации теплообмена со стороны рабочего тела (из-за небольшой скорости в МТП)*

## 4.2. ПО СХЕМЕ ВЗАИМНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И РАБОЧЕГО ТЕЛА

- а) **прямоток;**
- б) **противоток;**
- в) **смешанный ток (с общим перекрестным направлением).**

**Примечание.**

При **противотоке** средний температурный напор **больше**, а площадь поверхности теплообмена меньше.

При **прямотоке** есть возможность ограничить максимальную температуру стенки.

## 4.3. КОНФИГУРАЦИЯ ТРУБНОГО ПУЧКА

**!!! Выбирается с учетом двух условий:**

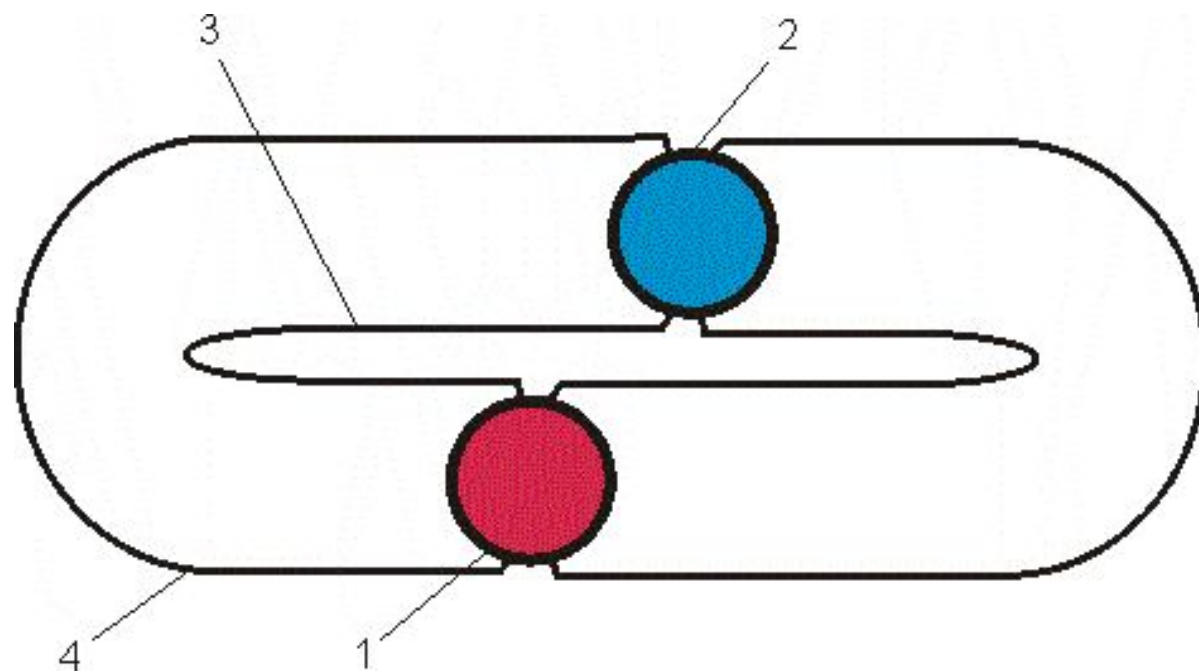
- **достижение наибольшей компактности;**
- **предотвращение температурных напряжений.**

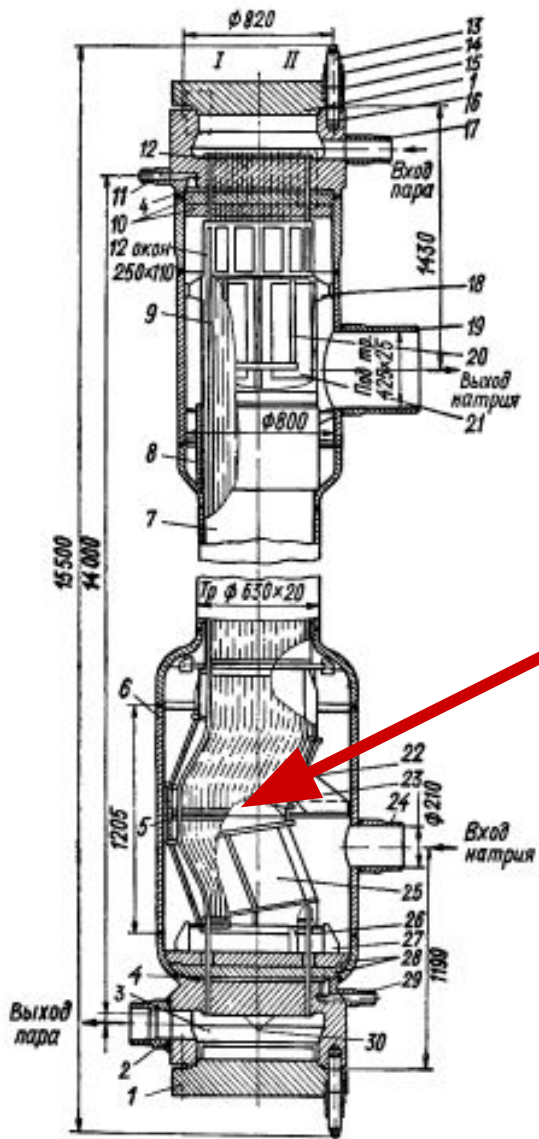
Специальные решения по предотвращению  
температурных напряжений

- а) самокомпенсация;**
- б) специальные компенсаторы на корпусе;**
- в) трубки Фильда**

# САМОКОМПЕНСАЦИЯ ЗА СЧЕТ ИЗГИБА ТРУБ

(U-ОБРАЗНЫЕ ТРУБЫ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА  
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПГ ВВЭР-440, 1000 И ДР.)





## САМОКОМПЕНСАЦИЯ

ЗА СЧЕТ ИЗГИБА ТРУБ (ПРЯМЫЕ  
ТЕПЛОБМЕННЫЕ ТРУБЫ С  
**КОМПЕНСАЦИОННЫМ ГИБОМ**  
В ПРОЕКТЕ ПГ БН-600)

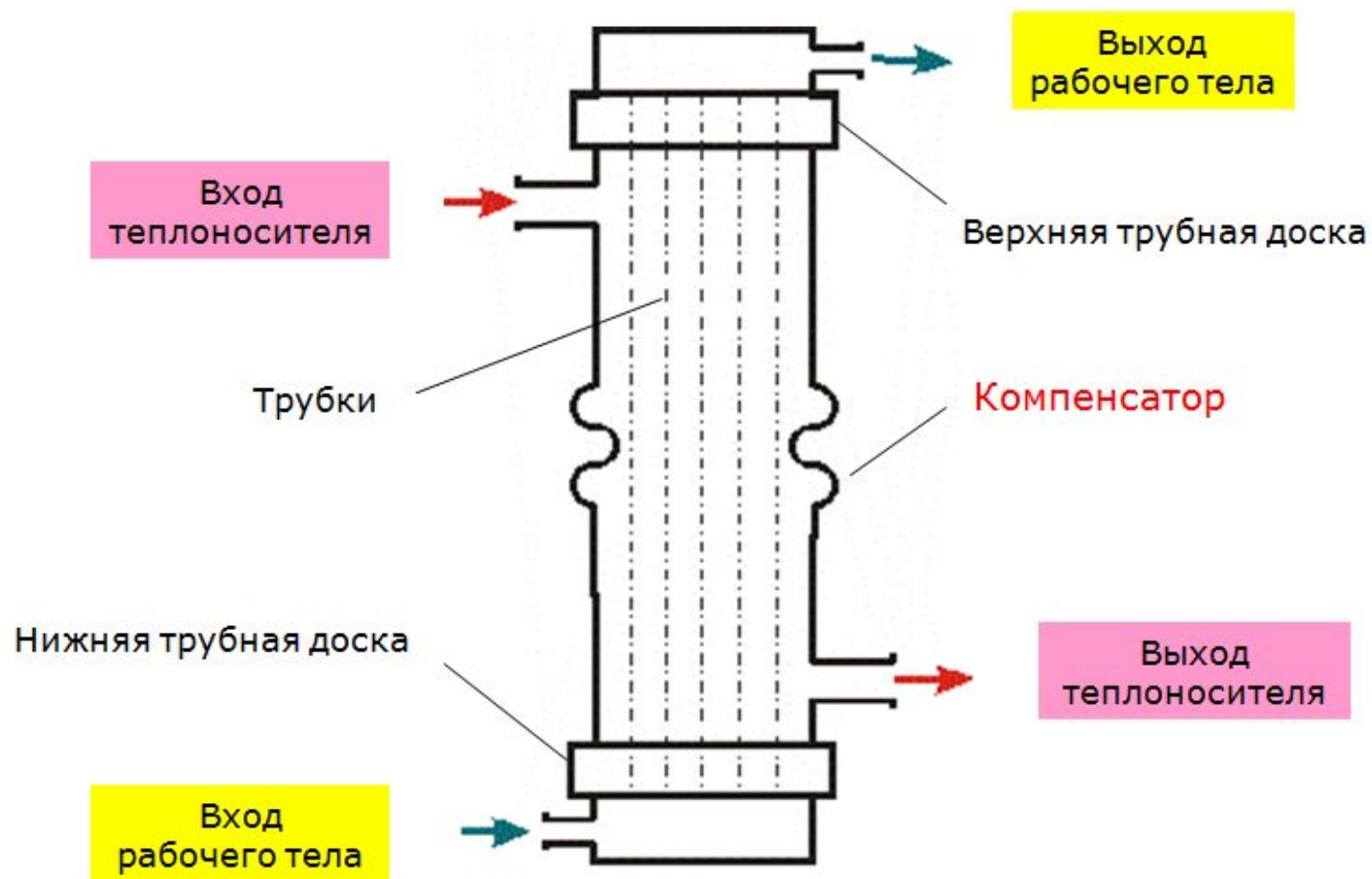
# САМОКОМПЕНСАЦИЯ

1. За счет использования **плоских** змеевиков с **большим количеством гибов** (ширмовые поверхности нагрева).
2. За счет использования **неплоских** змеевиков.

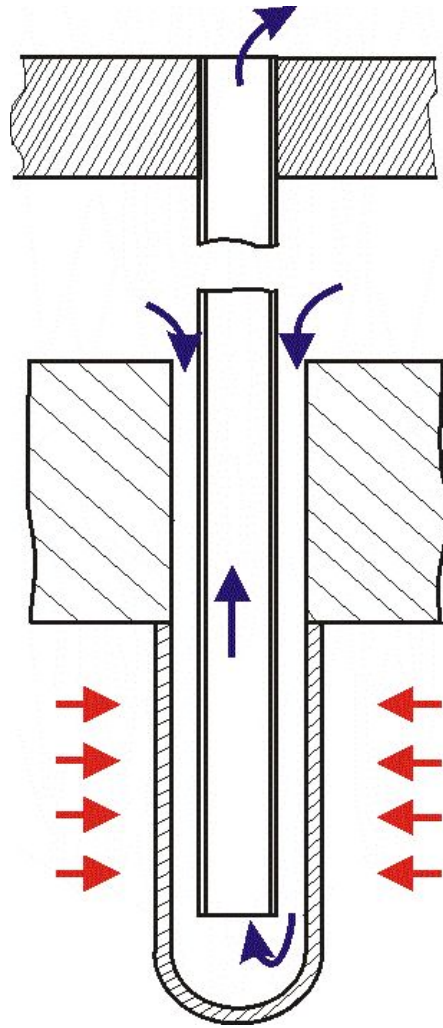


# СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ НА КОРПУСЕ

(МОДУЛИ ПГ ЖМТ БЛОКА БН-600)

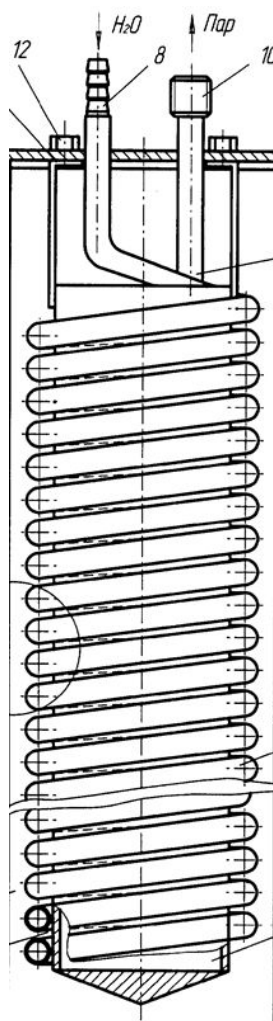


# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУБОК ФИЛЬДА



(ПГ ЖМТ энергоблока БН-350)

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПЛОСКИХ ЗМЕЕВИКОВ



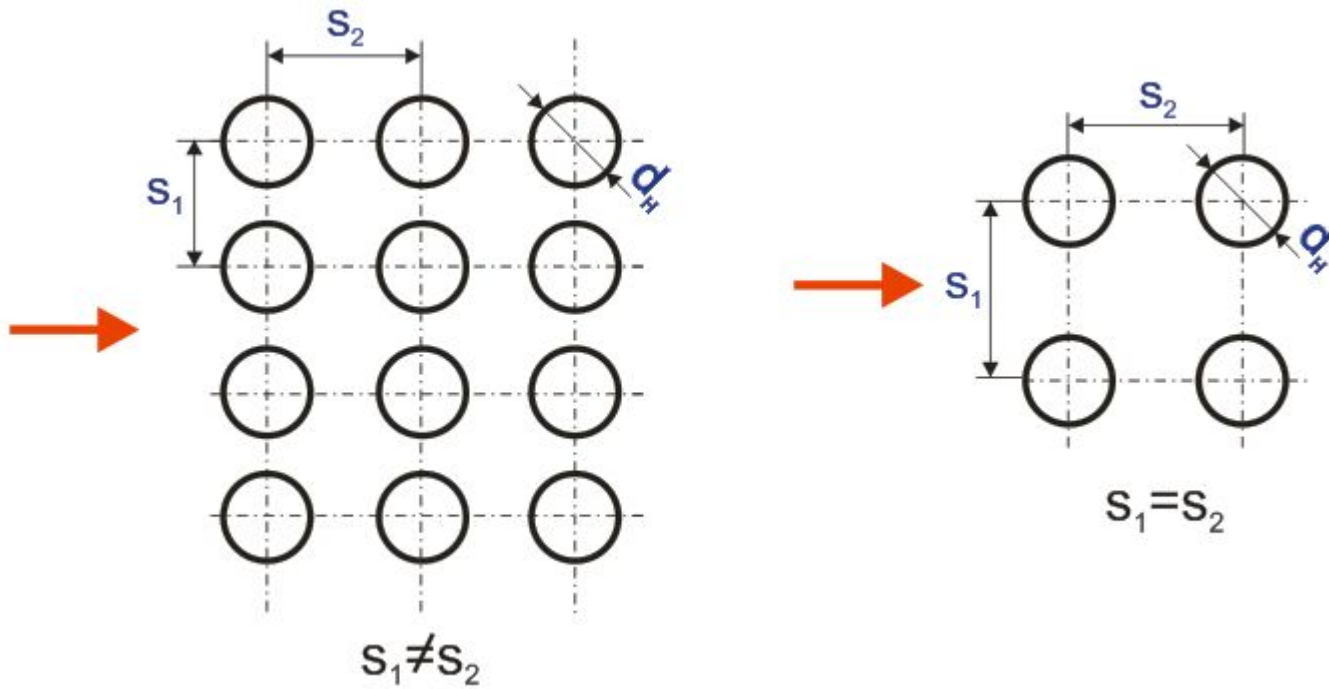
**Змеевик микромодульного ПГ**

## 4.4. ПО КОМПОНОВКЕ ТРУБ В ТРУБНОМ ПУЧКЕ

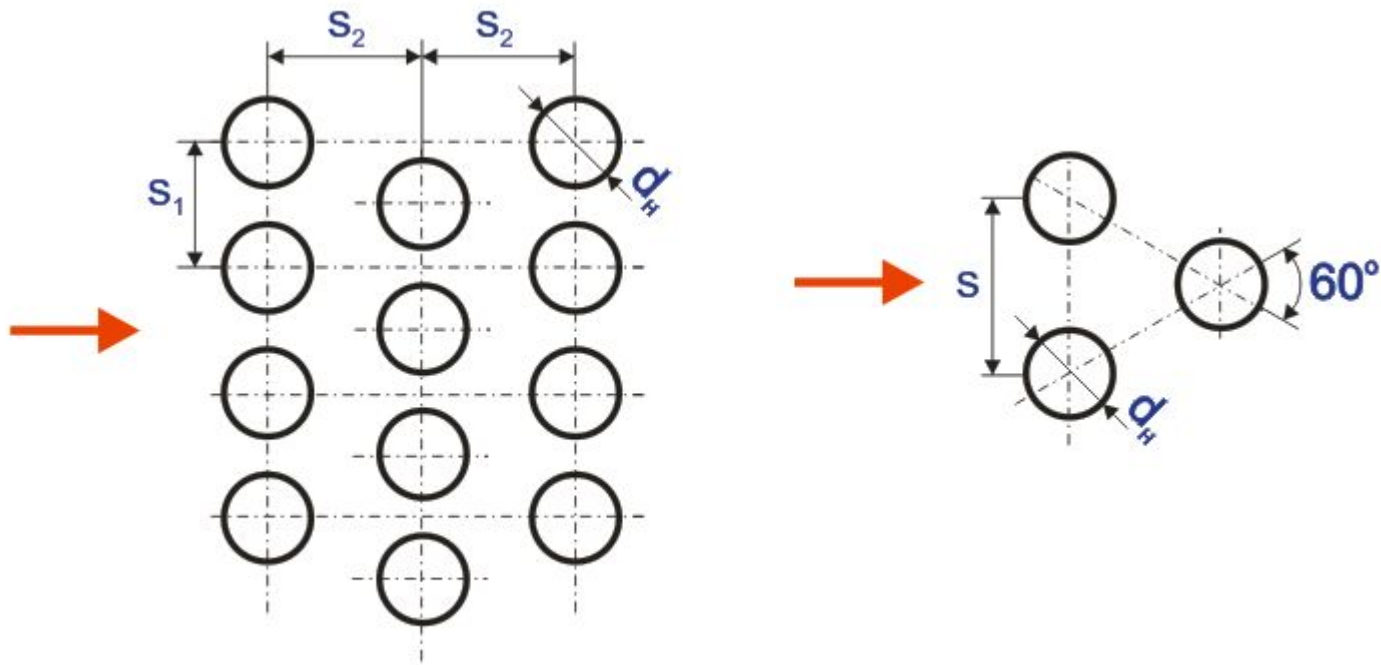
Типы компоновок:

- шахматная;
- квадратная;
- по концентрическим окружностям

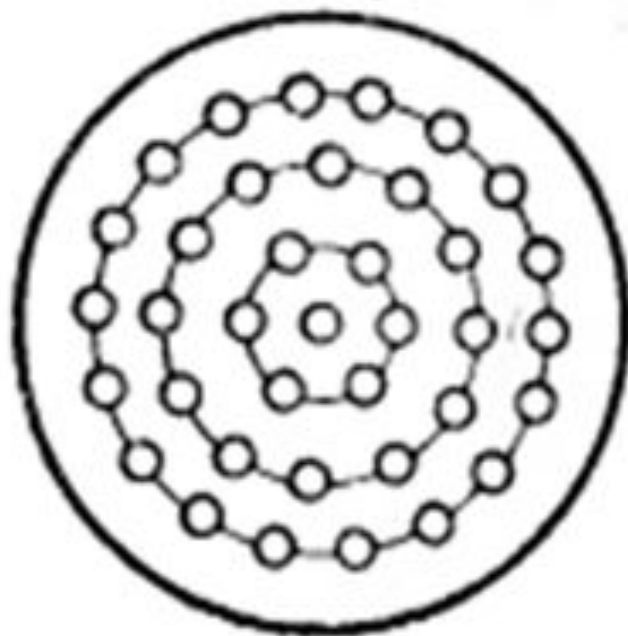
# КОРИДОРНАЯ, КВАДРАТНАЯ



# ШАХМАТНАЯ, ТРЕУГОЛЬНАЯ



# ПО КОНЦЕНТРИЧЕСКИМ ОКРУЖНОСТЯМ



## 4.4. ПО ФОРМЕ ТРУБОК

Трубки по форме (поверхности) бывают:

- гладкие и негладкие (оребрённые, с накаткой и т.д.);
- одностенные и двухстенные



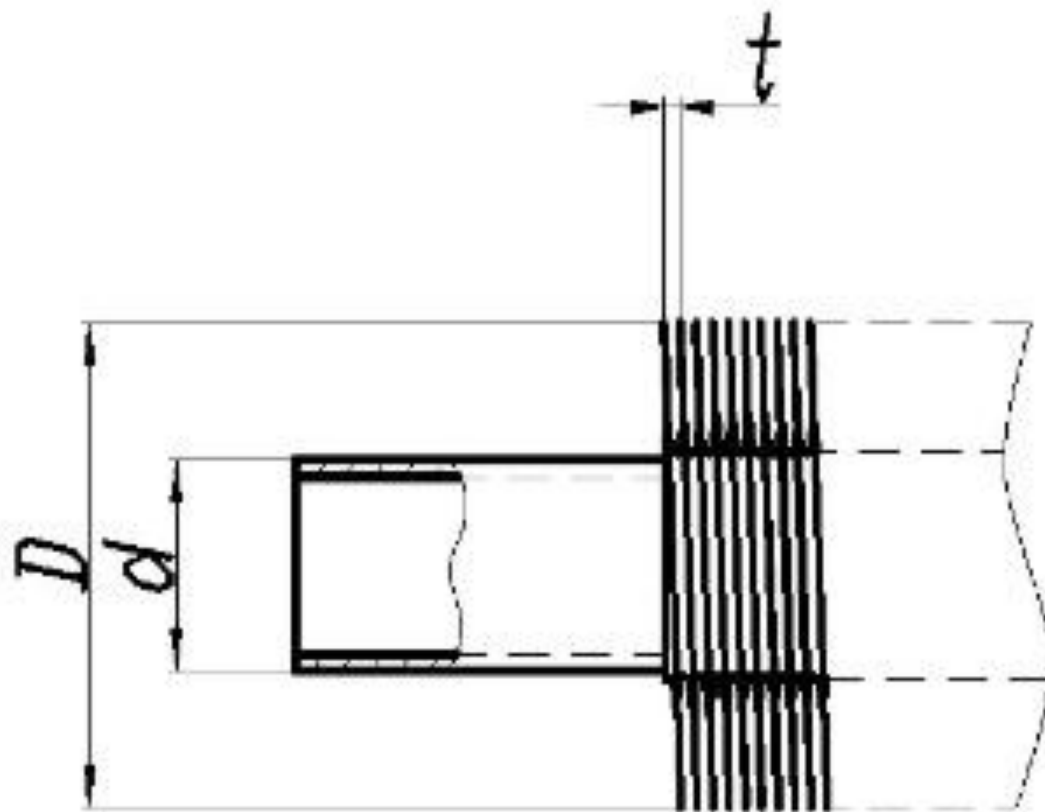


Рис. Трубки с радиальными ребрами

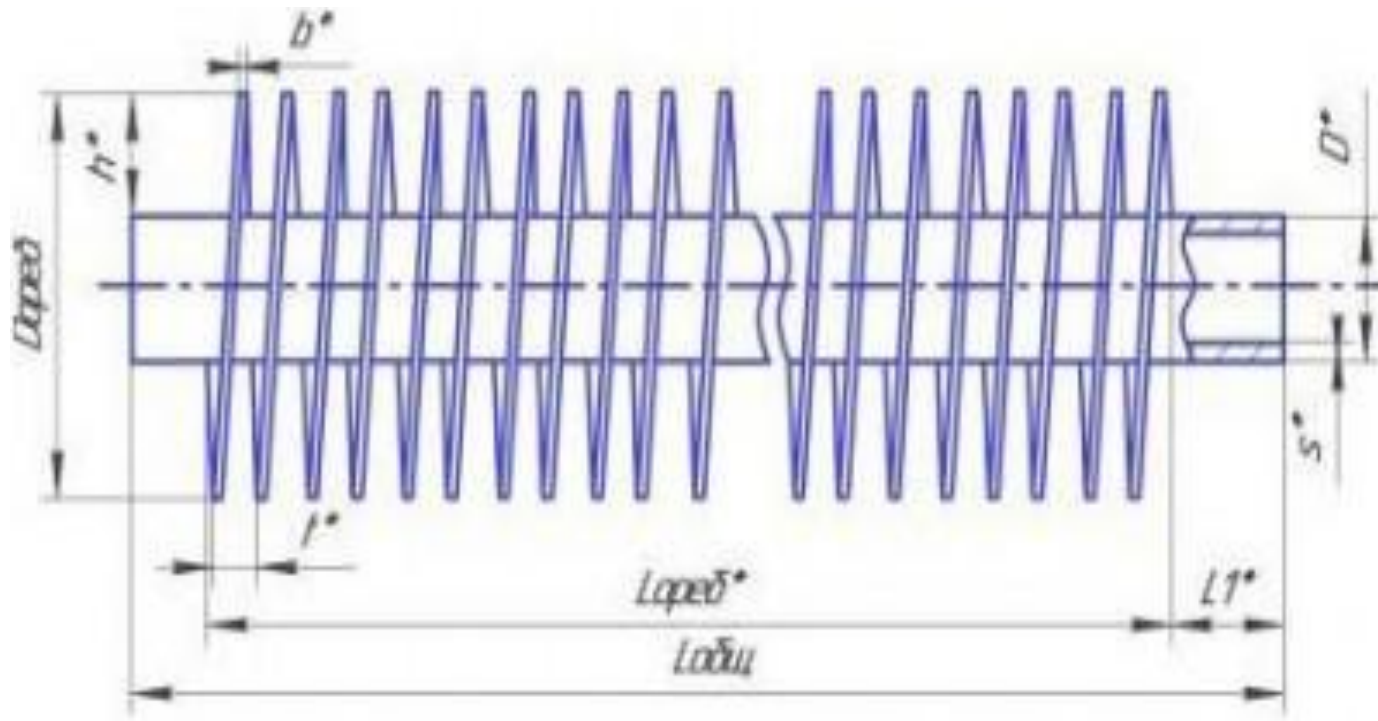


Рис. Трубки со спиральными ребрами

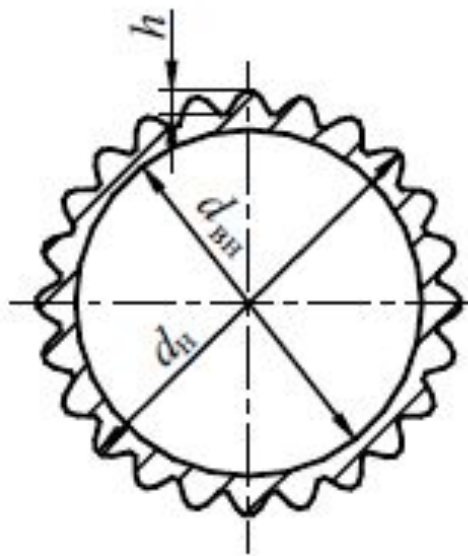


Рис. Трубки с продольными ребрами

## 4.5. ПО СПОСОБУ КРЕПЛЕНИЯ ТРУБОК

- ⦿ В коллекторах.
- ⦿ В плоских трубных досках.

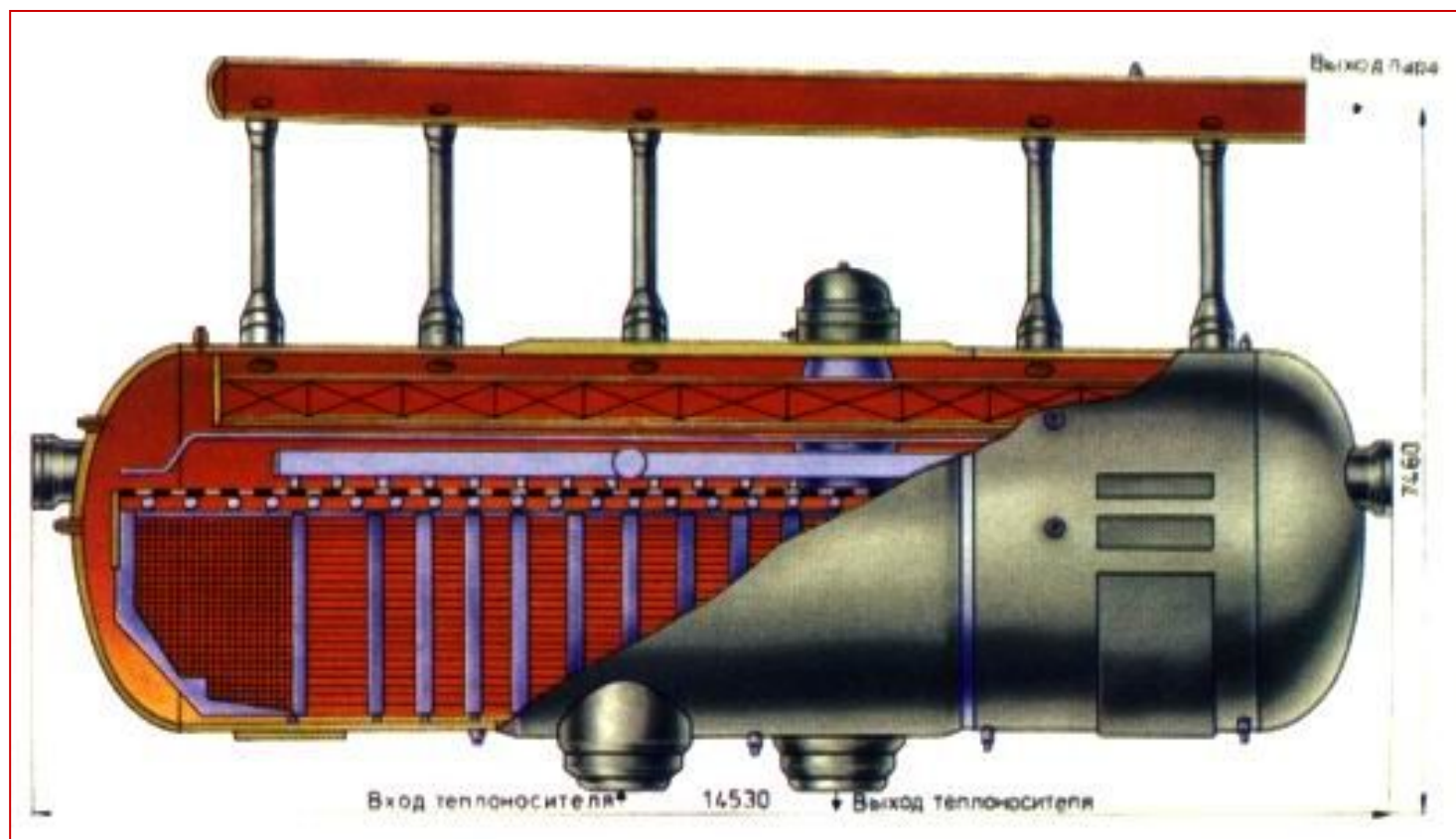
## 4.6. ПО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ КОРПУСА (ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА)

- ⦿ Вертикальные.
- ⦿ Горизонтальные.

## 4.7. ПО КОМПОНОВКЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПГ

- ⦿ Интегральные (корпусные).
- ⦿ Секционно-модульные.

# ПРИМЕР КОРПУСНОГО ПГ (*ВВЭР-1000*)

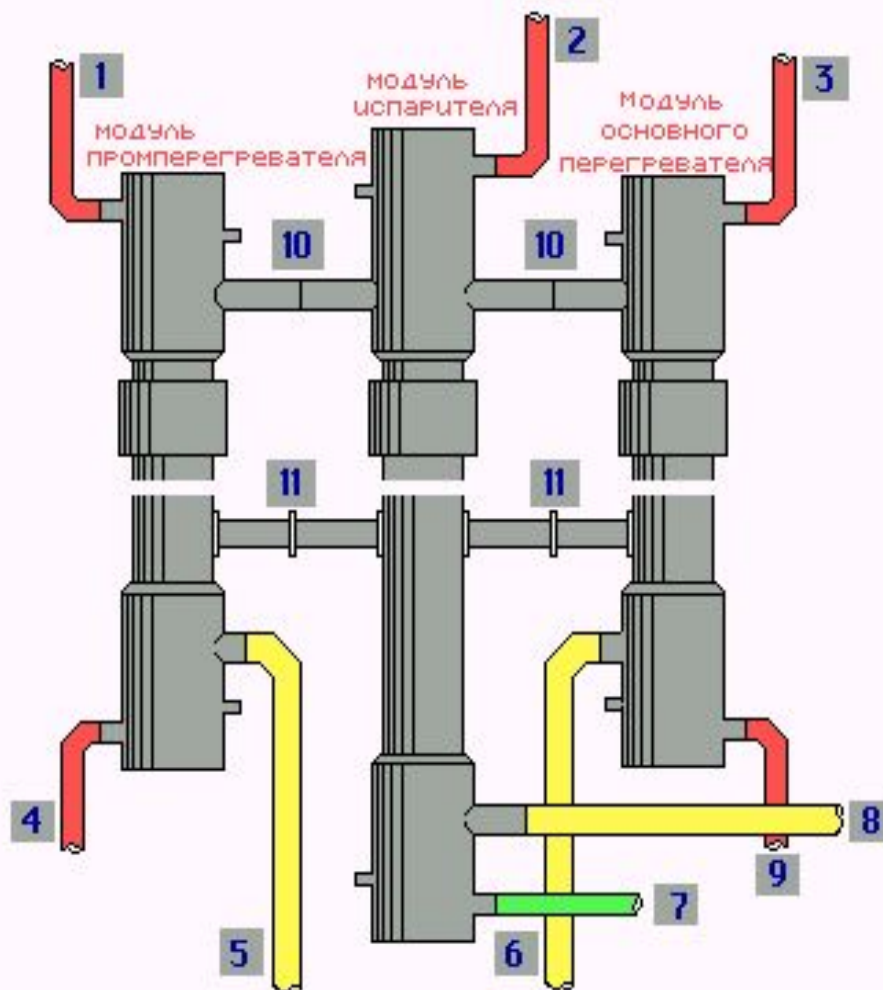


# ВНЕШНИЙ ВИД СЕКЦИИ СЕКЦИОННО-МОДУЛЬНОГО ПГ (БН-600)

## СЕКЦИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГН200М.

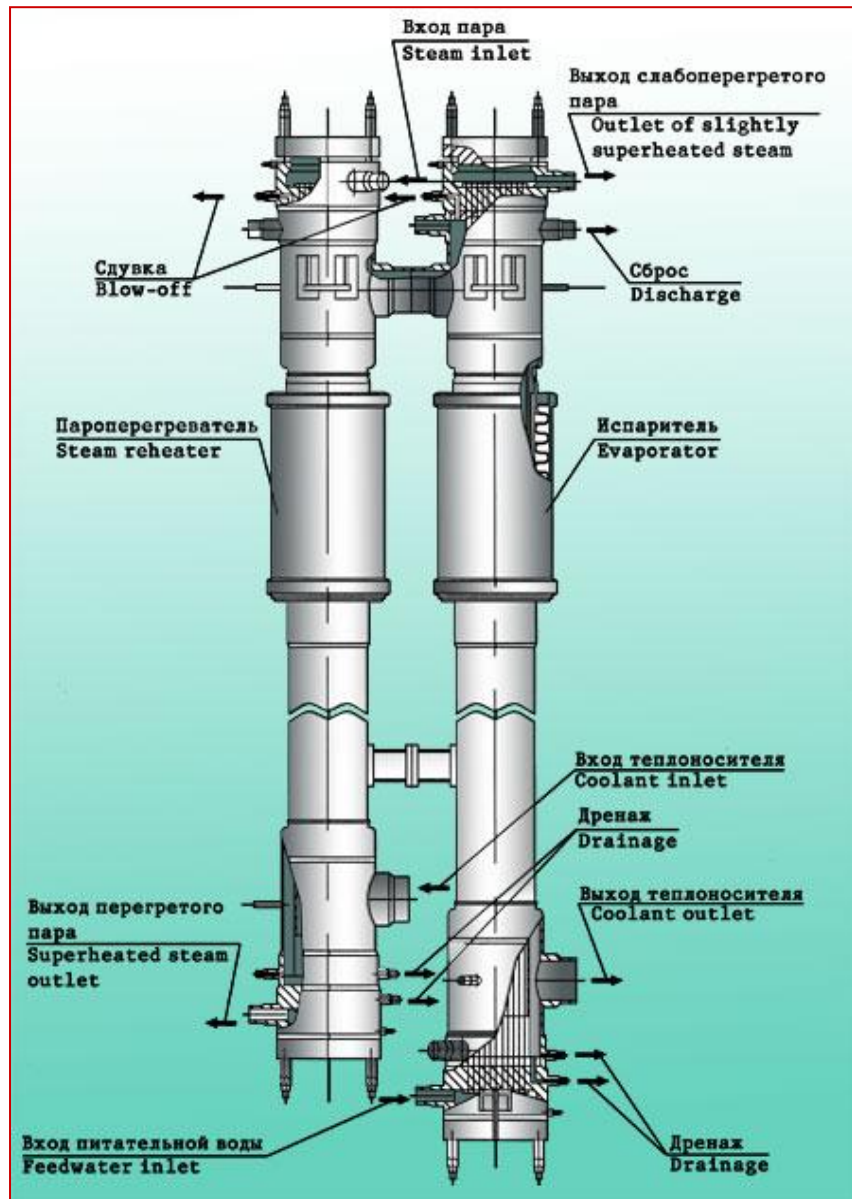
- 1 - вход промежуточного перегревателя.
- 2 - выход испарителя.
- 3 - вход основного перегревателя.
- 4 - выход промежуточного перегревателя.
- 5,6 - вход натрия
- 7 - вход питательной воды.
- 8 - выход натрия.
- 9 - выход основного перегревателя.
- 10 - переливные трубы натрия
- 11 - соединительные опоры

Для продолжения  
нажмите клавишу С

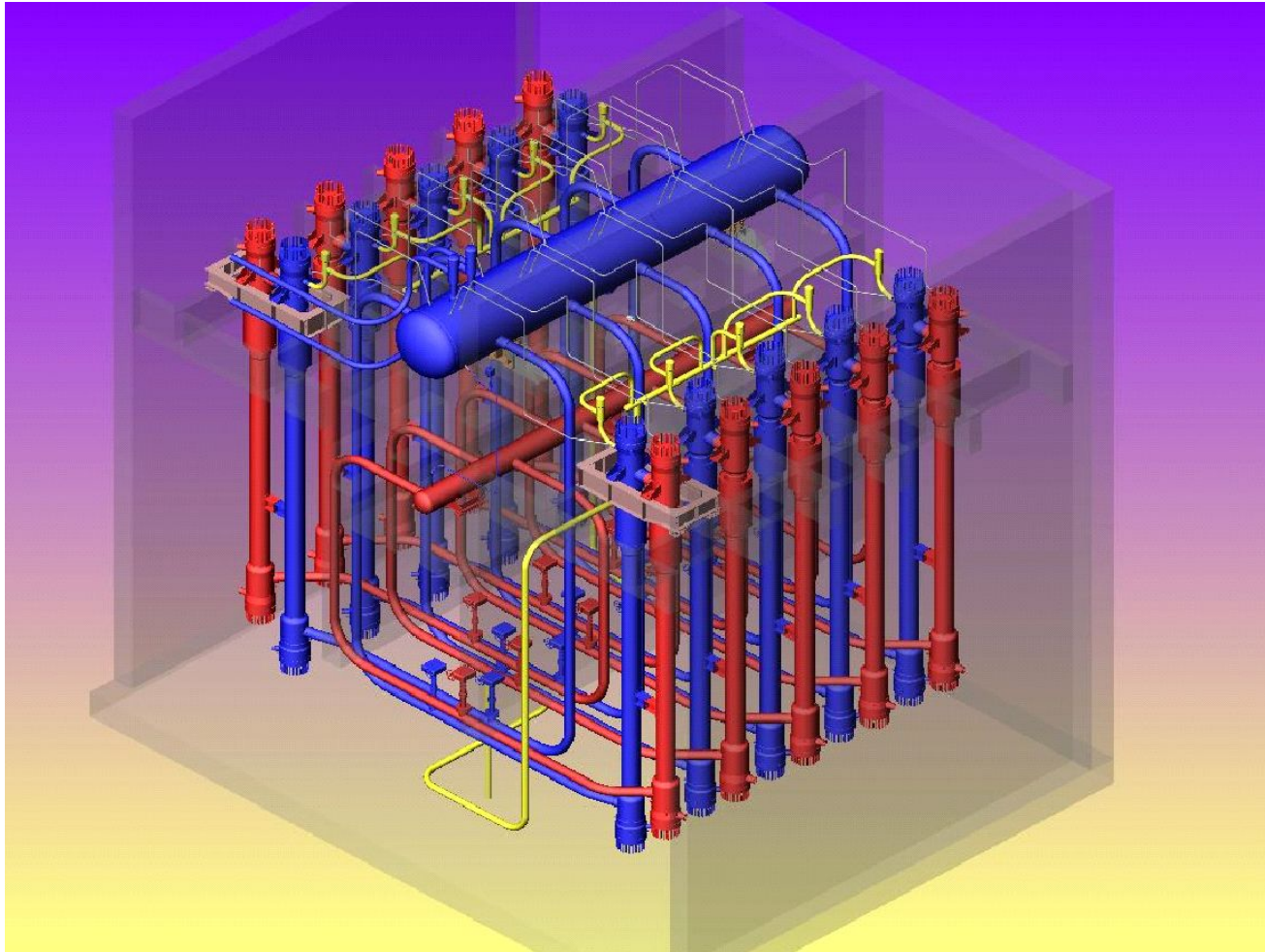




ВНЕШНИЙ ВИД СЕКЦИИ  
СЕКЦИОННО-  
МОДУЛЬНОГО ПГ (БН-800)



# КОМПОНОВКА СЕКЦИОННО-МОДУЛЬНОГО ПГ (БН-800)



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ