



Введение в профиль (электроэнергетику)

Лекция 4

Заведующий кафедрой «Электрические станции
и электроэнергетические системы»,
д.т.н., профессор Нагай Владимир Иванович

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Тепловые электростанции

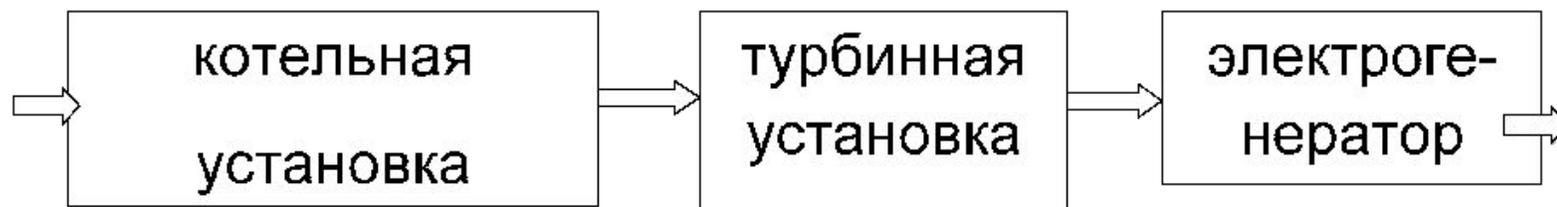
Тепловая электростанция (ТЭС) - электростанция, вырабатывающая электрическую энергию в результате преобразования тепловой энергии, выделяющейся при сжигании органического топлива.

По виду основного теплового агрегата (турбине) тепловые электрические станции подразделяют на *паротурбинные* и *газотурбинные*.

В паровой турбине рабочим телом является **водяной пар**, а в газовой – **газ** (продукты сгорания).



Основные структурные элементы паротурбинной ТЭС



Котельная установка преобразует энергию химических связей топлива и производит водяной пар с высокими температурой и давлением.

В 1824г. Карно доказал, что к.п.д. идеальной тепловой машины зависит от абсолютных температур двух источников тепла: горячего (нагревателя) T_1 и холодного (холодильника) T_2

$$\text{К.п.д.} = (T_1 - T_2) / T_1 = 1 - T_2 / T_1.$$

Абсолютная температура $T = t + 273$, градусов Кельвина, где t - температура в градусах Цельсия.

Основные структурные элементы паротурбинной ТЭС

Турбинная установка преобразует тепловую энергию пара в механическую энергию вращения ротора турбоагрегата;

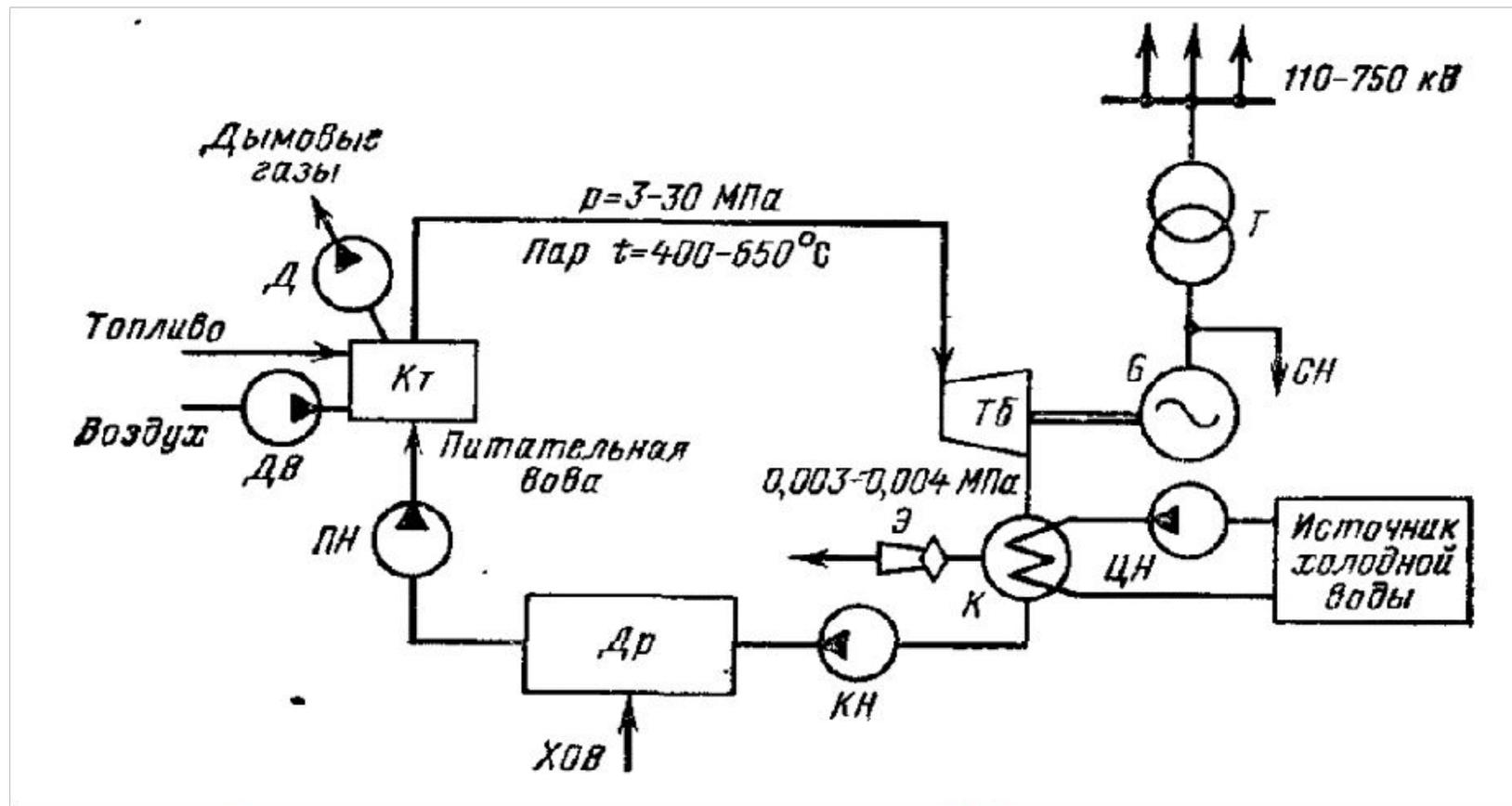
Электродгенератор обеспечивает преобразование кинетической энергии вращения ротора в электрическую энергию.

Паротурбинные электростанции разделяют на:

- **конденсационные (КЭС)** - предназначены для выработки только электрической энергии. Крупные КЭС получили название государственных районных электростанций (ГРЭС);
- **теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)** - производящие электрическую и тепловую энергию в виде горячей воды и пара.



Принципиальная технологическая схема выработки электроэнергии на КЭС



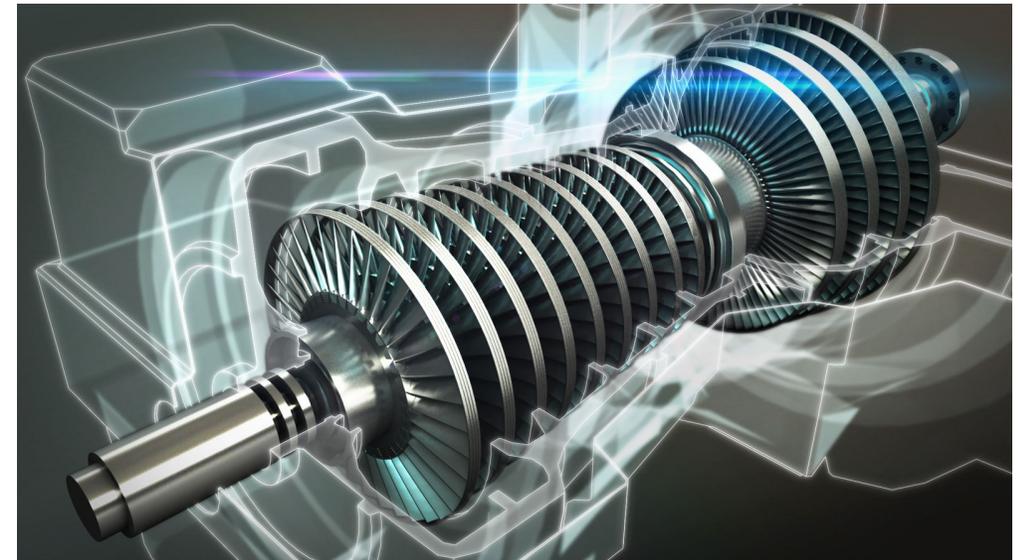
Топливо (уголь, газ, мазут, торф, сланцы) преобразуется в форму удобную для сжигания, в частности, уголь на специальных дробильных установках превращается в угольную пыль. Для дробления используются шаровые барабанные мельницы (ШБМ).

В **котел КТ** (или парогенератор) подается топливо, подогретый воздух и питательная вода. Подача воздуха осуществляется дутьевым вентилятором **ДВ**, а

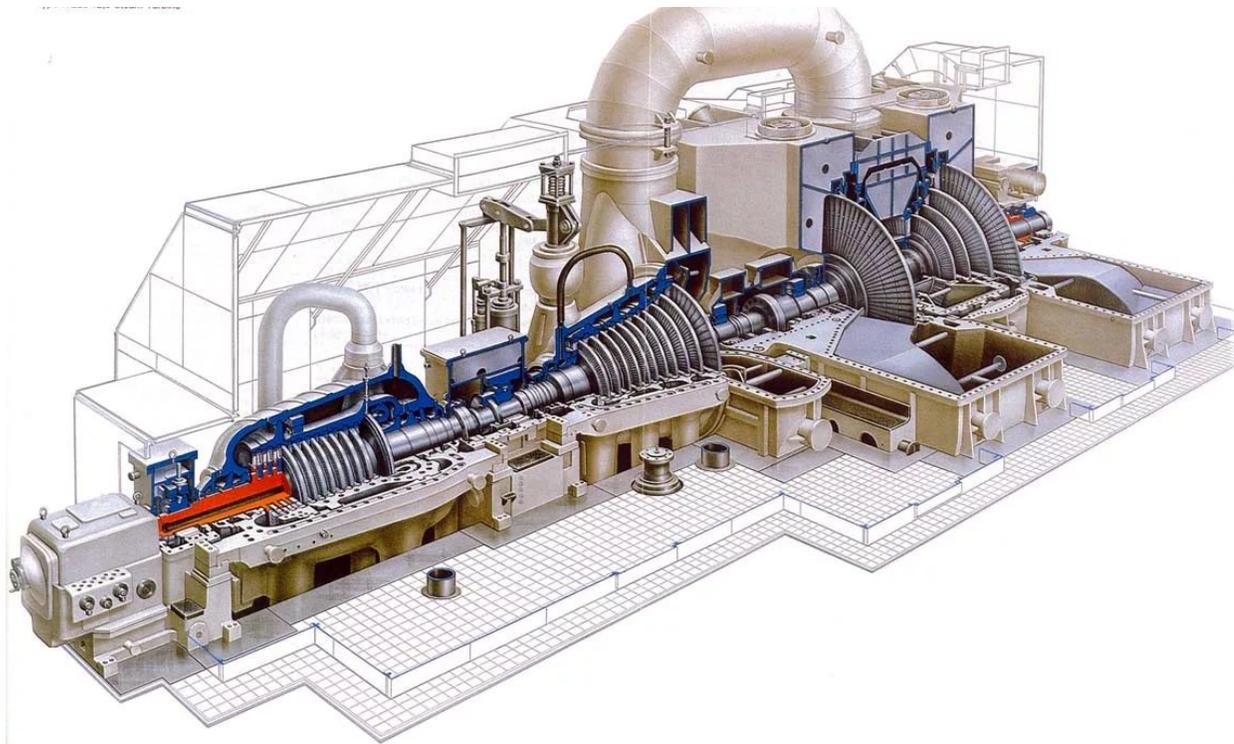
питательной воды - питательным насосом **ПН**.

Принципиальная технологическая схема выработки электроэнергии на КЭС

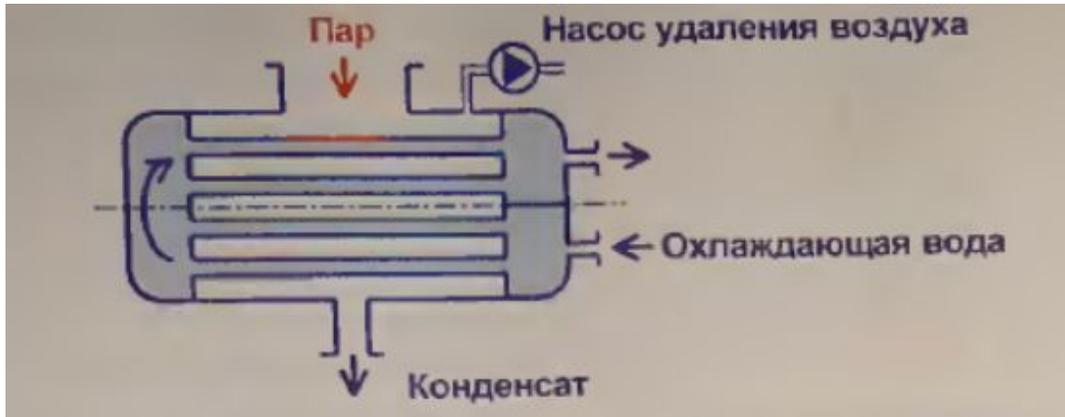
Образующиеся при сгорании топлива газы отсасываются из котла дымососом **Д** и выбрасываются через дымовую трубу (высотой 100—250 м) в атмосферу. Вода в котле в результате нагревания превращается в пар. Из котла пар подается в паровую турбину **Тб**, где, проходя через ряд ступеней турбины, совершает механическую работу — вращает турбину и жестко связанный с ней ротор генератора. Отработанный пар поступает в конденсатор **К** (теплообменник).



Паровые турбины КЭС



Принципиальная технологическая схема выработки электроэнергии на КЭС



Конденсатор (в теплотехнике) (лат. *condenso* — уплотняю, сгущаю) — теплообменный аппарат, теплообменник, в котором осуществляется процесс конденсации, процесс фазового перехода теплоносителя из парообразного состояния в жидкое за счёт отвода тепла более холодным теплоносителем.

В конденсаторе пар конденсируется благодаря пропуску через конденсатор значительного количества холодной (5— 25°C) циркуляционной воды (расход циркуляционной воды в 50—80 раз больше расхода пара через конденсатор).

Принцип действия

В конденсатор обычно поступают перегретые пары теплоносителя, которые охлаждаются до температуры насыщения и, конденсируясь, переходят в жидкую фазу. Для конденсации пара необходимо отвести от каждой единицы его массы теплоту, равную удельной теплоте конденсации. В зависимости от охлаждающей среды (теплоносителя) конденсаторы могут быть разделены на следующие типы: с водяным охлаждением, с водо-воздушным (испарительным) охлаждением, с воздушным охлаждением, с охлаждением кипящим холодильным агентом в конденсаторе-испарителе, с охлаждением технологическим продуктом. Выбор типа конденсатора зависит от условий применения.

Принципиальная технологическая схема выработки электроэнергии на КЭС

Источником холодной воды могут быть река, озеро, искусственное водохранилище, а также специальные установки с охлаждающими башнями (градирнями) или с брызгальными бассейнами (на относительно мелких ЭС), откуда охлаждающая вода подается в конденсатор циркуляционными насосами **ЦН**.

Воздух, попадающий в конденсатор через неплотности, удаляется с помощью **эжектора Э**. Конденсат, образующийся в конденсаторе, с помощью конденсатного насоса **КН** подается в деаэратор **Др**, который предназначен для удаления из питательной воды газов и, в первую очередь, кислорода, вызывающего усиленную коррозию труб котла. В деаэратор также подается химически очищенная вода для восполнения потерь. После деаэратора питательная вода питательным насосом **ПН** подается в котел.

Пропуск основной массы пара через конденсатор приводит к тому, что 60—70 % тепловой энергии, переданной в котле, теряется циркуляционной водой.



Отличительные особенности КЭС

- 1) строятся по возможности ближе к месторождениям топлива;
- 2) подавляющую часть выработанной электроэнергии отдают в электрические сети повышенных напряжений (110—750 кВ);
- 3) работают по свободному (т. е. не ограниченному тепловыми потребителями) графику выработки электроэнергии;
- 4) мощность может меняться от расчетного максимума до так называемого технологического минимума;
- 5) низкоманевренны: разворот турбин и набор нагрузки из холодного состояния требуют 3—10 ч;
- 6) имеют относительно низкий КПД ($\eta=30\sim 40\%$).

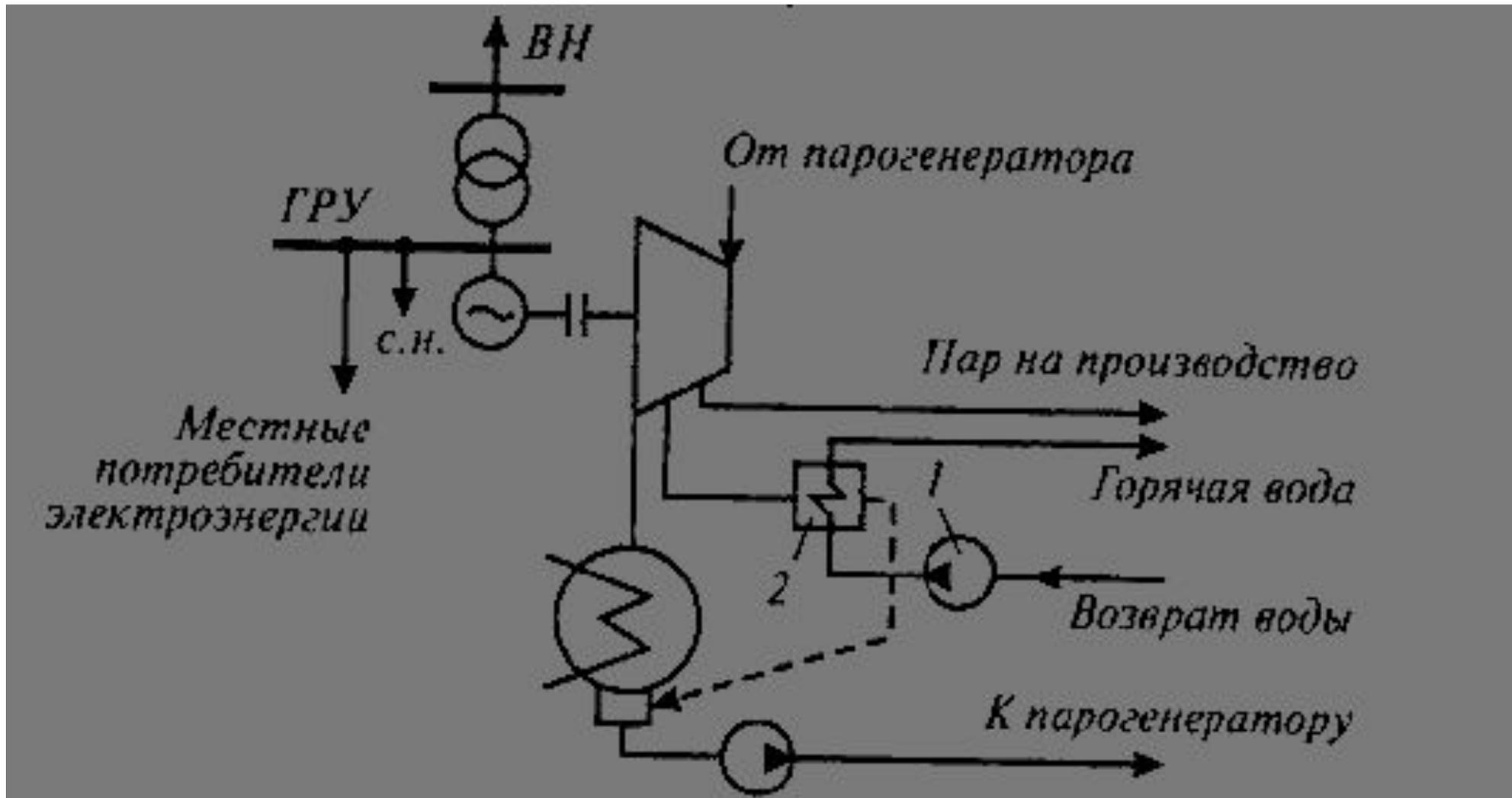


Крупнейшие ТЭС России

- 1 Сургутская ГРЭС-2 — 5597 МВт
- 2 Рефтинская ГРЭС — 3800 МВт
- 3 Костромская ГРЭС — 3600 МВт
- 4 Сургутская ГРЭС-1 — 3268 МВт
- 5 Рязанская ГРЭС — 3070 МВт
- 6 Киришская ГРЭС — 2600 МВт
- 7 Конаковская ГРЭС — 2520 МВт
- 8 Ириклинская ГРЭС — 2430 МВт
- 9 Пермская ГРЭС — 2400 МВт
- 10 Ставропольская ГРЭС — 2400 МВт



Принципиальная технологическая схема ТЭЦ





Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) отличается от конденсационной станции

установленной на ней специальной теплофикационной турбиной с отбором пара.

Часть пара при расширении в турбине (с параметрами $p_{отб} = 0,9—1,2$ МПа) отбирается и отводится в сетевой пароводяной **подогреватель 2**, через который **сетевым насосом 1** прогоняется вода, используемая для отопления зданий и других нужд городского хозяйства и промышленных предприятий.

На производство пар подается в тех случаях, когда вблизи станции имеются промышленные предприятия, требующие его для технологического процесса.

Использование для теплофикации частично отработавшего пара из промежуточных ступеней турбины уменьшает количество пара, поступающего в ее конденсатор, а следовательно, и потери теплоты с циркуляционной водой. Вся теплота, содержащаяся в горячей воде и паре, которые поступают со станции в теплофикационную сеть, считается полезно отпущенной теплотой.

Коэффициент использования теплоты ТЭЦ, учитывающий отпуск потребителям обоих видов энергии (электрической и тепловой) достигает 60—70% и даже более. Этот показатель характеризует общее использование энергии топлива на ТЭЦ. Очевидно, что экономичность работы ТЭЦ зависит от величины отбора пара на теплофикацию. С уменьшением количества пара, поступающего в конденсаторы теплофикационных турбин, кпд ТЭЦ возрастает.

Теплоэлектроцентральный (ТЭЦ)

Отметим, что минимально возможное количество пара, проходящего последние ступени турбины и поступающего в конденсатор, указывается заводом-изготовителем турбины из соображений работы ее последних ступеней. В случае полного отсутствия отпуска теплоты в теплофикационную сеть турбины работают в конденсационном режиме, при этом КПД станции обычно не превышает 30—35%.

Из сказанного следует, что наиболее экономичным режимом работы ТЭЦ является ее работа по графику теплового потребителя, т.е. при регулировании поступления пара в турбины соответственно отбору его на теплофикацию при минимальном пропуске пара в конденсатор. Так как режимы работы тепловых и электрических потребителей различны, то осуществление указанного режима работы ТЭЦ возможно только при ее параллельной работе с другими электростанциями энергосистемы — КЭС и ГЭС.

При такой комбинированной выработке электроэнергии и теплоты достигается значительная экономия топлива по сравнению с отдельным энергоснабжением, т.е. выработкой электроэнергии на КЭС и получением тепла от местных котельных. Поэтому ТЭЦ получили широкое распространение в районах (городах) с большим потреблением теплоты и электроэнергии. В настоящее время на ТЭЦ производится около 30% всей вырабатываемой электроэнергии. Чаще всего они работают на привозном топливе.

Теплоэлектростанция (ТЭЦ)

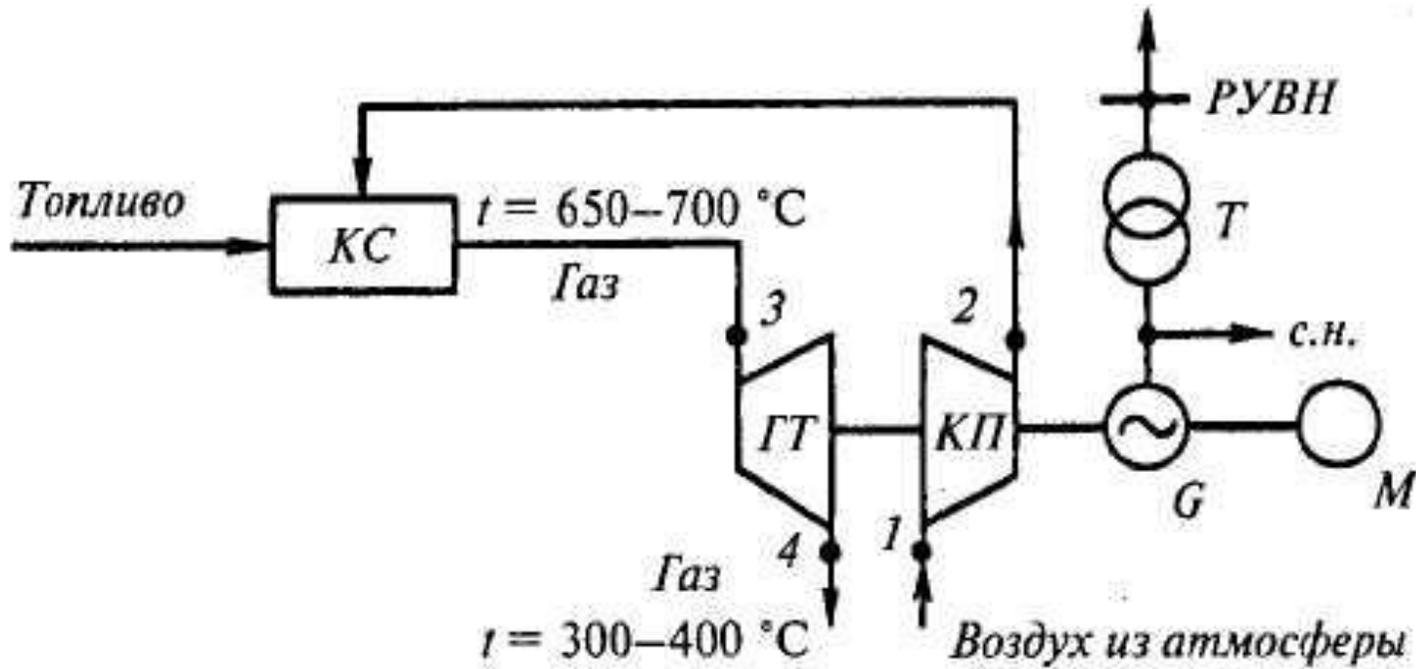
Ростовская ТЭЦ-2



Волгодонская ТЭЦ-2



Газотурбинные установки



Газотурбинная установка (ГТУ) — энергетическая установка: конструктивно объединённая совокупность газовой турбины, электрического генератора, газоздушного тракта, системы управления и вспомогательных устройств (пусковое устройство, компрессор, теплообменный аппарат или котёл-утилизатор для подогрева сетевой воды для промышленного снабжения)

КС — камера сгорания; КП — компрессор; ГТ — газовая турбина; G~ генератор электрического тока; T— трансформатор; M— пусковой двигатель; с.н. — собственные нужды.

Газотурбинные установки

В газовых турбинах рабочим телом являются нагретые до высокой температуры при большом давлении газы. В качестве таких газов чаще всего используют смесь продуктов в сгорании жидкого или газообразного топлива и воздуха.

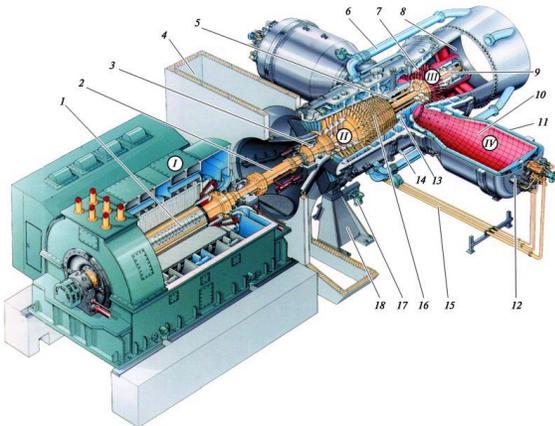
Воздух из атмосферы поступает на вход *воздушного компрессора КП*, который представляет собой роторную турбомашину. Ротор компрессора приводится во вращение *газовой турбиной ГТ*. Поток сжатого воздуха подается в *камеру сгорания КС*, куда также подается топливо (газ или жидкое топливо). При сжигании топлива образуются *продукты сгорания топлива* высокой температуры. К ним обычно подмешивается относительно холодный воздух с тем, чтобы получить газы (их обычно называют рабочими газами) с допустимой для деталей газовой турбины температурой.

Рабочие газы с давлением подаются в *газовую турбину*, принцип действия которой ничем не отличается от принципа действия паровой турбины (отличие состоит только в том, что газовая турбина работает на продуктах сгорания топлива, а не на паре). В газовой турбине рабочие газы расширяются практически до атмосферного давления и поступают в *выходной диффузор*, и из него — либо сразу в дымовую трубу, либо предварительно в какой-либо теплообменник, использующий теплоту *уходящих газов ГТУ*.

Газотурбинные установки

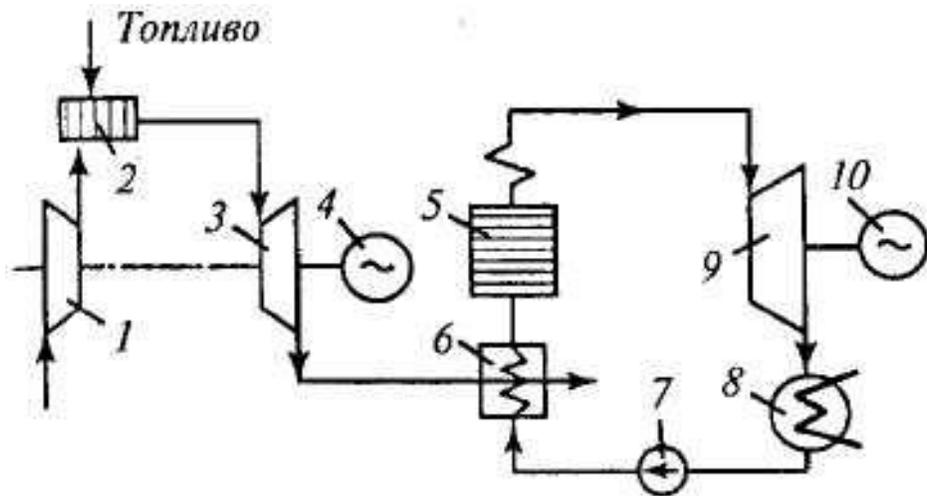
При расширении газов в газовой турбине, последняя вырабатывает мощность. Весьма значительная ее часть (примерно 50%) тратится на привод компрессора, а оставшаяся часть — на привод *электрогенератора*. Это и есть полезная мощность ГТУ, которая указывается при ее маркировке.

ГТУ обеспечивают быстрый пуск, высокую скорость набора мощности, допускают частые остановки и пуски, однако они уступают паротурбинным электростанциям по удельному расходу топлива и себестоимости электроэнергии. Кпд ГТУ – 27-28%. В России используются газовые турбины мощностью 25-100 МВт.



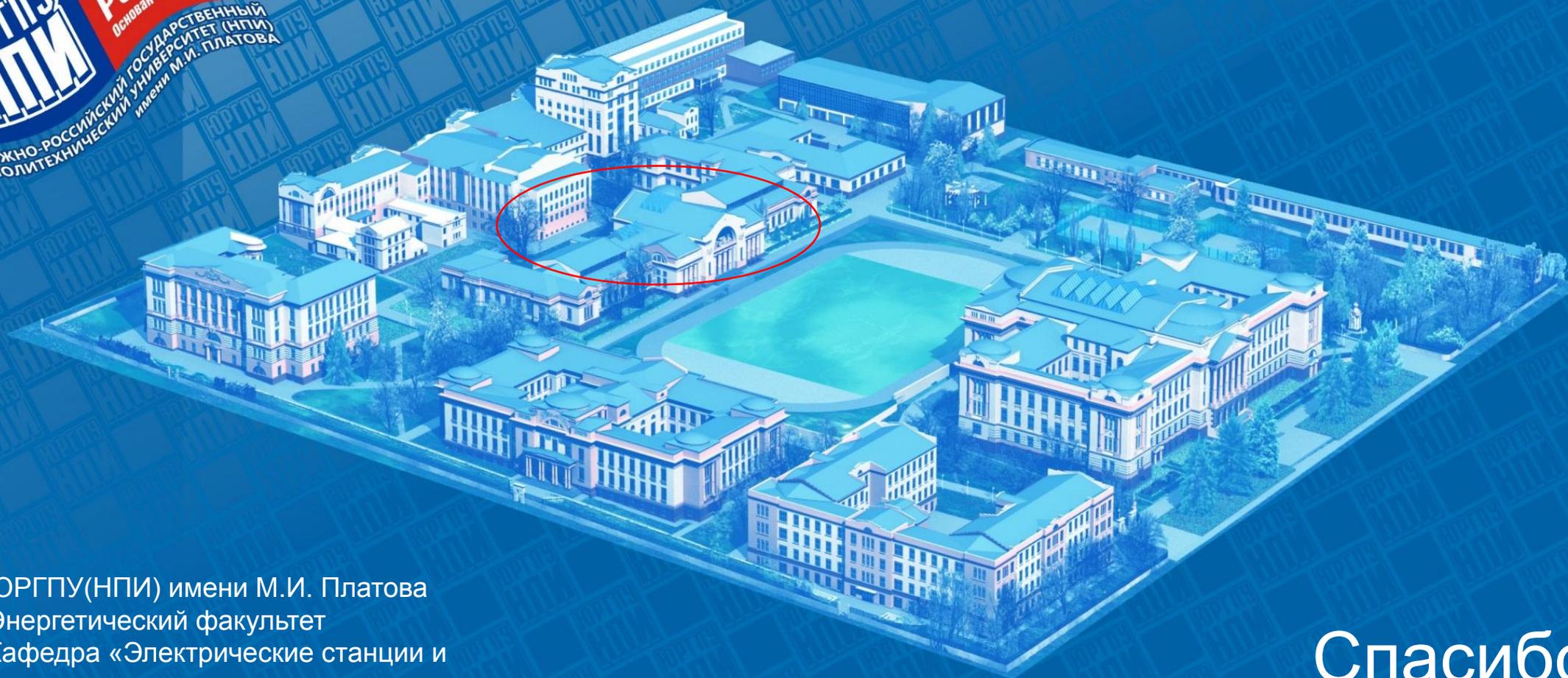
Парогазовые установки

Это энергетические установки, в которых теплота уходящих газов ГТУ прямо или косвенно используется для выработки электроэнергии в паротурбинном цикле. Отработанные ГТУ газы имеют высокую температуру, что неблагоприятно сказывается на КПД установки. Для повышения КПД эти газы могут, например, использоваться для подогрева питательной воды, поступающей в котел конденсационной электростанции (КЭС).



1 – компрессор; 2 - камера сгорания; 3 - газовая турбина; 4 и 10 – генераторы электрического тока; 5 - парогенератор (котел); 6 – подогреватель; 7 – питательный насос; 8 – конденсатор паровой турбины; 9 – паровая турбина.

В камеру сгорания 2 подается топливо, а компрессором 1 — сжатый воздух. Продукты сгорания, отработав в газовой турбине 3, поступают в подогреватель 6, где нагревают питательную воду, поступающую в котел 5. Полезная мощность, вырабатываемая газовой 3 и паровой 9 турбинами, передается генераторам электрического тока 4 и 10. КПД парогазовой установки повышается до 45%.



ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова
Энергетический факультет
Кафедра «Электрические станции и
электроэнергетические системы»
Тел. (8635) 255-211, факс (8635) 255-909
E-mail: estesrza@mail.ru
г. Новочеркасск, 2019 г.

Спасибо
за внимание!