

ТЕМА 11

ИСТОЧНИКИ ТЕПЛОТЫ

11.1 Основные виды энергии и источники теплоты, используемые для теплоснабжения

Источником теплоты называется комплекс оборудования и устройств, с помощью которых осуществляется преобразование природных и искусственных видов энергии в тепловую энергию с требуемыми для потребителей параметрами.

Для целей теплоснабжения практическое значение на ближайшую перспективу будут иметь органическое и ядерное топливо, геотермальная и солнечная энергия.

К искусственным видам энергии, которые используются для выработки теплоты на теплоснабжение, относятся «вторичные энергоресурсы» промышленных предприятий и электрическая энергия.

Во всем мире в настоящее время наиболее широко применяются источники теплоты, использующие органические топлива – твердое, жидкое и газообразное. Основными источниками теплоты являются тепловые теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), вырабатывающие комбинированным способом электрическую энергию и теплоту, и котельные, вырабатывающие теплоту.

При комбинированном способе производства электроэнергии и теплоты на ТЭЦ расходуется меньше топлива по сравнению с отдельным способом: выработкой электроэнергии на конденсационных электрических станциях (КЭС) и теплоты в котельных. Однако при этом необходимы большие капитальные затраты на источник теплоты и тепловые сети, поэтому по технико-экономическим соображениям тепловые ТЭЦ применяются обычно при тепловых нагрузках 500 – 800 МВт и выше, а котельные – при меньших нагрузках.

В зависимости от вида рабочего тела, используемого в цикле станции, ТЭЦ бывают паротурбинные, газотурбинные и парогазовые. Преимущественное распространение в настоящее время имеют паротурбинные ТЭЦ, которые обладают высокими технико-экономическими показателями.

Геотермальная энергия в виде горячей воды и пара применяется для теплоснабжения и выработки электроэнергии. Использование геотермальной энергии не влияет непосредственно на окружающую среду. Трудности

закключаются обычно в ограниченности доступных для практического применения запасов и неоднородном (иногда агрессивном) составе различных геотермальных источников.

Необходимо отметить, что проведенные в последние годы под эгидой ООН исследования показали, что геотермальная энергия может быть получена практически везде (в одних районах Земли геотермальные воды и полости высокого давления находятся относительно близко от поверхности, в других – глубже). Кроме того, низкопотенциальная теплота в виде горячей воды или пара может быть получена путем закачивания воды к горячим магматическим слоям литосферы вулканов, поэтому геотермальная энергия отнесена к наиболее перспективным видам энергии для получения низкопотенциальной теплоты.

Вторичные энергоресурсы (ВЭР) в настоящее время находят применение на некоторых промышленных предприятиях для выработки теплоты на теплоснабжение и электроэнергию.

ВЭР образуются на промышленных предприятиях побочно – в процессе производства при выпуске основных видов продукции. К ним относятся: физическая теплота, избыточное давление отходов и продукции, а также горючие отходы, потенциал которых не используется в технологических циклах. Выработка теплоты и электроэнергии за счет такого потенциала позволяет экономить топливо на замещаемых установках, в результате чего повышаются энергетические показатели промышленных предприятий.

Электроэнергия широко применяется для теплоснабжения в ряде стран: США, Канаде, Швеции и др. Ее применение имеет определенные преимущества: возможность использования энергии непосредственно у потребителей, относительная простота подачи и применения, легкость регулирования и измерения величины нагрузки и др., а также то обстоятельство, что затраты на производство электроэнергии оплачивают потребители теплоты.

Необходимо отметить, что электроэнергия является наиболее совершенным видом энергии и выработка ее в настоящее время производится с большими затратами топлива по сравнению с затратами его при выработке теплоты: КПД КЭС составляет примерно, 0,4; котельных – 0,7 – 0,9, поэтому прямая трансформация электроэнергии в теплоту в различных электротопках и электронагревателях энергетически нецелесообразна.

Возможность применения электроэнергии для теплоснабжения может рассматриваться в особых крайне редких случаях, связанных с трудно-

стью доставки топлива или прокладки трубопроводов, при достаточной мощности электрических станций и линий электропередач, при крайней неритмичности и кратковременности режимов работы тепловых потребителей, при значительных провалах в графиках электропотребления в изолированных станциях и энергосистемах с труднорегулируемыми источниками и т. п.

В последние годы ведутся большие работы по использованию для теплоснабжения ядерного топлива и солнечной энергии. Источниками теплоты на ядерном топливе являются атомные ТЭЦ и атомные котельные. Они особенно перспективны для крупных централизованных систем теплоснабжения, так как экономически целесообразны при больших единичных мощностях.

Солнечная энергия как энергоисточник имеет ряд преимуществ, чистоту, бесконечность во времени, «бесплатность» и др. Однако широкое ее применение встречает технические трудности вследствие малой плотности (удельной мощности) и неритмичности действия во времени.

Кроме отмеченных основных видов энергии для теплоснабжения может использоваться и низкотемпературное тепло (природная и искусственная) любой среды (воздуха, воды, грунта и др.) с помощью тепловых насосов. Последние повышают низкотемпературный потенциал среды до уровня, необходимого для теплоснабжения, затрачивая при этом некоторое количество электрической, тепловой или другой энергии.

11.2 Тепловые паротурбинные ТЭЦ

Комбинированная выработка электрической энергии и теплоты для теплоснабжения на тепловых паротурбинных ТЭЦ основана на теплофикационном цикле, который в простейшем случае осуществляется следующим образом (рис. 11.1,а).

В парогенераторе 1 вследствие сжигания топлива вырабатывается пар высоких параметров, энергия которого при расширении в турбине 2 преобразуется сначала в механическую энергию на валу турбины, а затем в электрическую в генераторе 3. Отработавший в турбине пар направляется потребителям теплоты 4, где конденсируясь отдает оставшуюся теплоту (скрытую теплоту парообразования). Образующийся конденсат подается насосом 5 в парогенератор и цикл повторяется.

На TS-диаграмме (рис. 11.1,б) процесс подогрева воды, получения пара и его перегрев в парогенераторе изображается линией 1–2–3–4, а ко-

личество подведенной теплоты топлива определяется площадью 1–2–3–4–5–6–7–1. Процессы расширения пара в турбине изображаются линией 4–5, а передачи теплоты потребителям – линией 5–1. Количество теплоты топлива, преобразуемое в работу (электрическую энергию Э), равно площади 1–2–3–4–5–1, а отданное тепловым потребителям Q – площади 1–5–6–7–1.

В теплофикационном цикле ТЭЦ не происходит потерь теплоты, так как теплота отработавшего в турбине пара используется тепловыми потребителями и, следовательно, повышается КПД использования теплоты топлива.

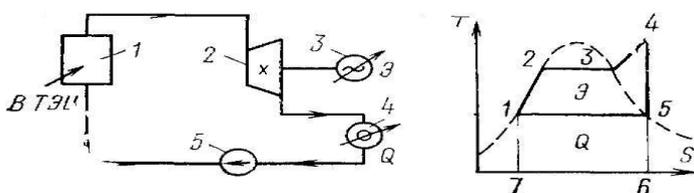


Рис. 11.1 Простейшая схема (а) и цикл (б) ТЭЦ

Современные паротурбинные ТЭЦ различают по следующим признакам:

- 1) по назначению (видам покрываемых нагрузок) – районные (коммунальные, промышленно-коммунальные), снабжающие теплотой и электроэнергией потребителей всего района, и промышленные (заводские);
- 2) по начальным параметрам пара перед турбиной – низкого (до 4 МПа), среднего (4 – 6 МПа), высокого (9 – 13 МПа) и сверхкритического (24 МПа) давления.

Основными типами турбин на паротурбинных ТЭЦ являются:

- 1) теплофикационные (тип Т), выполняемые с конденсатором и регулируемыми отборами пара для покрытия жилищно-коммунальных нагрузок;
- 2) промышленно-теплофикационные (тип ПТ), выполняемые с конденсатором и регулируемыми отборами пара для покрытия промышленных и жилищно-коммунальных нагрузок;
- 3) противодавленческие (тип Р), не имеющие конденсатора; весь отработавший пар после турбины направляется потребителям теплоты.

Турбины типа Т и ПТ являются универсальными, так как за счет перепуска части или всего количества пара в конденсатор могут вырабатывать электрическую энергию независимо от тепловой нагрузки отборов.

Турбины типа Р вырабатывают электроэнергию только комбинированным методом, поэтому они используются для покрытия постоянных тепловых нагрузок, как правило, технологических нагрузок промышленных предприятий.

Обозначение паровых турбин состоит из букв и цифр, например Т-100-130/565, ПТ-50-130/7, Р-50-130/5. Первые буквы в обозначении означают тип турбины, первые за ней цифры указывают номинальную электрическую мощность турбины, МВт, следующие цифры – давление пара перед турбиной, кгс/см². Через косую черту для турбин типа Т указывается температура перегретого пара перед турбиной и промежуточного перегрева, °С, а для турбин типа ПТ и Р – давление промышленного отборного пара или противодавление, кгс/см². Иногда в турбинах типа Т и ПТ дополнительно к номинальной мощности через косую черту указывается максимальная мощность, которую может развивать турбина при конденсационном режиме, например Т-250/300-240/565.

В настоящее время в эксплуатации находятся турбины с различной единичной мощностью: небольшой с $N < 25$ МВт – на низкие и средние параметры пара (2,9–6 МПа, 400°С); средней $N < 25 \div 50$ МВт – на высокие (9 МПа, 535°С) и сверхвысокие (13 МПа, 565°С) параметры пара и большой с $N \geq 100$ МВт на сверхвысокие (13 МПа, 565°С) и закритические (24 МПа, 565°С) параметры пара. Турбины небольшой мощности эксплуатируются в основном на заводских ТЭЦ и число их с каждым годом непрерывно снижается. На современных районных ТЭЦ устанавливаются, как правило, турбины большой мощности.

Следует отметить, что повышение начальных параметров пара перед турбиной, приводящее к росту термического КПД цикла h_t , возможно только при одновременном увеличении и единичной мощности турбин. Это связано с тем, что турбина может иметь высокий внутренний относительный КПД h_{0i} только при достаточной высоте лопаток, которая зависит от объемного расхода пара через турбину:

$$V = D \cdot J,$$

где D – массовый расход пара; J – удельный объем пара.

Чем выше начальные параметры, тем меньше удельный объем пара. Поэтому при малых мощностях турбин увеличение начальных параметров приводит к необходимости применения коротких лопаток, при которых величина h_{0i} турбин уменьшается более значительно по сравнению с рос-

том термического КПД цикла h_t . Следовательно, пар с высокими начальными параметрами целесообразно применять только при достаточно больших массовых расходах пара через турбину. Значения последних примерно составляют: $D \geq 70$ т/ч – при 9 МПа и 535°С, $D \geq 150$ т/ч – при 13 МПа и 565°С и $D \geq 350$ т/ч – при 13 МПа и 565°С.

Для удовлетворения внешних тепловых потребителей турбины типа Т мощностью $N \geq 50$ МВт имеют два регулируемых теплофикационных отбора: нижний с давлением 0,03 (0,05) – 0,2 МПа и верхний с давлением 0,06 – 0,25 МПа, в результате чего обеспечивается подогрев сетевой воды до 118 – 120°С. В турбинах типа ПТ имеются регулируемые отборы для теплоснабжения с давлением примерно 0,05 – 0,25 МПа и для промышленных целей на различные номинальные давления от 0,7 до 1,5 МПа. В турбинах типа Р номинальные значения противодавления лежат в пределах 1 – 3,1 МПа.

Характерными особенностями современных коммунальных ТЭЦ являются:

- 1) применение теплофикационных турбин на высокие начальные параметры пара (давление 13 и 24 МПа) и единичные мощности (100 и 250 МВт);
- 2) многоступенчатый регенеративный подогрев конденсата и подпиточной воды в цикле станции паром из нерегулируемых отборов турбин;
- 3) наличие многоступенчатого подогрева сетевой воды в основных подогревателях паром из нижнего и верхнего регулируемых теплофикационных отборов и в пиковых подогревателях, в качестве которых, как правило, применяются дешевые пиковые водогрейные котлы;
- 4) наличие конденсатора, позволяющего регулировать выработку электрической энергии при переменных тепловых нагрузках. При этом для охлаждения пара в конденсаторах используются теплофикационные пучки, в которых производится подогрев подпиточной воды или обратной сетевой воды.

Простейшая схема различных способов отпуска пара с ТЭЦ представлена на рис. 11.2. К ним относятся:

- 1) непосредственный отпуск пара из отборов или после турбины;
- 2) отпуск вторичного пара из испарительных установок;
- 3) отпуск пара непосредственно от парогенераторов через редуционно-охладительные установки (РОУ);
- 4) отпуск пара с помощью компрессоров.

Самым экономичным является первый способ, при котором происходит наибольшая выработка электроэнергии на внешнем тепловом потреблении на ТЭЦ.

Отпуск вторичного пара из испарительных установок требует дополнительных капиталовложений и является менее экономичным по сравнению с первым способом, так как при обеспечении одинаковых параметров пара у потребителей давление греющего пара будет выше и, следовательно, снизится выработка электроэнергии на внешнем тепловом потреблении. Применяется обычно при значительных потерях и загрязнении конденсата у потребителей.

Отпуск пара от парогенераторов ТЭЦ через РОУ является самым неэкономичным способом, так как связан с прямыми потерями при дросселировании. Поэтому он применяется в крайних случаях, для резервирования или при малых расходах и несоответствии требуемых параметров пара параметрам пара в отборах турбины.

Отпуск пара с помощью компрессоров производится, если имеется пар с параметрами более низкими, чем требуется потребителям. Наиболее простым и широко применяемым является струйный компрессор (см. рис. 11.3). При данном способе по сравнению с третьим способом уменьшается требуемое количество перегретого пара и дополнительно вырабатывается электроэнергия на внешнем тепловом потреблении.

Пароводяные теплофикационные подогреватели и сетевые насосы устанавливаются в подвальном помещении под турбиной. Они выполняются или центральными для всей ТЭЦ, или поагрегатными на каждый турбогенератор. У современных крупных теплофикационных турбин мощностью 50 – 250 МВт подогреватели встроены непосредственно в турбинную установку и составляют с ней одно целое. При этом выполняются поагрегатно и сетевые насосы.

Пиковые водогрейные котлы устанавливаются обычно на ТЭЦ в полуоткрытых помещениях, примыкающих к котельному залу главного корпуса. Здание выполняется лишь для нижней части котлов, а верхняя часть остается на открытом воздухе. Тип и число пиковых котлов выбирается с учетом резервирования тепловой нагрузки для всей ТЭЦ. Устройства для подготовки подпиточной воды, конденсатосборные и паропреобразовательные установки сооружаются в большинстве случаев центральными для всей ТЭЦ.

Теплофикационные пароводяные подогреватели сетевой воды представляют собой трубчатые теплообменники, в которых вода идет по тру-

бам, а пар – в межтрубном пространстве. В большинстве случаев трубки делают прямыми для возможности механической их очистки. В новых теплофикационных турбинах мощностью 50 – 250 МВт по условиям компоновки применяются подогреватели горизонтального типа, в остальных турбинах – в основном вертикального типа.

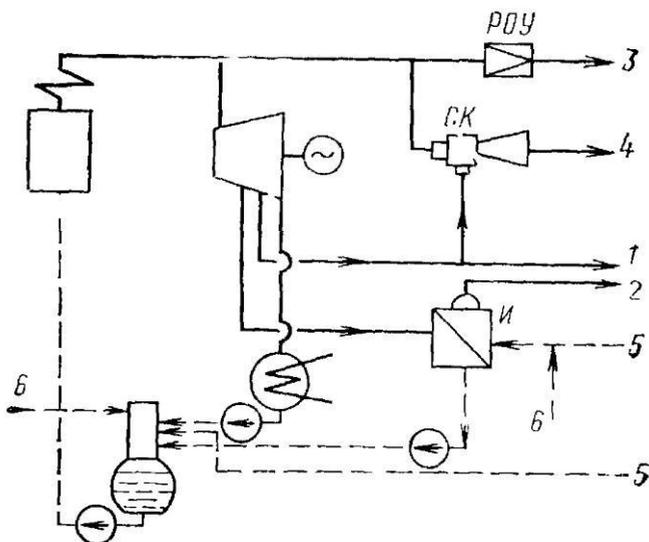


Рис. 11.2. Простейшая схема различных способов отпуска пара с ТЭЦ

1 – пар из отбора турбины; 2 – вторичный пар из испарительных установок; 3 – пар после редуционно-охладительных установок; 4 – пар после струйного компрессора; 5 – конденсат от потребителей; 6 – подпиточная вода

В подогревателях вертикального типа подвод греющего пара производится в верхнюю часть корпуса, отвод конденсата – в нижнюю. Направление движения пара в межтрубном пространстве обуславливается специальными перегородками (рассечками), которые предотвращают образование толстой пленки конденсата на трубках, снижающей коэффициент теплоотдачи от пара к металлу, и препятствуют истиранию трубок от вибрации. Нагреваемая сетевая вода подводится и отводится из верхней водяной камеры, разделенной перегородками, которые делят трубный пучок на несколько частей по числу ходов.

В подогревателях горизонтального типа подвод греющего пара производится в верхней или боковой части корпуса, а отвод конденсата – в нижней части. Подвод и отвод сетевой воды производится во входной ка-

мере, выпуск паровоздушной смеси – на боковой поверхности корпуса. Входная и поворотная водяные камеры также разделены перегородками, делящими трубный пучок на четыре хода по воде. Обе камеры крепятся к корпусу подогревателя, поэтому для компенсации температурных деформаций на корпусе устанавливается линзовый компенсатор. Для устранения провисания трубок из-за большой длины подогревателя (около 10 м) трубки опираются на промежуточные перегородки. Устанавливается подогреватель на опорах.

Корпусы, водяные камеры и трубные доски подогревателей выполняются, как правило, стальными, трубки – латунными – при докритических начальных параметрах пара перед турбиной и из нержавеющей стали – при закритических параметрах для предупреждения осаждения меди на лопатках турбины.

В качестве пиковых водогрейных котлов на ТЭЦ используются серийно выпускаемые стальные водогрейные котлы типа КВГМ и ПТВМ на давления до 2,2 МПа, работающие, как правило, на газе и мазуте.

11.3 Типы и принципиальные схемы котельных

В городах для теплоснабжения применяются крупные районные котельные с тепловой нагрузкой 116 – 812 МВт (100 – 700 Гкал/ч) квартальные и групповые с нагрузкой 17,4 – 116 МВт (15 – 100 Гкал/ч), а также мелкие и местные котельные с нагрузкой до 17,4 МВт (до 15 Гкал/ч).

Крупные котельные характеризуются меньшими удельными капитальными затратами и более эффективным использованием топлива, поэтому в настоящее время стремятся строить в основном крупные районные котельные, отпускающие теплоту одновременно для жилищно-коммунального сектора (ЖКС) и для промышленных объектов.

Квартальные, групповые, мелкие и местные котельные, используемые как в секторе промышленности, так и в ЖКС, сооружаются в основном вследствие разновременности и поэтапности строительства различных объектов.

Для теплоснабжения сельских и небольших рабочих поселков находят применение поселковые котельные мощностью до 12 МВт и децентрализованные домовые (местные) и поквартирные источники теплоты. Поселковые котельные обычно снабжают теплотой по централизованным системам центральную часть поселков, состоящую из многоквартирных секционных и общественных зданий, и производственные зоны, децентра-

лизованные источники теплоты – расположенные на периферии малоквартирные и отдельно стоящие здания.

В зависимости от вида теплоносителя котельные подразделяются на водогрейные, паровые и пароводогрейные.

Водогрейные котельные оборудуются стальными или чугунными водогрейными котлами, вырабатывающими горячую воду, и предназначены для обеспечения в основном жилищно-коммунальных тепловых нагрузок: отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

В современных крупных системах теплоснабжения применяются стальные водогрейные котлы, рассчитанные на давление до 2,2 МПа (22 кгс/см²) и температуру нагрева воды до 180°С. Чугунные и некоторые типы стальных водогрейных котлов (например, из стального листа), рассчитанные на давление до 0,6 МПа (6 кгс/см²) и температуру нагрева воды до 95 – 150°С, применяются в индивидуальных домовых котельных и для мелких систем теплоснабжения, например в сельских поселках.

Принципиальная схема котельной со стальными водогрейными котлами при двухтрубной тепловой сети показана на рис. 11.3.

В водогрейных котлах 1 в результате сжигания топлива производится подогрев воды до требуемой для теплоснабжения температуры (например, 150°С). Часть нагретой в котлах воды с помощью рециркуляционных насосов 2 подается в обратную линию перед котлами. Рециркуляция необходима для подогрева воды на входе в стальные котлы до температур выше температур точки росы, значения которых зависят от вида топлива, а также для поддержания постоянного расхода воды через котлы. При температурах воды на входе в стальные котлы ниже температур точки росы происходят конденсация водяных паров из газов, образование отложений и сернистая коррозия поверхностей нагрева, а при снижении расхода воды более чем на 20% – неравномерное распределение воды в греющих трубках котла, приводящее к вскипанию воды и локальным пережогам трубок. Для устранения коррозии минимальная температура воды на входе принимается: при сжигании газа – примерно 70°С, при сжигании мазута – 110°С.

Основная часть нагретой в котлах воды поступает в подающую магистраль теплосети. Для снижения температуры воды в подающей магистрали в соответствии с применяемым качественным методом регулирования тепловой нагрузки производится подмешивание холодной воды из обратной магистрали по перемычке 4. Количество подмешиваемой воды регулируется клапаном 5 в зависимости от величины тепловой нагрузки (например, по температуре наружного воздуха).

Циркуляция воды в теплосети производится сетевым насосом 6, на всасывание которого с помощью подпиточного насоса 8 подается подпиточная вода после химводоочистки 7.

При использовании мазута в качестве основного или резервного топлива в водогрейных котельных иногда дополнительно устанавливают вспомогательные паровые котлы небольшой мощности, вырабатывающие пар для собственных нужд котельной (разогрева мазута, деаэрации питательной воды и др.).

В мелких системах теплоснабжения при использовании однотипных стальных или чугунных водогрейных котлов находит применение схема, показанная на рис. 11.4. Особенностью ее является то, что подача воды на отопление и горячее водоснабжение производится раздельно по четырехтрубной системе. Для подогрева воды на горячее водоснабжение применяется теплообменник, греющая вода для которого отбирается из подающей магистрали через регулятор температуры типа РТ, поддерживающий постоянную температуру подаваемой на горячее водоснабжение воды ($60 - 65^{\circ}\text{C}$). При этом расчетная температура подаваемой на отопление воды может составлять от $95 - 115^{\circ}\text{C}$ для чугунных котлов до $150 - 180^{\circ}\text{C}$ для стальных.

Паровые котельные оборудуются только паровыми котлами и применяются в основном для выработки пара на технологические нужды, а в отдельных случаях при отсутствии водогрейных котлов требуемых типоразмеров и небольших жилищно-коммунальных нагрузках – для выработки горячей воды для систем теплоснабжения.

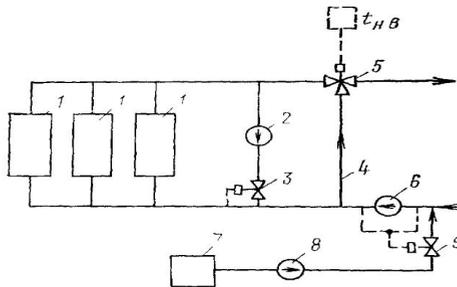


Рис 11.3. Принципиальная схема котельной со стальными водогрейными котлами при двухтрубной тепловой сети

1 – котлы, 2 – рециркуляционный насос 3 – регулирующий клапан, 4 – переключки из обратной линии в подающую; 5 – регулирующий клапан, 6 – сетевой насос, 7 – аппараты химводоочистки.

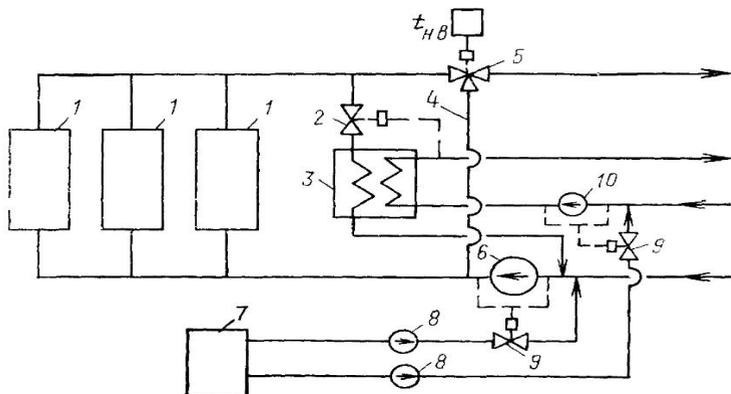


Рис. 12.4. Принципиальная схема котельной с водогрейными котлами при четырехтрубной системе теплоснабжения:

1 – котлы; 2 – регулятор температуры; 3 – теплообменник; 4 – перемычка из обратной линии в подающую; 5 – регулирующий клапан; 6 – сетевой насос; 7 – аппараты химводочистки; 8 – подпиточный насос; 9 – регулятор подпитки; 10 – насос.

Паровые котлы также выполняются стальными и чугунными. Стальные паровые котлы выпускаются в настоящее время промышленностью на паропроизводительность 1 – 75 т/ч и рабочее давление пара 0,9; 1,4; 2,4 и 4 МПа. Одновременно для паро- и теплоснабжения применяются котлы с давлением пара 1,4 МПа. Чугунные паровые котлы имеют меньшую паропроизводительность и рабочее давление пара до 0,17 МПа и применяются для пароснабжения мелких потребителей.

Принципиальная схема котельной со стальными паровыми котлами, отпускающей пар на технологические нужды и горячую воду на теплоснабжение, показана на рис. 11.5.

Вырабатываемый в котлах 1 пар по паропроводам направляется к технологическим потребителям и в пароводяной теплообменник 4 для подогрева воды, циркулирующей в системе теплоснабжения. Конденсат от технологических потребителей и после пароводяного теплообменника поступает в деаэратор 9, для работы которого используется редуцированный пар от котлов. Для восполнения потерь конденсата в деаэратор с помощью подпиточного насоса 12 подается также подпиточная вода после химводочистки 11. Из деаэратора вода подается питательным насосом 10 в котлы.

Циркуляция воды в системе теплоснабжения осуществляется с помощью сетевых насосов 6. Отпуск теплоты на теплоснабжение регулируется

ется путем изменения расхода пара с помощью регуляторов 3 в соответствии с требуемым температурным графиком. Подпитка воды в

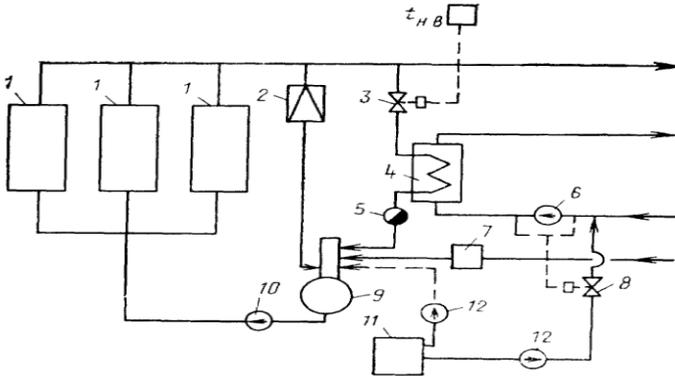


Рис. 11.5. Принципиальная схема котельной с паровыми котлами, отпускающими пар и горячую воду

1 – котлы; 2 – РОУ, 3 – регулирующий клапан, 4 – пароводяной теплообменник, 5 – конденсатоотводчик, 6 – сетевой насос, 7 – фильтр, 8 – регулятор подпитки, 9 – деаэра-тор, 10 – питательный насос, 11 – аппараты химводоочистки, 12 – подпиточный насос

тепловую сеть производится подпиточным насосом 12 после химводоочи-стки 11 на всасывание сетевого насоса.

Пароводогрейные котельные, называемые также смешанными, обо-рудуются указанными выше типами паровых и водогрейных котлов или комбинированными пароводогрейными котлами (например, типа КТК) и предназначаются для выработки пара на технологические нужды и горячей воды для обеспечения нагрузок отопления, вентиляции и горячего водо-снабжения.

Мощность и число паровых и водогрейных или пароводогрейных котлов определяются значениями нагрузок по горячей воде и паровой на-грузки с учетом собственных нужд котельной. Схема пароводогрейной ко-тельной состоит из двух контуров: 1) для выработки пара и 2) для выра-ботки горячей воды. Контур, вырабатывающий горячую воду для систем теплоснабжения, аналогичен схеме водогрейной котельной (см. рис. 11.3).

Мощность котельных выбирается по расчетной максимальной теп-ловой нагрузке потребителей. При этом типоразмеры установленных кот-лоагрегатов должны быть такими, чтобы при выходе из строя наибольшего по производительности котла оставшиеся котлы обеспечивали максималь-

ный отпуск теплоты технологическим потребителям и требуемое для наиболее холодного месяца среднее количество теплоты для нагрузок ЖКС.

11.4 Использование для теплоснабжения геотермальных вод и вторичных энергоресурсов

Геотермальные воды в зависимости от температурного потенциала подразделяются на слаботермальные $t < 40^{\circ}\text{C}$, термальные $t = 40\div 60^{\circ}\text{C}$, высокотермальные $t = 60\div 100^{\circ}\text{C}$ и перегретые $t > 100^{\circ}\text{C}$. При этом геотермальные воды отличаются большим разнообразием по минерализации от ультрапресных (с содержанием солей менее 0,1 г/л) до рассольных (более 35 г/л) и различным химическим составом – от щелочных до кислотных и др.

Вторичные энергоресурсы (ВЭР) промышленных предприятий подразделяются на ВЭР в виде физической теплоты отходов (уходящих газов, воздуха, пара, шлака, охлаждающей воды и др.), продукции (вырабатываемого кокса, газов, жидкостей и др.), избыточного давления газов и жидкостей, а также на горючие ВЭР.

На промышленных предприятиях ВЭР применяют в первую очередь для усовершенствования самих технологических процессов и получения пара в утилизационных парогенераторах для собственных нужд. Оставшиеся избыточные ВЭР направляются на теплоснабжение или производство электроэнергии.

Как источники теплоснабжения геотермальные воды и избыточные ВЭР имеют ряд общих специфических особенностей:

неодинаковый потенциал и состав в различных условиях, т. е. их параметры (температура, давление и состав) колеблются в широких пределах. При этом по составу они в ряде случаев агрессивны и необходимо предусматривать защиту от коррозии и отложений на теплопередающих поверхностях и трубопроводах;

независимость параметров от значений тепловых нагрузок. Геотермальные воды из конкретных скважин имеют постоянные температуры в течение всего года. Избыточные ВЭР имеют, как правило, переменные температуры, давления и расходы как в течение года, так иногда и суток в зависимости от режимов работы технологических агрегатов и схем энергоснабжения промышленных предприятий. Это усложняет схемы их использования, особенно для избыточных ВЭР;

одноразовость применения, т. е. после использования геотермальные воды и избыточные ВЭР, как правило, сбрасываются или удаляются из процесса теплоснабжения и остаточный потенциал теряется. Это заставляет максимально использовать их потенциал, например применять системы отопления с минимально возможными температурами обратной воды.

Способы теплоснабжения с использованием геотермальных вод и ВЭР могут быть подразделены по следующим признакам:

1. В зависимости от степени использования геотермальных вод и избыточных ВЭР в системах теплоснабжения (схем присоединения тепловых потребителей):

а) с непосредственным использованием в системах отопления и для горячего водоснабжения (открытая система с зависимым присоединением к теплосети систем отопления);

б) с использованием в системах отопления и для подогрева воды, идущей на горячее водоснабжение (закрытая система с зависимым присоединением систем отопления);

в) с использованием только для подогрева теплоносителя систем теплоснабжения (независимое присоединение систем отопления и горячего водоснабжения).

2. В зависимости от способа покрытия тепловых нагрузок:

а) за счет имеющегося температурного потенциала;

б) путем установки дополнительного подогревателя.

3. В зависимости от способа подачи теплоносителя к потребителям:

а) за счет имеющегося избыточного давления;

б) с помощью насосов.

Непосредственное использование геотермальных вод и избыточных ВЭР является наиболее простым и эффективным решением, так как при этом не требуется дополнительных теплообменников и можно полнее использовать имеющийся температурный потенциал и экономить водопроводную воду. Однако непосредственное использование геотермальных вод и избыточных ВЭР в виде горячей воды возможно, если они удовлетворяют санитарным требованиям для воды питьевого качества.

Некоторые возможные принципиальные схемы непосредственного использования геотермальных вод в системах теплоснабжения показаны на рис. 11.6.

Схемы, показанные на рис. 11.6, а и б, применяются при больших ресурсах геотермальных вод и избыточных ВЭР и для небольших систем

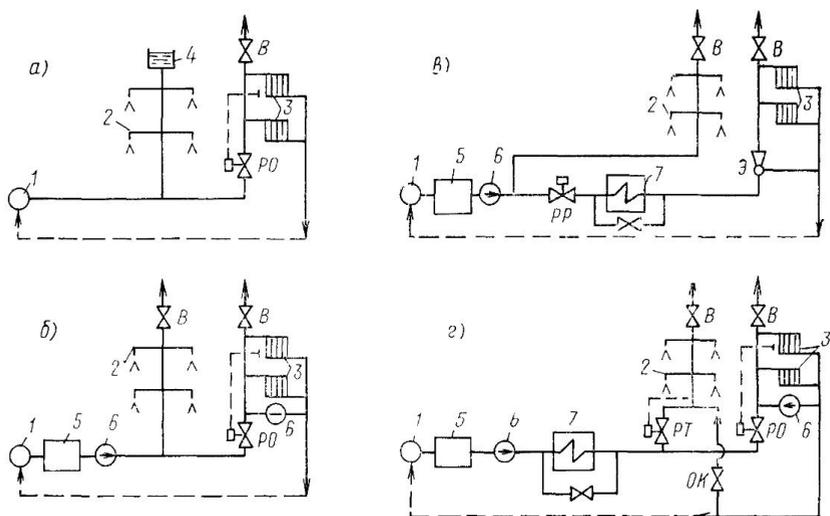


Рис. 11.6. Принципиальные схемы с непосредственным использованием геотермальных вод и избыточных ВЭР в системах теплоснабжения:

а, б – с подачи воды на отопление и горячее водоснабжение непосредственно из источника и сборного бака; в, г – с подогревом воды на отопление и в систему теплоснабжения; 1 – источник геотермальной воды (скважина) или избыточных ВЭР (технологический агрегат); 2 – водоразборный кран; 3 – отопительный прибор; 4 – бак-аккумулятор; 5 – сборный бак; 6 – насос; 7 – дополнительный подогреватель; В – воздушник; Э – элеватор; РО – регулятор нагрузки отопления. РТ – регулятор температуры; ОК – обратный клапан; РР – регулятор расхода.

теплоснабжения. В схеме, приведенной на рис. 11.6, а, подача производится за счет имеющегося избыточного давления, на рис. 11.6, б – с помощью насоса.

Применение для транспортирования горячей воды имеющегося избыточного давления не всегда возможно, так как для геотермальных источников это создает противодействие, снижающее динамический уровень самоизлива из скважин, для избыточных ВЭР – вследствие возможных резких колебаний давления и расхода. Поэтому, как правило, горячая вода предварительно собирается в сборный бак, откуда уже подается потребителям сетевыми насосами (см. рис. 11.6, б).

При недостаточных ресурсах и низком потенциале геотермальных вод и избыточных ВЭР и в крупных системах теплоснабжения применяются схемы с догревом воды в дополнительных подогревателях. Может про-

изводиться догрев воды, идущей в системы отопления (рис. 11.б, в), или всей воды (рис. 11.б, г).

Если качество геотермальных вод и избыточных ВЭР не соответствует санитарным требованиям к воде питьевого качества, то в зависимости от химического состава и вида их применяют в системе отопления и для подогрева воды, подаваемой на горячее водоснабжение, или для подогрева всей воды, подаваемой в систему теплоснабжения.

Непосредственно в системах отопления могут применяться геотермальные воды и избыточные ВЭР в виде горячей воды, пара и воздуха, не обладающие коррозионной активностью и не приводящие к образованию отложений солей и накипи в трубопроводах и отопительных приборах. Для снижения коррозионной активности геотермальных вод и ВЭР в ряде случаев производят удаление агрессивных газов (O_2 , CO_2 и др.) и солей ($CaSO_4$, $CaCO_3$ и др.) или вводят различные ингибиторы коррозии (например, силикат натрия) и антинакипные реагенты (например, гексаметафосфат натрия).

Независимое присоединение систем отопления и горячего водоснабжения применяют при высоких агрессивности и солесодержании геотермальных вод и избыточных ВЭР, а также при использовании теплоты различных газов и веществ, непригодных в качестве теплоносителя.

Выработка теплоты на теплоснабжение может производиться также на ТЭЦ, работающих на паре от геотермальных источников или избыточных ВЭР (например, на паре с параметрами 3,5 МПа, 435°C, получаемом от установок сухого тушения кокса), а также при сжигании горючих ВЭР в утилизационных теплогенераторах.

11.5. Гелиотеплоснабжение и тепловые насосы

Использование для теплоснабжения солнечной энергии и низкотемпературной теплоты различных сред (воздуха, воды, грунта и др.) с помощью тепловых насосов относится к перспективным направлениям, которые начинают в настоящее время применяться в экспериментальном строительстве. Широкое внедрение этих направлений в практику теплоснабжения сдерживается в основном из-за высоких капитальных затрат на оборудование таких систем и сложности обеспечения только за счет указанных ресурсов требуемых тепловых нагрузок, поэтому они применяются, как правило, совместно с традиционными способами, что дополнительно увеличивает затраты на теплоснабжение.

Как источник теплоснабжения солнечная энергия имеет специфические особенности:

1) использование ее эффективно только в определенных районах, имеющих большое число солнечных дней в году (южных, горных и т. п.);

2) максимальные теплоступления происходят в летнее время, когда тепловая нагрузка минимальна;

3) теплоступления происходят только в солнечные дни, а в пасмурные дни и ночные часы они отсутствуют.

Поэтому при использовании солнечной энергии необходимы аккумулирующие устройства или дополнительные источники теплоты (или то и другое), компенсирующие нехватку теплоты при отсутствии теплоступлений.

Для использования солнечной энергии применяются солнечные коллекторы (гелиоприемники), внутри которых циркулирует теплоноситель. Обращенная к солнцу наружная поверхность гелиоприемника выполняется из материала черного цвета, который лучше всего поглощает солнечные лучи и за счет этого сильнее нагревается. От этой поверхности происходит уже нагрев теплоносителя, подаваемого к потребителям. Гелиоприемники устанавливаются на крыше и стенах зданий или специальных сооружений с ориентацией на солнечную сторону и углом наклона к горизонту не менее 60° для обеспечения естественного стока атмосферных осадков. В качестве теплоносителя используется обычно вода или незамерзающие жидкости (например, антифриз из смеси этиленгликоля с водой). При отсутствии теплоступлений иногда предусматривают меры против замерзания воды: принудительную циркуляцию или слив воды из контура, установку гелиоприемников в утепленном помещении и др.

Применяемые в настоящее время схемы теплоснабжения с использованием солнечной энергии могут быть подразделены по следующим признакам:

1) по связи с традиционной системой теплоснабжения – раздельная (независимая) и совмещенная (зависимая);

2) в зависимости от числа контуров в схеме теплоснабжения – одноконтурная и двухконтурная.

При раздельном способе каждая из схем теплоснабжения выполняется независимо друг от друга, что упрощает их монтаж и эксплуатацию. Однако капитальные затраты при этом получаются, как правило, максимальными, так как в каждой из схем выполняются свои отопительные приборы, разводки труб и др. При совмещенном способе нагрев теплоносителя, подаваемого в системы отопления, производится теплотой, получаемой вначале в гелиоприемнике, а затем в традиционном источнике (например, в домовой котельной). При этом используются одни и те же отопительные

приборы, что снижает капитальные затраты, однако эксплуатация таких установок более сложная.

В одноконтурных схемах гелиотеплоснабжения теплоноситель, циркулирующий через гелиоприемник, подается непосредственно в системы отопления (с предварительным догревом при необходимости в традиционном источнике теплоты). В двухконтурных схемах теплоноситель, циркулирующий через гелиоприемник, подается в теплообменник, где производится подогрев воды для систем отопления. При этом в солнечном контуре могут быть применены специальные теплоносители (незамерзающие жидкости и др.).

Простейшая двухконтурная зависимая схема гелиотеплоснабжения показана на рис. 11.7. Теплоноситель первого контура нагревается в гелиоприемниках 1 и поступает в водоподогреватель 8, где отдает теплоту воде, подаваемой на горячее водоснабжение и отопление. Водоподогреватель является одновременно и аккумулятором, который запасает теплоту при наличии солнечной энергии и разряжается при отсутствии солнца. Догрев подаваемой к потребителям воды до расчетных параметров производится в котле 6 для систем отопления и водогрейной колонке 7 для горячего водоснабжения.

К тепловым насосам относятся установки, повышающие потенциал отбираемой низкотемпературной теплоты (естественного или антропогенного происхождения) до требуемого для использования уровня путем затраты механической, электрической или другой энергии.

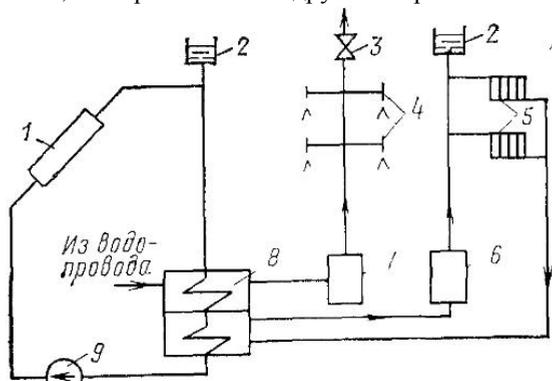


Рис. 11.7. Простейшая двухконтурная зависимая схема теплоснабжения здания с использованием солнечной энергии:

- 1 – гелиоприемник; 2 – расширительный бак; 3 – воздушник; 4 – водоразборный кран; 5 – отопительный прибор; 6 – котел; 7 – водогрейная колонка; 8 – водоподогреватель-аккумулятор; 9 – циркуляционный насос.

Принцип их работы аналогичен принципу работы холодильных машин, которые отбирают теплоту из охлаждаемого объема (низкотемпературная теплота), повышают ее потенциал и затем удаляют теплоту при более высоком температурном уровне, например при комнатной температуре.

По принципу действия тепловые насосы подразделяются на компрессионные, сорбционные и термоэлектрические.

В компрессионных установках отбор низкотемпературной теплоты осуществляется специальным рабочим агентом, а повышение потенциала теплота – путем механического сжатия его в компрессоре. После охлаждения рабочего агента (т. е. отдачи теплоты потребителю) для повторения цикла производится его расширение (дросселирование), при котором теплосодержание рабочего агента снижается ниже параметров отбираемой низкотемпературной теплоты. В зависимости от рабочего агента такие тепловые насосы подразделяются на воздушно-компрессионные и пароконпрессионные.

В сорбционных установках процессы отбора низкотемпературной теплоты и ее отдачи основаны на термохимических реакциях поглощения (сорбции) рабочего агента соответствующим сорбентом, а затем выделения (десорбции) рабочего агента из сорбента. Сорбционные установки подразделяются на абсорбционные и адсорбционные. В первых процесс сорбции осуществляется во всем объеме абсорбента (на границе жидкой и паровой фаз); во вторых – на поверхности адсорбента, находящегося, как правило, в твердой фазе (лед). Для трансформации теплоты используется внешняя энергия в форме теплоты.

Термоэлектрические установки основаны на эффекте Пельтье, заключающемся в том, что если через разнородные и соединенные друг с другом металлы пропустить постоянный ток, то при направлении его от положительного проводника к отрицательному в месте контакта (спая) происходит выделение теплоты, а при обратном направлении – поглощение теплоты. На этом принципе работают тепловые насосы на полупроводниковых элементах.

Из отмеченных типов тепловых насосов для теплоснабжения в настоящее время находят применение в основном пароконпрессионные. На рис 11.8. представлена простейшая схема такой установки.

Низкокипящая жидкость (рабочий агент) с параметрами T_1 и P_1 поступает в испаритель 1, где происходит ее испарение за счет отбираемой теплоты среды Q (температура среды немного выше T_1). Образующийся насыщенный пар сжимается компрессором 3 до давления P_2 , которому соответствует более высокая температура конденсации T_2 . После этого пар поступает в конденсатор 4, где, конденсируясь, отдает теплоту потребителю

(воде систем отопления). Для повторения цикла заново осуществляется дросселирование конденсата от давления P_2 до P_1 в дросселе 5, при этом снижается и его температура с T_2 до T_1 . Таким образом, в тепловом насосе используются два источника энергии: низкотемпературная теплота среды Q и дополнительно механическая или электрическая энергия для привода компрессора.

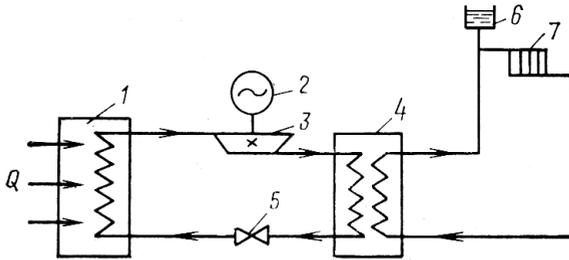


Рис. 11.8. Простейшая схема парокомпрессионной теплонасосной установки:

- 1 – испаритель; 2 – электродвигатель; 3 – компрессор; 4 – конденсатор; 5 – дроссель; 6 – расширительный бак; 7 – отопительный прибор.

Эффективность работы теплового насоса оценивается обычно коэффициентом преобразования j , который представляет собой отношение полезно передаваемой потребителям теплоты к затрачиваемой дополнительно энергии (в компрессоре):

$$j = q_2 / l.$$

Коэффициент преобразования всегда больше единицы, так как $q_2 = q_1 + l$, где q – отбираемая низкотемпературная теплота среды. В современных тепловых насосах значения ϕ колеблются от 2 до 5.

В качестве рабочего агента в компрессионных тепловых насосах используются в основном фреоны и наиболее широко «Фреон-12», который обладает самой высокой объемной теплопроизводительностью, поэтому для обеспечения одного и того же количества теплоты требуется меньше. К недостаткам «Фреона-12» относится низкая температура конденсации (около 65°C), реализуемая в установках. Для получения более высоких температур могут применяться «Фреон-113» и 114, температура насыщения которых составляет соответственно 127 и 170°C , и каскадные схемы.

Источниками низкотемпературной теплоты для тепловых насосов могут являться естественная теплота, содержащаяся в наружном воздухе, поверхностных и подземных водах, грунте и др., а также теплота антропогенного происхождения – удаляемые из различных процессов газы и жидкости. При этом чем больше температура источника теплоты, тем выше коэффициент преобразования тепловых насосов, т. е. их энергетическая эффективность, и тем ниже капитальные затраты на оборудование.

Следует отметить, что в некоторых случаях тепловые насосные установки целесообразно использовать комбинированно для теплохо-

лоснабжения (например, зимой – теплотой, летом – холодом) путем переключения соответствующим образом испарителя и конденсатора. Такие установки называют термотрансформаторами.