



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Отраслевой центр компетенций  
«ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ»

# Основное тепломеханическое оборудование АЭС

Занятие 2

**ШКОЛА ПРОЕКТИРОВЩИКОВ**

**Филиппов А.А.**  
Ведущий инженер-проектировщик  
АО «Атомэнергопроект» — СПбАЭП

Составил: **Селезнев Н.А.**  
Ведущий специалист  
АО АСЭ Венгерский филиал

# Оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

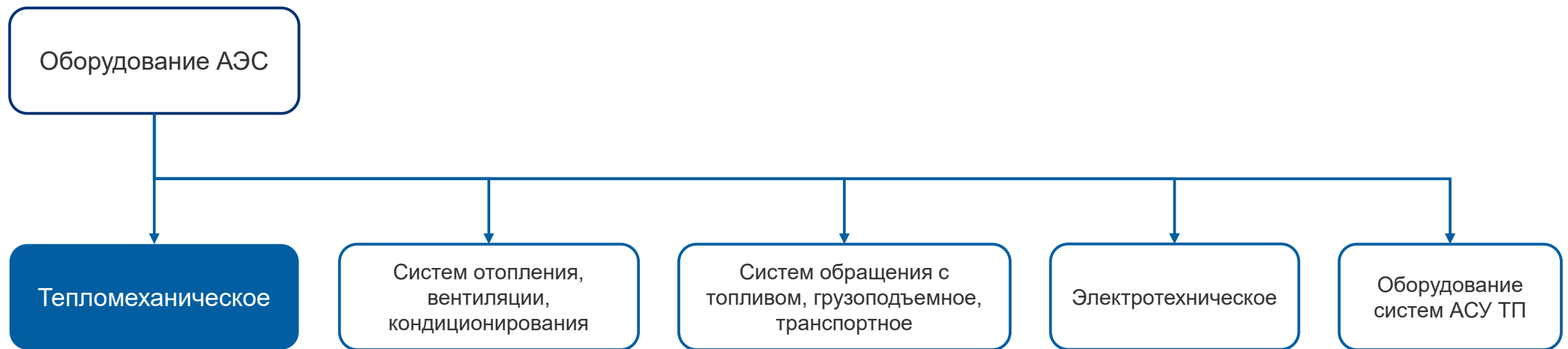
**Элементы АС (НП-001-15)** – строительные конструкции, оборудование, приборы, трубопроводы, средства измерения, контроля, управления и автоматики, кабели и другие изделия, обеспечивающие выполнение заданных функций самостоятельно или в составе систем и рассматриваемые в проекте АС в качестве структурных единиц при выполнении анализов надежности и безопасности

Согласно российской НТД, к оборудованию также относится трубопроводная арматура

# Оборудование АЭС



Оборудование АЭС можно условно классифицировать по инженерным дисциплинам, к которым оно относится. В рамках нашего курса будет рассмотрена тепломеханическая дисциплина



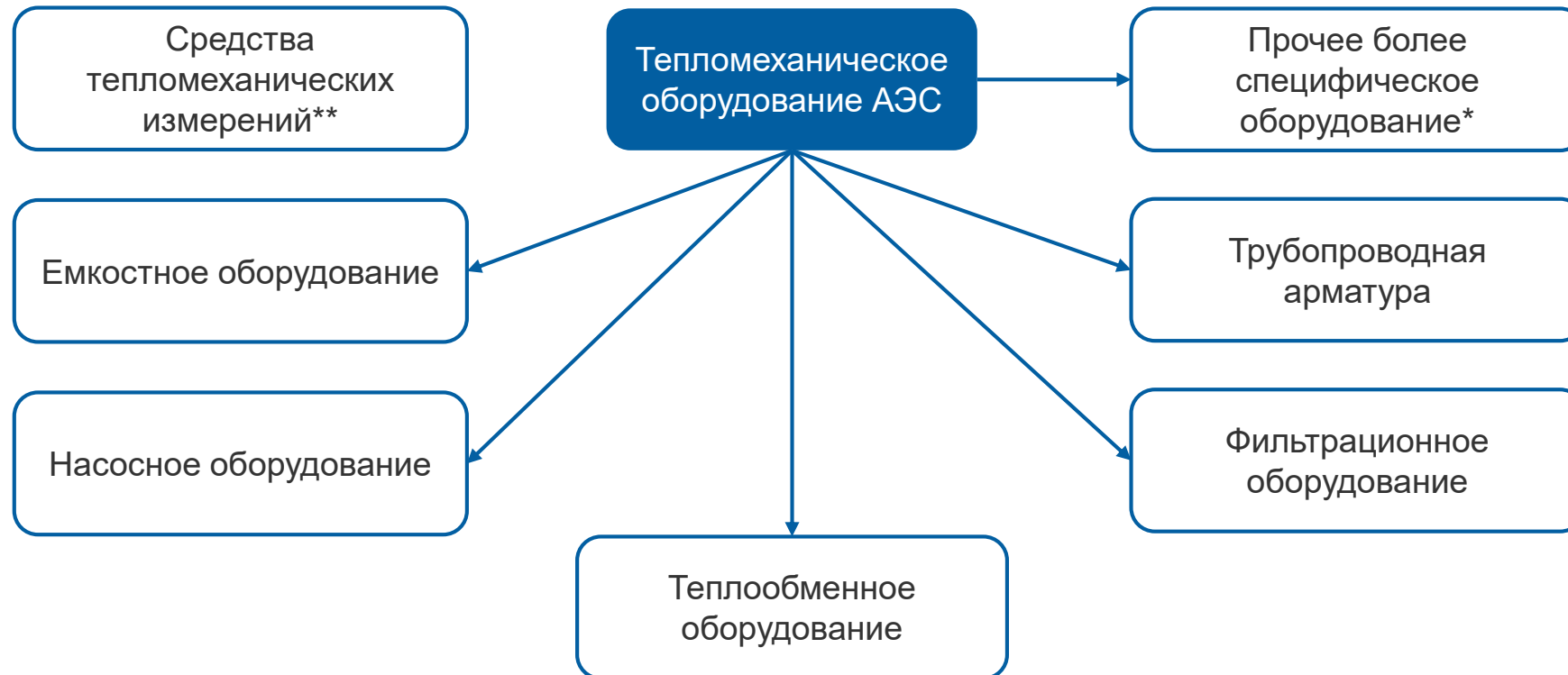
# Оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

На данном слайде справочно перечислены некоторые виды оборудования в составе других дисциплин

- **Вентиляционное:** воздуходувки, воздушные фильтры, воздуховоды
- **Обращение с топливом и грузоподъемное:** тележки, тали, краны
- **Электротехническое:** распределительные устройства, трансформаторы, кабели
- **АСУ ТП:** датчики, шкафы управления, программируемые модули и др.



\*К прочему оборудованию отнесены гидроциклоны, гидротранспортеры и пр.

\*\*Средства тепломеханических измерений часто относят в оборудованию систем АСУ ТП, однако они будут рассмотрены как элемент технологических систем в рамках данного курса.



Необходимо отметить, что большинство специального оборудования длительного цикла изготовления (ОДЦИ, согласно «Единый отраслевой Стандарт закупок (Положение о закупке) Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»), которые не включены в классификатор на предыдущем слайде, также относятся к тепломеханической дисциплине:

- комплектный ядерный реактор
- приводы системы управления и защиты
- парогенераторы
- компенсатор давления
- гидроемкости САОЗ
- турбина паровая
- турбогенератор и пр.

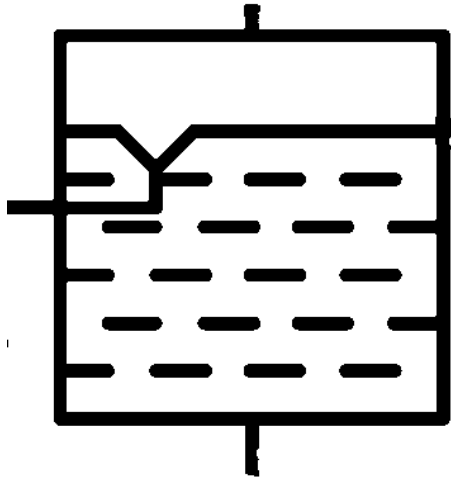


**Емкостное оборудование** – сосуды, баки – предназначены для хранения рабочих сред (воды, растворов химических реагентов, масла, дизельного топлива и др.).

Баки можно классифицировать по следующим типам:

1. По форме: цилиндрические, прямоугольные, с плоским днищем, с коническим или эллиптическим днищем
2. По исполнению: вертикальные или горизонтальные
3. По размещению: для установки в помещениях или на открытом воздухе
4. По давлению в баке: атмосферные или баки под давлением
5. По дополнительным требованиям: с тепловой изоляцией, с электрическим подогревом и т.д.

# Емкостное оборудование АЭС



Условное обозначение бака на технологической схеме  
приведено слева

Обозначение бака согласно процедуре KKS-кодирования:  
BB (NNZZZNNBBNNN, например, 50FAB00BB001)



# Емкостное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



# Емкостное оборудование АЭС



Основные характеристики баков, задаваемые проектировщиком:

- исполнение
- объем полный
- объем полезный
- расчетное давление
- расчетная температура

# Насосное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

**Насос** – это гидравлическая машина, преобразующая подводимую к ней энергию (электрическую, потенциальную в случае турбонасосов) в энергию перекачиваемой жидкости

Насосные агрегаты применяются практически во всех основных и вспомогательных системах атомных электрических станций для транспортировки рабочих сред, общая установленная мощность насосов достигает 8-12% мощности энергоблока



Выделяют следующие большие группы насосных агрегатов, используемых на АЭС:

1. Основное насосное оборудование: ГЦНА, ПЭН, КЭН, циркуляционные насосы контура охлаждения конденсаторов турбины
2. Насосное оборудование систем безопасности, включающее насосы САОЗ, аварийного ввода бора, контуров охлаждения ответственных потребителей
3. Насосное оборудование вспомогательных систем, включающее насосы технического водоснабжения неответственных потребителей, масляные насосы турбины, насосы спецводоочистки и др.



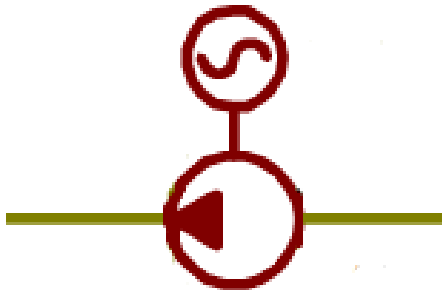
В зависимости от выполняемой функции используются насосные агрегаты различных принципов действия и конструктивных признаков, среди которых можно выделить три наиболее часто встречающихся типа:

1. **Центробежные**, применяются в системах, где необходимо создать большой расход рабочей среды
2. **Плунжерные**, применяются в системах с малыми расходами и большими требуемыми давлениями рабочей среды за насосом
3. **Перистальтические** (шланговые). Предназначены для перекачки жидких и пастообразных веществ, применяются в системах обращения с радиоактивными отходами (РАО)

# Насосное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



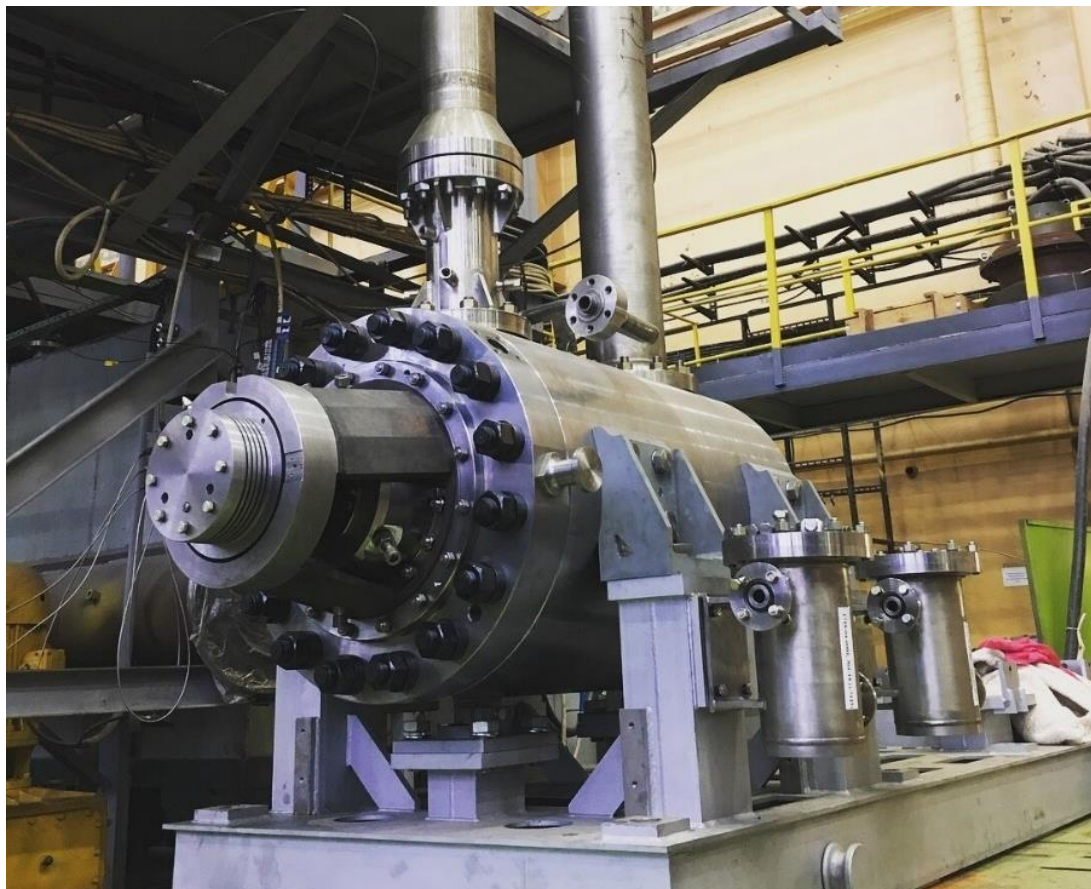
Условное обозначение насоса на технологической схеме  
приведено слева

Обозначение насоса согласно процедуре KKS-кодирования:  
AP (NNZZZNNAPNNN, например, 50FAL11AP001)

# Насосное оборудование АЭС



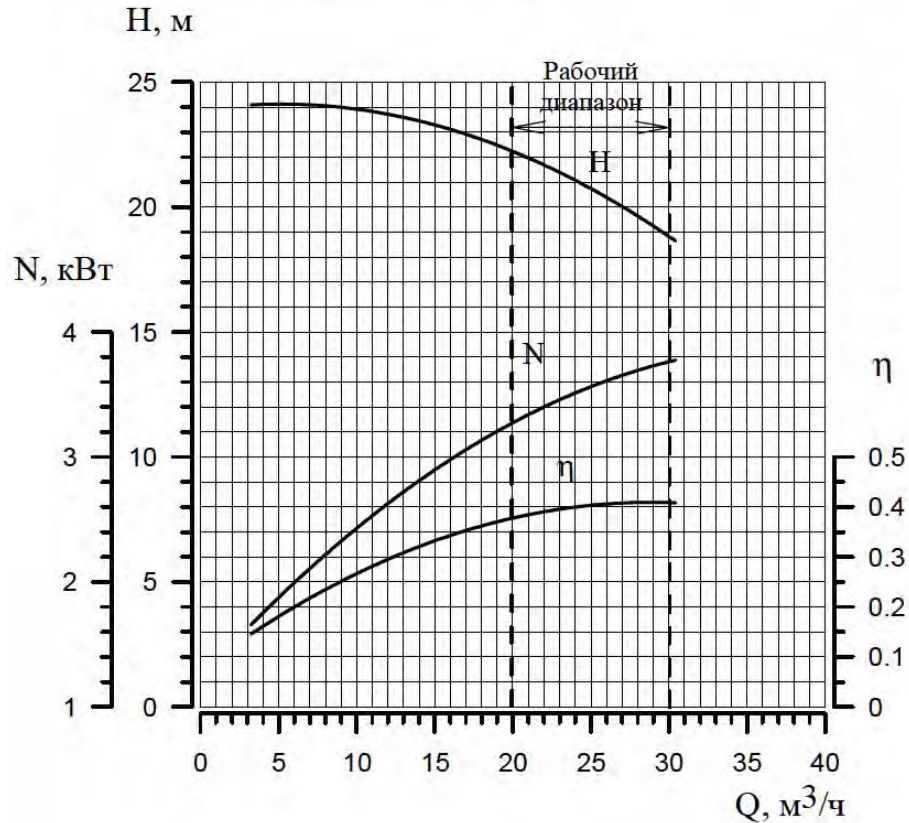
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



# Насосное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



Основные гидравлические характеристики насосных агрегатов – напор и расход

Пример расходно-напорной характеристики центробежного насоса, где

$Q$  – подача, м<sup>3</sup>/ч

$H$  – напор, м

$N$  – потребляемая электрическая мощность, кВт

$\eta$  – коэффициент полезного действия, %





При подборе конкретного типа насоса, используемого в системе, используется как раз характеристика насоса, по которой можно определить

- **границы рабочей зоны насоса** (минимальное и максимальное значение напора и расхода, при которых обеспечивается надежная и экономичная работа насосного агрегата)
- **рабочую точку** – сочетание расхода и напора в основном (наиболее эффективном) режиме работы, соответствующем пересечению характеристики насоса и характеристики гидравлической системы (сочетание сопротивлений тракта), в которой работает насос

Важными характеристиками насосов являются также **кавитационный запас, КПД, потребляемая мощность**

# Теплообменное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

**Теплообменники, теплообменные аппараты (ТО)** — устройства, в которых осуществляется передача теплоты от горячего теплоносителя (греющего) к холодному (нагреваемому)

Теплоносителями могут быть газы, пары, жидкости. В зависимости от назначения ТО используют как нагреватели, или как охладители

# Теплообменное оборудование АЭС



На атомных электростанциях применяются поверхностные рекуперативные теплообменники двух типов:

- **Пластинчатые**
- **Кожухотрубные**
- Смешивающие теплообменники, представленные в основном подогревателями низкого давления (ПНД) и деаэратором (Д) регенеративного тракта турбины

# Теплообменное оборудование АЭС



Пластинчатые теплообменники состоят из пакета тонких штампованных пластин, являющихся границей сред и поверхностью теплообмена.

Подразделяются на два подтипа:

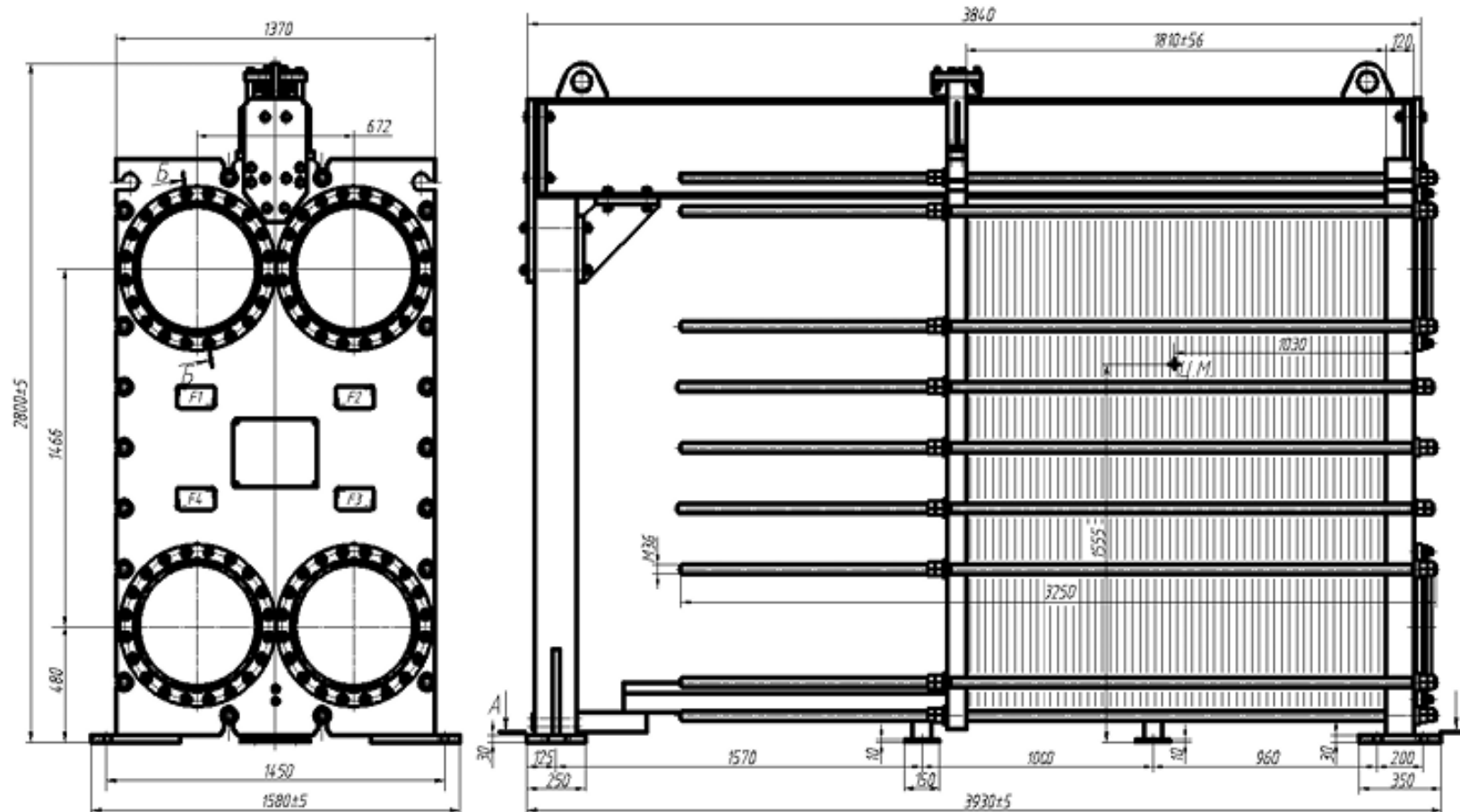
- сварные
- разборные

На АЭС в системах безопасности, а также системах нормальной эксплуатации, важных для безопасности, применяются разборные пластинчатые теплообменники, что объясняется их большей ремонтпригодностью

# Теплообменное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



Габаритный чертеж пластинчатого  
теплообменника

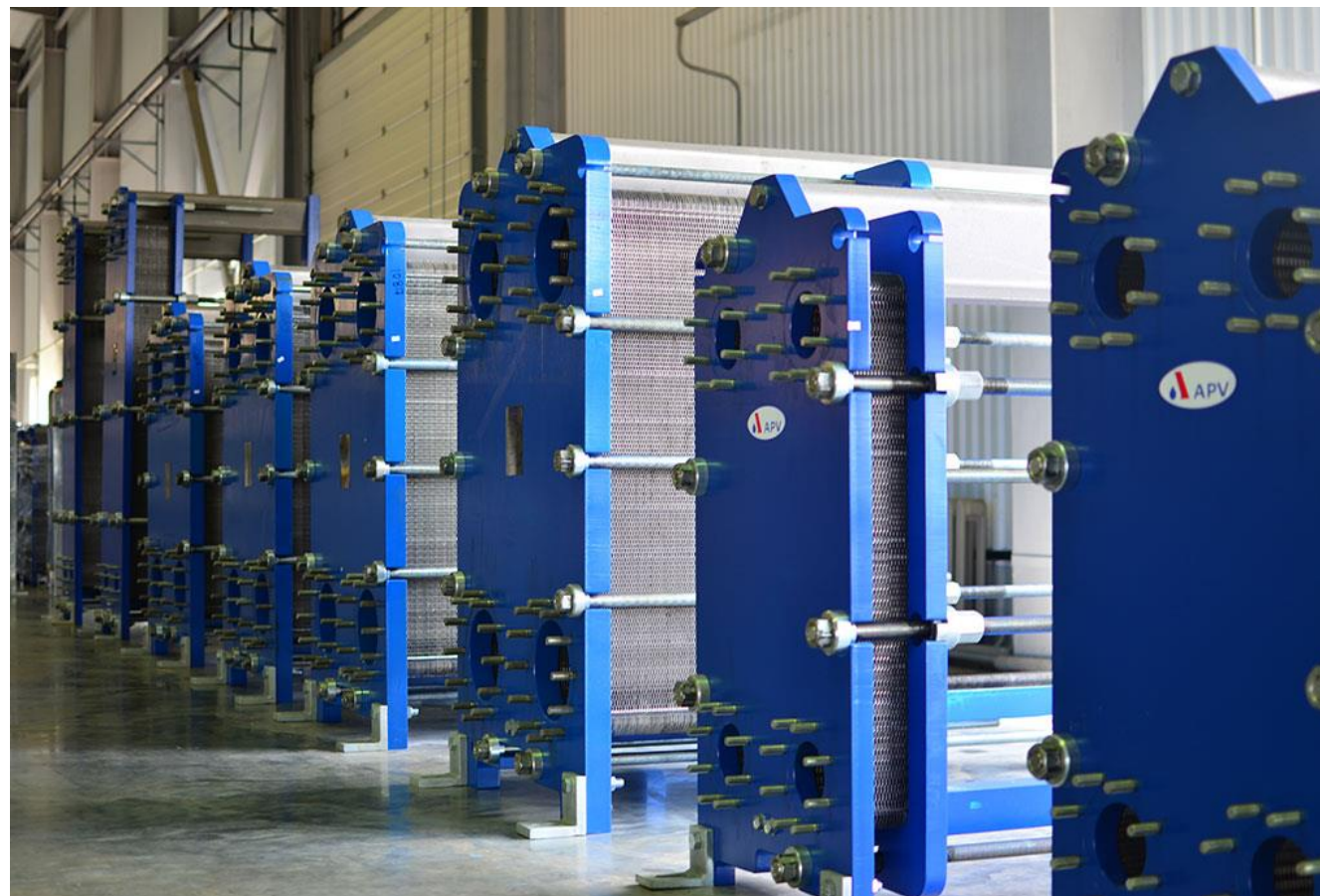
# Теплообменное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



Пластинчатые теплообменники



# Теплообменное оборудование АЭС

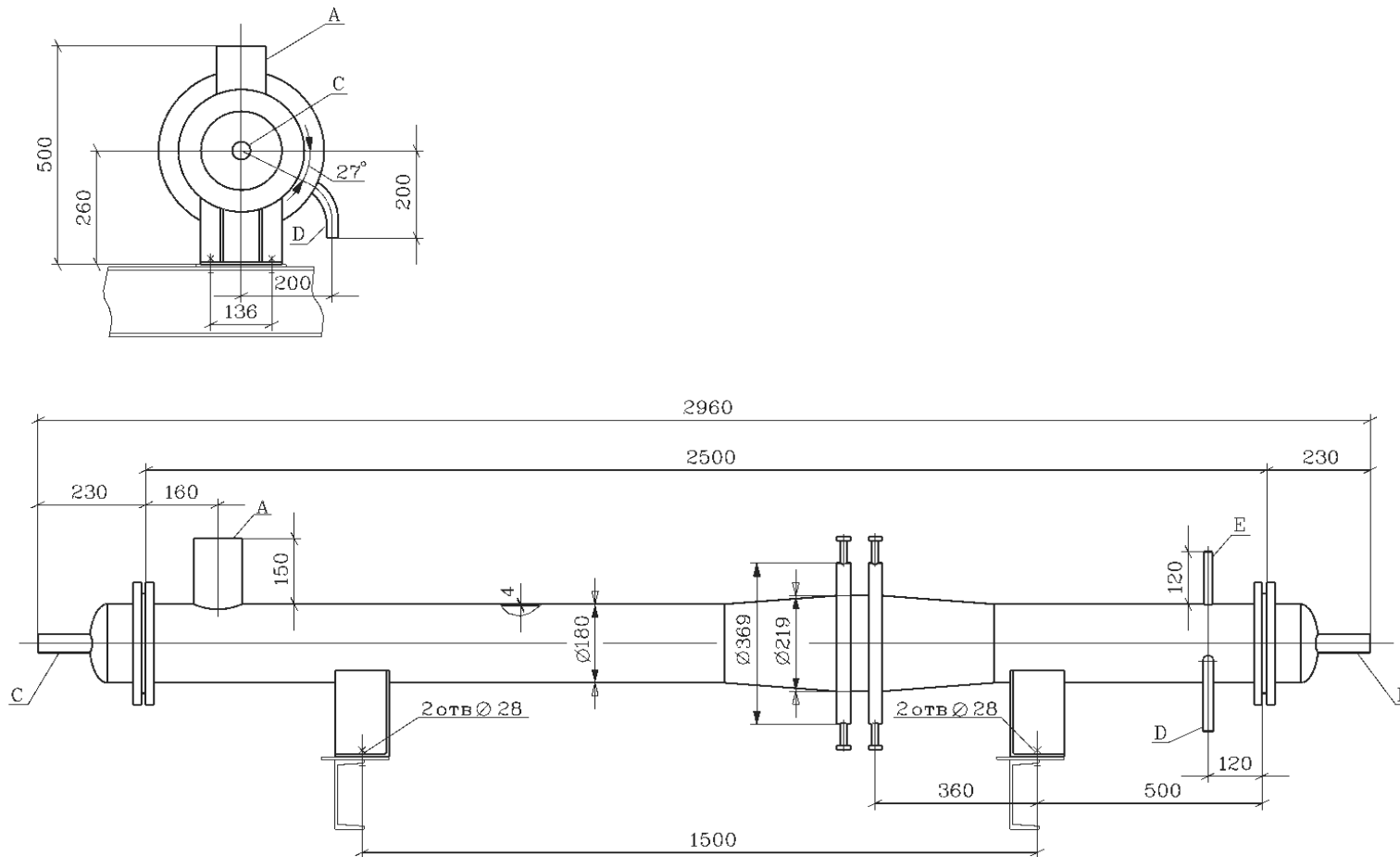


АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

## Кожухотрубные

Состоит из трубного пучка и корпуса (кожуха)

Так как кожухотрубные теплообменники являются более эффективными, чем пластинчатые, при двухфазном теплообмене, а также при фазовых переходах рабочих сред, они применяются во вспомогательных системах АЭС (водоподготовка, поддержание водно-химического режима теплоносителя, охлаждение сдувок и дренажей и т.д.)



Габаритный чертеж кожухотрубного теплообменника



# Теплообменное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

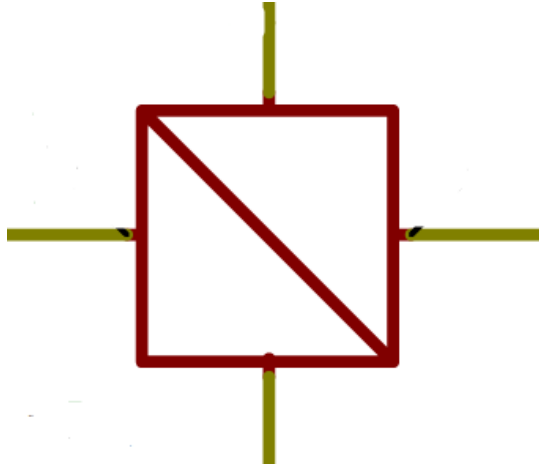
Кожухотрубные теплообменники



# Теплообменное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



Условное обозначение теплообменника на технологической схеме приведено слева  
Обозначение теплообменника согласно процедуре KKS-кодирования: AC (NNZZZNNACNNN, например, 50FAL11AC001)



## Основные характеристики теплообменных аппаратов:

- тепловая мощность
- площадь поверхности теплообмена
- расходы охлаждаемой и охлаждающей среды
- температуры охлаждаемой и охлаждающей сред на входе и выходе в теплообменник

$$c_{p1}G_1(t_{1\text{ВЫХ}} - t_{1\text{ВХ}}) = Q = c_{p2}G_2(t_{2\text{ВХ}} - t_{2\text{ВЫХ}}),$$

$$Q = kF\Delta t$$

# Фильтрационное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

**Фильтры** предназначены для очистки жидких и газовых сред от содержащихся в них загрязняющих примесей. Воздушные фильтры относятся, в основном, к системам вентиляции и не будут рассматриваться в данном курсе

Очистка воды от примесей широко распространена на АЭС, существуют отдельные технологические системы, основной функцией которых является поддержание ВХР

# Фильтрационное оборудование АЭС



Различают следующие основные типы фильтров, которые используются на атомных электрических станциях:

- Механические фильтры
- Магнитные фильтры
- Ионитные фильтры

Ионитные фильтры разделяют на

- катионитные
- анионитные
- фильтры смешивающего действия (ФСД)

# Фильтрационное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

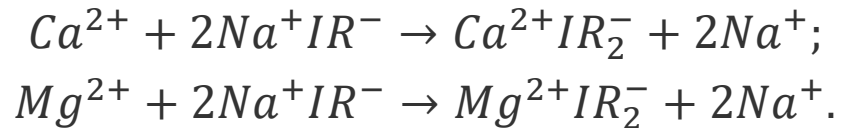
Обработка воды методами **ионного обмена** основана на сочетании химических и физических свойств некоторых материалов, называемых ионитами, изменять в требуемом направлении ионный состав воды

Ионитные материалы часто называют **ионообменными смолами**.

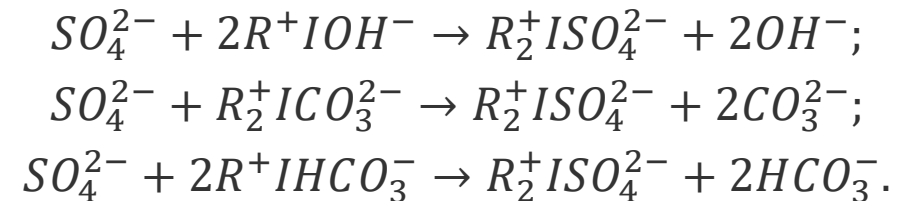
Высокая эффективность процессов очистки, возможность восстановления ионообменной способности смолы, относительно небольшие массогабаритные характеристики установок привели к широкому распространению ионообменных фильтров в атомной энергетике



Примеры химических реакций в **катионитных фильтрах**, очистка от ионов кальция и магния:



Примеры химических реакций в **анионитных фильтрах**, очистка от сульфат-ионов:

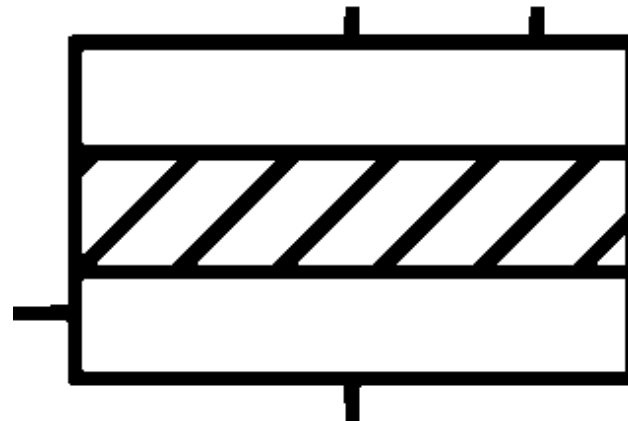
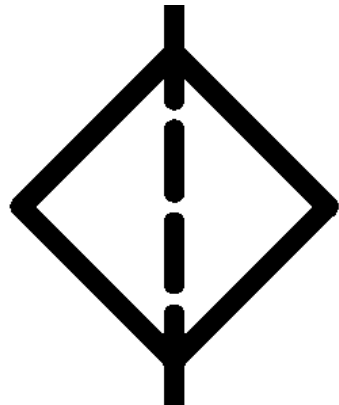


# Фильтрационное оборудование АЭС



Условное обозначение фильтра на технологической схеме приведено ниже

Обозначение фильтра согласно процедуре KKS-кодирования:  
АТ (NNZZZNNATNNN, например, 50FAL12AT001)





# Фильтрационное оборудование АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



# Трубопроводная арматура АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

**Трубопроводной арматурой** называются устройства, предназначенные для управления движением по трубопроводам потоков жидкостей, газов (паров), а также сыпучих материалов путем непосредственного на них воздействия

Трубопроводная арматура используется также для управления движением частиц потока или его отдельной фазы – жидкой или газовой

# Трубопроводная арматура АЭС



По функциональному назначению арматура, применяемая на АЭС, делится на следующие основные виды:

- запорная, предназначенная для полного перекрытия потока среды
- регулирующая, применяется для регулирования параметров рабочей среды посредством изменения ее расхода
- распределительная, предназначена для распределения потока рабочей среды по направлениям
- предохранительная, предназначенная для предотвращения аварийного повышения давления в системе

# Трубопроводная арматура АЭС



Кроме классификации арматуры по назначению существует также классификация арматуры по условным давлениям:

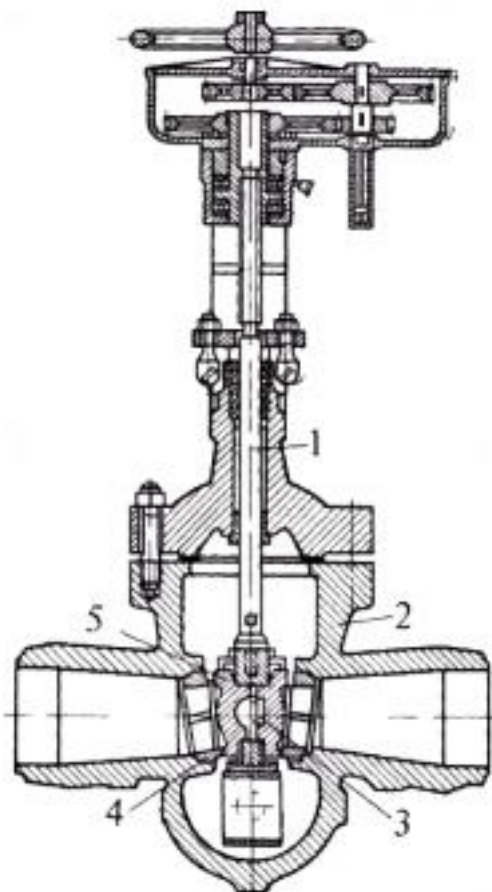
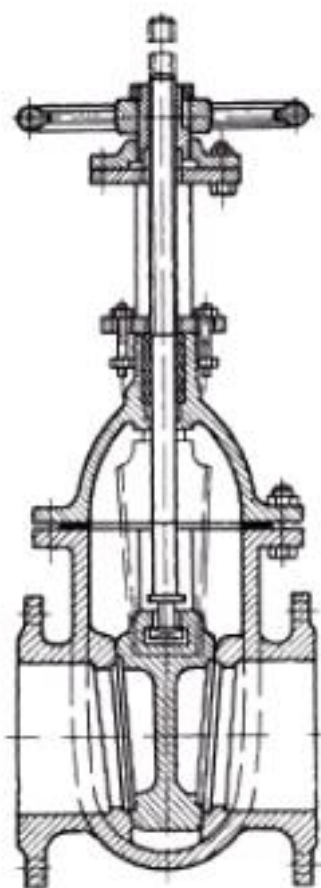
- арматура глубокого вакуума
- вакуумная арматура
- арматура малых давлений
- арматура средних давлений
- арматура высоких давлений
- арматура сверхвысоких давлений

# Трубопроводная арматура АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Запорная арматура – клиновые задвижки

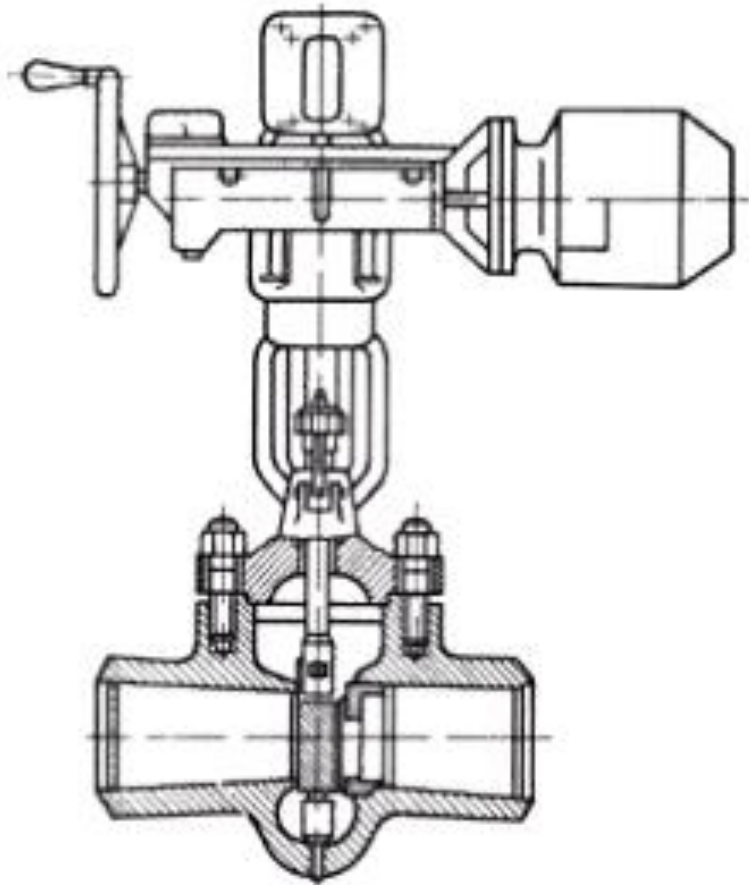


# Трубопроводная арматура АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Регулирующая арматура – регулирующие клапаны

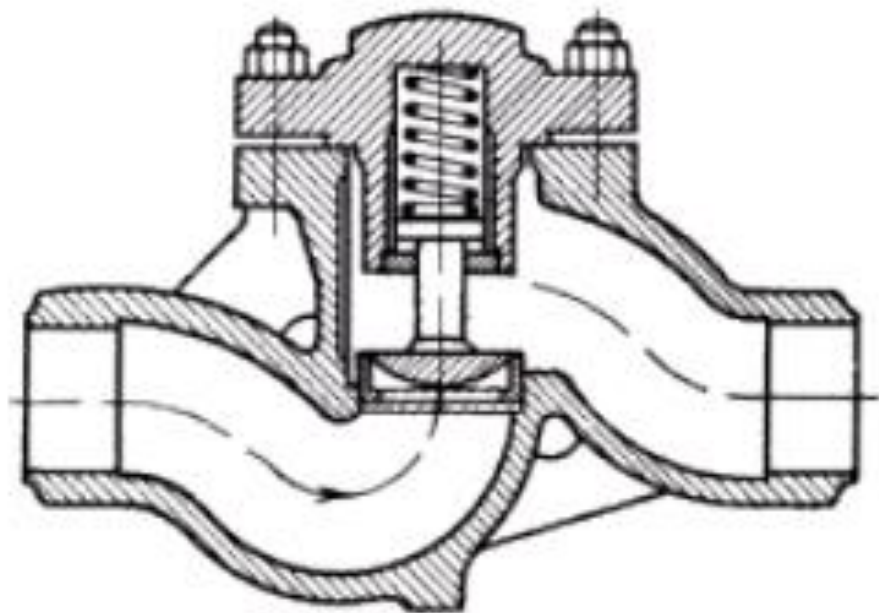


# Трубопроводная арматура АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Предохранительная арматура – обратные клапаны

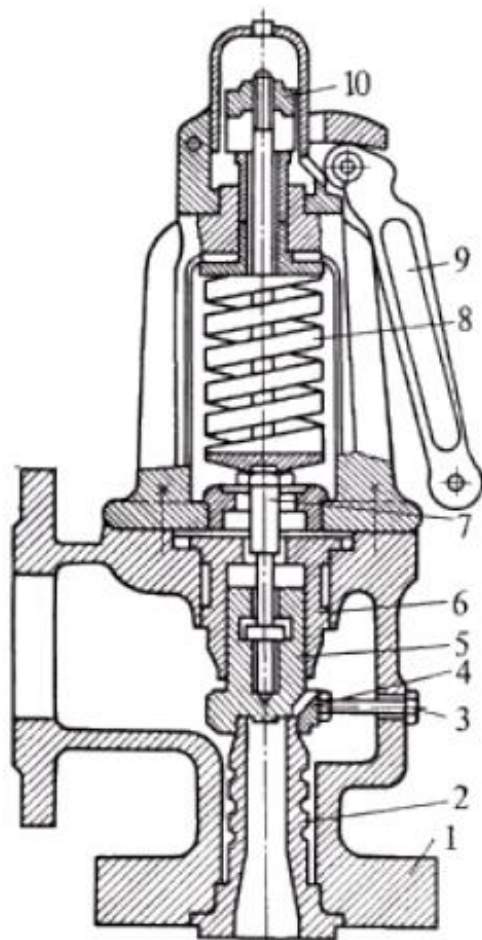


# Трубопроводная арматура АЭС



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Предохранительная арматура – предохранительные клапаны





# Трубопроводная арматура АЭС

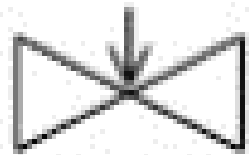


АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Условное обозначение арматуры на технологической схеме приведено ниже.  
Обозначение арматуры согласно процедуре KKS-кодирования:  
AA (NNZZZNNAANN, например, 50FAL12AA101)



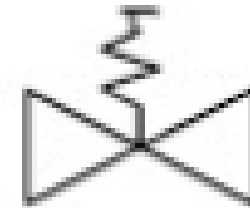
Запорная  
арматура



Регулирующая  
арматура



Обратная  
арматура



Предохранительная  
арматура

# Вопросы для повторения материала



- Какое оборудование относится к тепломеханическому?
- Можете ли вы перечислить несколько примеров не тепломеханического оборудования АЭС?
- Что относится к оборудованию ОДЦИ?
- Перечислите основные характеристики насосных агрегатов
- Перечислите основные характеристики баков и емкостей
- Перечислите основные характеристики теплообменников
- Перечислите основные типы фильтров АЭС
- Перечислите основные типы трубопроводной арматуры

# Спасибо за внимание

**Филиппов А.А.**

Ведущий инженер-проектировщик  
АО «Атомэнергопроект» — СПБАЭП

**Санкт-Петербург, Россия – Пакш, Венгрия**

