

ВВЕДЕНИЕ

Функция и место парового котла в тепловой схеме ТЭС.

Электрическая станция представляет собой промышленное предприятие для выработки электрической энергии. Основное количество электрической энергии в России и в большинстве крупных экономически развитых стран мира производят на тепловых электрических станциях (ТЭС), использующих химическую энергию сжигаемого органического топлива. Значительную долю электрической энергии вырабатывают также на электростанциях, преобразующих теплоту ядерных реакций – атомных электрических станциях (АЭС), и на электростанциях, использующих энергию больших потоков воды, – гидроэлектростанциях (ГЭС).

Независимо от типа электростанции электрическую энергию, как правило, вырабатывают централизованно. Это значит, что отдельные электрические станции работают параллельно на общую электрическую сеть и, следовательно, объединяются в электрические системы, охватывающие значительную территорию с большим числом потребителей электрической энергии. Это повышает общую резервную мощность и надежность электроснабжения потребителей, а также снижает себестоимость вырабатываемой электроэнергии.

Тепловые электростанции. Основным типом тепловой электрической станции на органическом топливе являются паротурбинные электростанции, которые делятся на конденсационные (КЭС), вырабатывающие преимущественно только электрическую энергию, и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), предназначенные для выработки тепловой и электрической энергии.

Централизованное снабжение теплом крупных городов и поселков в виде горячей воды и пара низкого давления значительно повышает эффективность использования энергии сжигаемого топлива и улучшает состояние воздушного бассейна в зоне городов.

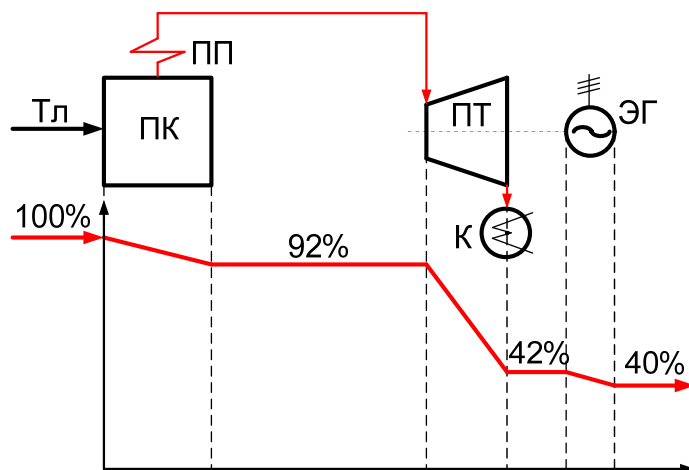


Рис. В.1. Эффективность преобразования энергии топлива в электрическую энергию: ПК – паровой котел; ПП – пароперегреватель; ПТ – паровая турбина; К – конденсатор; ЭГ – электрогенератор

Паротурбинные электростанции выгодно отличаются возможностью сосредоточения огромной мощности в одном агрегате, однако эффективность использования энергии сжигаемого топлива не столь высока (см. рис. В.1), и прежде всего, в силу физических свойств рабочего вещества энергетических установок – воды и пара.

Основными тепловыми агрегатами паротурбинной КЭС являются паровой котел и паровая турбина (рис. В.2, а). Паровой котел представляет собой систему поверхностей нагрева для производства пара из непрерывно поступающей в него воды путем использования тепла, выделяющегося при сжигании топлива. Поступающую в паровой котел воду называют питательной водой. Питательная вода в котле подогревается до температуры насыщения, испаряется, а полученный насыщенный пар затем перегревается.

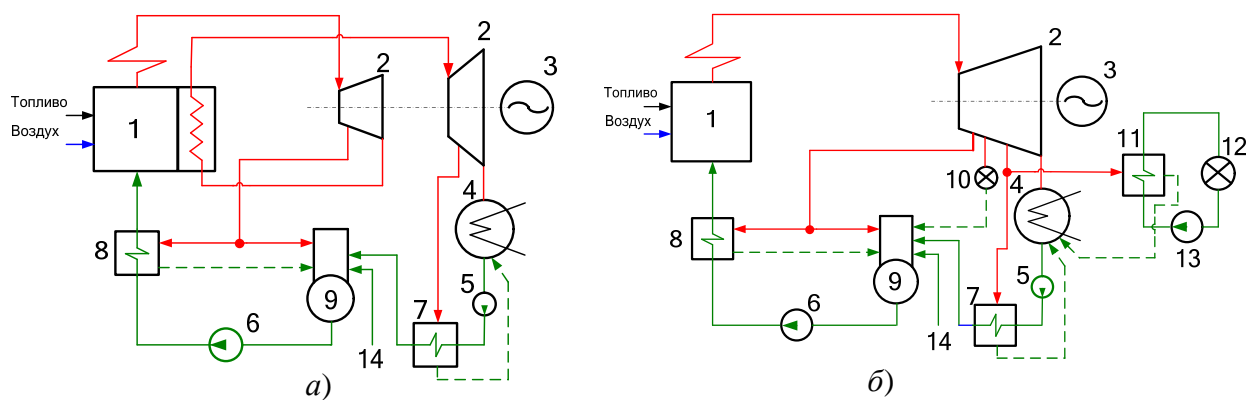


Рис. В.2. Простейшая принципиальная тепловая схема КЭС (а) и ТЭЦ (б): 1 – паровой котел; 2 – паровая турбина; 3 – электрогенератор; 4 – конденсатор; 5 – конденсатный насос; 6 – питательный насос; 7 – подогреватель низкого давления; 8 – подогреватель высокого давления; 9 – деаэратор; 10 – производственный потребитель пара; 11 – подогреватель сетевой воды; 12 – тепловой потребитель; 13 – сетевой насос; 14 – подвод химически очищенной воды для восполнения потерь пара и конденсата

Полученный перегретый пар высокого давления поступает в турбину, где его потенциальная тепловая энергия превращается в механическую энергию вращающегося вала турбины. С последним связан электрический генератор, в котором механическая энергия на основе закона Фарадея превращается в электрическую.

На современных КЭС с агрегатами единичной электрической мощности 100 МВт и выше применяют промежуточный перегрев пара, при котором частично отработавший пар из промежуточных ступеней турбины возвращают в паровой котел. Промежуточный перегрев пара увеличивает КПД турбинной установки и соответственно снижает удельный расход пара на выработку электроэнергии и расход топлива в паровой котел. Промежуточный перегрев пара снижает также влажность пара в последних ступенях низкого давления турбины, и, тем самым, уменьшает эрозионный износ лопаток.

Отработавший пар из турбины поступает в конденсатор, где теплота конденсации пара (скрытая теплота парообразования – значительная часть

энергии пара) передается охлаждающей воде и далее рассеивается в окружающей среде. Полученный основной конденсат перекачивают конденсатными насосами через подогреватели низкого давления в деаэратор, где конденсат доводится до кипения при давлении деаэратора, освобождаясь при этом от растворенных в воде коррозионно-агрессивных газов (кислорода и углекислоты). Сюда же поступает очищенная добавочная вода, компенсирующая потери пара и конденсата в цикле. Из деаэратора вода питательным насосом через подогреватели высокого давления подается в паровой котел под давлением, превышающим давление пара на выходе из котла. Подогрев основного конденсата в подогревателях низкого давления и питательной воды в подогревателях высокого давления производится теплотой конденсирующегося пара, отбираемого из проточной части (ступеней) турбины. Этот процесс называют регенеративным подогревом воды. Регенеративный подогрев заметно повышает КПД паротурбинной установки.

Принципиальная схема ТЭЦ (см. рис. 2, б) отличается от вышеописанной схемы КЭС наличием дополнительных отборов части пара из промежуточных ступеней турбины на теплофикацию жилых районов (горячее водоснабжение), а также на производственные нужды. При этом уменьшается расход пара в конденсатор и связанные с ним тепловые потери.

Тенденция развития паровых котлов – это увеличение единичной мощности, повышение начальных параметров (давления и температуры) пара, применение промежуточного перегрева пара, полная механизация и автоматизация управления, изготовление и поставка оборудования крупными блоками для облегчения и ускорения монтажа.

С применением пара сверхкритического давления ($p = 25,5$ МПа) и перегрева пара ($t = 545\text{--}565$ °С), развитием регенерации тепла тепловая экономичность ТЭС приблизилась к своему термодинамическому пределу (КПД около 42%). Дальнейшее повышение начальных параметров пара уже мало повышает тепловую экономичность паротурбинных блоков, но сильно увеличивает их стоимость из-за необходимости применения более высоколегированных и дорогостоящих сталей. Осложняется при этом и сохранение уже достигнутых показателей надежности.

Исходя из обеспечения электроэнергией резко переменных потребностей в ней в пределах суточного и недельного графиков необходимым становится создание маневренного энергооборудования, позволяющего изменить нагрузку многократно в течение недели и за короткое время. Этим задачам отвечают комбинированные парогазовые установки (ПГУ), представляющие различное сочетание паротурбинной (ПТУ) и газотурбинной установок (ГТУ). Наиболее распространенными являются ПГУ с низконапорным и ПГУ с высоконапорным парогенератором, ПГУ с пиковой ГТУ, позволяющие расширить маневренность энергетических установок и повысить эксплуатационный КПД на 4–5% по сравнению с ПТУ.

В комбинированной ПГУ с низконапорным парогенератором (рис. В.3) высокотемпературные газы после ГТУ (450–500 °С) поступают в топку котла, дополнительно поступают подготовленное для сжигания котельное топливо и часть горячего воздуха. В этой схеме паротурбинная часть установки может работать как самостоятельно (при остановленной газовой турбине), так и в комбинированном варианте.

Газотурбинная установка используется для выработки дополнительной электроэнергии в часы пиковой нагрузки. Она обладает высокой маневренностью, быстрым набором мощности (пуск в работу на полную мощность осуществляется за несколько минут) и работает от 500 до 2000 часов в году. Низконапорный парогенератор (паровой котел) может работать на твердом топливе или мазуте, газовая турбина – на природном газе или жидком топливе. Электрическая мощность ПГУ составляет около 300 МВт и ГТУ мощностью 150 МВт.

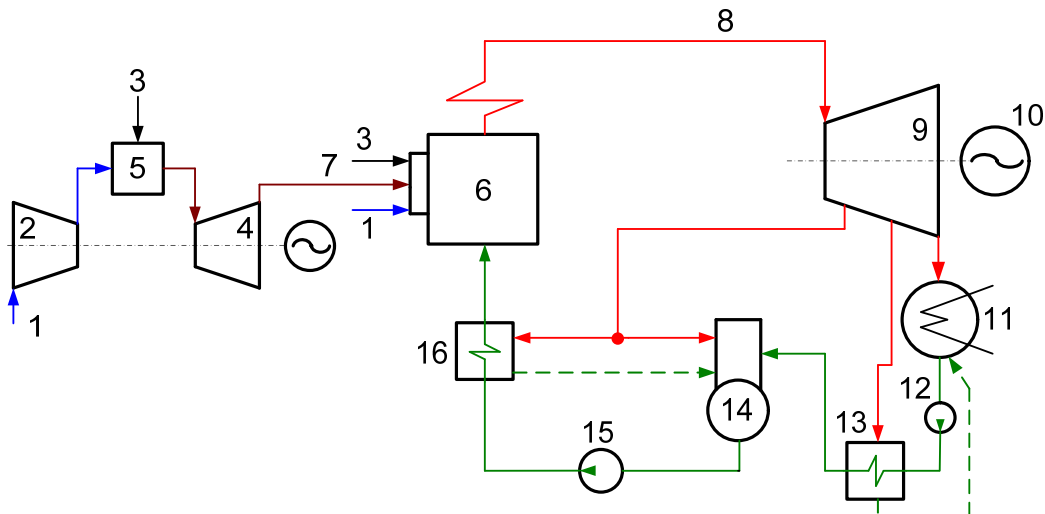


Рис. В.3. Комбинированная ПГУ с низконапорным парогенератором: 1 – забор воздуха; 2 – компрессор; 3 – ввод топлива; 4 – газовая турбина; 5 – камера сгорания; 6 – паровой котел; 7 – газовый тракт; 8 – паровой тракт; 9 – паровая турбина; 10 – электрогенератор; 11 – конденсатор; 12 – конденсатный насос; 13 – подогреватель низкого давления; 14 – деаэра-тор; 15 – питательный насос; 16 – подогреватель высокого давления

На рис. В. 4 показана схема комбинированной ПГУ с использованием высоконапорного парогенератора, который вырабатывает пар высоких параметров ($p = 13,8$ МПа, $t = 545$ °С) и обеспечивает работу паровой турбины. Продукты сгорания после прохождения поверхностей нагрева парогенератора с достаточно высоким давлением ($p = 0,8–1$ МПа) и температурой 750–800 °С направляются к газовой турбине, которая дополнительно вырабатывает электрическую энергию. В результате такого сочетания более эффективно используется тепловая энергия топлива для получения электроэнергии. КПД комбинированной ПГУ на 4–6% выше, чем обычного паротурбинного энергоблока, а также снижаются капитальные вложения в установку.

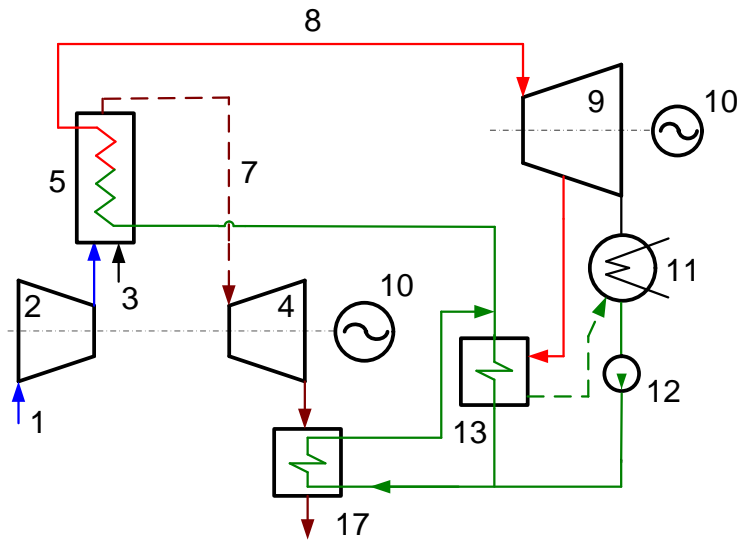


Рис. В.4. Принципиальная схема ПГУ с высоконапорным парогенератором: обозначение те же, что и на рис. 3; 17 – водогазовый теплообменник (регенератор)

Из рассмотрения принципиальных схем производства электрической энергии на тепловых электростанциях следует, что паровой котел или парогенератор является обязательным элементом схемы, при том одним из главных, обеспечивающим концентрированное производство тепловой энергии. Многообразие методов выработки используемой энергии, в том числе и тепловой, ставит задачу всестороннего изучения теоретических основ протекающих процессов и знания конструкций аппаратов, в которых эти процессы реализуются.