

# Атомные электрические станции

## ТЕМА 16. **ТРУБОПРОВОДЫ**

## Основные вопросы

- Классификация трубопроводов АЭС
- Понятие условного и пробного давлений
- Материалы трубопроводов
- Характеристики главных трубопроводов АЭС

## Общее о трубопроводах АЭС

- **Назначение** – соединение между собой отдельных агрегатов АЭС
- **Суммарная длина** – десятки километров
- **Общая стоимость** – до 10 % стоимости всего оборудования станции

# Классификация трубопроводов АЭС

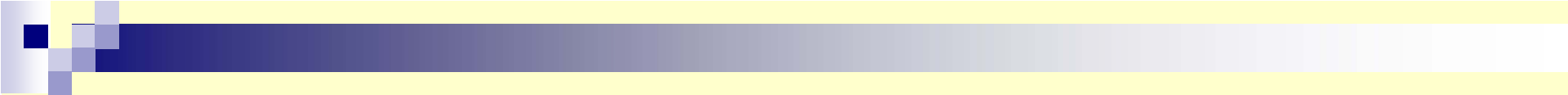
- По назначению
  - ГЦК
  - питательные
  - конденсатные
  - острого пара
  - дренажные и др.
- По параметрам среды
  - давление
  - температура
- По степени радиоактивности среды
- По периодичности работы

# Особенности конструктивного выполнения и характеристики

- Тип труб
  - бесшовные (холоднотянутые и горячекатанные)
  - реже – сварные
- Все трубопроводы с температурой среды  $t > 45^{\circ}\text{C}$  имеют тепловую изоляцию
- Трубопроводы крепятся к несущим строительным конструкциям с помощью опор
- Основные размеры трубопроводов обозначаются произведением  $d_H * \delta$ , мм
- Трубопроводы характеризуются: условным давлением, условным проходом и маркой стали

# Понятие условного и пробного давлений

- Под **условным давлением**  $P_y$  понимают наибольшее избыточное давление при температуре среды  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при котором обеспечивается длительная работа арматуры и трубопроводов
- Под **рабочим давлением**  $P_{\text{РАБ}}$  понимают наибольшее избыточное давление при котором обеспечивается длительная работа арматуры и трубопроводов при рабочей температуре среды



# Понятие условного прохода

Под **условным проходом** понимают номинальный внутренний диаметр, выраженный целым числом

ГОСТ 355-67 устанавливает следующие условные проходы в мм: 6, (8), 10, 15, 20, 25, 32, 40, ..., 80, 100, 125, ..., 1000, 1200, 1400, ..., 4000

## Материалы трубопроводов

- **Углеродистые** стали 10 и 20 при  $t < 450$  °С
- Стали **перлитного** класса при типа 12Х1МФ и 15Х1М1Ф при  $t = 450 \div 570$  °С  
(Cr 0,5-2 %; Mo 0,3-1 %; V 0,2-0,4 %)
- Нержавеющие **мартенситно–ферритные** стали типа ЭИ-756 при  $t < 620$  °С  
(Cr 11 %; Mo 0,2 %; V 0,7 %)
- **Аустенитные** нержавеющие стали типа Х18Н10Т при  $t < 700$  °С



## Химический состав некоторых отечественных сталей

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Ti</b>	<b>S</b>	<b>P</b>
<b>08X18H10T</b>	<b>&lt;0,08</b>	<b>0,8</b>	<b>2</b>	<b>17-19</b>	<b>9-11</b>	<b>5C&lt;0,7</b>	<b>&lt;0,025</b>	<b>&lt;0,035</b>

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>	<b>Ni</b>	<b>P</b>
<b>12X1MΦ</b>	<b>0,08- 0,15</b>	<b>0,17- 0,37</b>	<b>0,4- 0,7</b>	<b>0,9- 0,12</b>	<b>0,25- 0,35</b>	<b>0,15- 0,35</b>	<b>&lt;0,3</b>	<b>&lt;0,025</b>

## Характеристика легирующих добавок

- **Молибден** – повышает прочность стали (при высоких температурах) и коррозионную стойкость
- **Хром** – повышает окалиностойкость низколегированных сталей, недорог
- **Никель** – способствует аустенизации, повышает коррозионную стойкость аустенитных сталей, повышает предел текучести перлитных сталей. Дорог
- **Вольфрам** – повышает жаропрочность. Дорог
- **Ванадий** – повышает прочность в условиях длительной эксплуатации

# Физические характеристики сталей трубопроводов АЭС

<b>Стали</b>	<b>t, °C</b>	<b><math>\alpha</math>, мм/(м * °C)</b>	<b><math>\lambda</math>, Вт/(м*°C)</b>
<b>Углеродистые (Сталь 20)</b>	<b>100-450</b>	<b>0.0123-0.0145</b>	<b>50-36</b>
<b>Перлитные (12ХМФ)</b>	<b>400-600</b>	<b>0.0133-0.0147</b>	<b>39,7-38,2</b>
<b>Ферритные (ЭИ756)</b>	<b>500-700</b>	<b>0.0121-0.0126</b>	<b>37-99</b>
<b>Аустенитные (ОХ18Н10Т)</b>	<b>100-400</b>	<b>0.0171-0.0186</b>	<b>16,0-21,0</b>
	<b>500-700</b>	<b>0.0186-0.-195</b>	<b>23,0-27,0</b>

# Достоинства и недостатки аустенитных нержавеющей сталей

## Достоинства

1. Высокие механические характеристики
2. Хорошая коррозионная стойкость
3. Неплохая эрозионная стойкость
4. Относительно неплохая свариваемость

## Недостатки

1. Дороговизна (соотношение стоимостей углеродистых, перлитных, аустенитных 1:2,5:15)
2. Низкая теплопроводность
3. Склонность к специфическим видам коррозии

Внешний вид детали из аустенитной нержавеющей стали, подвергнувшейся коррозионному растрескиванию



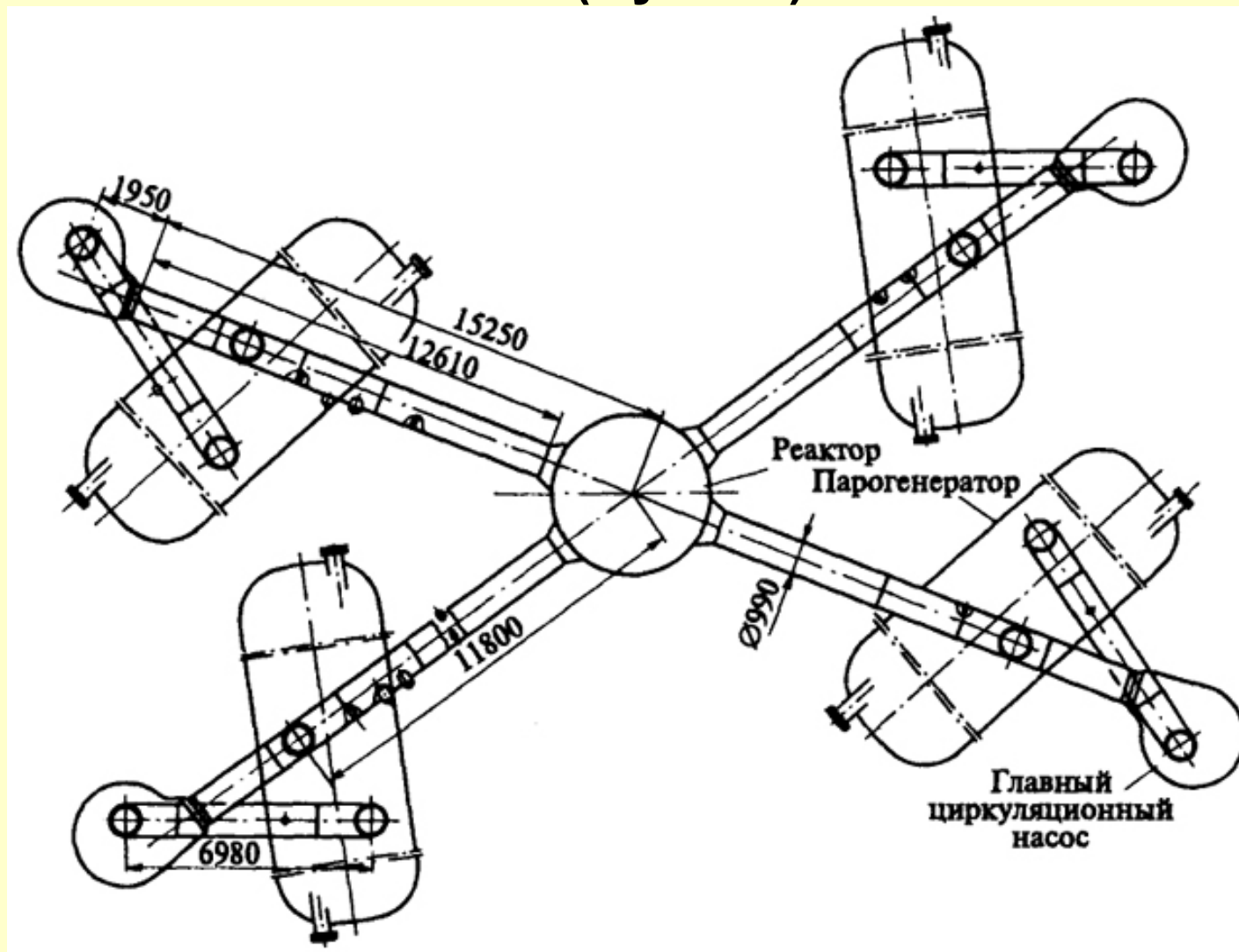
Внешний вид поверхности из аустенитной нержавеющей стали, подвергнувшейся язвенной коррозии (питтинг)



## Характеристики главных трубопроводов АЭС

Трубо- проводы	Тип реактора					
	ВВЭР-440		ВВЭР-1000		РБМК-1000	
	$d_H * \delta$ , мм	Марка стали	$d_H * \delta$ , мм	Марка стали	$d_H * \delta$ , мм	Марка стали
ГЦК	564*64	08X18H1 0T	990*70	Перлит- ная, с плаки- ровкой	325*16	08X18H1 0T
Свежего пара	465*16 465*16	Сталь 20	630*25	16ГС	426*24	Сталь 20
Питатель ной воды	426*24 273*16	Сталь 20	530*28	15ГС	426*24	Сталь 20

## Главные циркуляционные трубопроводы ВВЭР-1000 (Dy 850 )



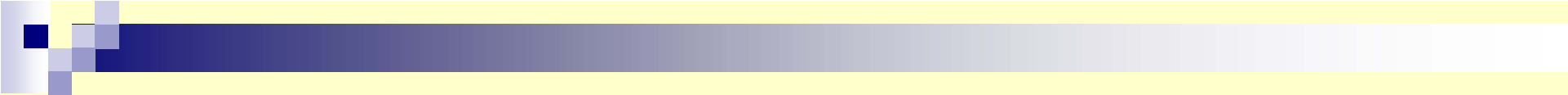


## Характерные скорости среды в трубопроводах АЭС

Среда	Скорость, м/с	Материал труб
Острый пар	45 – 50	
Пар низкого давления	50 - 70	
Питательная вода	4 – 6	Углеродистая сталь
	8 – 12	Нержавеющая сталь
Конденсат	2,5 - 4	
Газ и воздух	10 - 20	

## Порядок выбора стандартного трубопровода

1. Определяют внутренний диаметр (по заданному расходу, выбрав скорость среды)
2. Рассчитывают толщину стенки
3. По сортаменту выбирают трубу ближайшего диаметра и толщины стенки



# Технико-экономический анализ при выборе диаметра трубопровода

При уменьшении диаметра труб

- масса трубопровода снижается
- скорость среды возрастает
- потеря давления увеличивается

# Проектирование трубопроводов

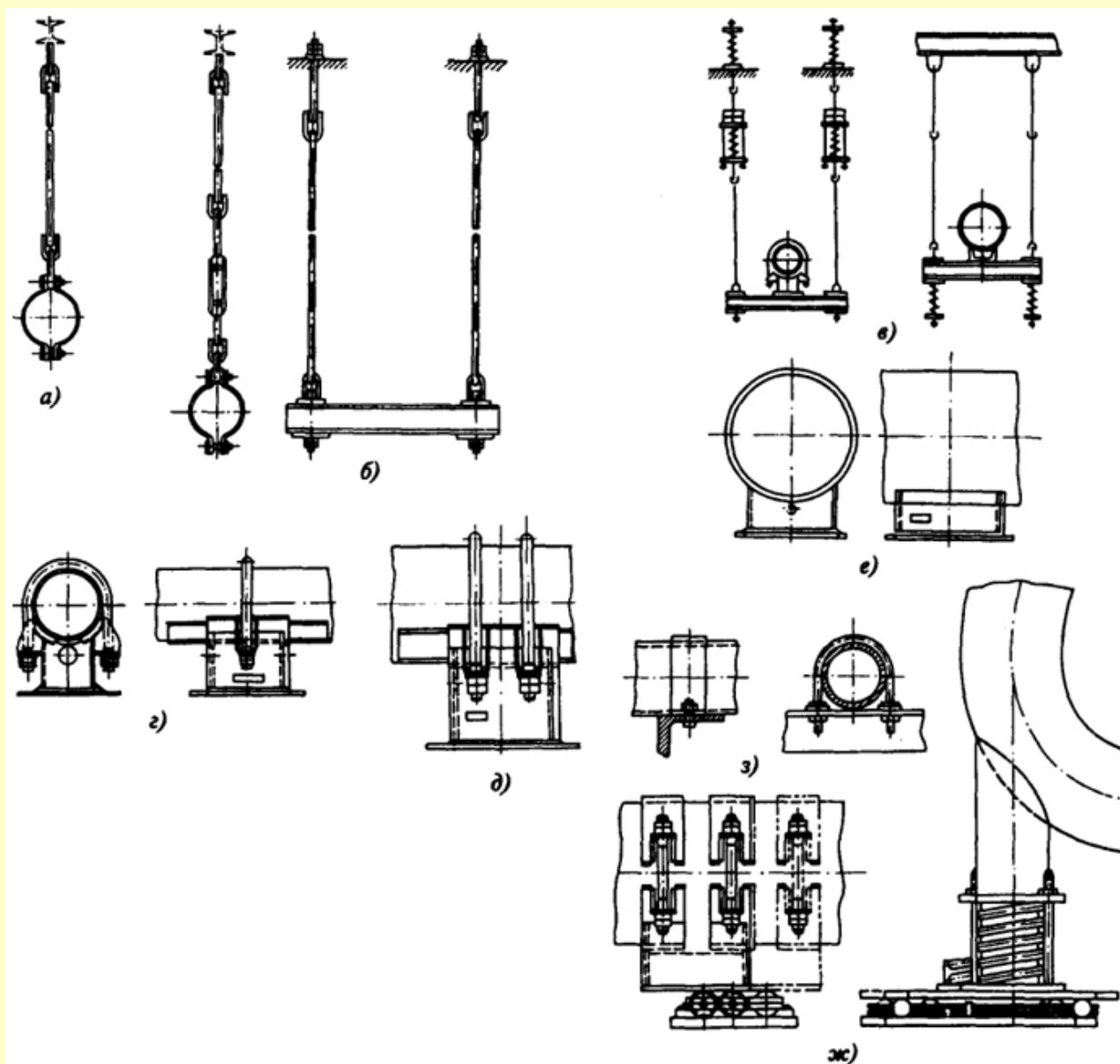
В СООТВЕТСТВИИ С

- "Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок"
- "Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением"
- "Правилами устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды" Ростехнадзора, с учетом строительных норм и правил (СН и П)





## Допустимые скорости изменения температуры металла

Процесс	$d_H * \delta, \text{ мм}$				
	219*29	273*36	325*43	275*62,5	219*52
Разогрев, $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$	10	8	5	3	4
Охлаждение, $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$	8	6	5	2	3

# Опоры и подвески



## Обозначения трубопроводов в схемах АЭС

	пар, свежий и отборный;
	основной конденсат, питательная вода;
	конденсат греющих паров;
	паровоздушная смесь.

Место соединения трубопроводов отмечают точкой