

Лекция

Тепловые электрические

станции



Перечень вопросов

- 1. Общие сведения
- 2. Классификация ТЭС
- 3. Схемы тепловых электростанций
- 4. Конденсационные ТЭС
- 5. ТЭС с газовыми турбинами
- 6. ТЭС с паровыми турбинами
- 7. ТЭЦ с парогазовым циклом

Типы тепловых электростанций. Классификация

Тепловой электрической станцией

называется комплекс оборудования и устройств, преобразующих энергию топлива в электрическую и (в общем случае) в тепловую энергию.

- 1. По назначению и виду отпускаемой энергии электростанции разделяются на **районные и промышленные**.
- 2. По виду используемого топлива тепловые электростанции разделяются на электростанции, работающие на **органическом топливе и ядерном горючем**.
- 3. По типу теплосиловых установок, используемых на ТЭС для преобразования тепловой энергии в механическую энергию вращения роторов турбоагрегатов, различают **паротурбинные, газотурбинные и парогазовые электростанции**.
- 4. По технологической схеме паропроводов ТЭС делятся на **блочные ТЭС и на ТЭС с поперечными связями**.
- 5. По уровню начального давления различают ТЭС **до критического давления и сверхкритического давления**.

Районные электростанции – это самостоятельные электростанции общего пользования, которые обслуживают все виды потребителей района (промышленные предприятия, транспорт, население и т.д.).

Районные конденсационные электростанции, вырабатывают в основном только электроэнергию.

Районные электростанции, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию (в виде пара или горячей воды), называются теплоэлектроцентралями (ТЭЦ).

- ***Промышленные электростанции*** – это электростанции, обслуживающие тепловой и электрической энергией конкретные производственные предприятия или их комплекс.
 - **Промышленные электростанции входят в состав тех промышленных предприятий, которые они обслуживают.**

- **Блочные ТЭС** состоят из отдельных, как правило, однотипных энергетических установок — энергоблоков. **В энергоблоке каждый котел подает пар только для своей турбины, из которой он возвращается после конденсации только в свой котел.** По блочной схеме строят все мощные ГРЭС и ТЭЦ, которые имеют так называемый **промежуточный перегрев пара.**
- Работа котлов и турбин на **ТЭС с поперечными связями** обеспечивается по-другому: все котлы ТЭС подают пар в один общий паропровод (коллектор) и от него питаются все паровые турбины ТЭС. По такой схеме строятся КЭС без промежуточного перегрева и почти все ТЭЦ на докритические начальные параметры пара.

Паротурбинные ТЭЦ

Два способа выработки электрической и тепловой энергии: **комбинированный и отдельный.**

Комбинированная выработка электроэнергии и тепла на ТЭЦ называется **теплофикацией.**

При **отдельной** выработке электроэнергия производится на КЭС (конденсационных электрических станциях), а тепловая энергия – в котельных.

Паротурбинные ТЭЦ

Два способа выработки электрической и тепловой энергии: **комбинированный и отдельный.**

Комбинированная выработка электроэнергии и тепла на ТЭЦ называется **теплофикацией.**

При **отдельной выработке** электроэнергия производится на КЭС (конденсационных электрических станциях), а тепловая энергия – в котельных.

Процессы подвода и отвода тепла в цикле Ренкина осуществляются по изобарам, а в изобарном процессе кол-во подведенного (отведенного) тепла равно разности энтальпий рабочего тела в начале и конце процесса, то можно записать:

$$q_1 = h_1 - h_5$$
$$q_2 = h_2 - h_3$$

Термический КПД цикла

$$\eta_T = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{(h_1 - h_5) - (h_2 - h_3)}{h_1 - h_5} \quad (9.3)$$

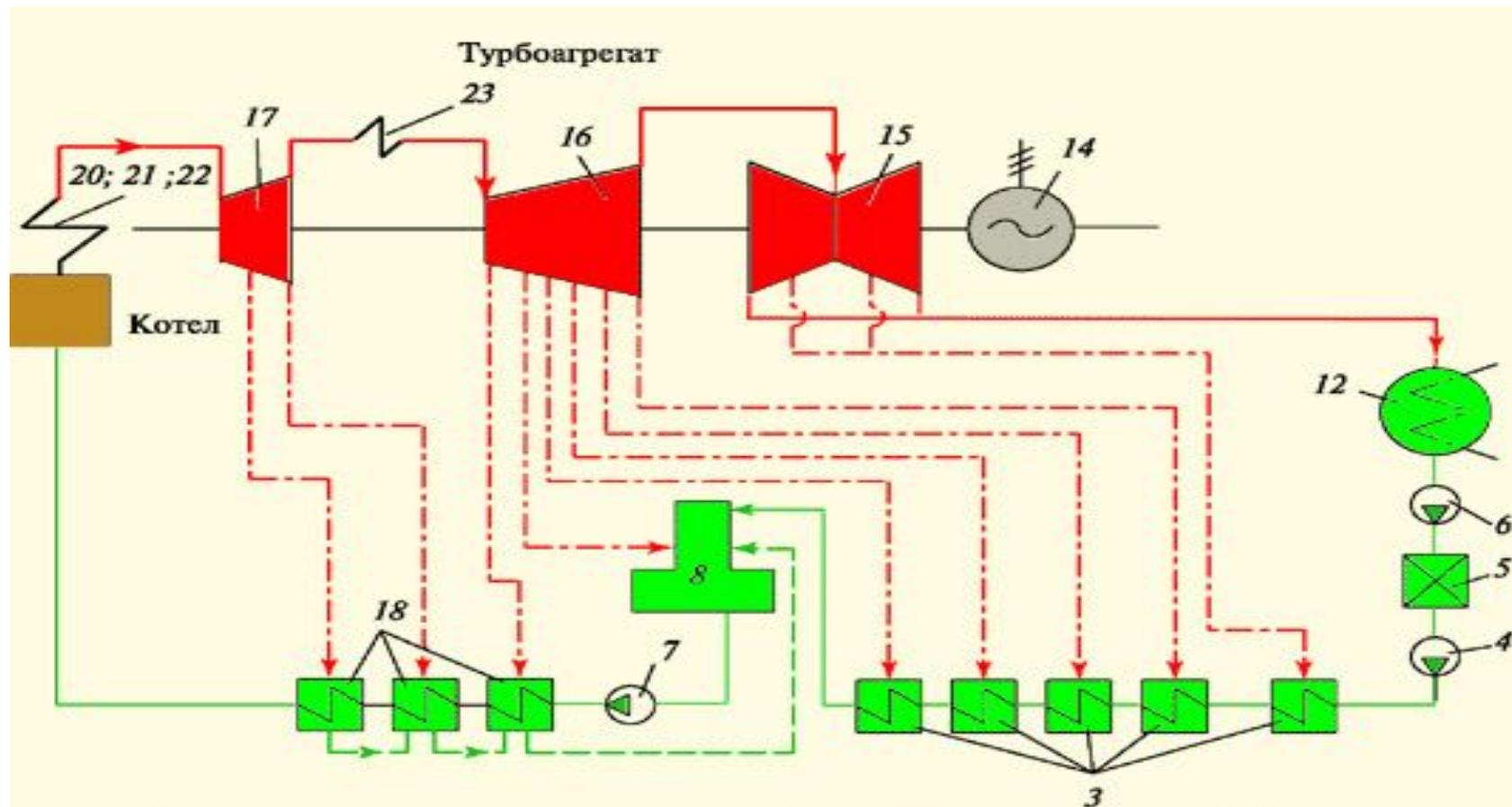
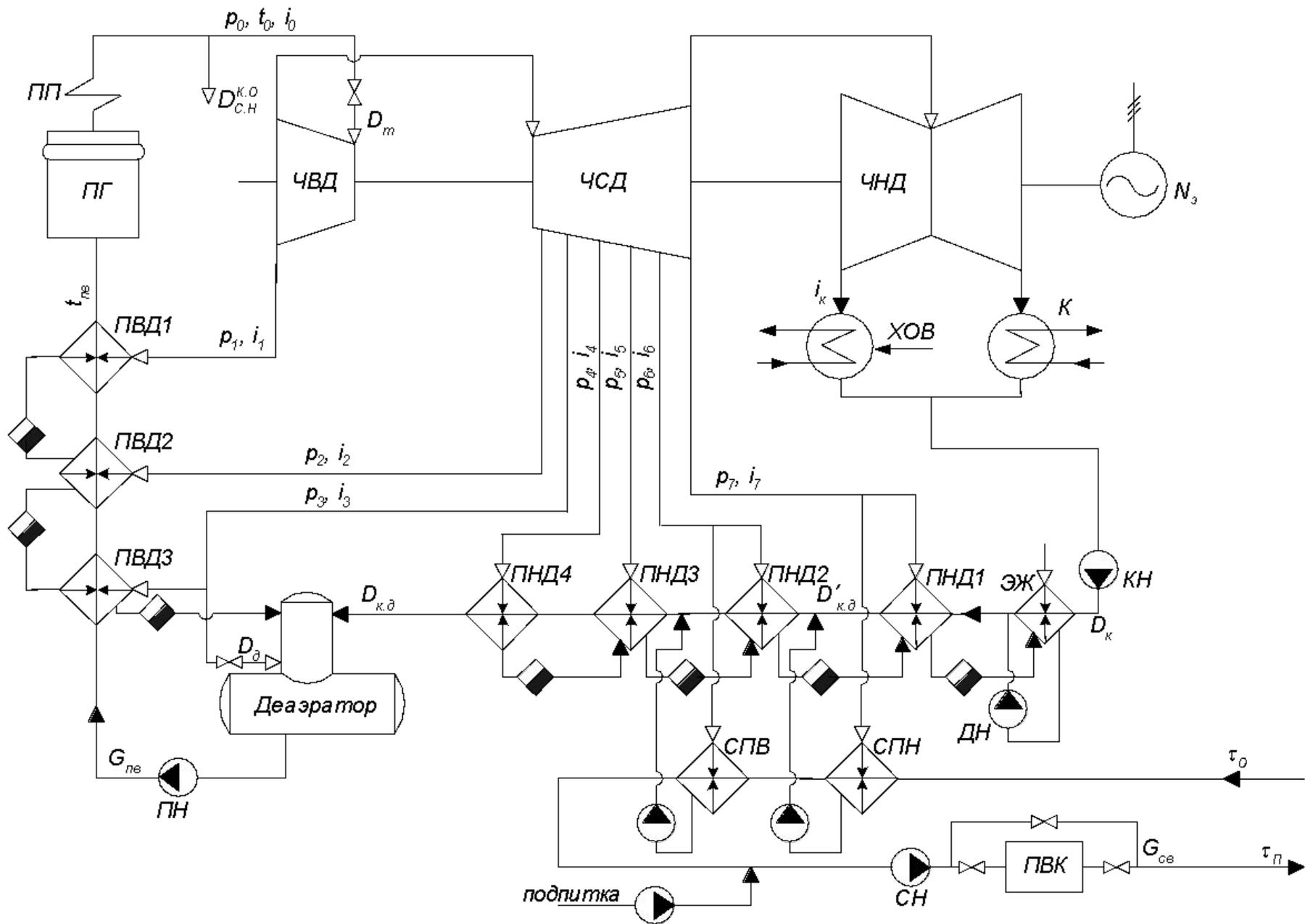


Рис. 2.5. Тепловая схема паротурбинной установки ТЭС, приведенной на рис. 2.2



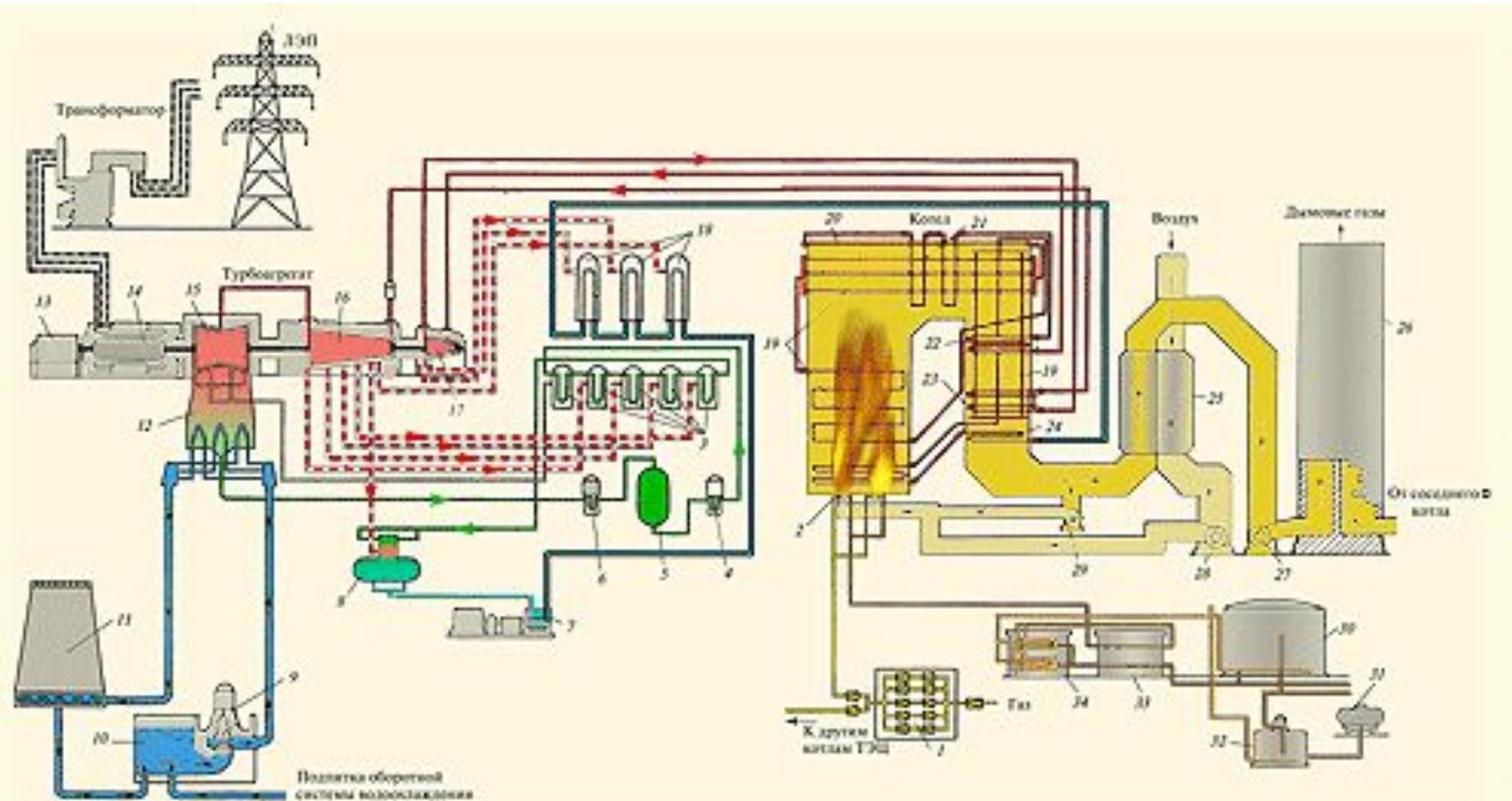


Рис. 2.2. Технологическая схема ТЭС, работающей на газе

К основному оборудованию ТЭЦ относится:

паровые котлы, парогенераторы, паровые турбины, электрические генераторы и главные трансформаторы.

К вспомогательному оборудованию ТЭЦ относятся:

различные механизмы и установки, обеспечивающие нормальную работу ТЭЦ, а именно:

- водоподготавливающие установки,
- установки пылеприготовления,
- тягодутьевые устройства (дымососы, вентиляторы)
- системы шлако- и золоудаления,

- теплообменники:

- *регенеративные подогреватели* - питательная вода подогревается отработавшим паром турбины;
- *деаэратор питательной воды* – служит для удаления из воды растворенных в ней газов; одновременно в нем питательная вода подогревается паром из отборов турбины.
- *сетевые подогреватели;*
- *конденсатор* – теплообменный аппарат, в котором на наружной поверхности трубок конденсируется отработавший пар, поступающий из турбины, а внутри трубок протекает охлажденная вода.
- вспомогательные сальниковые подогреватели, охладители;

- Насосы:

- *питательные* — являются важнейшими из вспомогательного оборудования ТЭС. Предназначены для питания котла водой;
- *конденсатные* - насосы основного конденсатора и конденсата после сетевых подогревателей;
- *циркуляционные* - насосы охлаждающей воды — для охлаждения отработавшего пара турбины в конденсаторе и вспомогательного оборудования. Циркуляционная вода в свою очередь охлаждается в градирни;
- *сетевые* — для подачи воды на отопление и ГВС.
- *прочие* (подпиточные насосы теплосети, дренажные, насосы для питания водой вспомогательных теплообменников).
- баки, резервуары, расширители пара, арматура, КИП (манометры, расходомеры, термометры).

Промежуточный перегрев пара

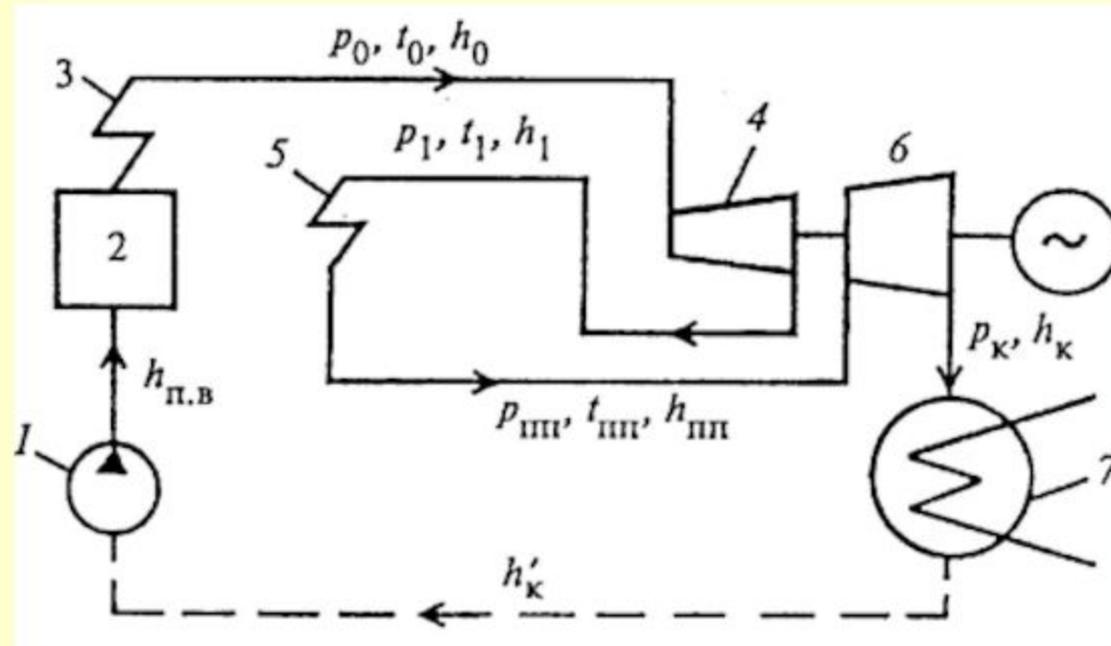


Рис. 17. Схема ПТУ с промежуточным перегревом пара

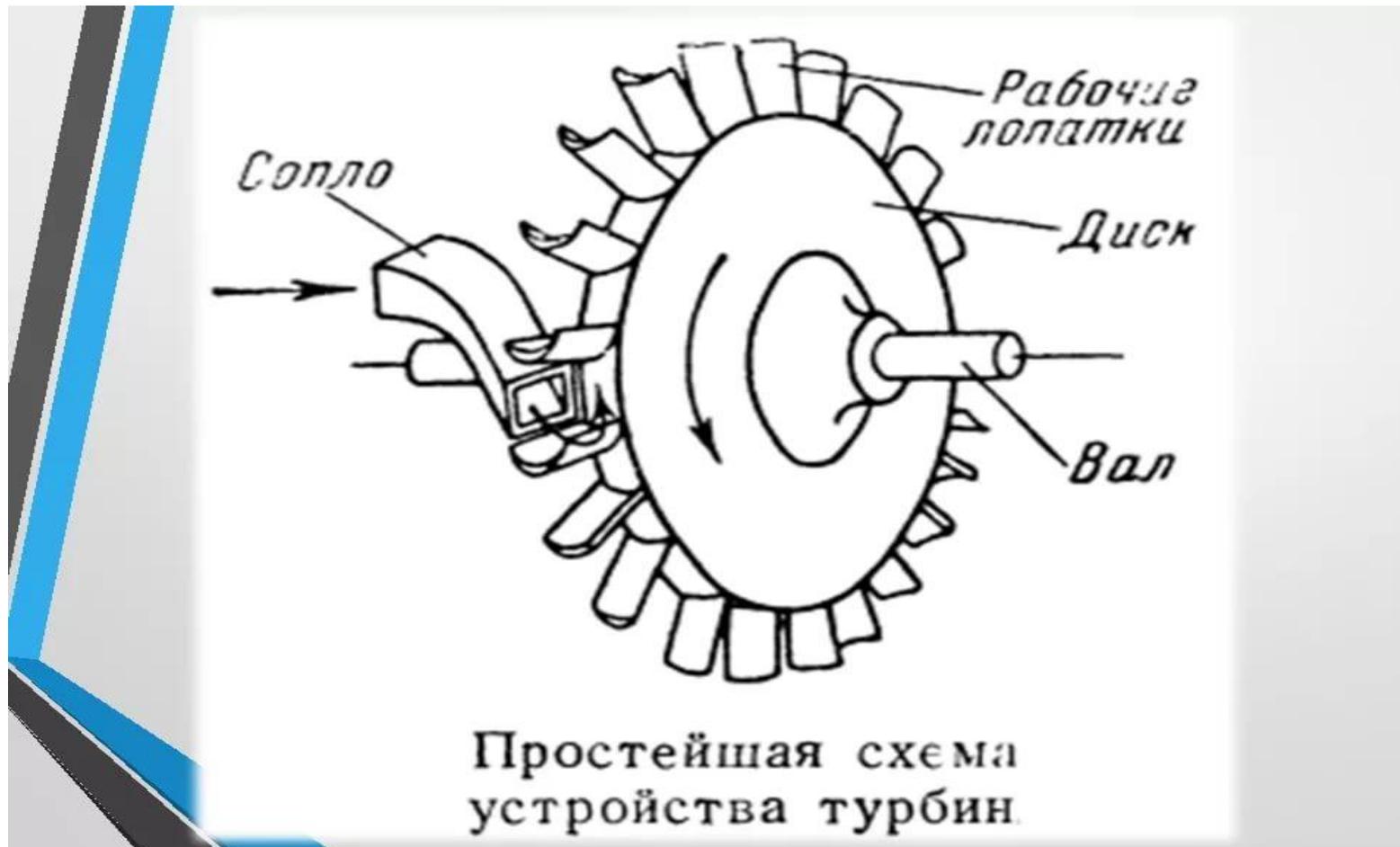


Турбины, применяемые на ТЭС. Маркировка.

Паровая турбина — это машина, предназначенная для преобразования тепловой энергии пара в механическую энергию вращения.

В паровой турбине, как следует из названия, работу совершает нагретый пар. Пар в турбину поступает из парового котла или котла-утилизатора. Температура, с которой приходит в турбину пар, может быть разной. Но в основном, температура пара в районе 500-570 градусов Цельсия. Давление, также, разнообразное. Самое распространённое, это — 90 ат, 130 ат и 240 ат.

Принцип действия паровых турбины



Принцип действия турбины

Рабочие лопатки турбины имеют изогнутую форму и в совокупности образуют систему криволинейных каналов, называемых рабочей решеткой.

Совокупность сопловых и рабочих решеток образуют ступень турбины.

Межлопаточные каналы сопловых и рабочих решеток называются проточной частью турбины.

Вал, на котором находятся рабочие лопатки, называются ротором турбины.

Принцип действия турбины

Если преобразования потенциальной энергии в кинетическую происходит только в сопловой решетке, то такой принцип работы турбины называется **активным**, а сама ступень – **активной ступенью**.

Если же преобразование потенциальной энергии пара происходит как в сопловой, так и в рабочей решетке, то в этом случае ступень называется **реактивной ступенью турбины**.

По типу паровые турбины делятся на:

К - конденсационные;

П - теплофикационные с производственным отбором пара;

Т - теплофикационные с отопительным отбором пара;

ПТ - теплофикационные с производственным и отопительным отборами пара;

Р - с противодавлением, без регулируемого отбора пара;

ПР или **ТР** - теплофикационные турбины с противодавлением и одним производственным (**ПР**) или теплофикационным (**ТР**) регулируемым отбором пара;

После буквенного обозначения типа турбины указывается электрическая мощность в МВт (иногда в виде дроби: в числителе — номинальная, а в знаменателе - максимальная мощность). Далее указывается начальное давление в МПа. Часто в обозначениях это давление приводится в кгс/см².

Примеры обозначений:

К-800-23,5-5 (или **К-800-240-5**)— конденсационная турбина номинальной мощностью 800 МВт на начальное давление 23,5 МПа (240 кгс/см²), пятой модификации;

ПТ-140/165-12,8/1,5-2 (или **ПТ-140/165-130/15-2**)-- теплофикационная турбина с производственным и отопительным отборами, номинальной мощностью 140 МВт, максимальной мощностью 165 МВт на начальное давление 12,8 МПа (130 кгс/см²), давление производственного отбора 1,5 МПа (15 кгс/см²), второй модификации;

Номинальная мощность турбины – мощность, которую они развивают на зажимах турбогенератора при номинальных значениях основных параметров и использовании нерегулируемых отборов для постоянных собственных нужд ТЭС.

Максимальная мощность турбины– мощность, развиваемая на зажимах турбогенератора при работе в конденсационном режиме, т.е при отключении регулируемых отборов пара.

Схема ТЭЦ с противодавлением

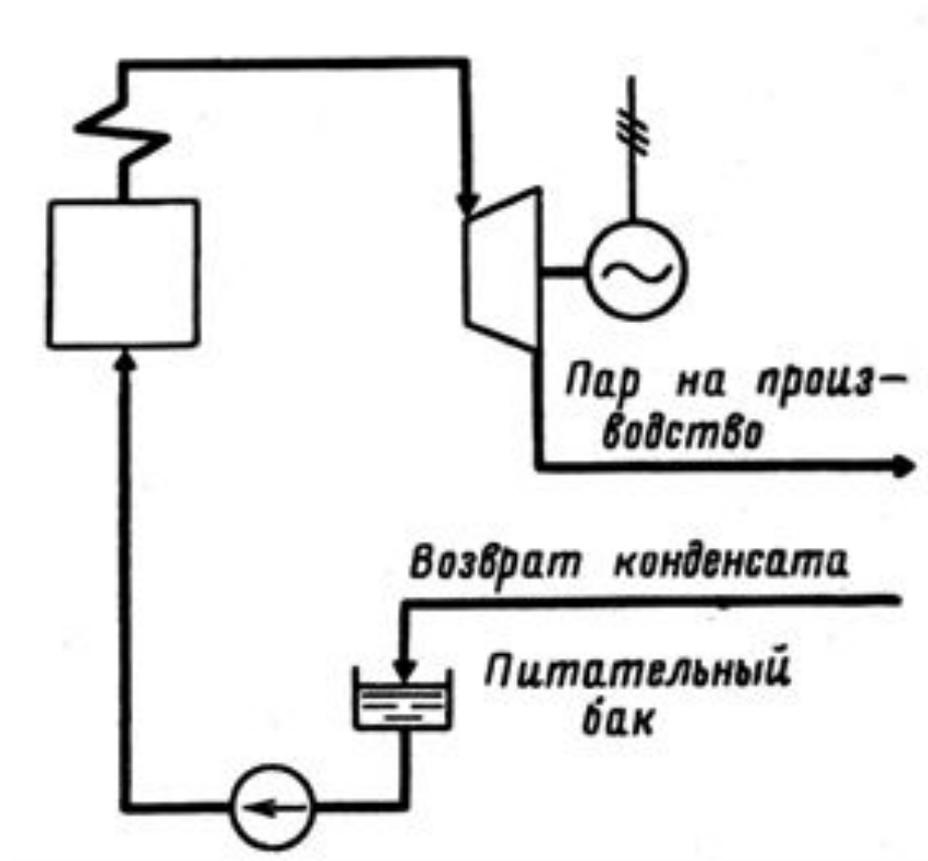


Схема ТЭЦ с производственным отбором

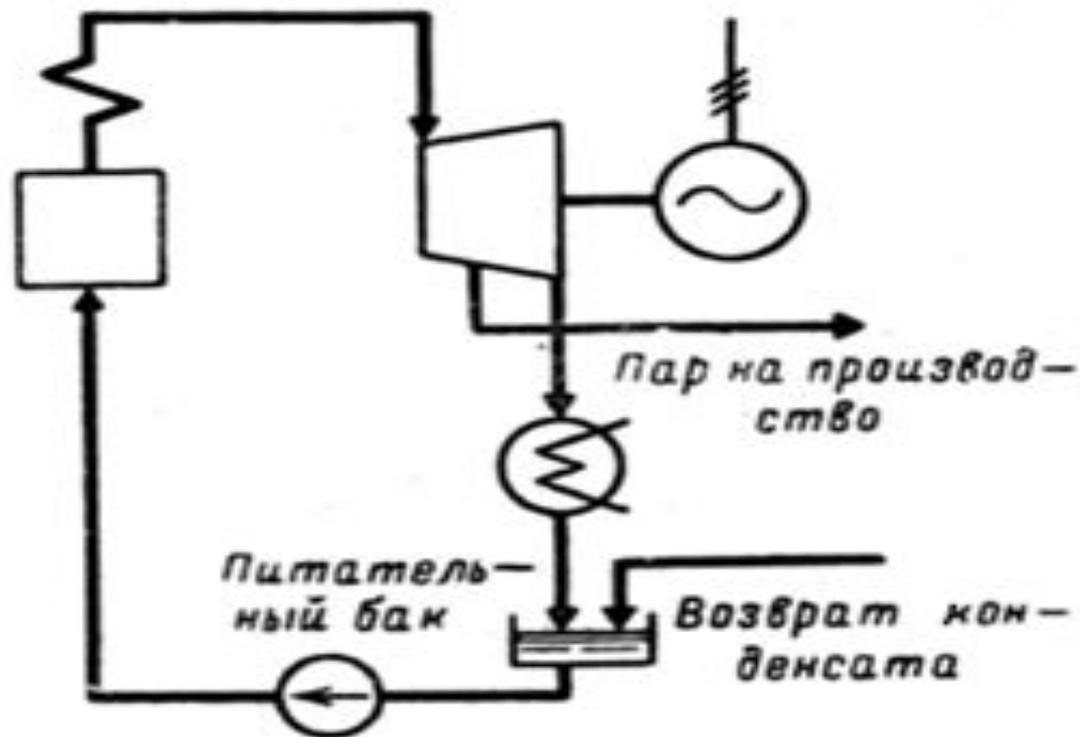


Схема ТЭЦ с теплофикационным отбором

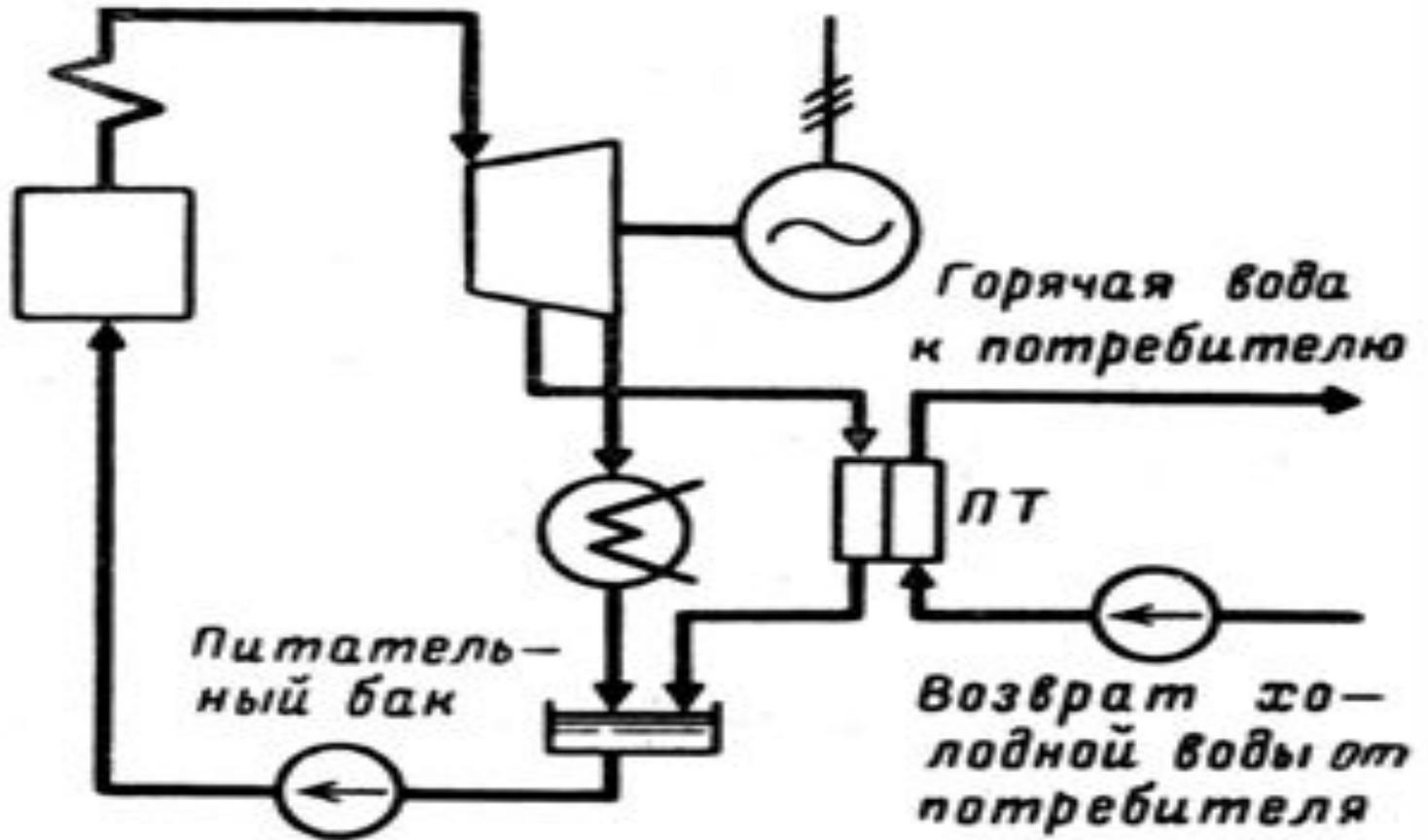
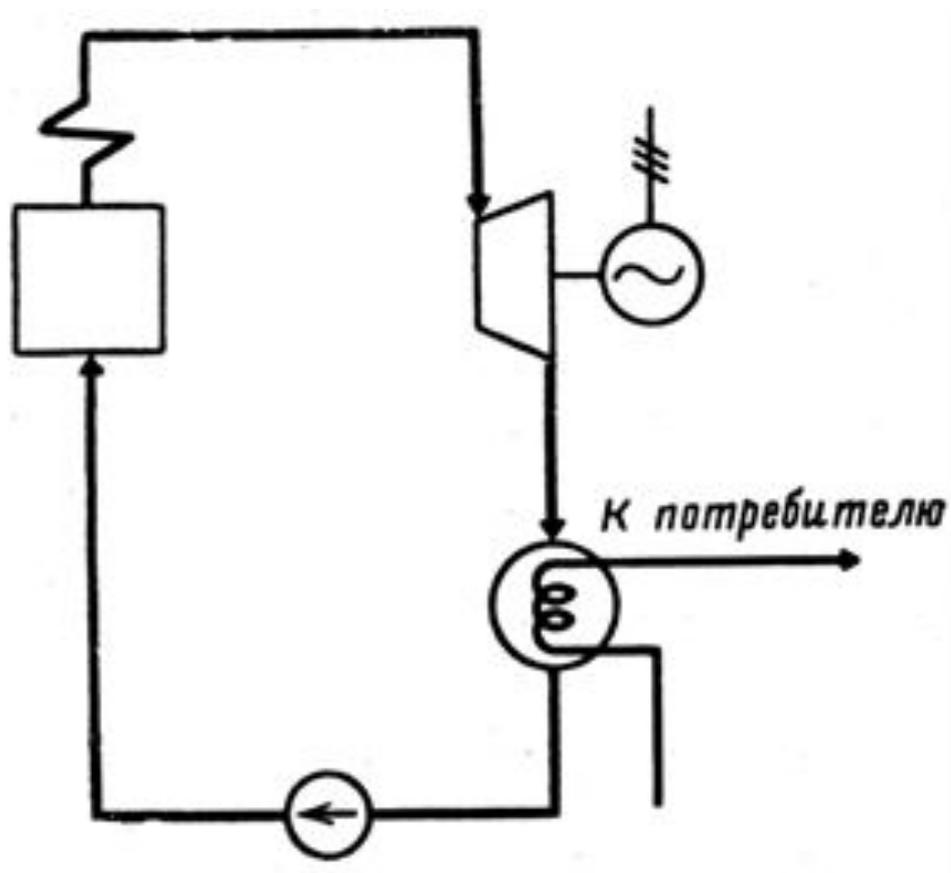
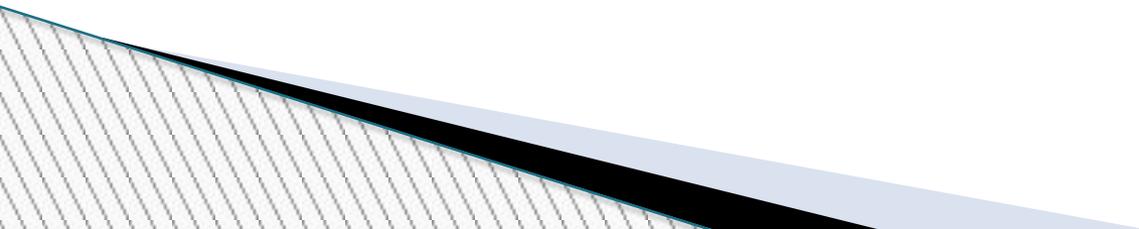


Схема ТЭЦ с ухудшенным вакуумом



Влияния начальных и конечных параметров пара на энергоэффективность

1. Увеличение начального давления пара при постоянной температуре и постоянном конечном давлении.
 2. За счет увеличения начальной температуры рабочего тела поступающего в турбину.
 3. За счет понижения конечного давления.
 4. За счет повторного перегрева пара.
- 

Теплофикационные подогреватели и пиковые водогрейные котлы.

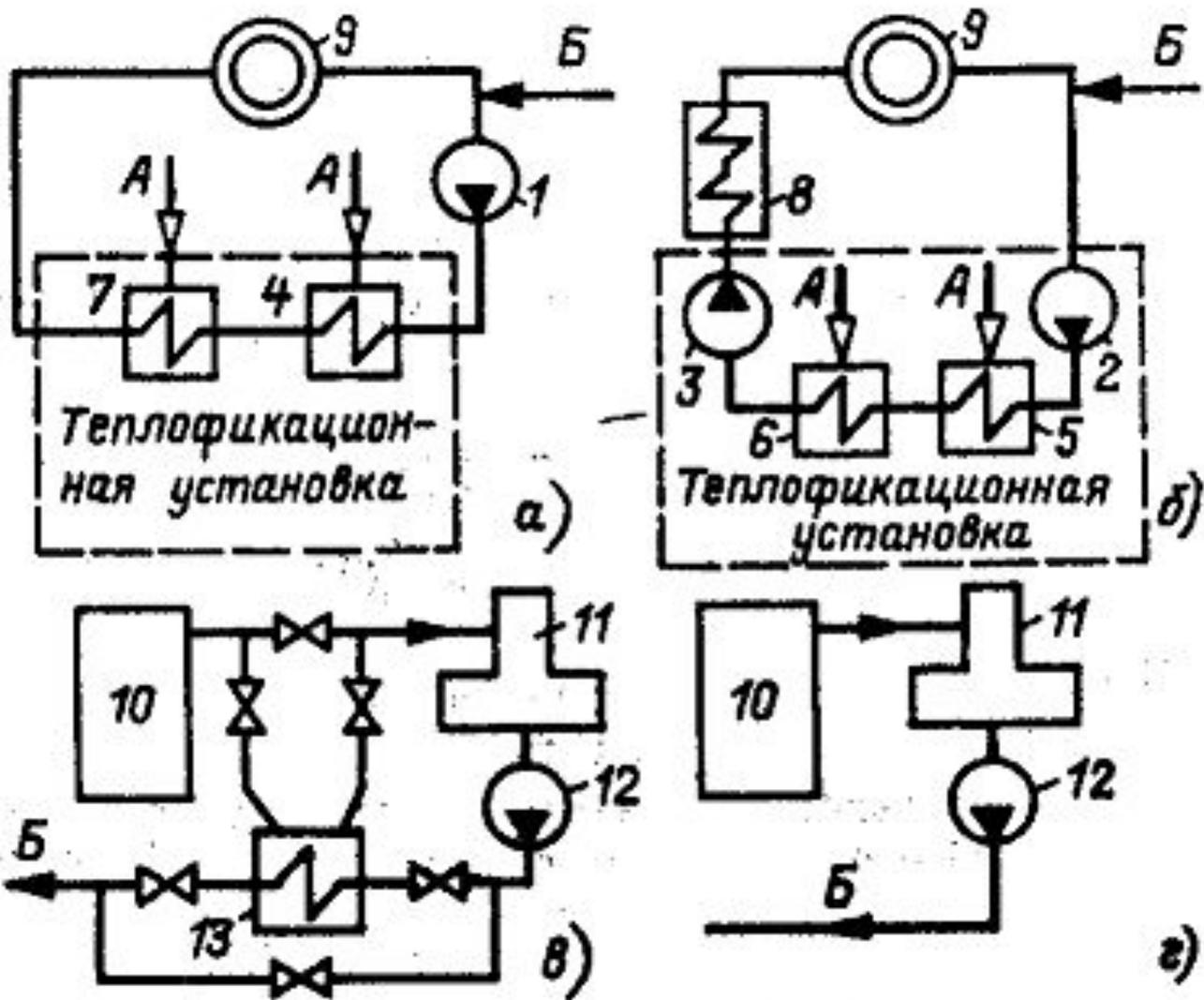
Сетевые подогреватели на ТЭЦ предназначаются для подогрева сетевой воды в теплофикационной системе. В установках старых типов - подогрев осуществлялся в основном и пиковом бойлерах, последний из которых включался при низких температурах окружающего воздуха.

Основной - бойлер снабжался паром от регулируемого теплофикационного отбора турбины, **а пиковый** — от промышленного отбора -(в турбинах типа ПТ) или через РОУ от магистрали острого пара при наличии на станции только теплофикационных турбин.

В настоящее время применяется более совершенная в тепловом отношении схема подогрева сетевой воды. Современные крупные теплофикационные турбины имеют два теплофикационных отбора (верхний и нижний), к которым присоединяются **сетевые подогреватели**.

Для обеспечения - более высокой температуры нагрева - сетевой воды в работу включается - пиковый водогрейный котел.

Теплофикационные установки ТЭС



а - с пиковым сетевым подогревателем;

б - с пиковым водогрейным котлом, двухступенчатым нагревом и двухступенчатой перекачкой сетевой воды;

в - узел подпитки теплосети при открытой схеме теплоснабжения;

г - узел подпитки теплосети при закрытой схеме теплоснабжения;

1 - сетевой насос; 2, 3 - сетевые насосы 1-го и 2-го подъемов; 4 - основной подогреватель; 5, 6 - нижний и верхний основные подогреватели; 7 - пиковый подогреватель; 10 - установка умягчения добавочной воды; 11, 12 - деаэратор и насос добавочной воды; 13 - водо-водяной теплообменник;

А - пар; Б - добавочная вода

Схема (а) характерна для ГРЭС (КЭС) с турбинами любой мощности и ТЭЦ с турбинами мощностью до 25 МВт включительно. В этой схеме теплофикационная установка имеет в своем составе основной и пиковый подогреватели сетевой воды.

Основной подогреватель находится в работе в течение всего отопительного сезона, а при наличии горячего водоснабжения — круглогодично. Греющей средой основного подогревателя является отборный пар. Пиковый подогреватель включается в работу только при низких температурах наружного воздуха и обогревается либо отборным, либо редуцированным паром.

Для ТЭЦ с турбинами мощностью 50 МВт и более предпочтительней является схема (б). В этой схеме теплофикационная установка имеет два последовательно включенных основных подогревателя — верхний и нижний. Их функции такие же, как и у основного подогревателя в схеме (а). Вместо пиковых подогревателей здесь устанавливаются пиковые водогрейные котлы. Перекачка сетевой воды в схеме (б) двухступенчатая; сетевые насосы входят в состав теплофикационной установки.

Количество установленных насосов определяется следующими правилами:

1) при трех или менее рабочих сетевых насосах в схеме (а) предусматривается один резервный, при четырех и более насосах резерв не предусматривается; в схеме (б) устанавливаются по два рабочих сетевых насоса и по одному резервному насосу в каждой ступени перекачки;

2) подпиточных насосов должно быть не менее двух при закрытой системе теплоснабжения и не менее трех при открытой (в том числе по одному резервному).

Принцип работы и устройство современных газовых турбин

Газотурбинная установка (ГТУ) — это совокупность воздушного компрессора, камеры сгорания и газовой турбины, а также вспомогательных систем, обеспечивающих ее работу.

Совокупность ГТУ и электрического генератора называют газотурбинным агрегатом.

Газотурбинные энергоустановки применяются в качестве постоянных, резервных или аварийных источников тепло- и электроснабжения в городах, а также отдаленных, труднодоступных районах.

Основные потребители продуктов работы ГТУ следующие:

- Нефтедобывающая промышленность
- Газодобывающая промышленность
- Metallургическая промышленность
- Лесная и деревообрабатывающая промышленность
- Муниципальные образования
- Сфера ЖКХ
- Сельское хозяйство
- Водоочистные сооружения
- Утилизация отходов

Преимущества газотурбинных электростанций:

1. Минимальный ущерб для окружающей среды: низкий расход масла, возможность работы на отходах производства;

2. Компактные размеры.

3. Возможность работы на различных видах газа позволяет использовать газотурбинный агрегат в любом производстве на самом экономически выгодном виде топлива.

4. Возможность работы газотурбинной электростанции в течение длительного времени при очень низких нагрузках, в том числе в режиме холостого хода.

Недостатки газотурбинных установок:

1. На привод компрессора расходуется до 50 – 70 % мощности, развиваемой турбиной. Поэтому полезная мощность ГТУ гораздо меньше фактической мощности.

2. В газотурбинных установках исключено применение твердого топлива по обычной схеме. Наилучшие виды топлива для ГТУ – природный газ и качественное жидкое (керосин). Мазут же требует специальной подготовки для удаления шлакообразующих примесей.

3. Очень большая шумность при работе.

Сравнение ГТУ и ПТУ

ГТУ	ПТУ
Газовая турбина состоит из 3-5 ступеней	Паровая турбина состоит из 25...30 ступеней (3...4 цилиндров)
Длина ГТУ (КС + ГТ + К) мала	Длина паровой турбины в 1,5 раза больше
Отсутствуют конденсатор, деаэратор, РПВД, РПНД, БОУ, насосы	Присутствуют
Не нужна охлаждающая вода	Нужна охлаждающая вода (река, градирня, водохранилище и т.д.)

В основе работы ГТУ лежат идеальные циклы, состоящие из простейших термодинамических процессов.

К числу возможных идеальных циклов ГТУ относят:

- а) цикл с подводом теплоты при постоянном давлении ($p = \text{const}$) -цикл Брайтона;
- б) цикл с подводом теплоты при постоянном объеме ($v = \text{const}$);
- в) цикл с регенерацией теплоты.

Принцип работы и устройство современных газовых турбин

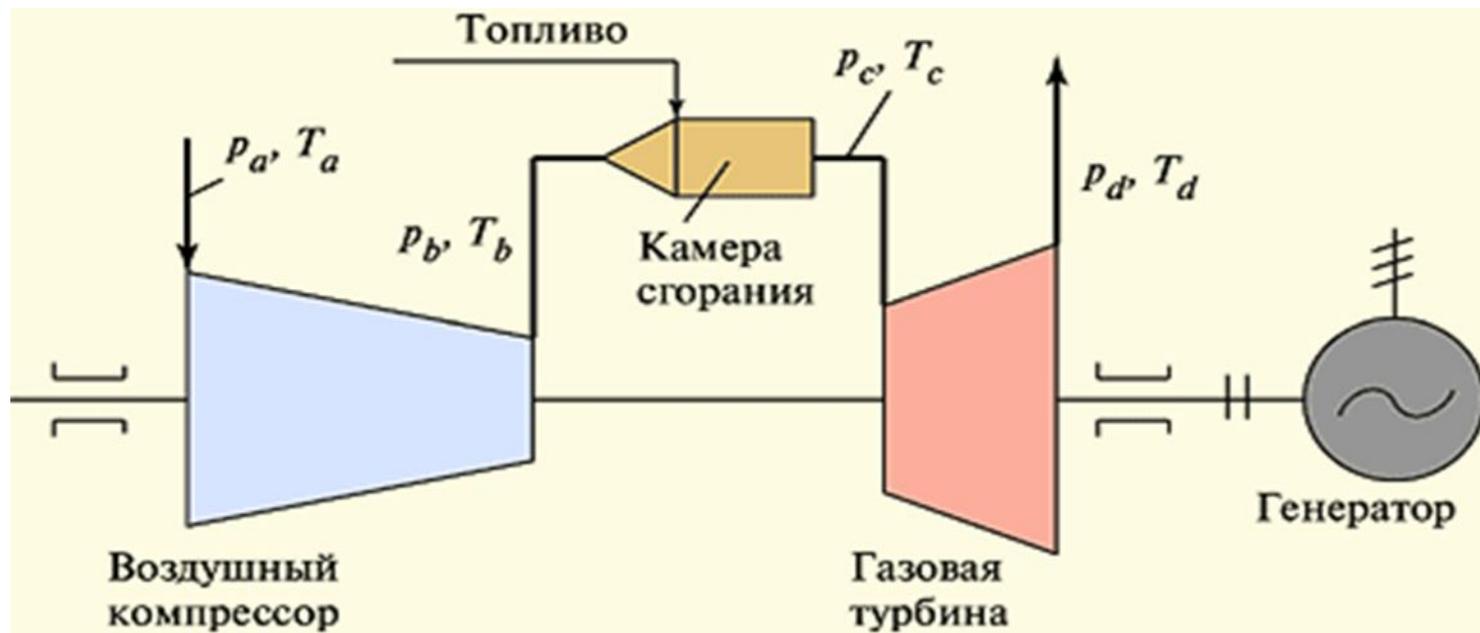


Рис. 7.2. Схема ГТУ простой схемы в условных обозначениях

Схема ГТУ сложного цикла

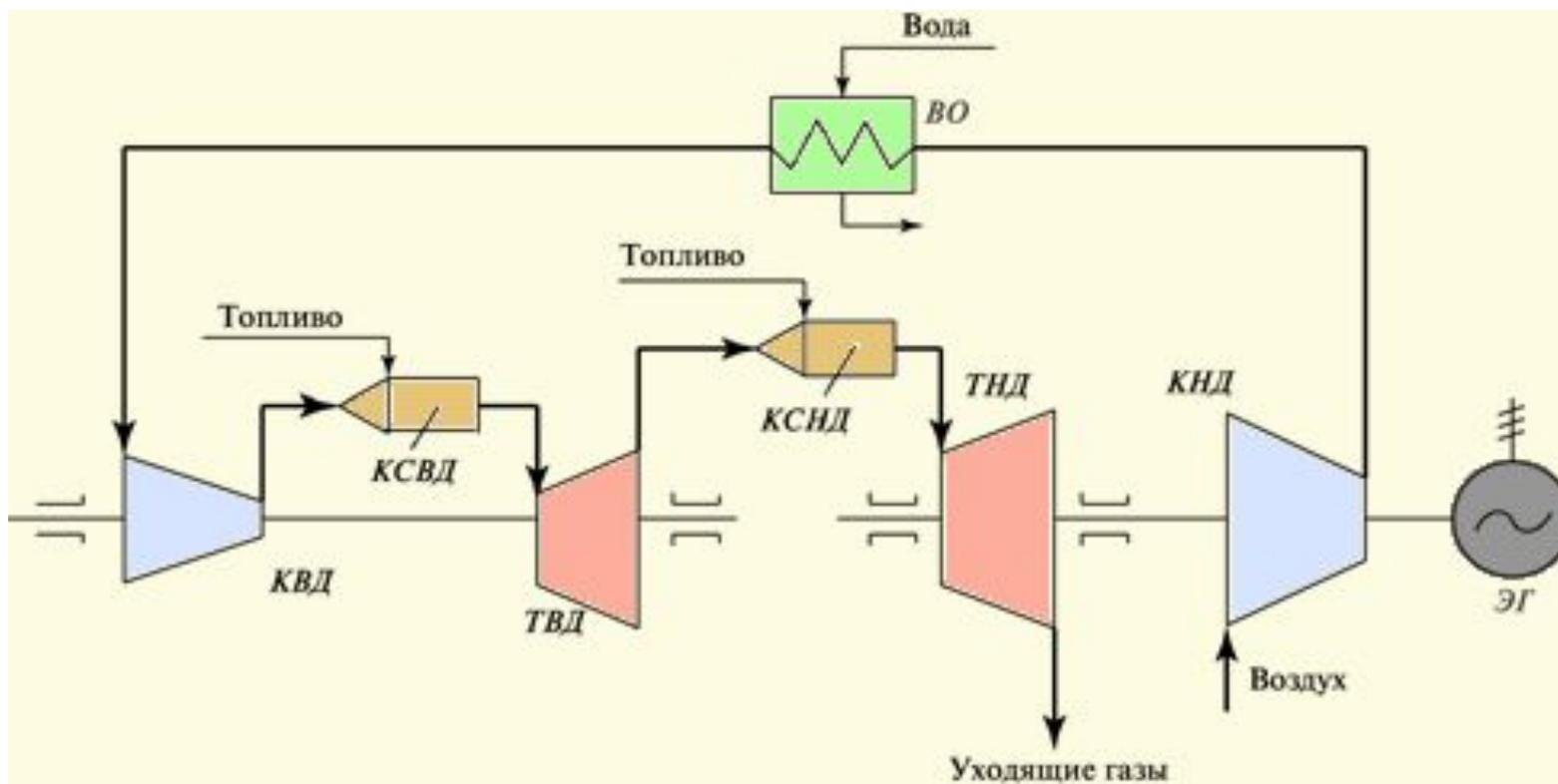


Рис. 7.3. Схема газотурбинной установки ГТ-100-750 ЛМЗ

Цикл ГТУ с регенерацией теплоты

Регенерация теплоты - подогрев воздуха после компрессора выхлопными газами.

Для этого в схему установки необходимо ввести дополнительное устройство — теплообменник.

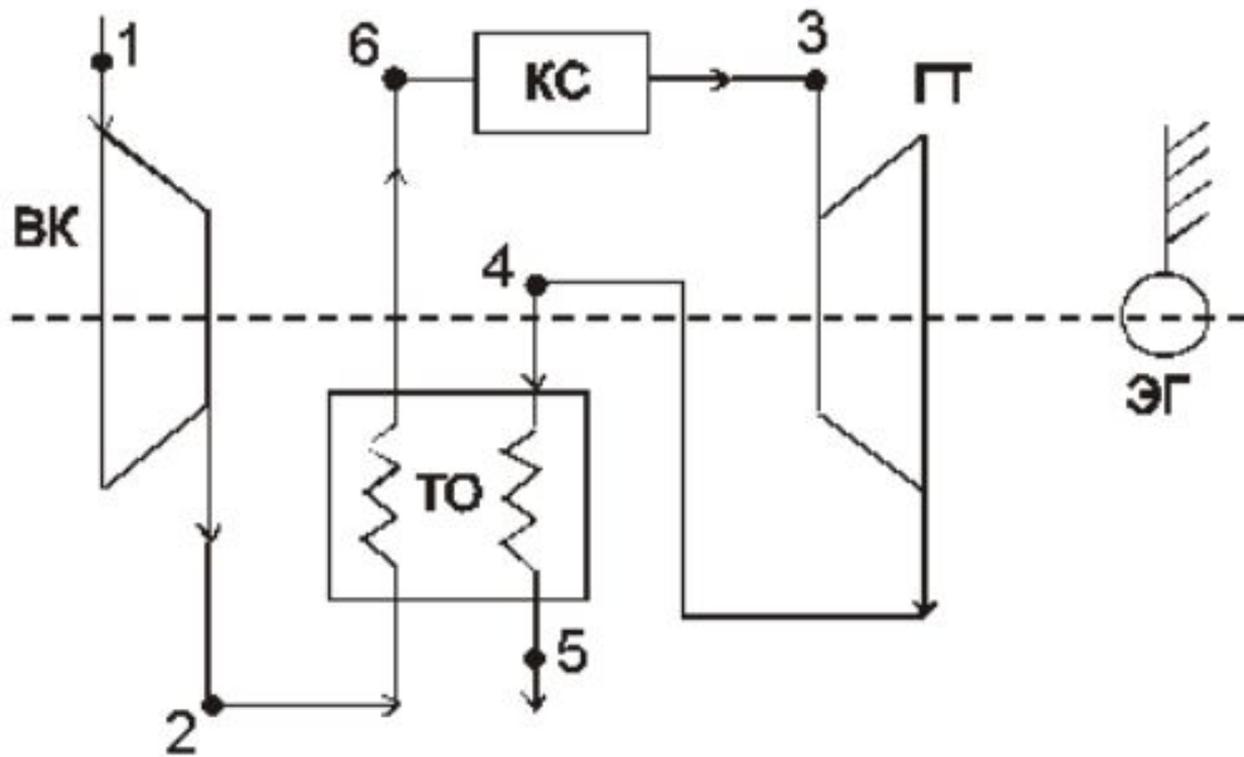
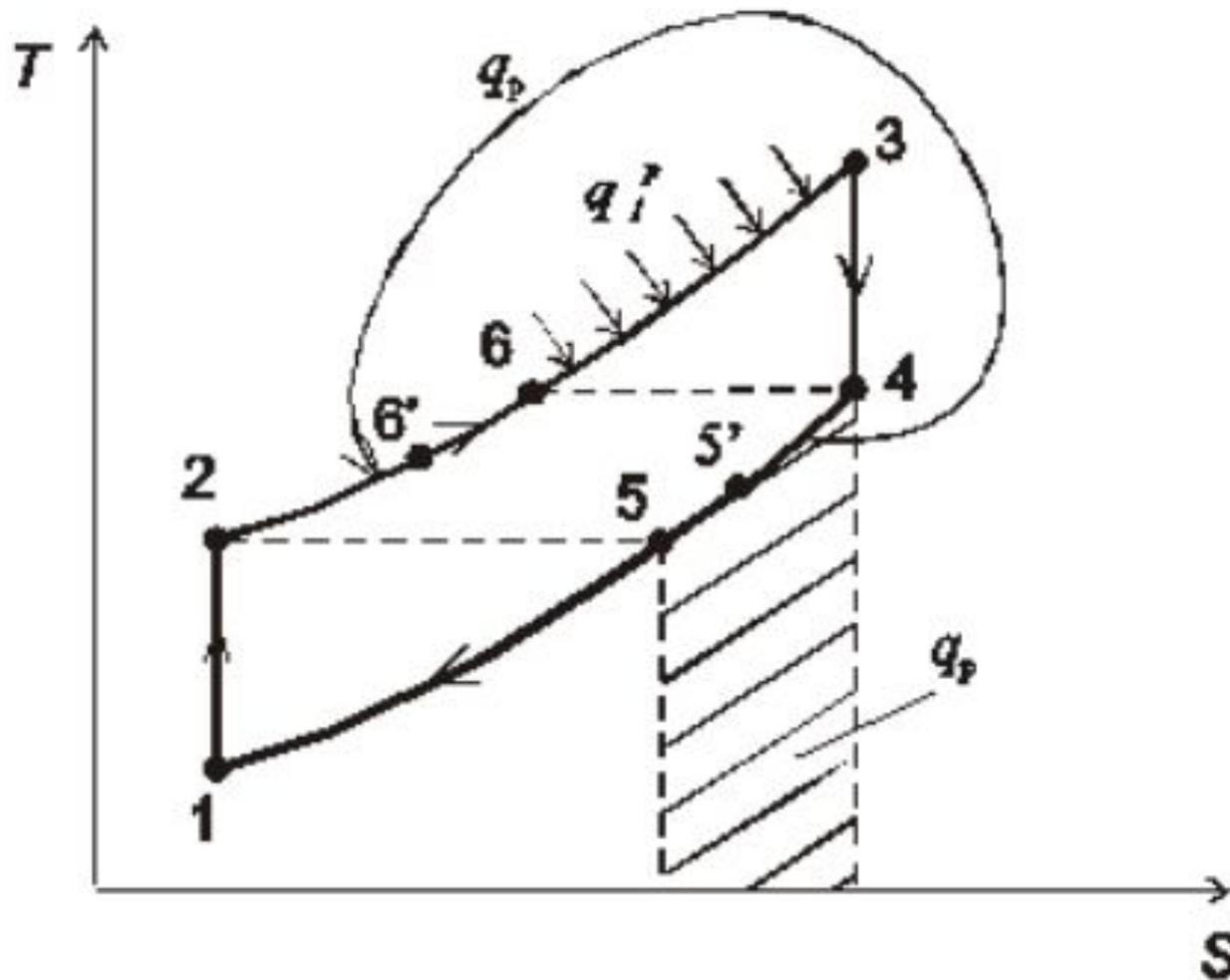


Рис. 10.7.1. Схема ГТУ с регенерацией теплоты (ТО – теплообменник)

Тепловая диаграмма ГТУ с регенерацией теплоты



Схемы и назначения парогазовых установок

Объединяя паротурбинную и газотурбинную установки общим технологическим циклом, получают **парогазовую установку (ПГУ)**, КПД который существенно выше, чем КПД отдельно взятых паротурбинной и газотурбинной установок.

КПД парогазовой электростанции на 17-20 % больше, чем обычной паротурбинной электростанции. В варианте простейшей ГТУ с утилизацией тепла уходящих газов коэффициент использования тепла топлива достигает 82-85%.

Преимущества ПГУ

1. Парогазовые установки позволяют достичь электрического КПД более 60 %. Для сравнения, у работающих отдельно паросиловых установок КПД обычно находится в пределах 33-45 %, для газотурбинных установок — в диапазоне 28-42 %

2. Низкая стоимость единицы установленной мощности

3. Парогазовые установки потребляют существенно меньше воды на единицу вырабатываемой электроэнергии по сравнению с паросиловыми установками

4. Короткие сроки возведения (9-12 мес.)

5. Нет необходимости в постоянном подвозе топлива ж/д или морским транспортом

6. Компактные размеры позволяют возводить непосредственно у потребителя (завода или внутри города), что сокращает затраты на ЛЭП и транспортировку эл. энергии

7. Более экологически чистые в сравнении с паротурбинными установками

Недостатки ПГУ

1. Низкая единичная мощность оборудования (160—972,1 МВт на 1 блок), в то время как современные ТЭС имеют мощность блока до 1200 МВт, а АЭС 1200—1600 МВт.

2. Необходимость осуществлять фильтрацию воздуха, используемого для сжигания топлива.

Парогазовые установки

1) По назначению ПГУ

подразделяют на:

-конденсационные;

-теплофикационные.

Первые вырабатывают только электрическую энергию, вторые – служат для нагрева сетевой воды в подогревателях, подключаемых к паровой турбине.

2) По количеству рабочих тел, используемых в ПГУ, их делят на:

-бинарные;

-монарные.

В бинарных установках рабочие тела газотурбинного цикла (воздух и продукты сгорания топлива) и паротурбинной установки (воды и водяной пар) разделены.

В монарных установках рабочим телом турбины является смесь продуктов сгорания и водяных паров.

Большинство ПГУ относится к ПГУ бинарного типа.

Существующие бинарные ПГУ можно разделить на четыре типа:

1. Утилизационные ПГУ
2. ПГУ со сбросом выходных газов ГТУ в энергетический котел.
3. ПГУ с «вытеснением» регенерации.
4. ПГУ свысоконапорным парогенератором

Принципиальная схема простейшей ПГУ с котлом утилизатором

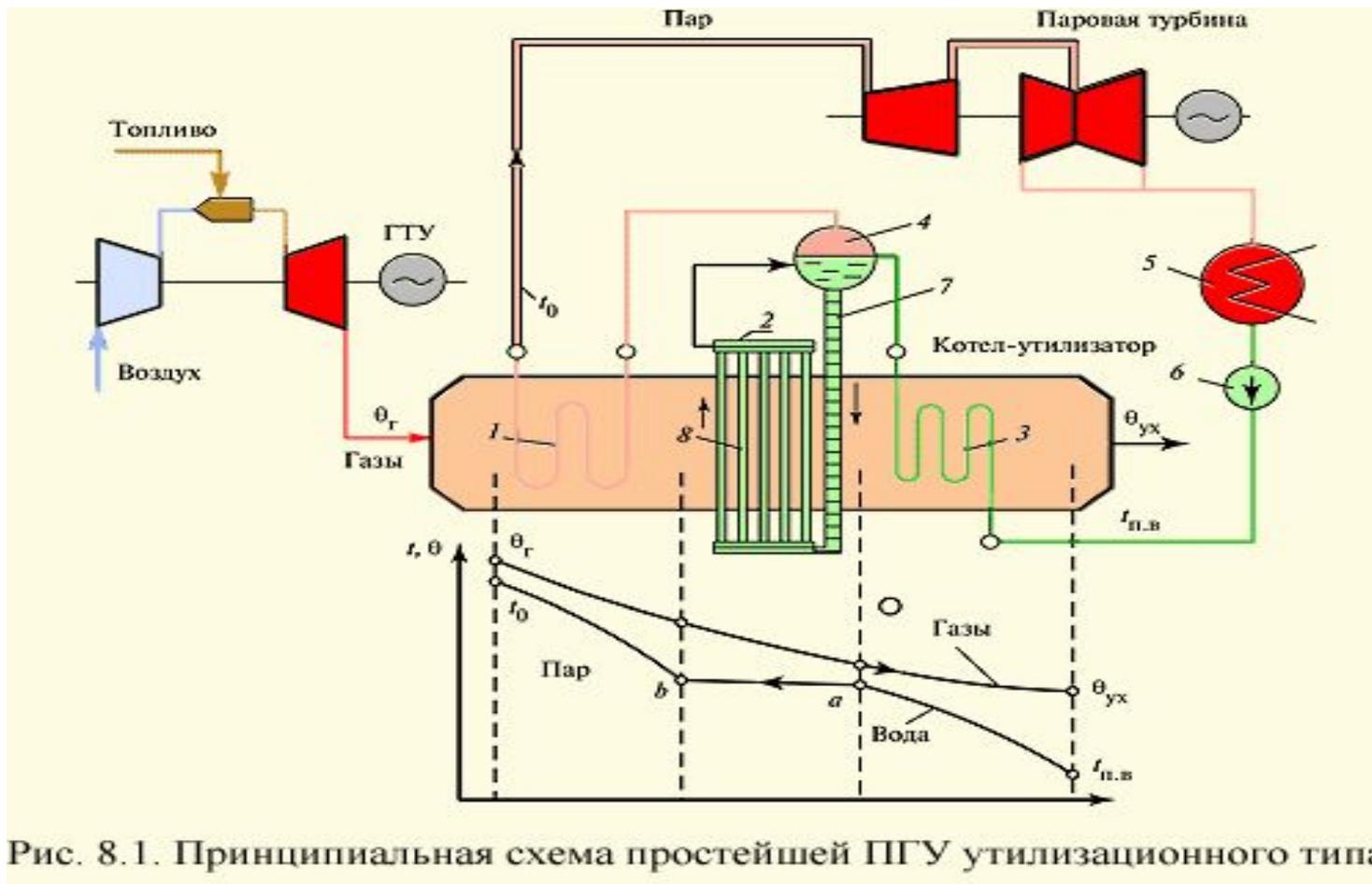


Рис. 8.1. Принципиальная схема простейшей ПГУ утилизационного типа

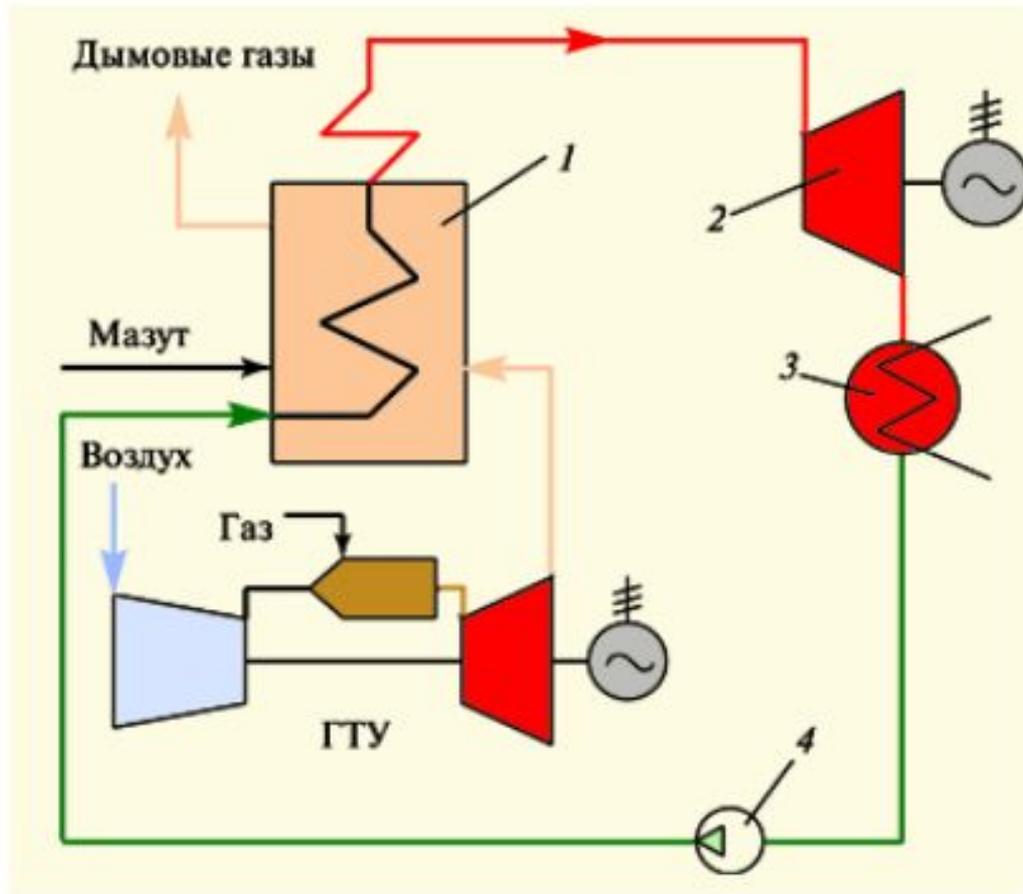


Рисунок 11.1.3. Схема сбросной ПГУ

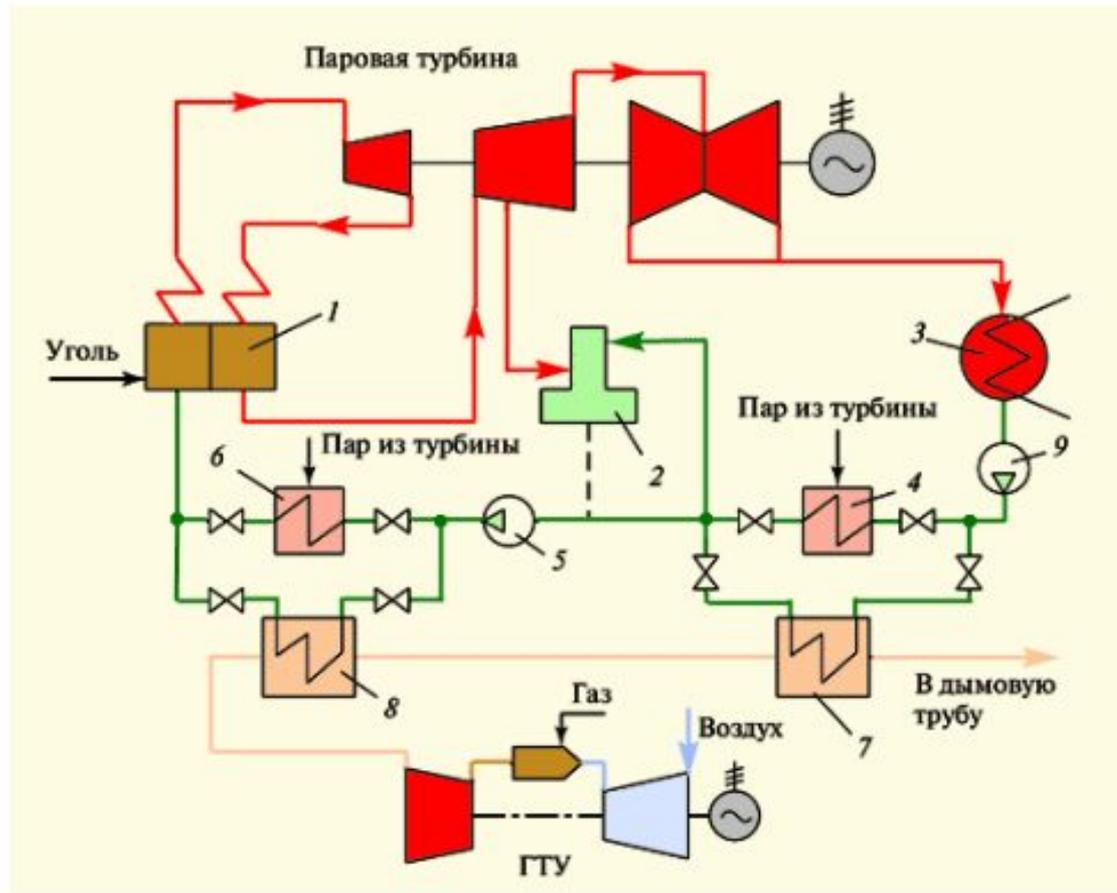


Рис.11.1.4. Принципиальная схема ПГУ с вытеснением регенерации

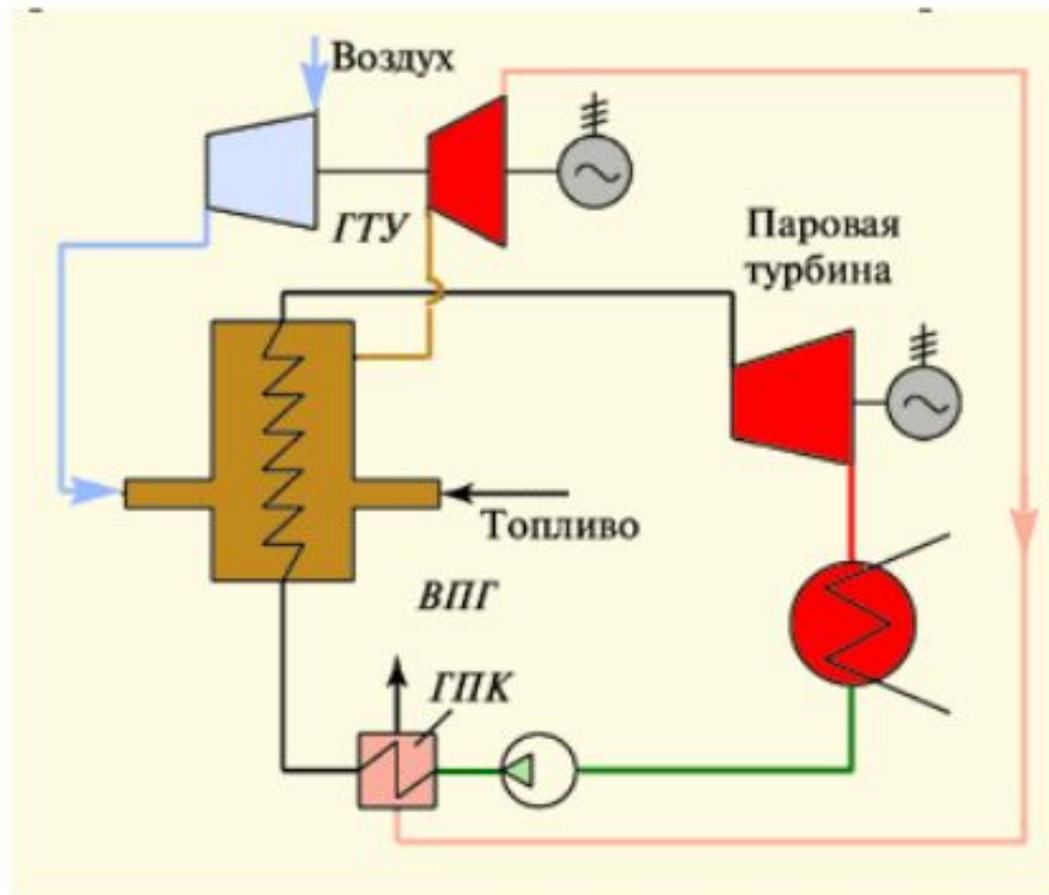


Рис.11.1.5. Схема ПГУ с высоконапорным парогенератором

Принципиальные тепловые схемы АЭС. Топливо, рабочее тело, теплоносители.

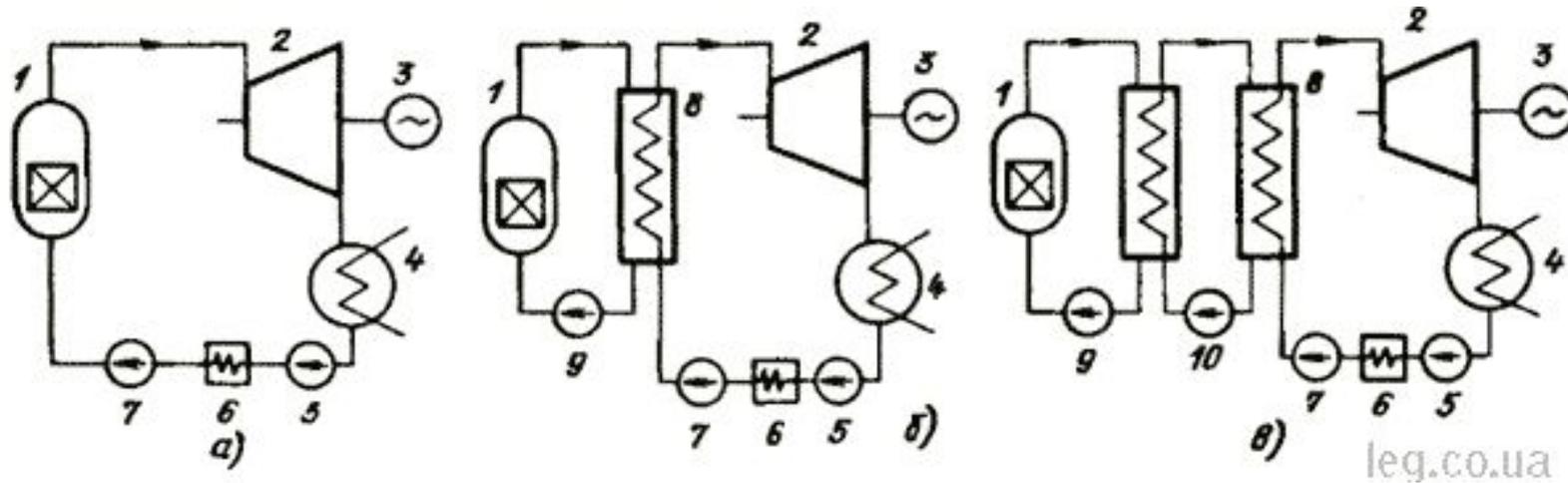


Рис.1. Тепловая схема АЭС:

а - одноконтурная; б - двухконтурная; в - трехконтурная; 1 - реактор; 2 - турбина; 3- турбогенератор; 4- конденсационная установка; 5- конденсатный насос; б - система регенеративного подогрева питательной воды; 7 - питательный насос; 8 - парогенератор; 9 - циркуляционный насос контура реактора; 10 - циркуляционный насос промежуточного контура

В системе любой АЭС различают теплоноситель и рабочее тело. **Рабочим телом**, т.е. средой, совершающей работу, преобразуя тепловую энергию в механическую, является водяной пар. Назначение **теплоносителя** на АЭС — отводить теплоту, выделяющуюся в реакторе.

Замедлитель нейтронов - это среда, которая уменьшает скорость быстрых нейтронов, в идеале не захватывая их, оставляя их в виде тепловых нейтронов с минимальной (тепловой) кинетической энергией.

Эти тепловые нейтроны гораздо более восприимчивы, чем быстрые нейтроны, к распространению ядерной цепной реакции урана-235 или другого делящегося изотопа при столкновении с их атомным ядром.