

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

ЛЕКЦИЯ №3

Тайлашева Татьяна Сергеевна
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

ТЕМА 2. ПАРОПРОИЗВОДЯЩИЕ УСТАНОВКИ

2

НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРОПРОИЗВОДЯЩИХ УСТАНОВОК

3



Парогенераторная (паропроизводящая) установка - устройство для производства насыщенного или перегретого пара, который используется в качестве **рабочего тела** в паровых машинах, **теплоносителя** в системах отопления и в **технологических целях** в различных областях промышленности.

Парогенератор - теплообменный аппарат для производства водяного пара с давлением выше атмосферного за счёт теплоты первичного теплоносителя.



НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРОПРОИЗВОДЯЩИХ УСТАНОВОК

4

По типу источника тепла

Парогенератор

АЭС

В качестве первичного энергоносителя
используют ядерное горючее

Котёл

ТЭС (ТЭЦ, КЭС)

В качестве первичного энергоносителя
используют вместо органического топлива

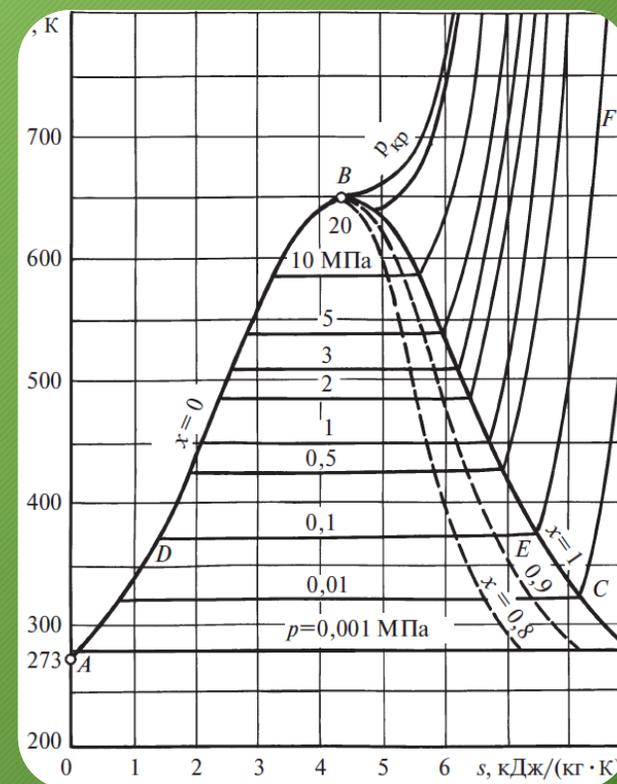
В состав любой паропроизводящей установки входит ряд теплообменных узлов и элементов. Эти узлы и элементы по большей части являются поверхностными и рекуперативными по принципу действия. Основные способы передачи тепла - излучение и конвекция.

НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРОПРОИЗВОДЯЩИХ УСТАНОВОК

5

Этапы генерации пара

1. Нагрев воды («горячая вода»)
2. Парообразование (испарение)
(«пароводяная смесь» **насыщенный пар**)
3. Перегрев пара («**перегретый пар**»)



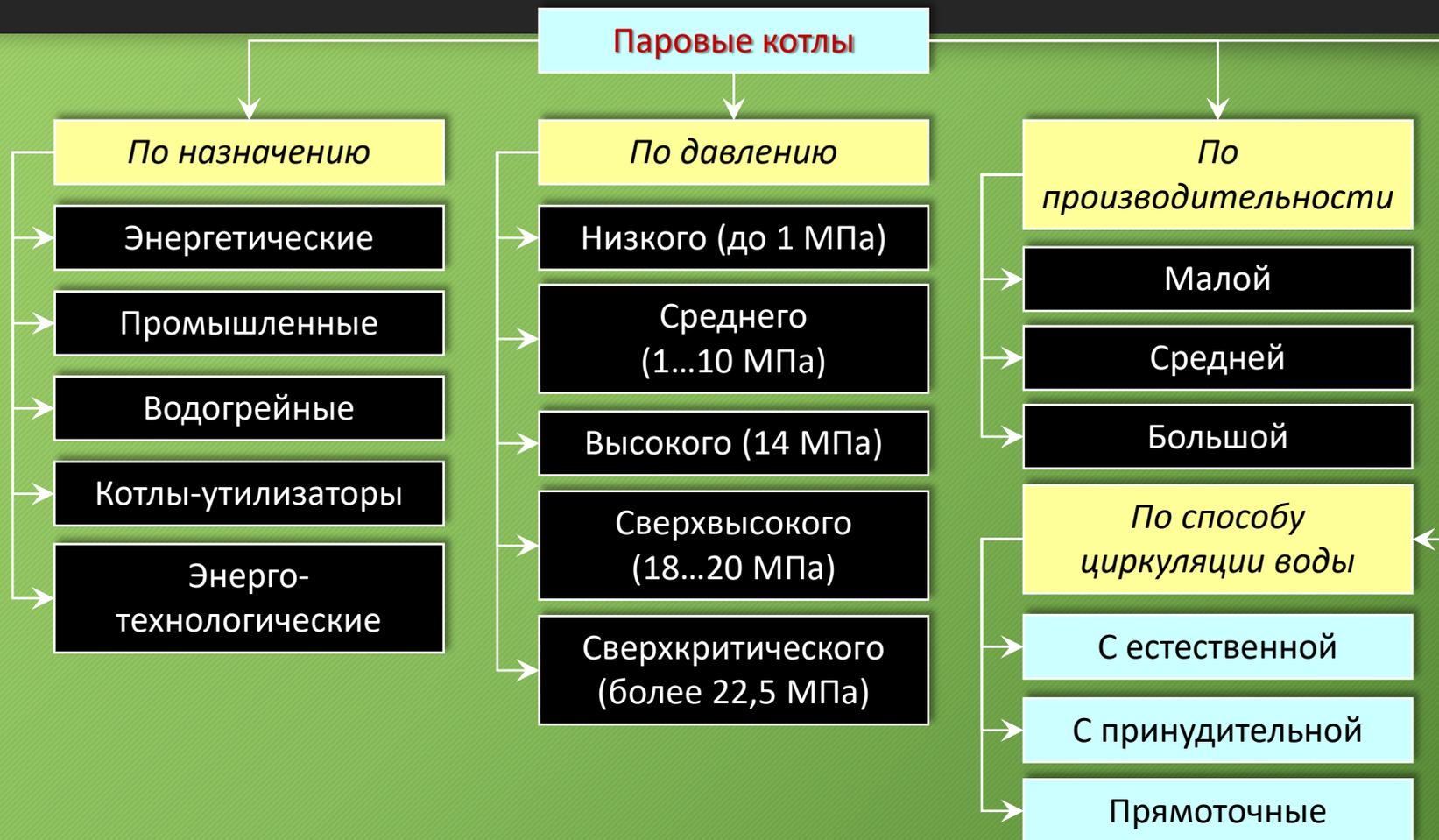
TS - диаграмма водяного пара

ТЕМА 2.1 КОТЛЫ

6

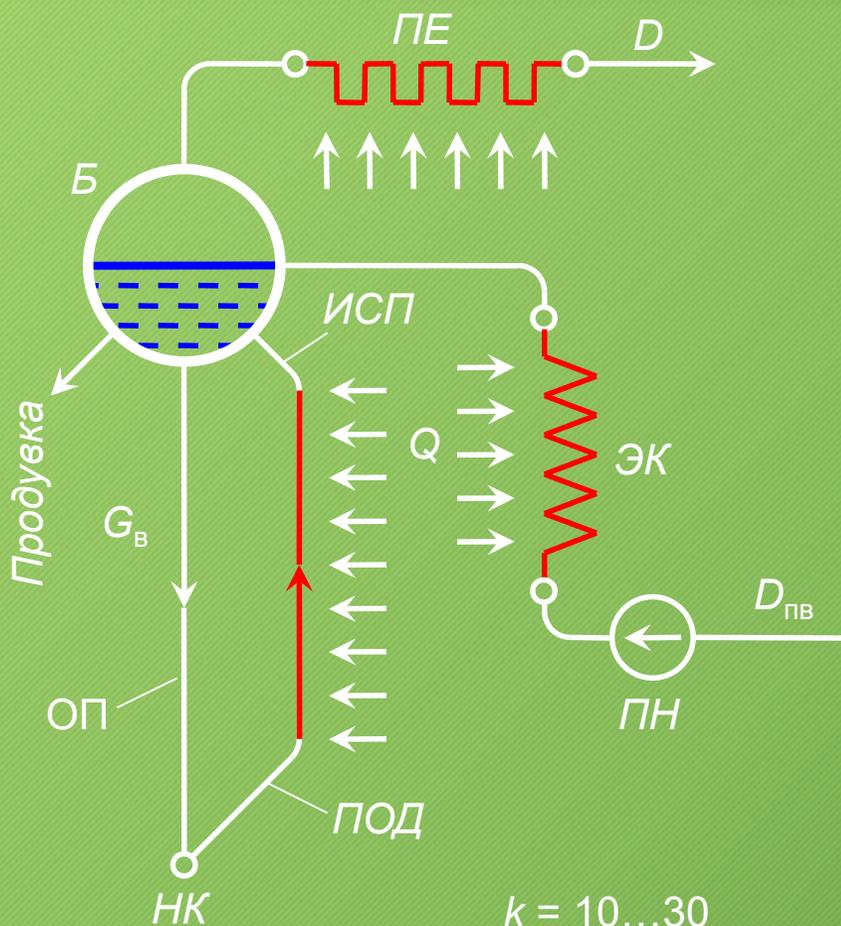
КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

7



ЕСТЕСТВЕННАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ

8



Б – барабан, ИСП – испарительные поверхности, ПЕ – пароперегреватель, ЭК – водяной экономайзер, ПН – питательный насос, НК – нижний коллектор, ОП – опускные трубы, ПОД – подъемные трубы.

D - расход пара,
 $D_{пв}$ - расход питательной воды,
 Q - подвод тепла

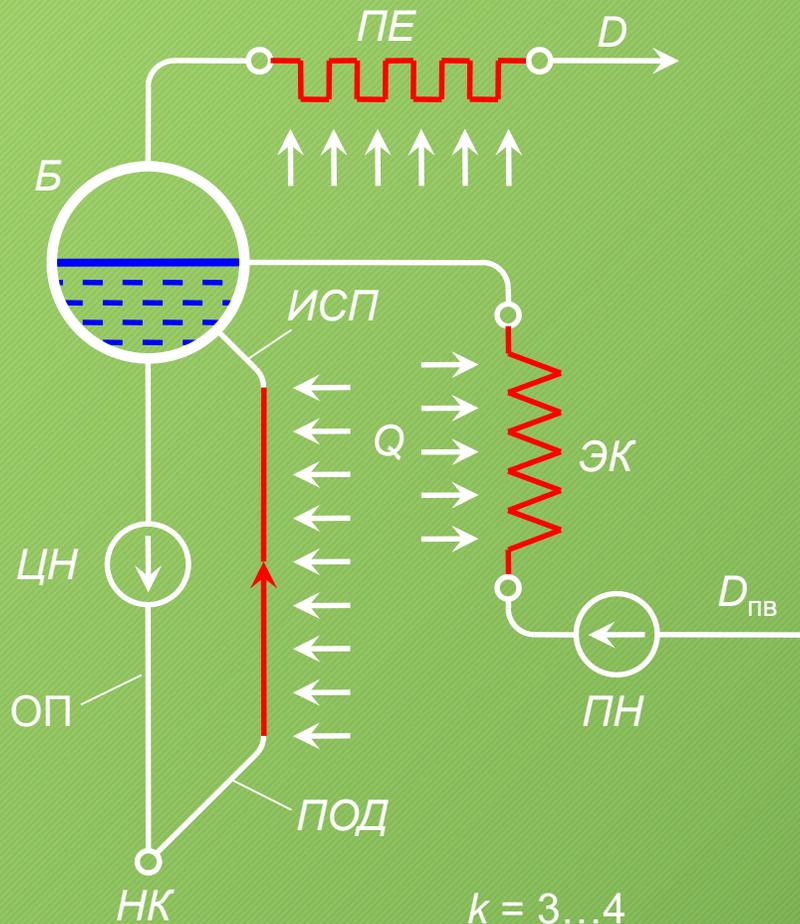
Движущий напор: $S = hg(\rho_B - \bar{\rho}_{см})$

Кратность циркуляции: $k = G_B/D$

$k = 10...30$

МНОГОКРАТНАЯ ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ

9

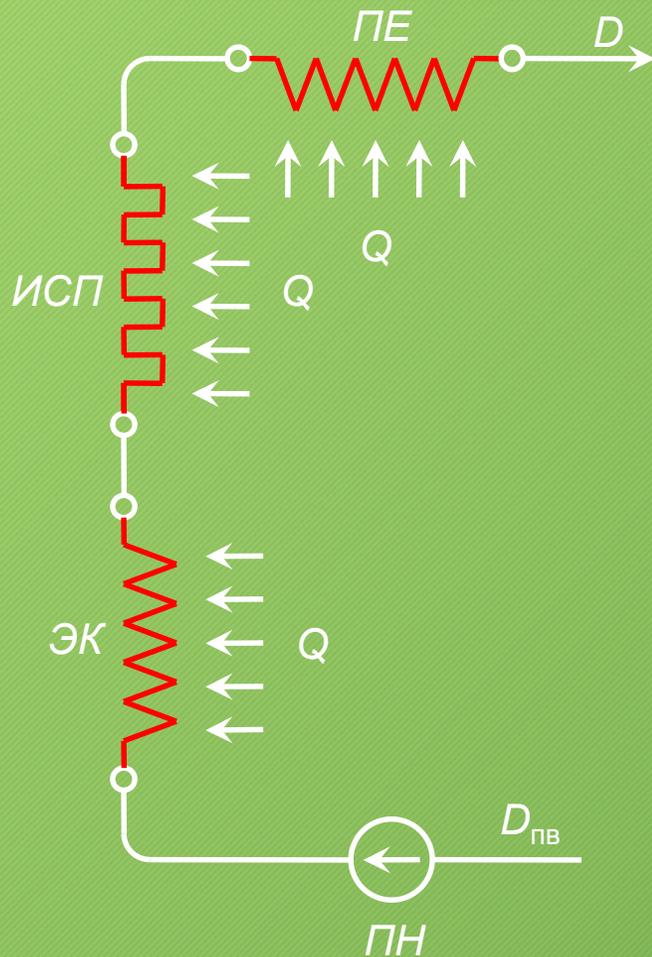


Б – барабан, ИСП – испарительные поверхности, ПЕ – пароперегреватель, ЭК – водяной экономайзер, ПН – питательный насос, НК – нижний коллектор, ОП – опускные трубы, ПОД – подъемные трубы.

Отличается наличием в контуре **специальных циркуляционных насосов (ЦН)**

ПРЯМОТОЧНЫЕ ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

10

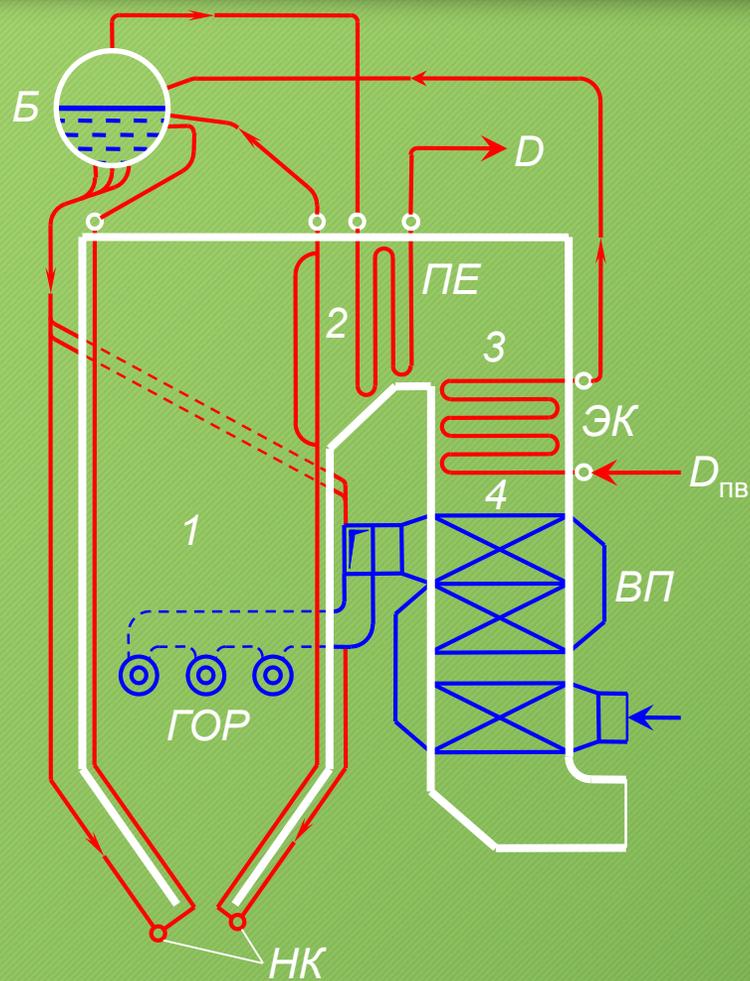


Б – барабан, ИСП – испарительные поверхности, ПЕ – пароперегреватель, ЭК – водяной экономайзер, ПН – питательный насос, НК – нижний коллектор, ОП – опускные трубы, ПОД – подъемные трубы.

Принципиально отличаются тем, что поступающая в испарительный тракт вода на выходе из него полностью превращается в пар, т.е. в этом случае **кратность циркуляции $k = 1$** .

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА БАРАБАННОГО КОТЛА

11



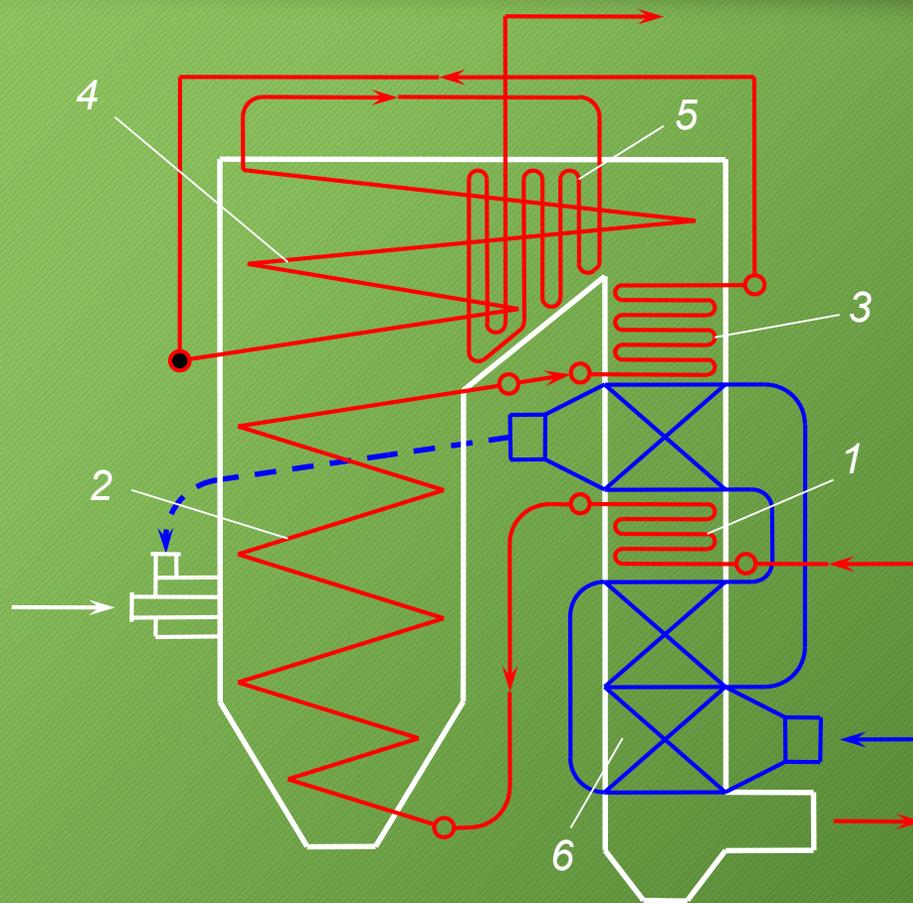
- 1 - Топочная камера
- 2 - Горизонтальный газоход
- 3 - Поворотная камера
- 4 - Конвективная шахта

ЭК – экономайзер, Б – барабан, НК – нижние коллектора, ПЕ – пароперегреватель, ВП – воздухоподогреватель, ГОР – горелки

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛА

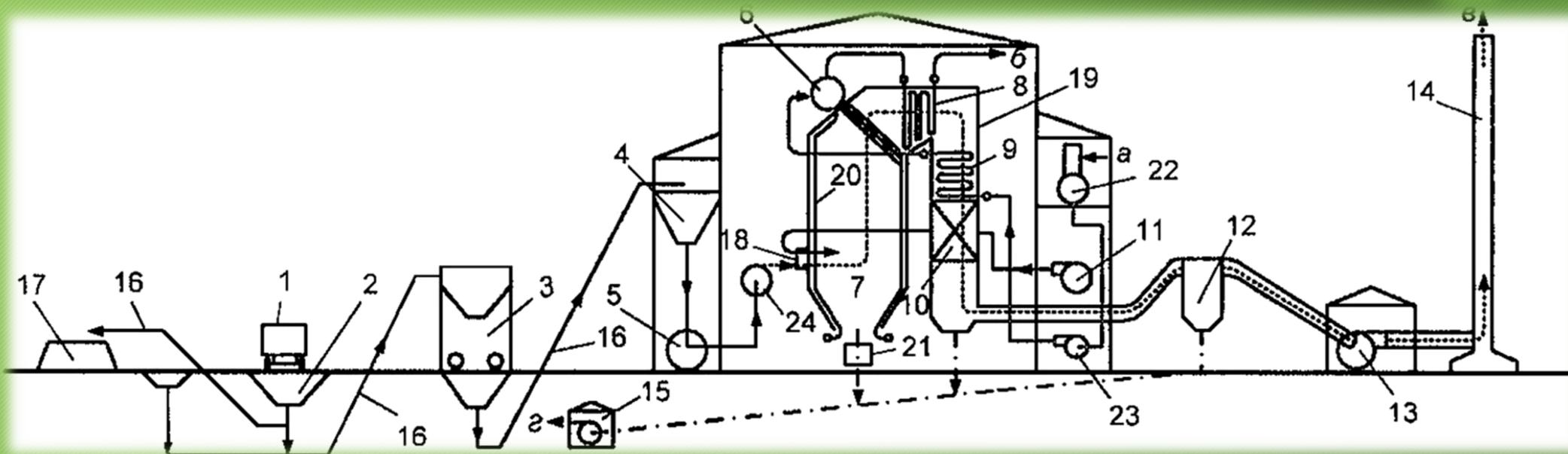
12

- 1 - Водяной экономайзер
- 2 - Нижняя радиационная часть
- 3 - Переходная зона
- 4 - Верхняя радиационная часть
- 5 - Конвективный перегреватель
- 6 - Воздухоподогреватель



Технологические тракты и узлы котельных установок

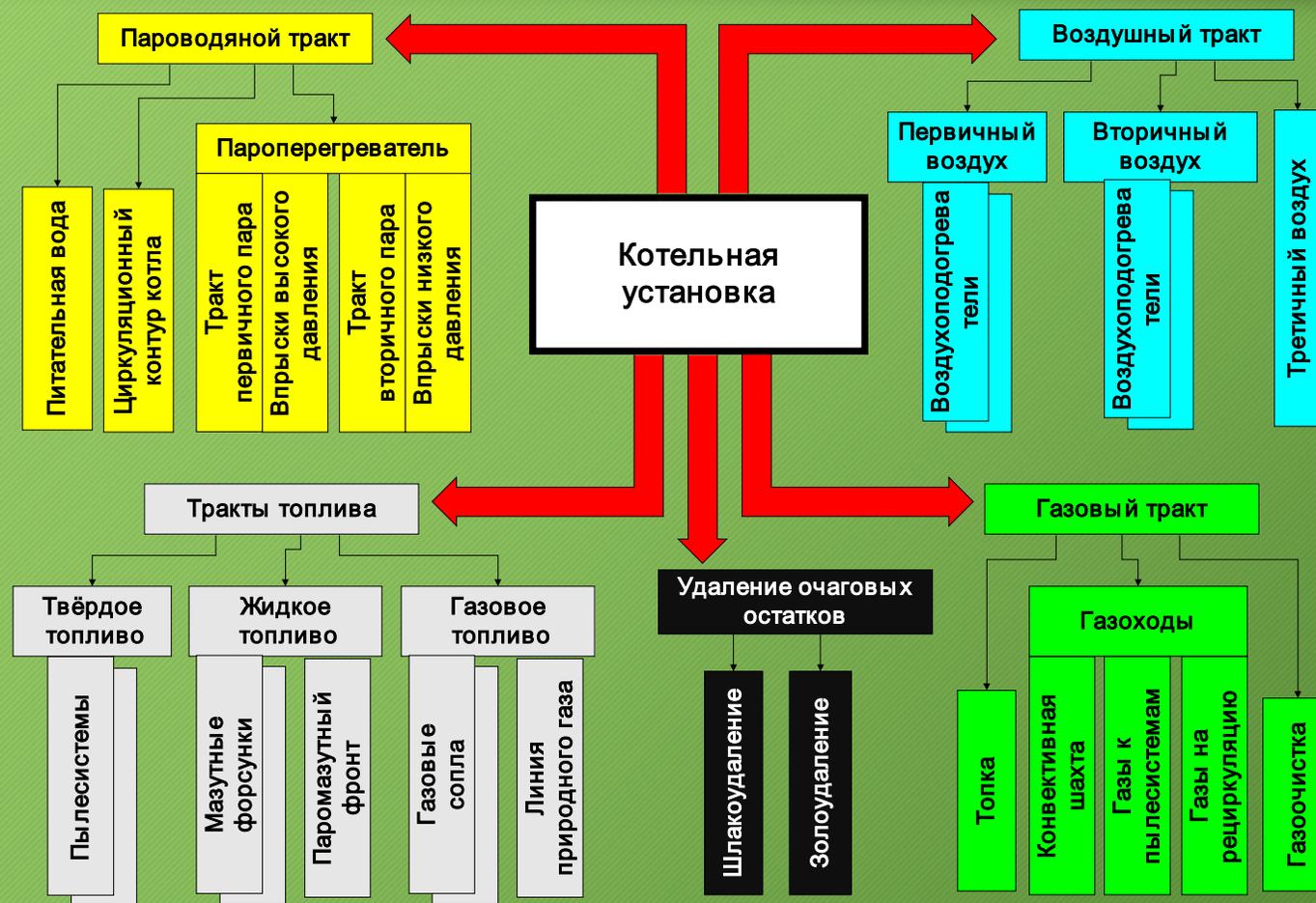
13



1 – вагон с топливом; 2 – бункер разгрузочного устройства; 3 – дробилка; 4 – бункер сырого угля; 5 – мельничное устройство; 6 – барабан; 7 – топочная камера; 8 – пароперегреватель; 9 – водяной экономайзер; 10 – воздухоподогреватель; 11 – дутьевой вентилятор; 12 – золоуловитель; 13 – дымосос; 14 – дымовая труба; 15 – багерный насос; 16 – ленточный транспортер; 17 – штабель угля; 18 – горелки; 19 – паровой котел; 20 – экраны; 21 – устройство шлакоудаления; 22 – деаэратор; 23 – питательный насос; 24 – мельничный вентилятор; а – питательная вода; б – перегретый пар; в – продукты сгорания; г – шлак и зола

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРАКТЫ И УЗЛЫ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

14



ОСНОВНЫЕ ТРАКТЫ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

15

- **топливный тракт** - комплекс элементов, в котором осуществляется подача, дробление и размол твердого топлива, его транспортировка и подача в топочную камеру для сжигания; топливный тракт включает дробильное оборудование, транспортеры, бункер дробленого топлива, углеразмольную мельницу и соединяющие ее с топочной камерой пылепроводы; до бункеров дробленки топливо перемещается конвейерами; сопротивление по топливному тракту, начиная с мельницы, преодолевается напором, создаваемым вентилятором
- **водопаровой тракт** - система последовательно включенных элементов оборудования, в которых движется питательная вода, пароводяная смесь и перегретый пар; водопаровой тракт включает следующие элементы оборудования: экономайзер, топочные экраны и пароперегреватели

ОСНОВНЫЕ ТРАКТЫ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

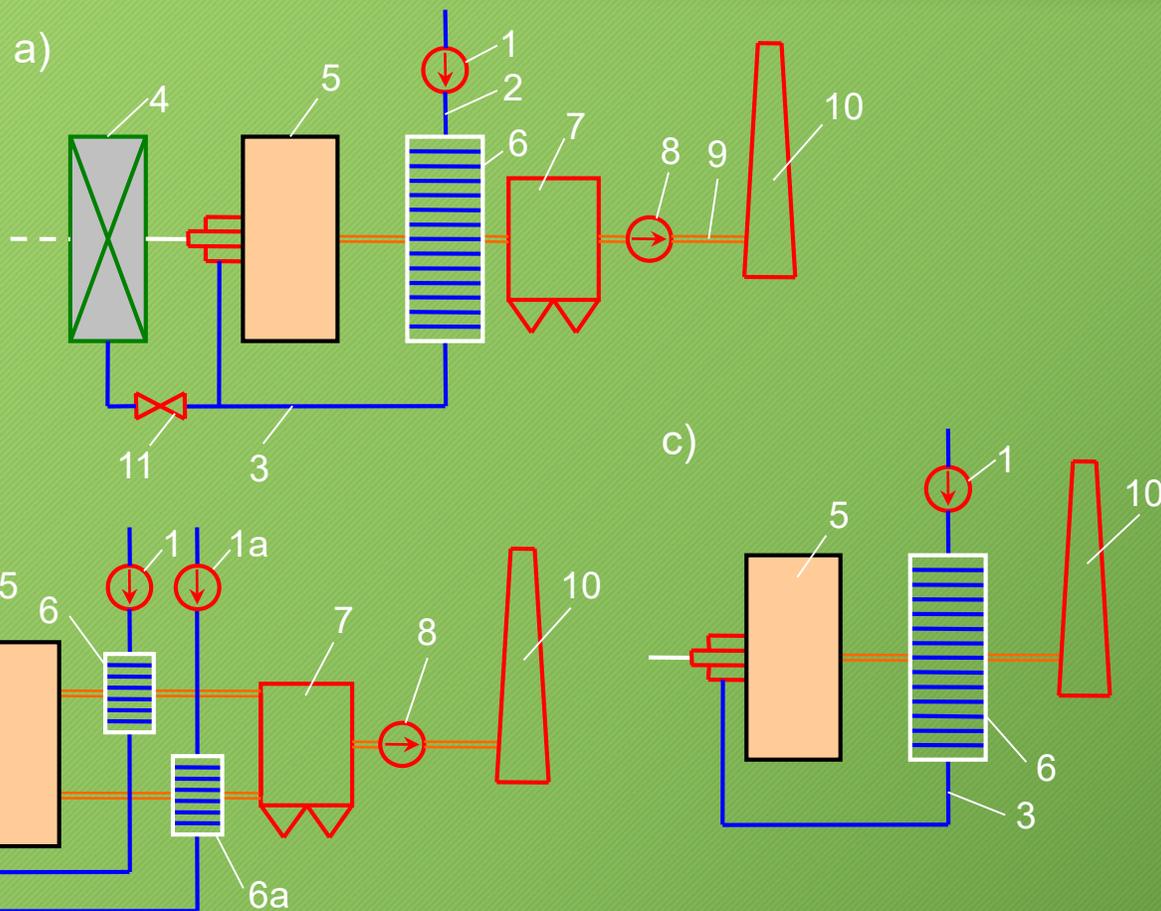
16

- **воздушный тракт** - комплекс оборудования для приемки атмосферного (холодного) воздуха, его подогрева, транспортировки и подачи в топочную камеру; воздушный тракт включает короб холодного воздуха, воздухоподогреватель (воздушная сторона), короб горячего воздуха и горелочные устройства
- **газовый тракт** - комплекс элементов оборудования, по которому осуществляется движение продуктов сгорания до выхода в атмосферу; он начинается в топочной камере, проходит через пароперегреватели, экономайзер, воздухоподогреватель (газовая сторона), золоуловитель и заканчивается дымовой трубой



ОСНОВНЫЕ ТРАКТЫ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

17



а) простейшая схема с уравновешанной тягой (котел пылеугольный); б) схема с разделенным воздухоподогревателем; в) схема под наддувом без дымососов (газомазутные котлы); 1 - дутьевой вентилятор; 1а - вентилятор первичного воздуха; 2 - воздухопроводы холодного воздуха; 3 - воздухопроводы горячего воздуха; 4 - пылеприготовительная установка; 5 - парогенератор; 6 - воздухоподогреватель; 6а - воздухоподогреватель для пылеприготовительной установки; 7 - золоуловитель; 8 - дымосос; 9 - внешние газоходы; 10 - дымовая труба; 11 - дроссельный шибер

ТЕМА 2.2 ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

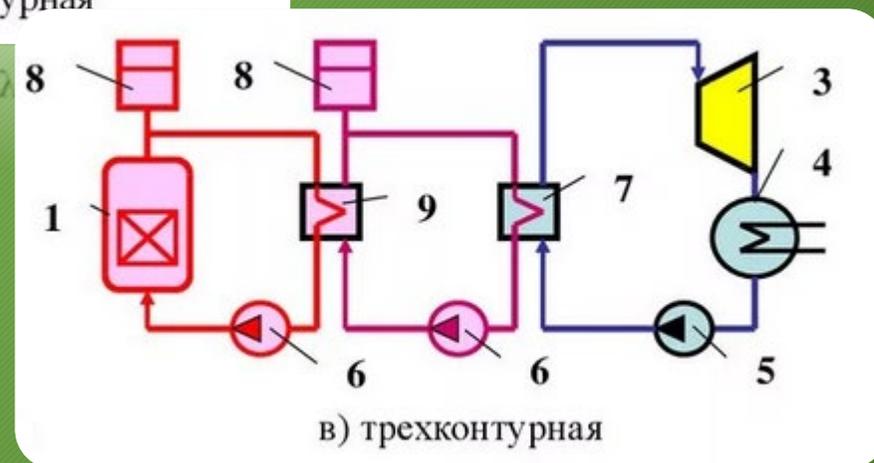
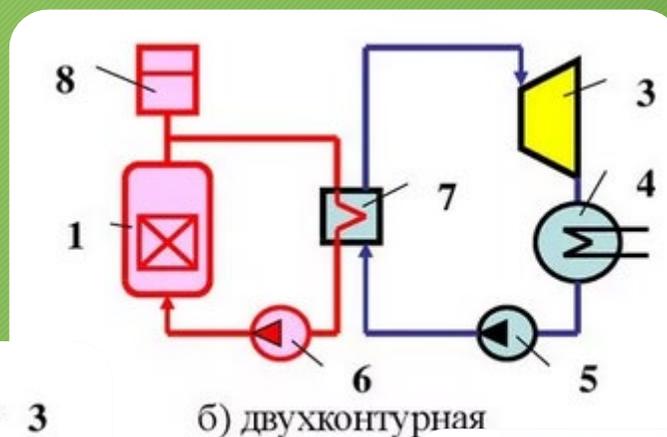
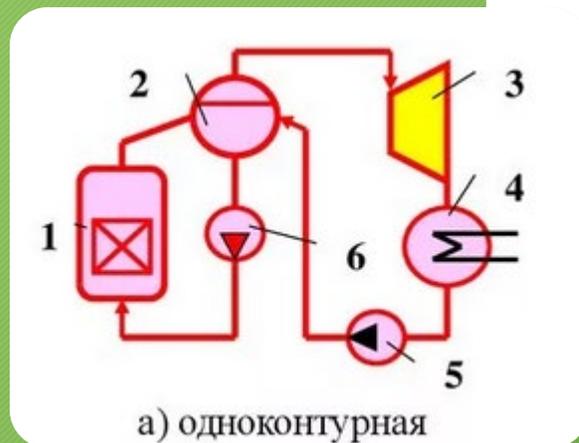
18

ТЕПЛОВАЯ СХЕМА АЭС

19

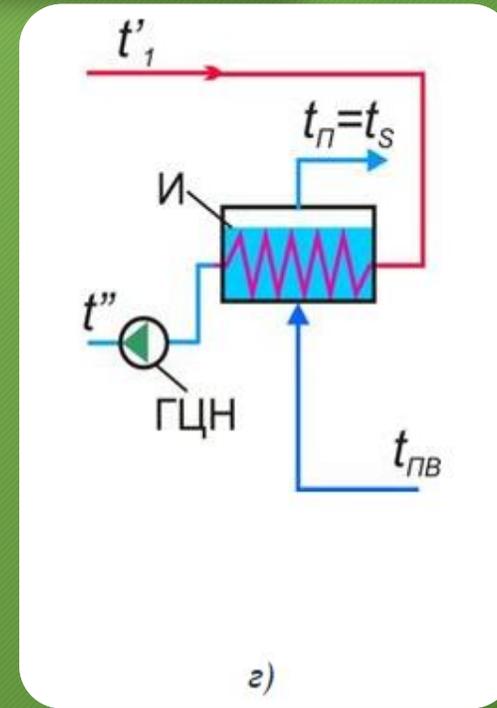
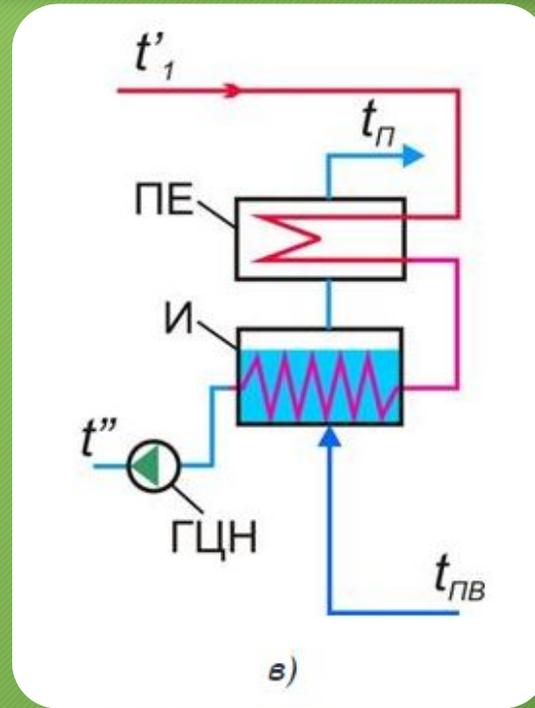
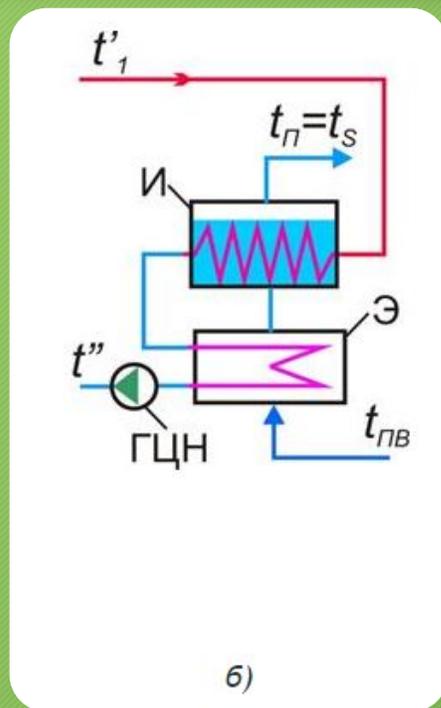
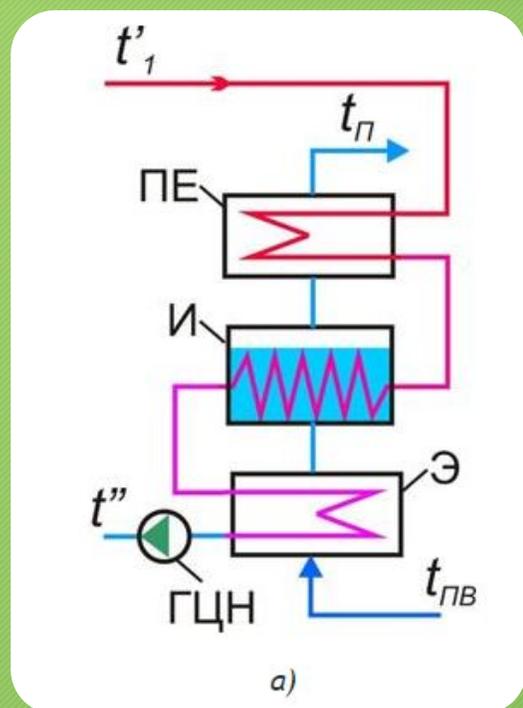
Принципиальные схемы АЭС

- 1 – реактор;
- 2 – барабан (сепаратор);
- 3 – паровая турбина;
- 4 – конденсатор;
- 5 – питательный насос;
- 6 – ГЦН;
- 7 – парогенератор;
- 8 – компенсатор давления;
- 8 – теплообменник



ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

20

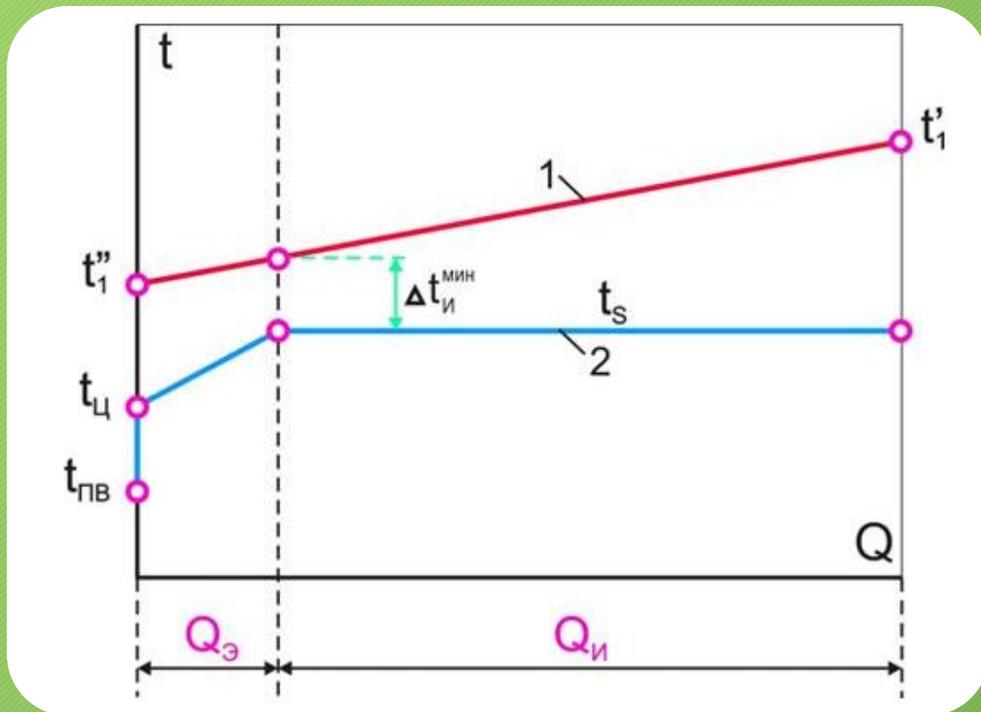


Теплотехнические схемы парогенераторных установок двухконтурных АЭС с ВВЭР:

а - с пароперегревателем и водяным экономайзером; **б** - без водяного экономайзера с пароперегревателем; **в** - без перегрева пара с водяным экономайзером; **г** - без перегрева пара и без водяного экономайзера; Э - экономайзер; И - испаритель; ПЕ - перегреватель (первичный); ГЦН - главный циркуляционный насос

ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

21



Тепловая диаграмма ПГ насыщенного пара с экономайзерным участком:

1 - изменение температуры теплоносителя; 2 - изменение температуры рабочего тела

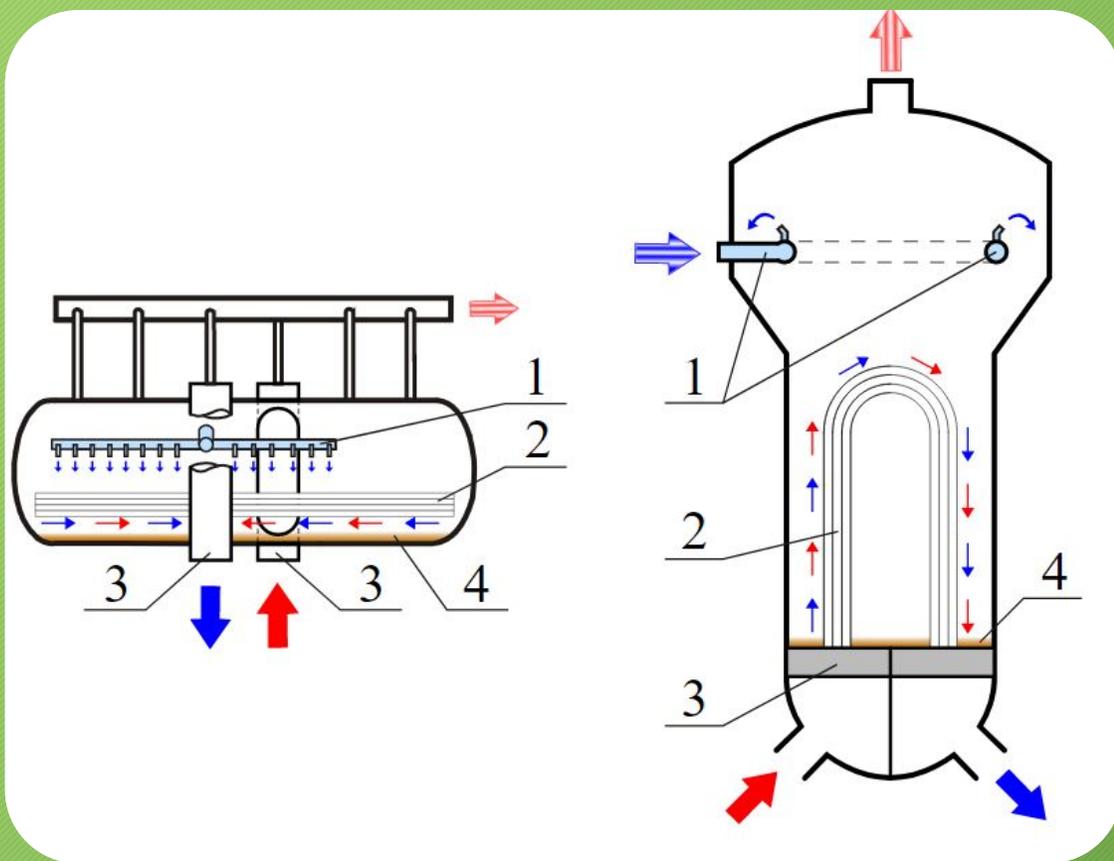
КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ

22

- по **виду первичного теплоносителя** — с водным, жидкометаллическим, газовым;
- по **организации движения рабочего тела** в испарителе — с многократной естественной циркуляцией, с многократной принудительной циркуляцией, прямоточные;
- по **типу корпуса**, в котором располагается теплообменная поверхность — корпусные (кожухо-трубные) и типа «труба в трубе»;
- по **количеству корпусов** (корпусные) — однокорпусные, многокорпусные, секционные, секционно-модульные;
- по **особенностям компоновки** — горизонтальные и вертикальные

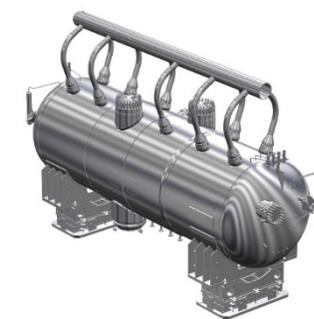
ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

23



Горизонтальный и вертикальный парогенератор

- 1 — коллектор питательной воды (вход 2-го контура)
- 2 — теплообменные трубки (внутри 1-й контур)
- 3 — вертикальные коллектора (горизонтальный ПГ) и горизонтальная трубная доска (вертикальный ПГ)
- 4 — наиболее вероятные места скопления шлама



ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

24

Парогенератор представляет собой **рекуперативный теплообменный аппарат**, в котором тепловая энергия передаётся от **теплоносителя** первого контура к **рабочему телу** второго контура через поверхность теплообмена и таким образом генерируется пар, питающий турбину. При трёхконтурной схеме (реактор на быстрых нейтронах) имеются также **промежуточные теплообменники**.

см. Тему
«теплообменные
аппараты»!

