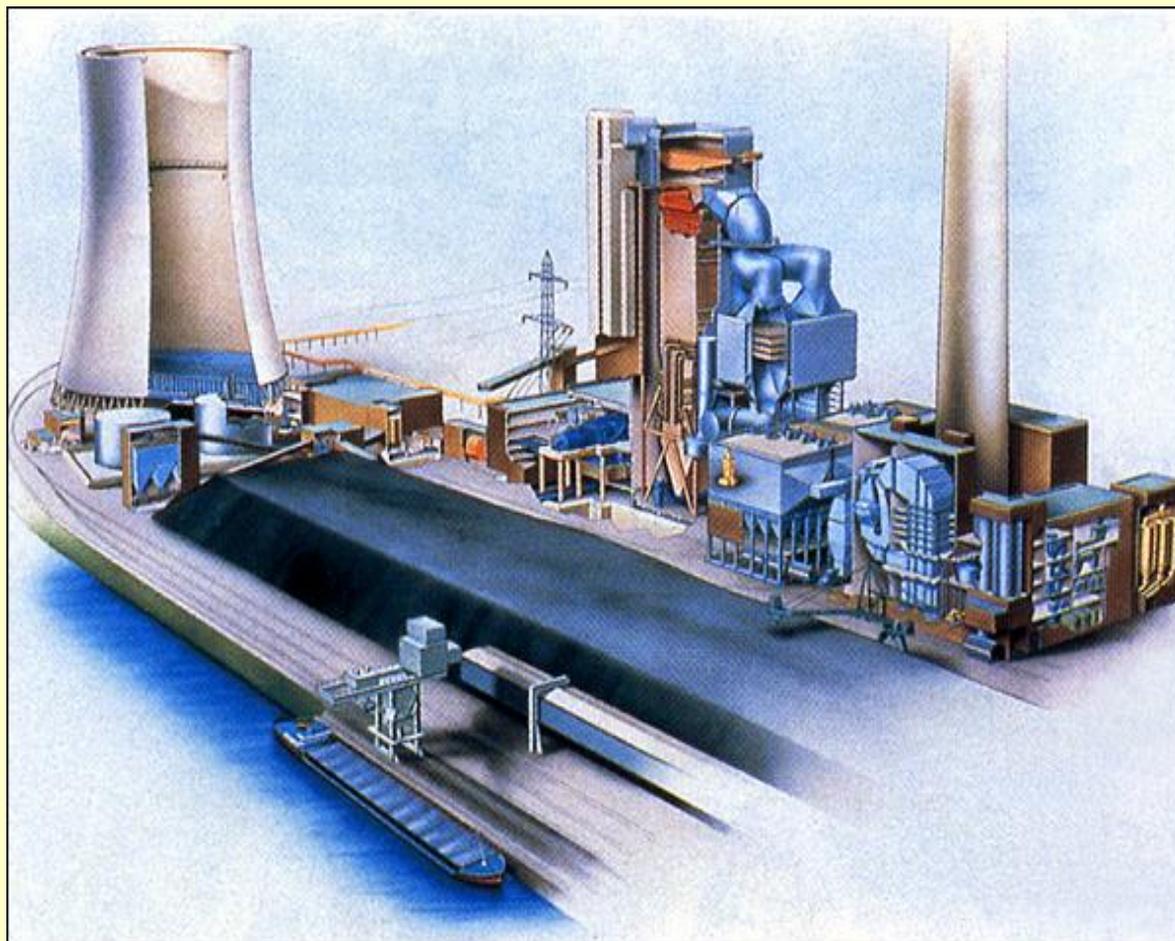


Тепловые и атомные электрические станции



Лектор – Матвеев Александр Сергеевич

Лекции – 32 часа (16 лекций)

ПР – 32 часов (16 практик)

ЛБ – 32 часов (16 ЛБ)

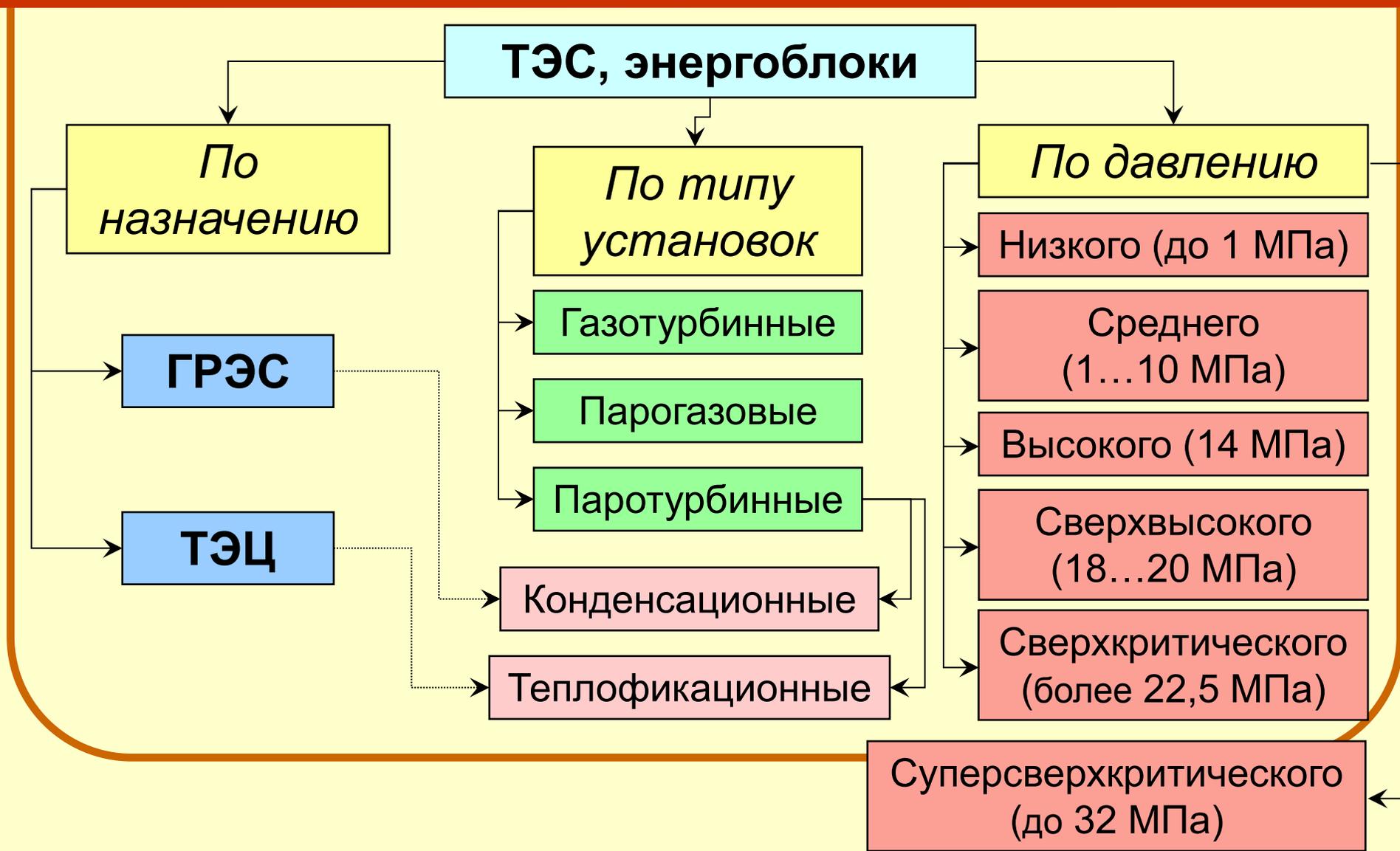
Самост. работа – 108 часов

Форма отчетности – ЗАЧЕТ, ЭКЗАМЕН

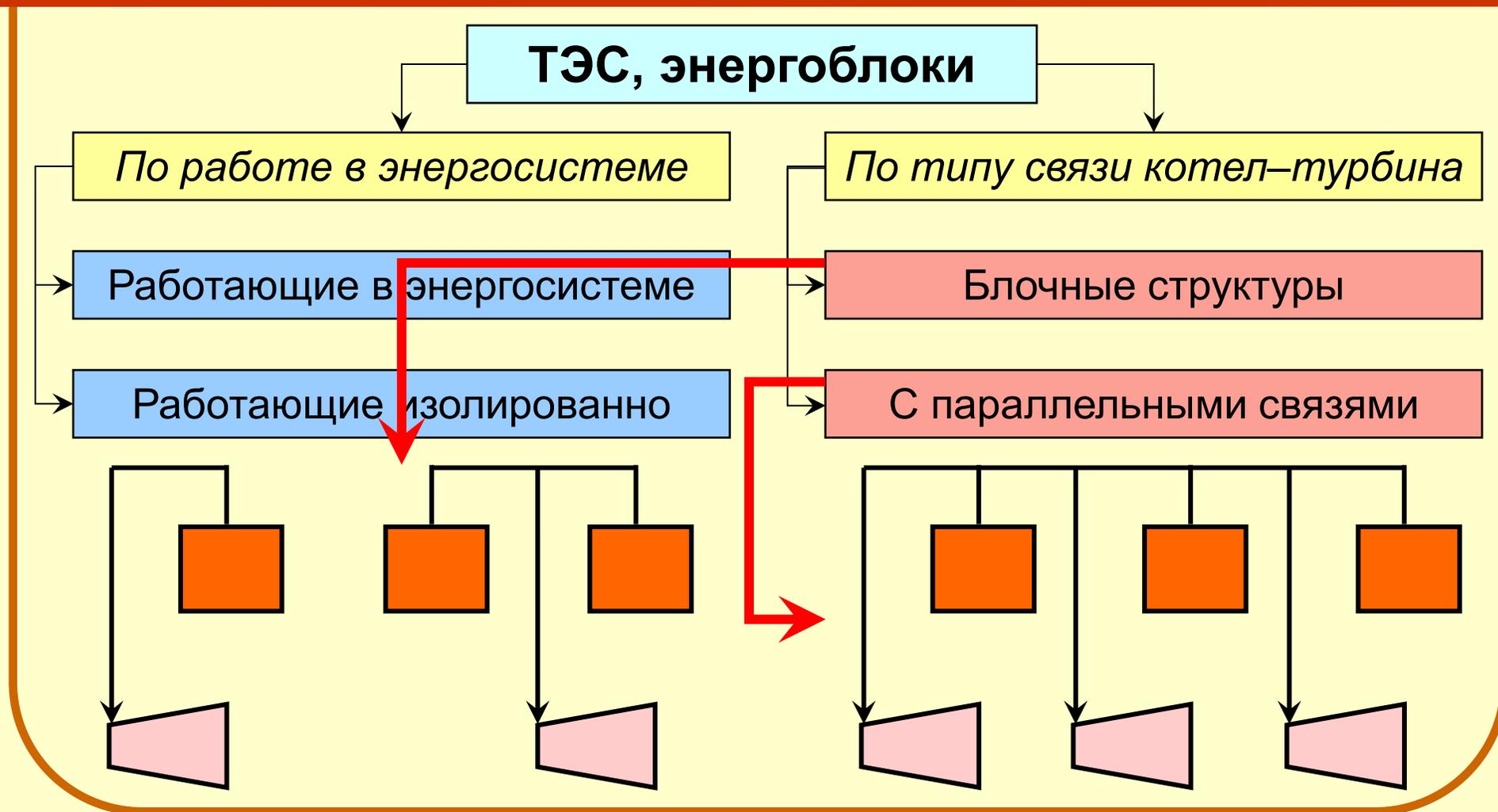
Литература основная

1. **Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: Учебник для вузов / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин.** – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 416 с.
– М.: Изд. МЭИ, 2004. – 424 с.
2. **Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов / Под ред. В.Я. Гиршфельда.** – М: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.

Классификация ТЭС и энергоблоков



Классификация ТЭС и энергоблоков



Классификация ТЭС и энергоблоков

ТЭС, энергоблоки

По типу теплового двигателя

С паровыми турбинами

С газовыми турбинами

С парогазовыми установками

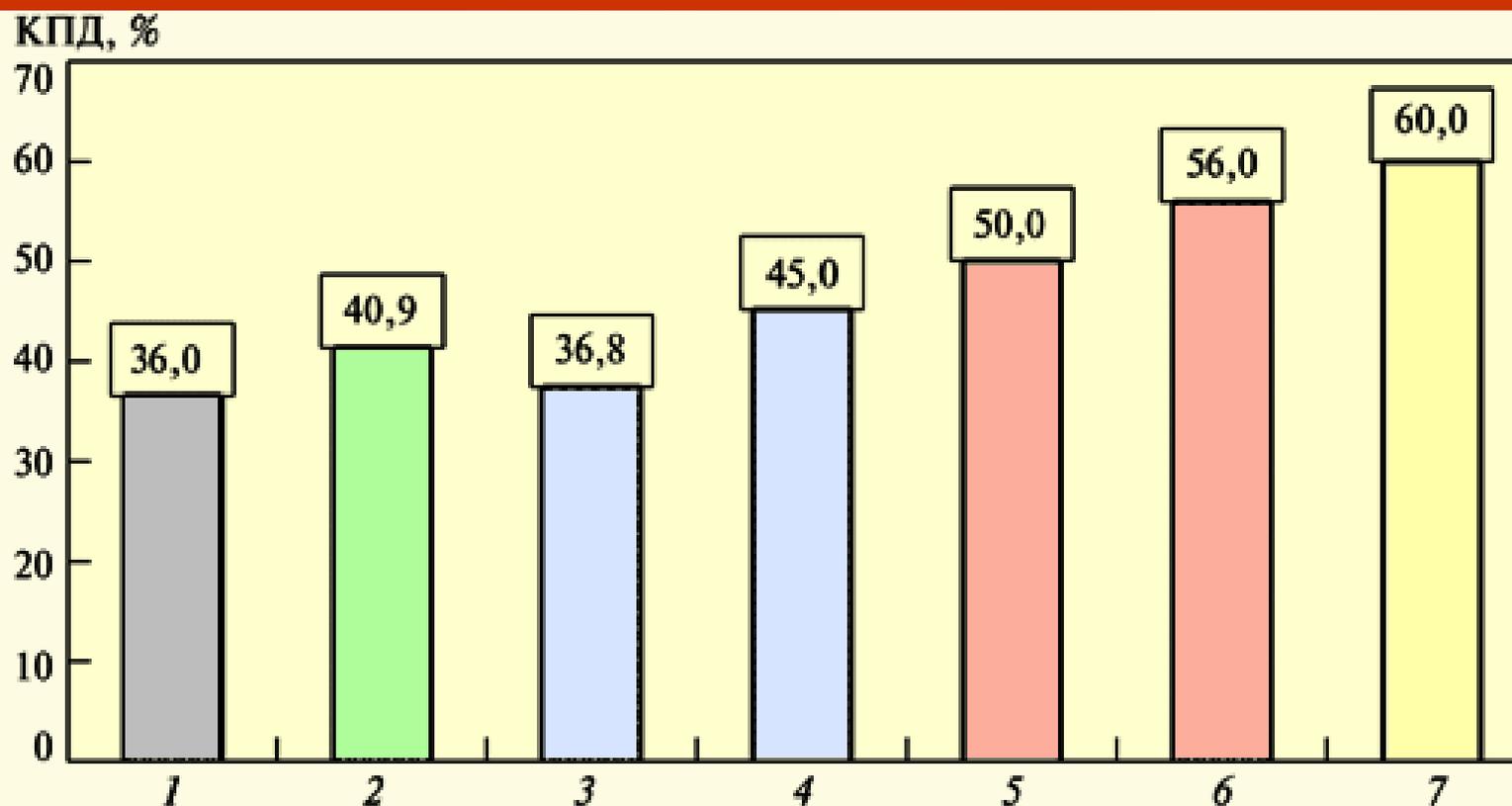
С дизельными двигателями

*По типу системы
технического водоснабжения*

Прямоточная система
технического водоснабжения
(реки, водохранилища, моря)

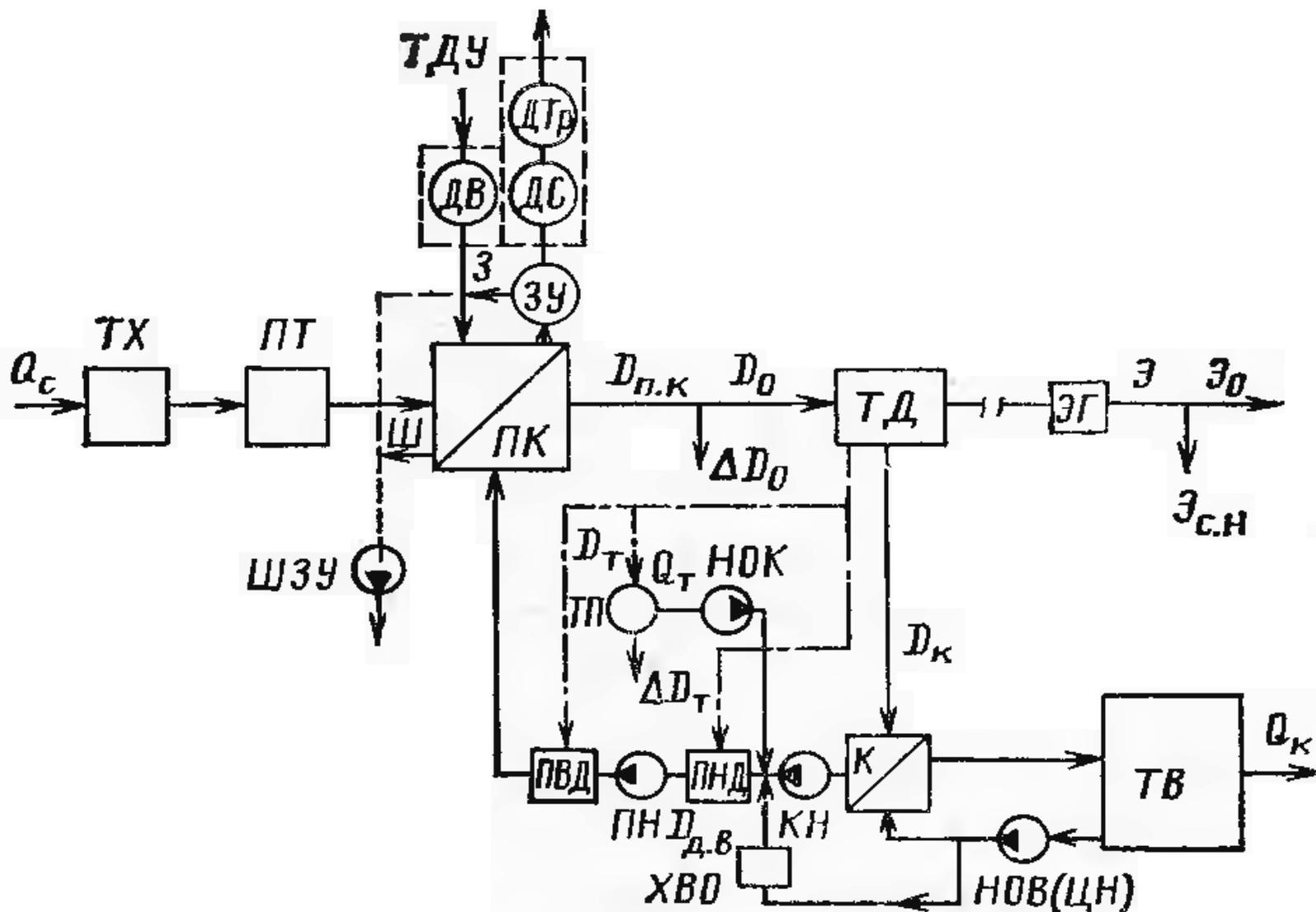
Оборотная система технического
водоснабжения
(пруды-охладители, градирни, брызгальные
бассейны)

Сравнение экономичности некоторых типов энергоблоков



1 — средний КПД по ТЭС России; 2 — КПД газомазутного энергоблока 800 МВт Нижневартовской ГРЭС; 3 — средний КПД пылеугольных энергоблоков 500 МВт Рефтинской ГРЭС; 4 — средний КПД зарубежных пылеугольных энергоблоков нового поколения на повышенные параметры пара; 5 — КПД ПГУ-450Т Северо-Западной ТЭЦ при работе в конденсационном режиме; 6 — «стандартная» западная ПГУ утилизационного типа; 7 — перспективные западные ПГУ

Принципиальная технологическая схема электростанции



Принципиальная технологическая схема электростанции

ТХ - топливное хозяйство;

ПТ - подготовка топлива;

ПК - паровой котел;

ТД - тепловой двигатель
(паровая турбина);

ЭГ - электрический генератор;

ЗУ - золоуловитель;

ДС - дымосос;

ДТр - дымовая труба;

ДВ - дутьевой вентилятор;

ТДУ - тяго-дутьевая установка;

ШЗУ - шлакозолоудаление;

Ш - шлак;

З - зола;

К - конденсатор;

НОВ (ЦН) - насос охлаждающей
воды (циркуляционный насос);

ТВ - техническое водоснабжение;

ПНД и *ПВД* - регенеративные
подогреватели низкого и высокого
давлений;

КН и *ПН* - конденсатный и
питательный насосы;

ТП - тепловой потребитель;

НОК-насос обратного конденсата;

ХВО - химводоочистка;

Принципиальная технологическая схема электростанции

Q_c - расход теплоты топлива на станцию;

D_0 - расход пара на турбину;

$D_{п.к}$ - паровая нагрузка парового котла;

ΔD_0 - потеря пара при транспорте;

D_t - расход пара на внешнего потребителя;

D_k - пропуск пара в конденсатор турбины;

$D_{д.в}$ - расход добавочной воды;

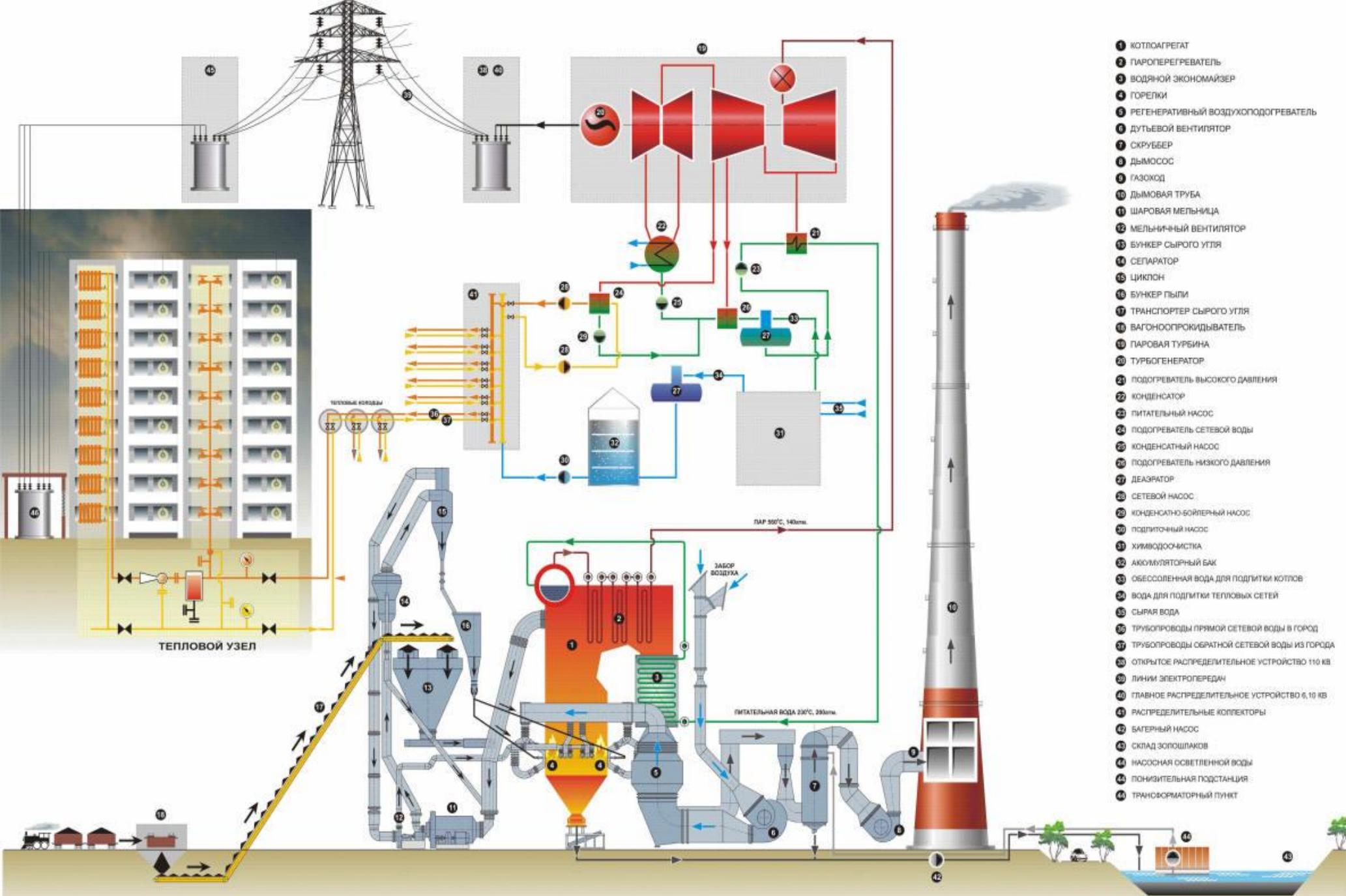
\mathcal{E} - выработка электроэнергии;

\mathcal{E}_o - отпуск электроэнергии;

$\mathcal{E}_{с.н.}$ - собственный расход электроэнергии;

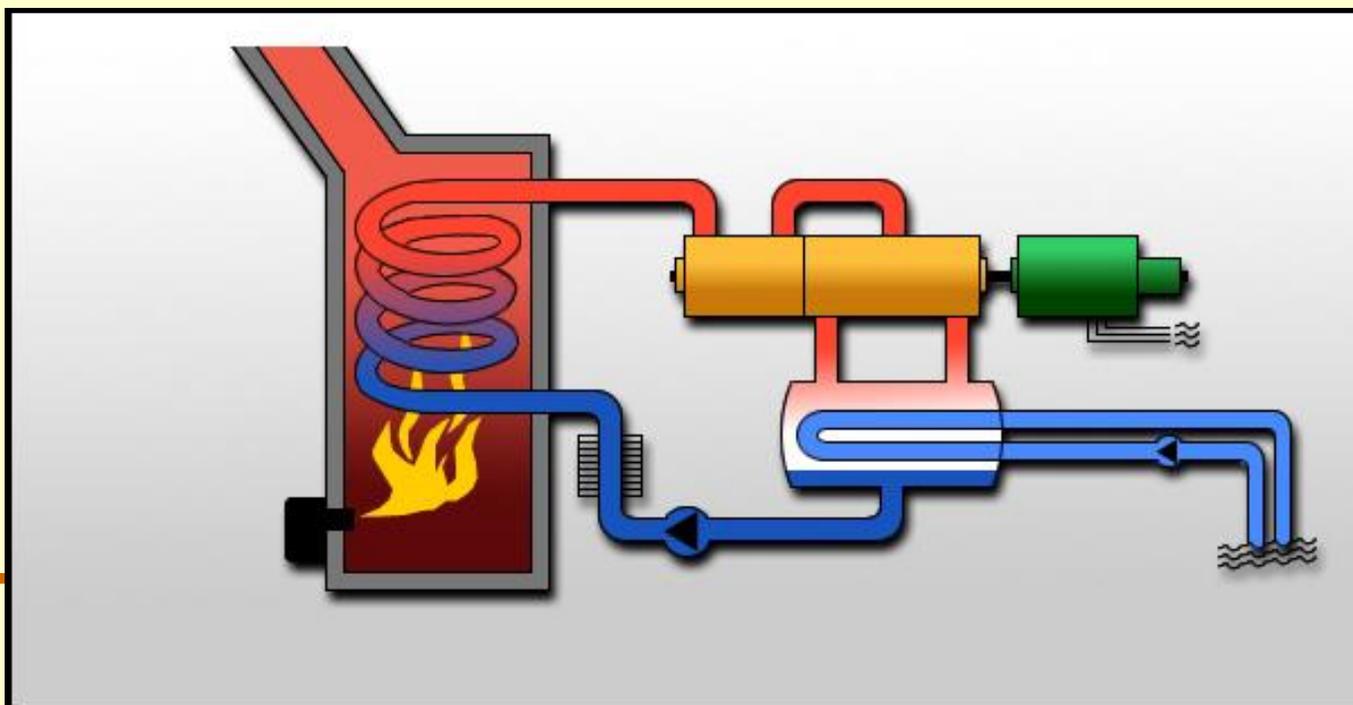
Q_t - отпуск теплоты внешнему потребителю;

Q_k - потеря теплоты в холодном источнике (с охлаждающей водой)

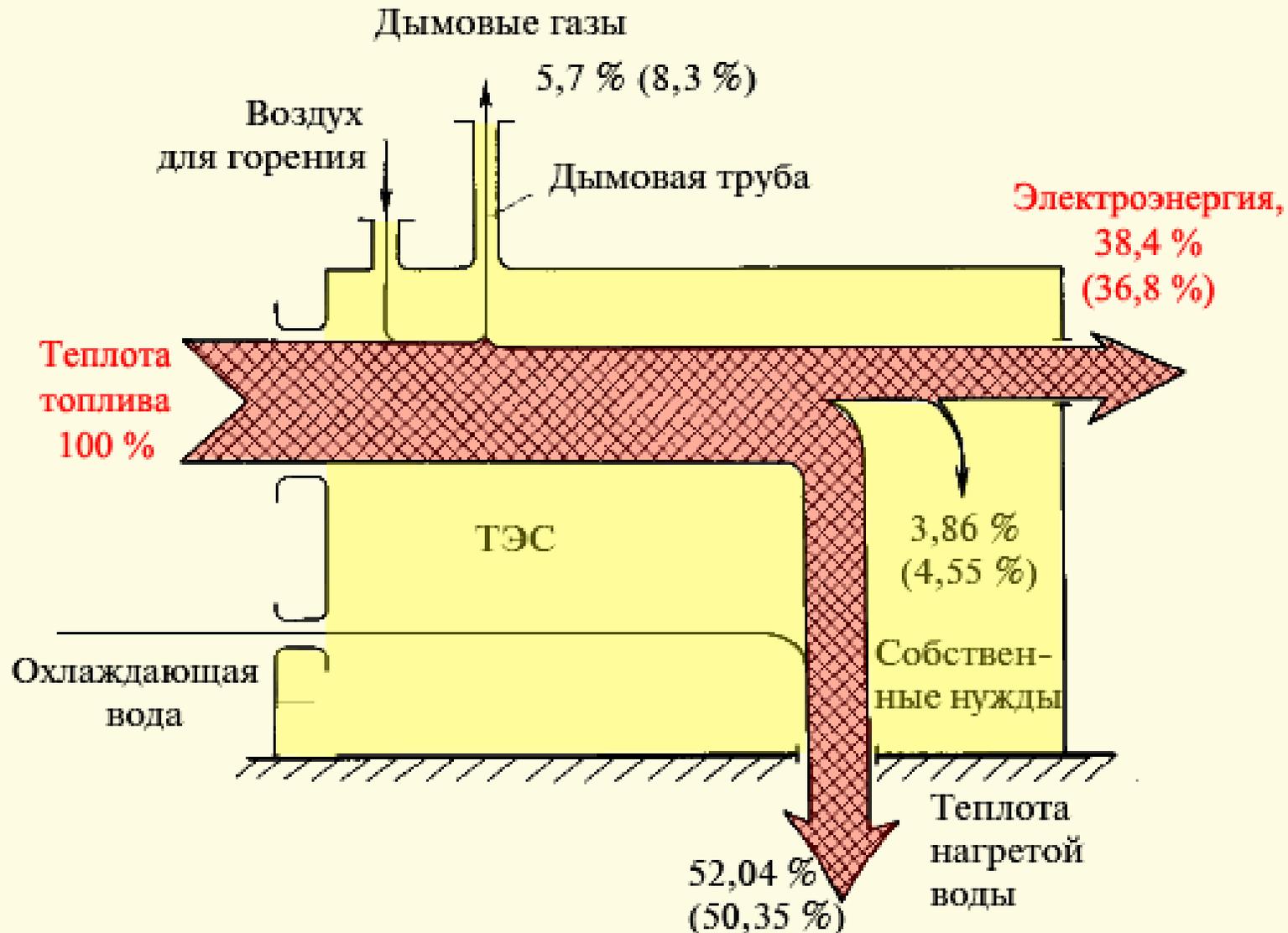


- 1 КОТЛОАГРЕГАТ
- 2 ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ
- 3 ВОДЯНОЙ ЭКОНОМАЙЗЕР
- 4 ГОРЕЛКИ
- 5 РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЬ
- 6 ДУТЬЕВОЙ ВЕНТИЛЯТОР
- 7 СКРУББЕР
- 8 ДЫМОСОС
- 9 ГАЗОХОД
- 10 ДЫМОВАЯ ТРУБА
- 11 ШАРОВАЯ МЕЛЬНИЦА
- 12 МЕЛЬНИЧНЫЙ ВЕНТИЛЯТОР
- 13 БУНКЕР СЫРОГО УГЛЯ
- 14 СЕПАРАТОР
- 15 ЦИКЛОН
- 16 БУНКЕР ПЫЛИ
- 17 ТРАНСПОРТЕР СЫРОГО УГЛЯ
- 18 ВАГОНОПРОКИДЫВАТЕЛЬ
- 19 ПАРОВАЯ ТУРБИНА
- 20 ТУРБОГЕНЕРАТОР
- 21 ПОДОГРЕВАТЕЛЬ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ
- 22 КОНДЕНСАТОР
- 23 ПИТАТЕЛЬНЫЙ НАСОС
- 24 ПОДОГРЕВАТЕЛЬ СЕТЕВОЙ ВОДЫ
- 25 КОНДЕНСАТНЫЙ НАСОС
- 26 ПОДОГРЕВАТЕЛЬ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ
- 27 ДЕАЭРАТОР
- 28 СЕТЕВОЙ НАСОС
- 29 КОНДЕНСАТНО-БОЙЛЕРНЫЙ НАСОС
- 30 ПОДЛИТЧНЫЙ НАСОС
- 31 ХИМВОДООЧИСТКА
- 32 АККУМУЛЯТОРНЫЙ БАК
- 33 ОБЕСОЛЕННАЯ ВОДА ДЛЯ ПОДЛИТКИ КОТЛОВ
- 34 ВОДА ДЛЯ ПОДЛИТКИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ
- 35 СЫРАЯ ВОДА
- 36 ТРУБОПРОВОДЫ ПРЯМОЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ В ГОРОД
- 37 ТРУБОПРОВОДЫ ОБРАТНОЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ ИЗ ГОРОДА
- 38 ОТКРЫТОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО 110 КВ
- 39 ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ
- 40 ГЛАВНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО 6, 10 КВ
- 41 РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ
- 42 БАТЕРЕЙНЫЙ НАСОС
- 43 СКЛАД ЗОЛОШАКОВ
- 44 НАСОСНАЯ ОСВЕЩЕННОЙ ВОДЫ
- 45 ПОНИЗИТЕЛЬНАЯ ПОДСТАНЦИЯ
- 46 ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ПУНКТ

Преобразование энергии на ТЭС



Тепловой баланс газомазутной и пылеугольной (в скобках) ТЭС



Маркировка паровых турбин

ПТ – 135/165 – 130/15

Номинальная электрическая
мощность, МВт

Максимальная электрическая
мощность, МВт

Давление пара в отборе
(противодавление), кгс/см²
Для турбин П, ПТ, Р, ПР

Начальное давление пара, кгс/см²

К – конденсационная

Т – теплофикационная с отопительным отбором пара

П – теплофикационная с производственным отбором пара

ПТ – теплофикационная с производственным и отопительным отбором пара

Р – с противодавлением

ПР, ТР, ТК, КТ

ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

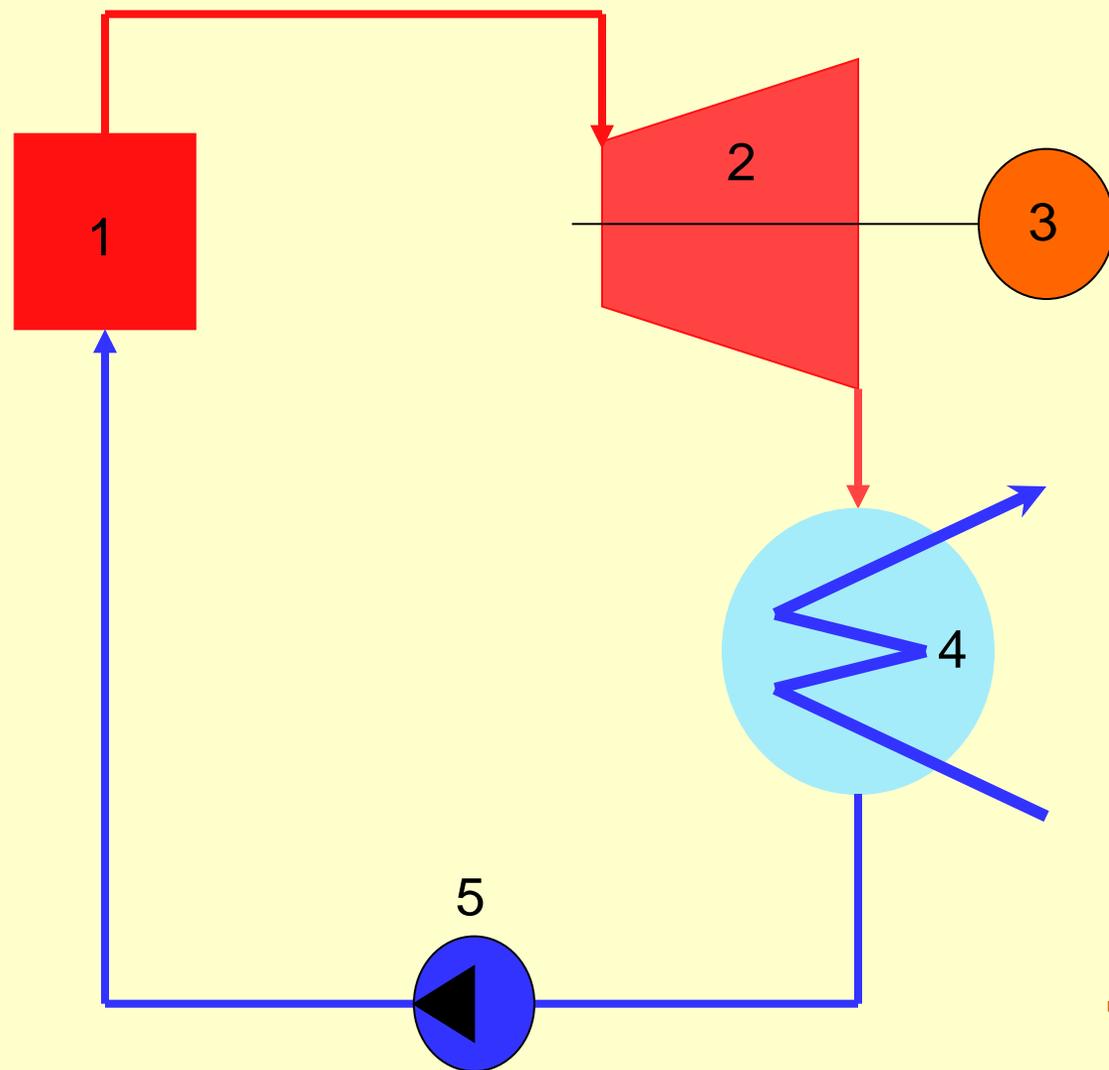
1. Электростанции на органическом топливе:

❖ 1.1. С конденсационными турбоустановками - КЭС

➤ 1.1.1. без промежуточного перегрева пара рис. (а)

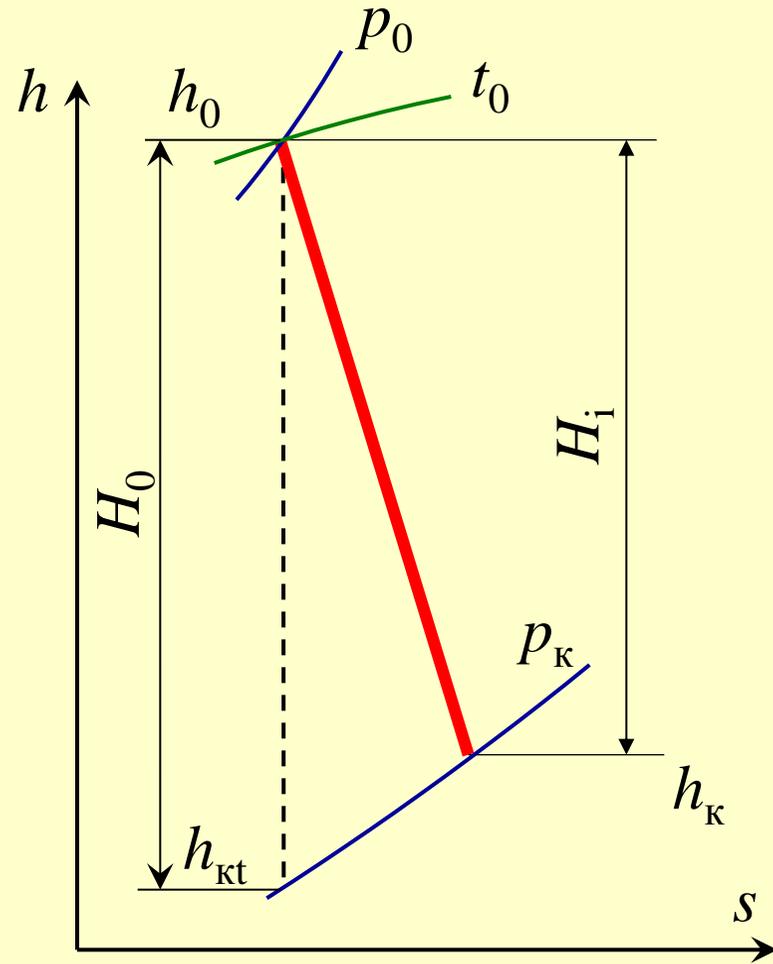
➤ 1.1.2. с промежуточным перегревом пара рис. (б)

Схема КЭС без промперегрева пара



- 1 - паровой котел;
- 2 - паровая турбина;
- 3 - электрогенератор;
- 4 - конденсатор ;
- 5 - конденсатный насос

Процесс расширения пара в турбине на КЭС без промперегрева пара в h - s диаграмме



Если регенеративные отборы отсутствуют:

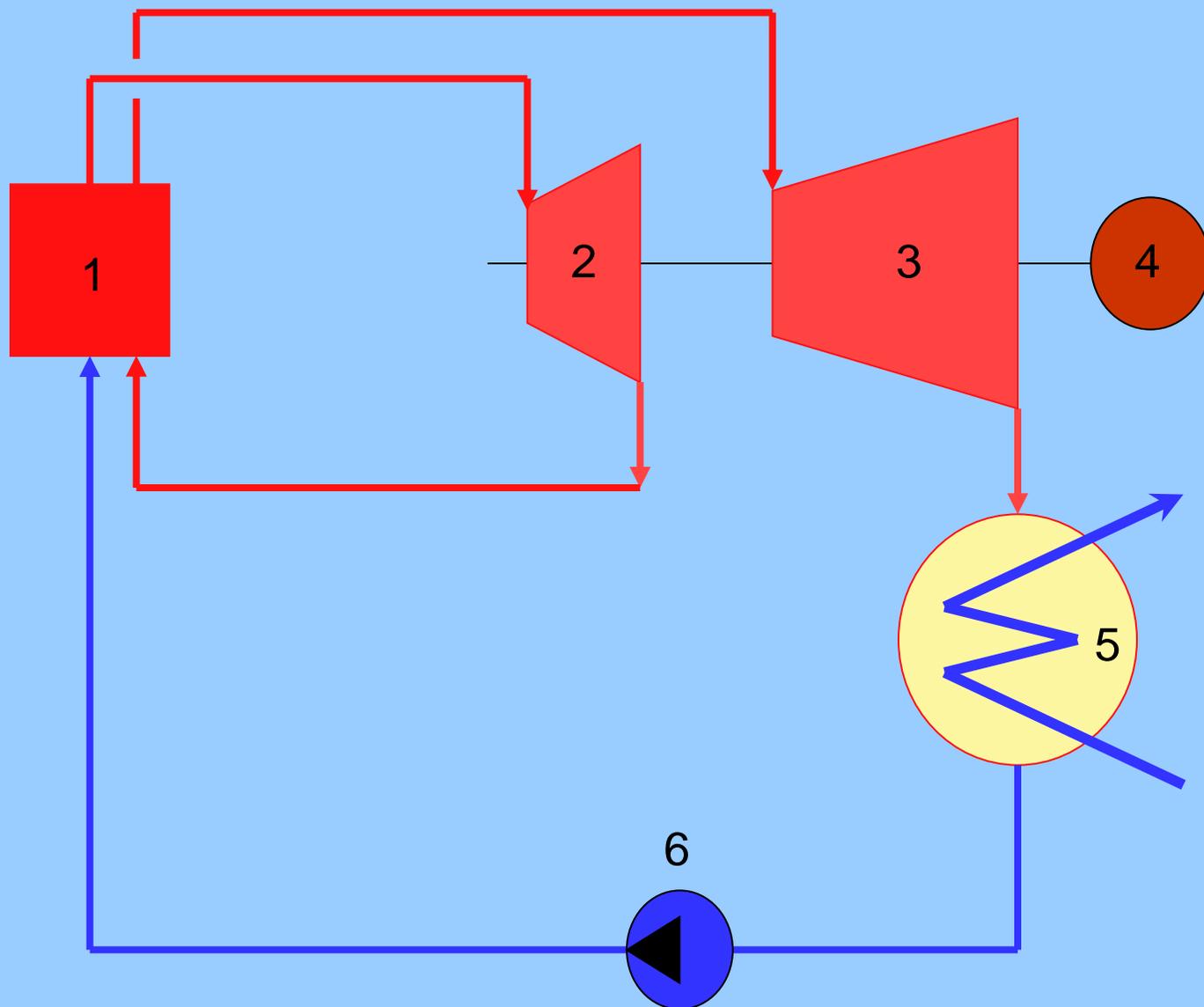
Электрическая мощность турбины:

$$N_{\text{э}} = D_0 \cdot (h_0 - h_k) = D_0 \cdot H_i$$

Расход пара в конденсатор:

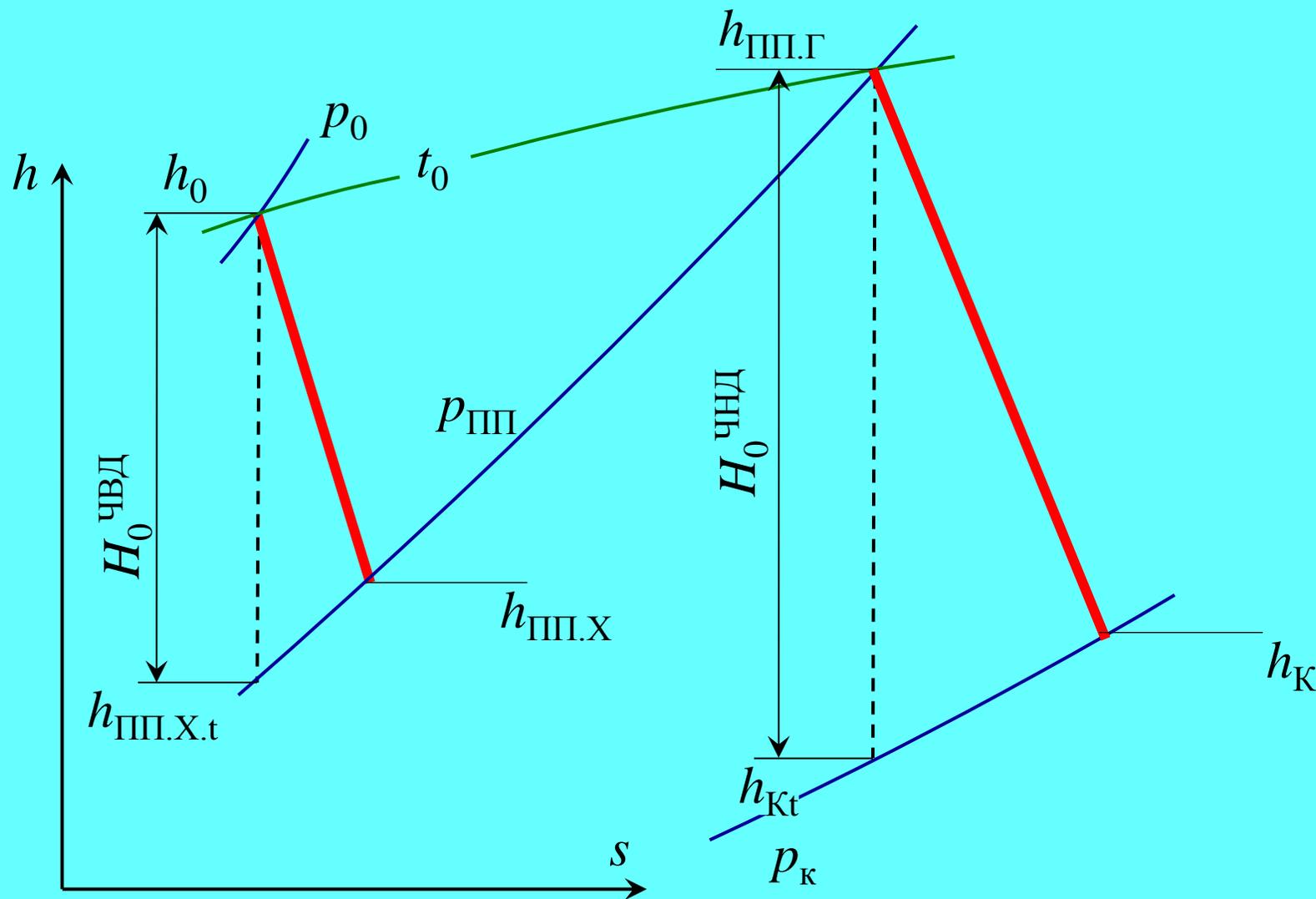
$$D_K = D_0$$

Схема КЭС с промперегревом пара



- 1 - паровой котел;
- 2 - ЧВД;
- 3 - ЧНД;
- 4 - ЭГ;
- 5 - конденсатор ;
- 6 - конденсатный насос

Процесс расширения пара в турбине на КЭС с промперегревом пара в h - s диаграмме



Если регенеративные отборы отсутствуют:

Электрическая мощность турбины:

$$\begin{aligned} N_{\text{э}} &= D_0 \cdot (h_0 - h_{\text{ПП.Х}}) + D_0 \cdot (h_{\text{ПП.Г}} - h_k) = \\ &= D_0 \cdot [H_i^{\text{ЧВД}} + H_i^{\text{ЧНД}}] \end{aligned}$$

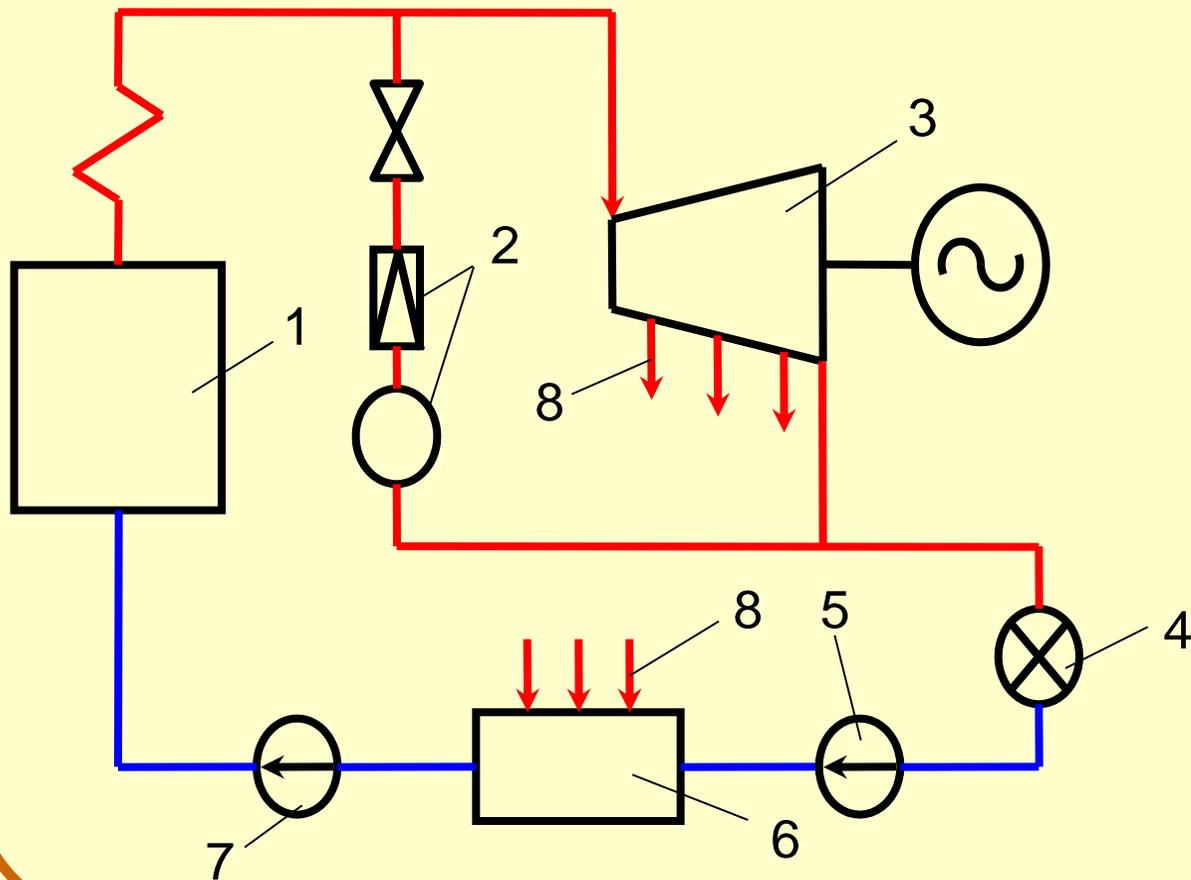
Расход пара в конденсатор:

$$D_K = D_0$$

ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

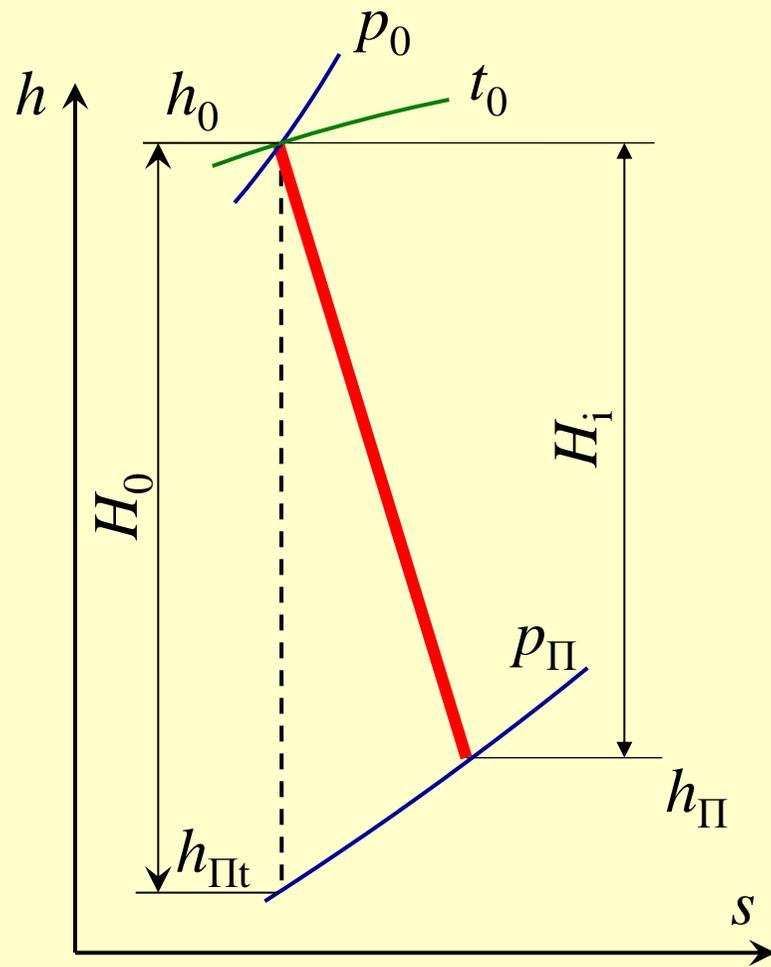
- ❖ **1.2. С теплофикационными турбоустановками - ТЭЦ**
 - **1.2.1. турбоустановка с противодавлением (типа Р)**
 - **1.2.2. турбоустановки с регулируемым отбором пара типов (Т, П, ПТ)**

Схема турбоустановки типа Р



- 1 – паровой котел;
- 2 – РОУ;
- 3 – турбогенератор;
- 4 – тепловой потребитель;
- 5 – насос;
- 6 – регенеративные подогреватели;
- 7 – питательный насос;
- 8 – пар из отборов

Процесс расширения пара в турбоустановке типа Р в h - s диаграмме



Процесс расширения пара в турбоустановке типа Р в h - s диаграмме

Если регенеративные отборы отсутствуют:

Электрическая мощность турбины:

$$N_{\text{э}} = D_0 \cdot (h_0 - h_{\text{II}}) = D_0 \cdot H_i$$

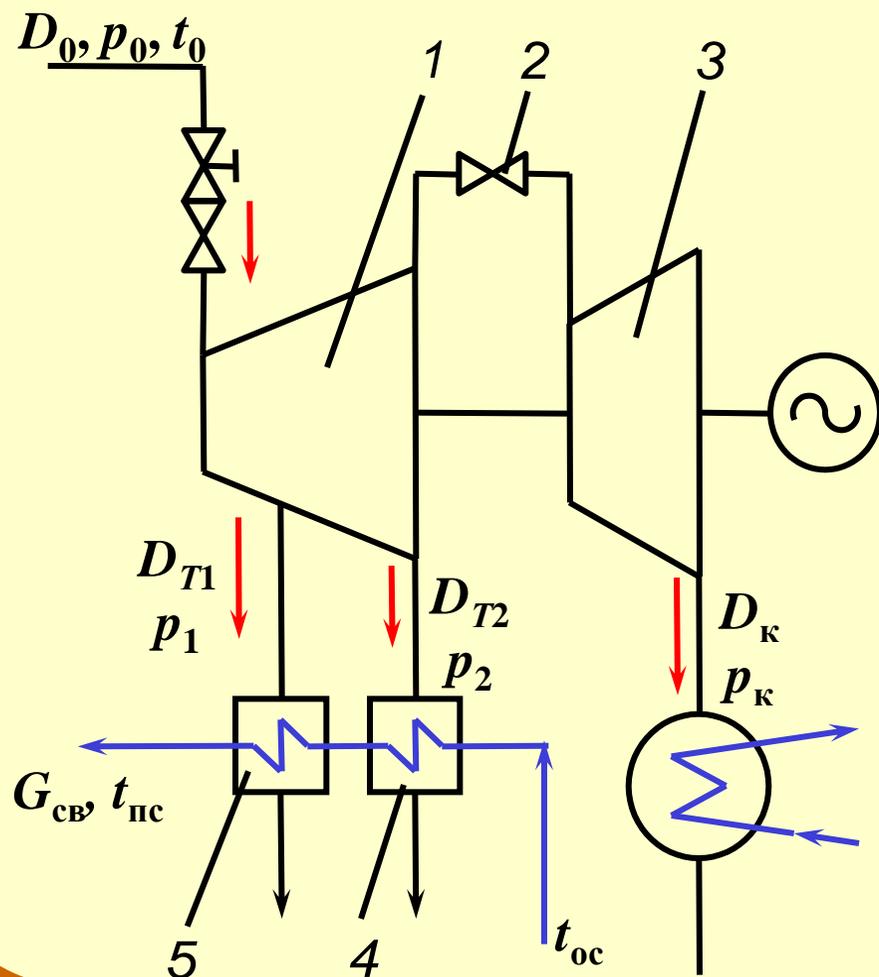
Расход пара на турбину:

$$D_0 = D_{\text{II}}$$

Если максимальные тепловые нагрузки не удастся покрыть с помощью противодавления турбины, то пар потребителю отпускается также через РОУ.

Т.к. Р-турбина работает по тепловому графику нагрузок, то для обеспечения электрического потребителя обязательно имеется К-турбина.

Схема турбоустановки с регулируемым теплофикационным отбором пара типа Т

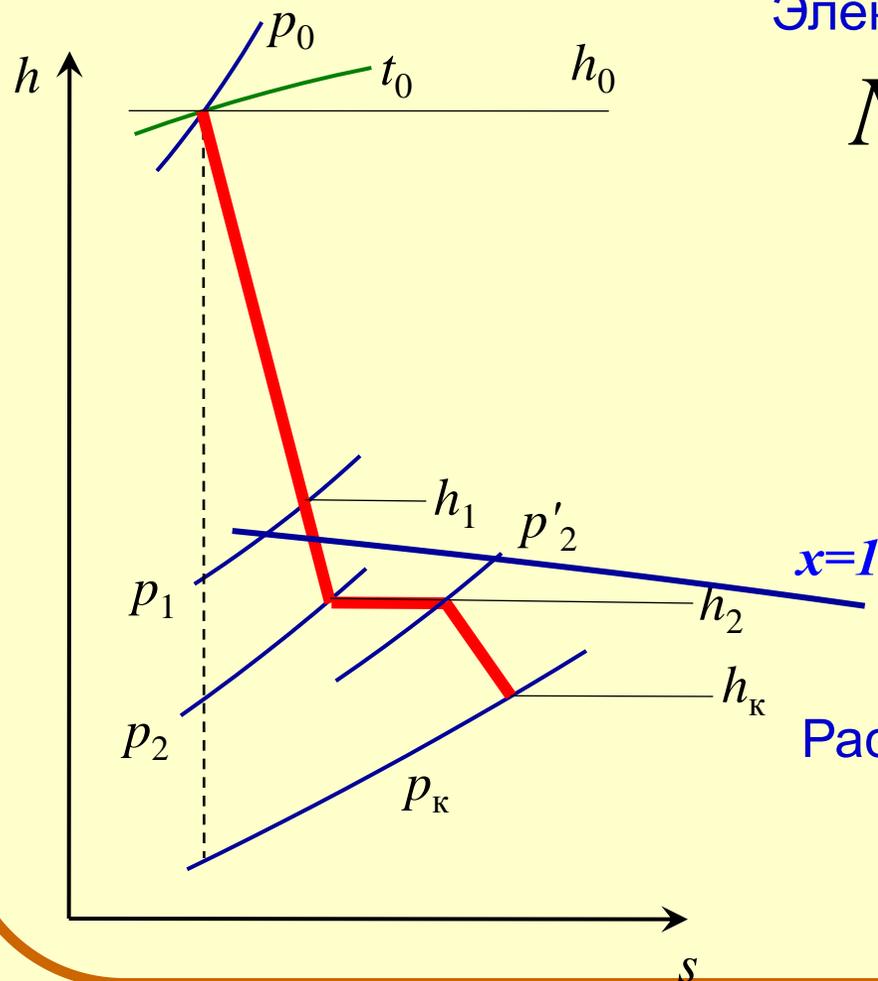


1, 3 – части высокого и
низкого давления,

2 – регулирующий клапан;

4, 5 – нижняя и верхняя
ступени подогревателя
сетевой воды

Процесс расширения пара в турбоустановке типа Т в h-s диаграмме



Электрическая мощность турбины:

$$N_{\text{э}} = D_0 \cdot (h_0 - h_1) + \\ + (D_0 - D_{T1}) \cdot (h_1 - h_2) + \\ + D_K \cdot (h_2 - h_K)$$

Расход пара на турбину:

$$D_0 = D_K + D_{T1} + D_{T2}$$

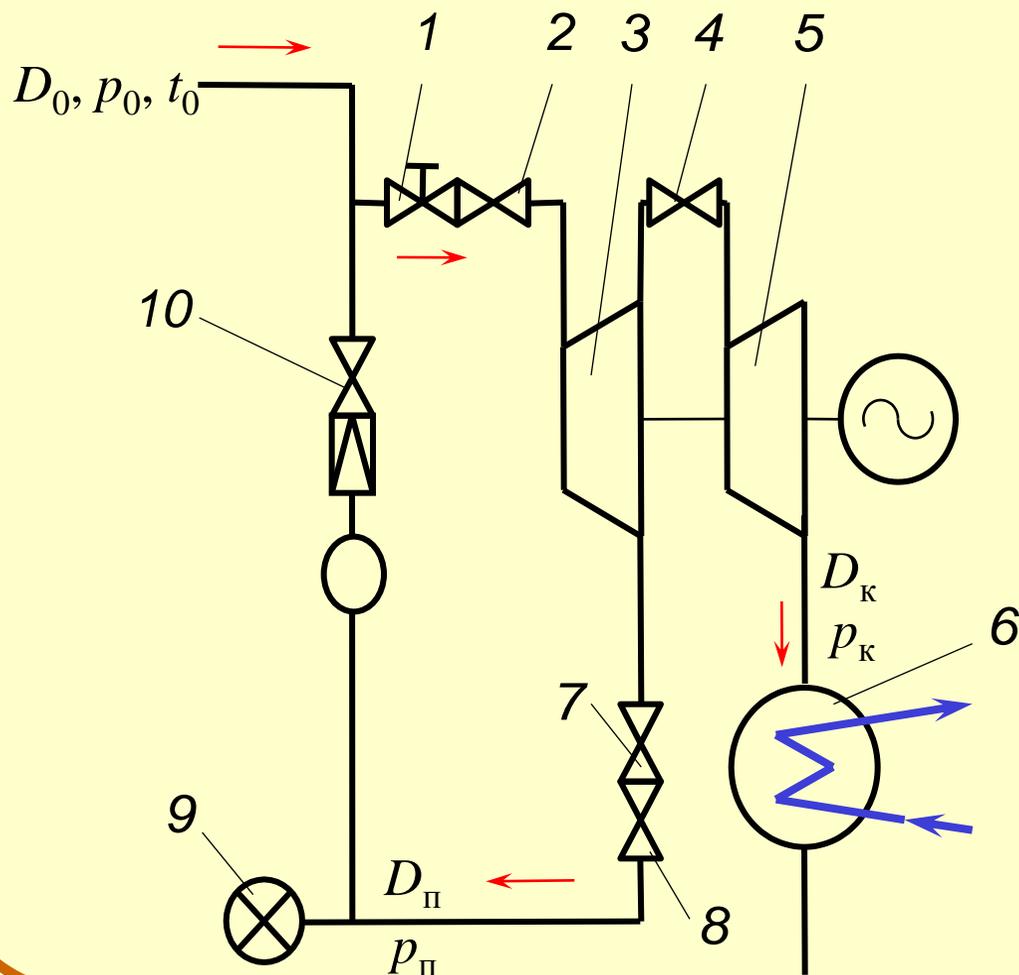
Достоинства:

- кроме электроэнергии потребителю отпускается еще и тепло
- в схеме присутствует конденсатор, следовательно возможна работа турбины без отпуска тепла потребителю («К» - режим)
- отпуск тепла потребителю при относительно невысоком давлении пара, следовательно при небольшом «коэффициенте недовыработки мощности» (в турбине пар срабатывает большой теплоперепад, прежде чем уйти к потребителю)
- КПД такой установки значительно выше чем конденсационной, за счет уменьшения потерь тепла в конденсаторе (расход пара в конденсатор меньше)

Недостатки:

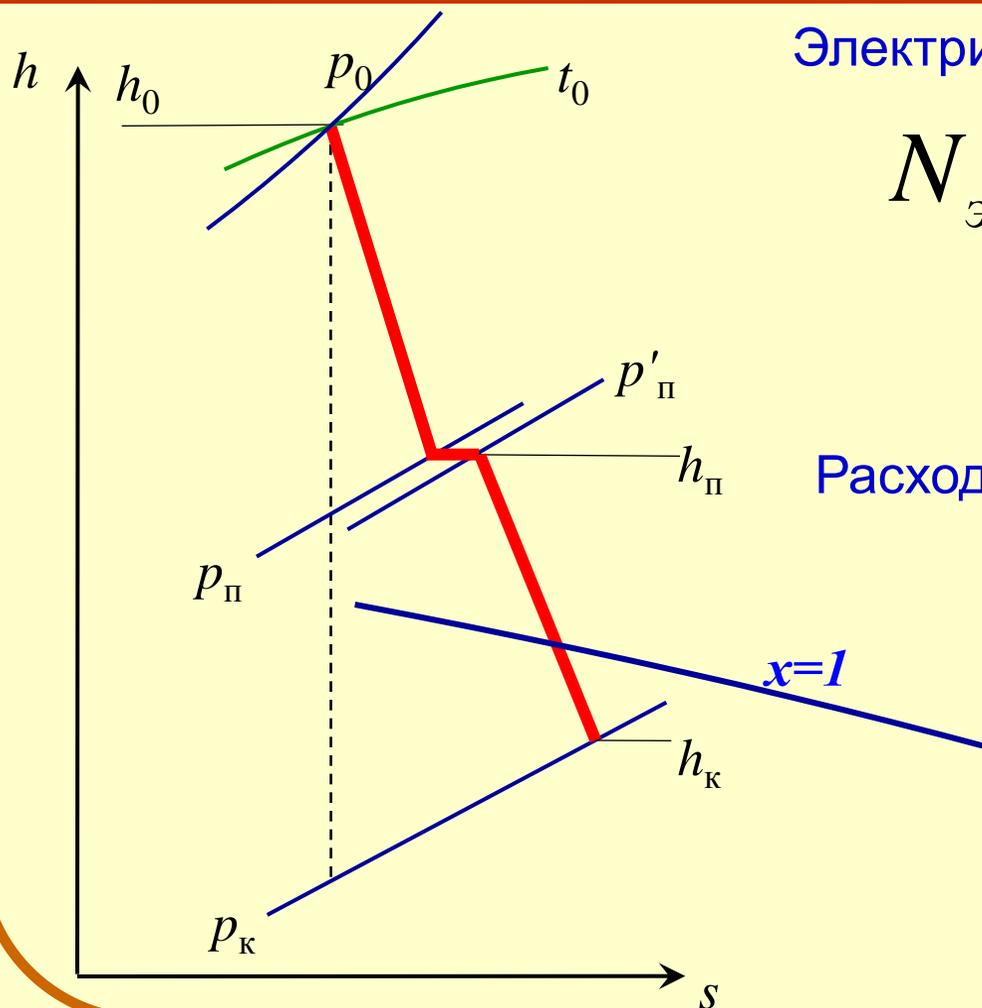
- повышенные затраты на оборудование (подогреватели, система регулирования и т.д.)
- сложность эксплуатации (поддержание заданного давления в регулируемых отборах)
- КПД такой установки ниже чем противодавленческой, за счет наличия потерь тепла в конденсаторе (присутствие «вентиляционного» расхода пара в конденсатор)

Схема турбоустановки с регулируемым производственным отбором пара типа П



- 1, 2 – стопорный и регулирующий клапаны ЧВД;
- 3 – часть высокого давления;
- 4 – регулирующий клапан ЧНД;
- 5 – часть низкого давления;
- 6 – конденсатор;
- 7, 8 – отсечной и обратный клапаны;
- 9 – тепловой потребитель;
- 10 – редукционно-охлаждающая установка

Процесс расширения пара в турбоустановке типа П в h - s диаграмме



Электрическая мощность турбины:

$$N_{\text{э}} = D_0 \cdot (h_0 - h_{\text{П}}) + (D_0 - D_{\text{П}}) \cdot (h_{\text{П}} - h_{\text{К}})$$

Расход пара на турбину:

$$D_0 = D_{\text{К}} + D_{\text{П}}$$

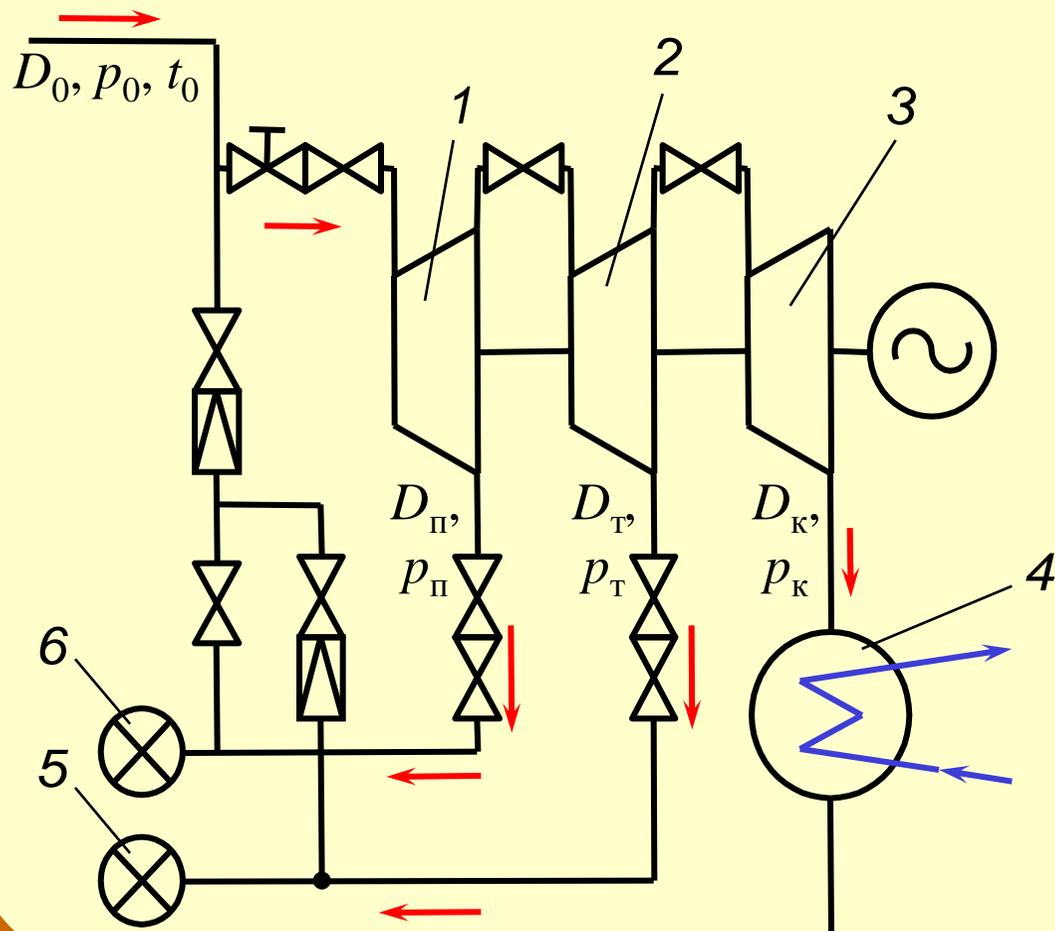
Достоинства:

- кроме электроэнергии потребителю отпускается еще и тепло
- в схеме присутствует конденсатор, следовательно возможна работа турбины без отпуска тепла потребителю («К» - режим)
- КПД такой установки значительно выше чем конденсационной, за счет уменьшения потерь тепла в конденсаторе (расход пара в конденсатор меньше)

Недостатки:

- повышенные затраты на оборудование (подогреватели, система регулирования и т.д.)
- сложность эксплуатации (поддержание заданного давления в регулируемых отборах)
- отпуск тепла потребителю при высоком давлении пара, следовательно при высоком «коэффициенте недовыработки мощности» (в турбине пар срабатывает небольшой теплоперепад, прежде чем уйти к потребителю)
- КПД такой установки ниже чем противодавленческой, за счет наличия потерь тепла в конденсаторе (присутствие «вентиляционного» расхода пара в конденсатор)

Схема турбоустановки с регулируемым производственным и теплофикационным отборами пара типа ПТ

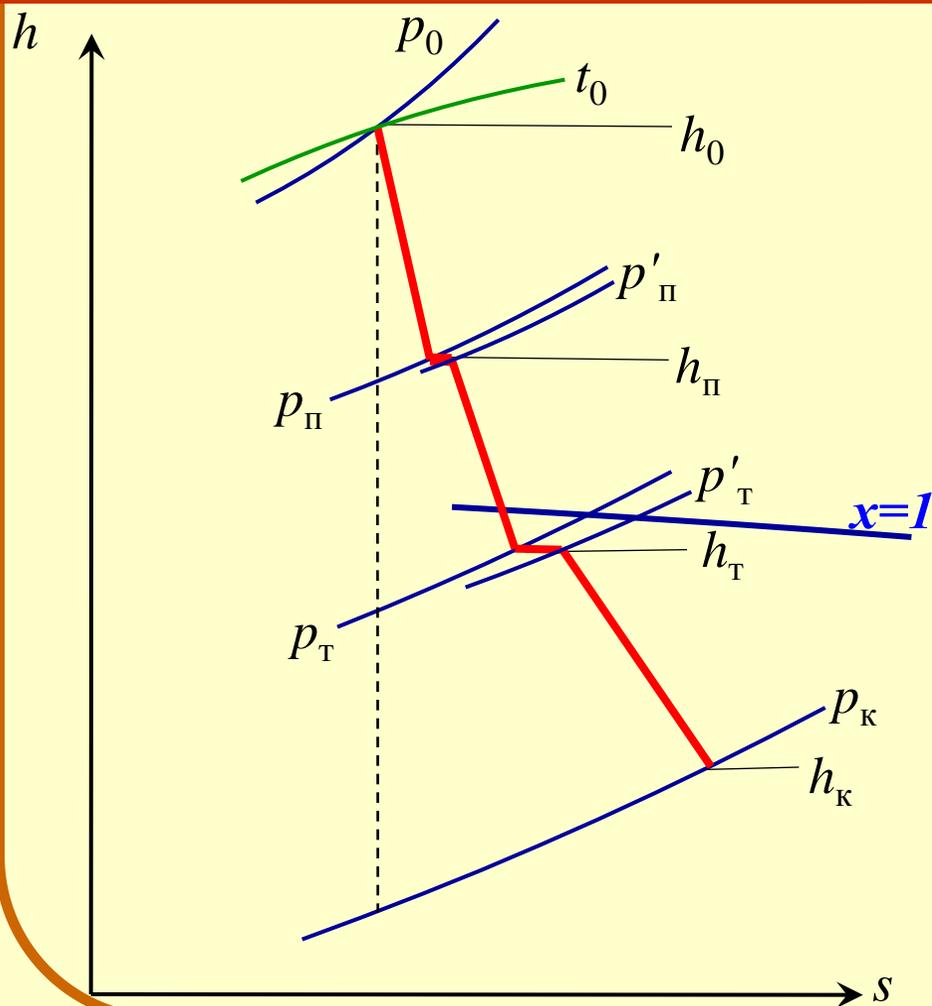


1, 2, 3 – части высокого среднего и низкого давления;

4 – конденсатор;

5, 6 – тепловые потребители

Процесс расширения пара в турбоустановке типа ПТ в h-s диаграмме



Электрическая мощность турбины:

$$N_{\text{э}} = D_0 \cdot (h_0 - h_{II}) + (D_0 - D_{II}) \cdot (h_{II} - h_T) + (D_0 - D_{II} - D_T) \cdot (h_T - h_K)$$

Расход пара на турбину:

$$D_0 = D_K + D_{II} + D_T$$

ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

2. Электростанции на ядерном топливе:

В системе любой тепловой электростанции различают *теплоноситель* и *рабочее тело*.

Для АЭС рабочим телом (средой, совершающей работу, преобразующую тепловую энергию в механическую) является водяной пар.

Требования к чистоте рабочего тела очень высоки. Поэтому контур рабочего тела для АЭС всегда замкнут.

ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Назначение теплоносителя - отводить тепло, выделившееся в реакторе при высвобождении внутриядерной энергии.

Для предотвращения любых отложений на тепловыделяющих элементах необходима весьма высокая чистота теплоносителя, поэтому для него также необходим замкнутый контур.

В результате прохода через реактор теплоноситель активируется и его протечки, не говоря уже о полном сбросе (разомкнутый цикл), могли бы создать серьезную радиационную опасность. Поэтому основная классификация атомных станций зависит от числа контуров на ней.

ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

2. Электростанции на ядерном топливе:

❖ 2.1. С конденсационными турбоустановками - АКЭС

- 2.1.1. одноконтурная (РБМК) рис. (а)
- 2.1.2. двухконтурная (ВВЭР) рис. (б)
- 2.1.3. трехконтурная (БН) рис. (в)

ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

➤ 2.1.1. одноконтурная рис. (а)

1 - реактор;

2 - промежуточный теплообменник;

3 - парогенератор;

4 - турбогенератор;

5 - конденсатор;

б - конденсатами насос;

7 - пар от отбора;

8 - пар на регенеративный подогреватель;

9, 13 - регенеративные подогреватели низкого и высокого давления;

10 - деаэратор;

11 - пар на деаэратор;

12 - питательный насос

ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

На АЭС, работающей по одноконтурной схеме пар образуется в активной зоне реактора и оттуда направляется в турбину.

Достоинства:

Одноконтурная схема наиболее проста, и наиболее экономична по сравнению с двухконтурными, так как параметры пара перед турбиной и в реакторе отличаются лишь на величину потерь в паропроводах .

Недостатки:

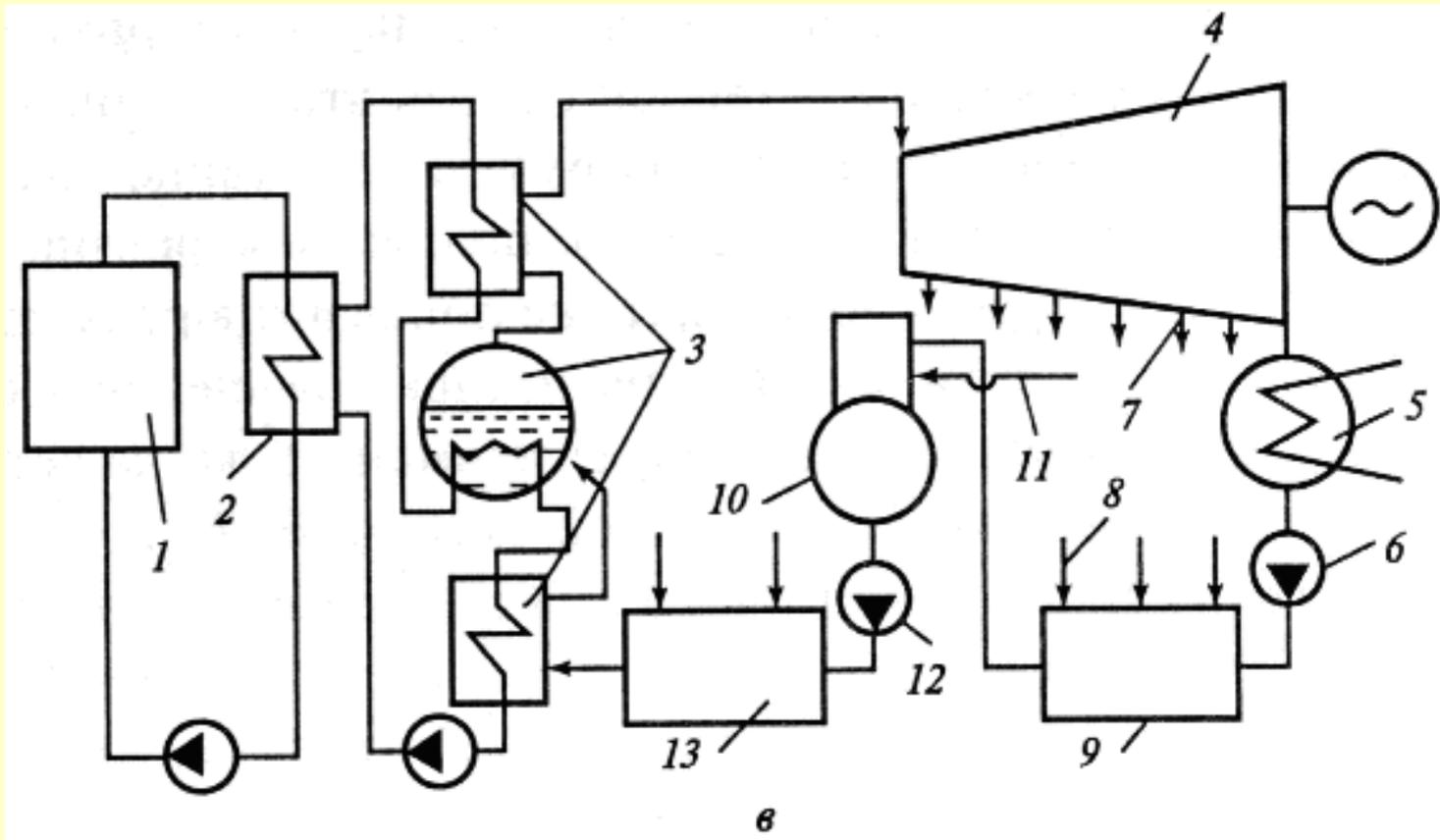
Образующийся в реакторе пар радиоактивен, поэтому большая часть оборудования АЭС должна иметь защиту от излучений.

В процессе работы электростанции в паропроводах, турбине и других элементах оборудования могут скапливаться выносимые из реактора с паром твердые вещества (содержащиеся в воде примеси, продукты коррозии), обладающие наведенной активностью, что затрудняет контроль за оборудованием и его ремонт.

ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

➤ 2.1.3. трехконтурная

рис. (в)



Кроме основной классификации атомных электростанций по числу контуров можно выделить отдельные типы АЭС в зависимости от:

- типа реактора - на тепловых или быстрых нейтронах;
- параметров и типа паровых турбин, например АЭС с турбинами на насыщенном или перегретом паре (одного или двух давлений) и др.;
- способа перегрева пара - с ядерным перегревом, «огневым» перегревом и др.;
- параметров и типа теплоносителя - с газовым теплоносителем, теплоносителем «вода под давлением», жидкометаллический и органическим;
- конструктивных особенностей реактора, например с реакторами канального или корпусного типа, кипящим с естественной или принудительной циркуляцией и др.;
- типа замедлителя реактора, например с уран-графитовым реактором, тяжеловодным замедлителем и др.