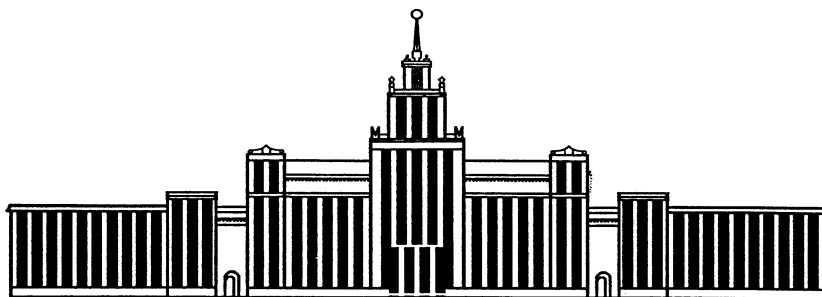

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

620.9(07)
Т761

С.Н. Трофимова, Е.В. Шведова

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Учебное пособие

Челябинск
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Филиал в г. Златоусте
Кафедра электрооборудования и автоматизации
производственных процессов

620.9(07)
Т761

С.Н. Трофимова, Е.В. Шведова

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Учебное пособие

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2016

УДК 620.9.002(075.8)
Т761

Одобрено
учебно-методической комиссией филиала ЮУрГУ в г. Златоусте

Рецензенты:
И.Н. Красиков, Т.Л. Бобракова

Трофимова, С.Н.
Т761 **Общая энергетика: учебное пособие / С.Н. Трофимова, Е.В. Шведова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 111 с.**

В учебном пособии рассмотрены основные законы и положения технической термодинамики, термодинамические процессы газов и паров, кратко изложены процессы преобразования и использования энергии, получаемой от первичных энергоносителей, а также экологические проблемы эксплуатации энергетических объектов

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 620.9.002(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Область профессиональной деятельности бакалавров по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» включает в себя совокупность технических средств для передачи, распределения, преобразования электрической энергии.

Объектами профессиональной деятельности бакалавров данного направления являются электрическое хозяйство промышленных предприятий, заводское электрооборудование низкого и высокого напряжения, электротехнические установки, сети предприятий, организаций и учреждений.

Изучение дисциплины «Общая энергетика» позволит студентам направления 13.03.02 получить необходимый минимум теоретических знаний способов получения электроэнергии на различных типах электрических станций (неэлектрическая часть), а также в области нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Целью изучения дисциплины является формирование знаний о видах природных источников энергии, об основных законах и способах преобразования первичных источников энергии в электрическую и тепловую энергию.

Задачей изучения дисциплины является освоение обучающимися основных типов энергетических установок и способов получения тепловой и электрической энергии на базе возобновляемых и невозобновляемых источников энергии.

В ходе изучения дисциплины у студентов формируется представление о роли и месте традиционных источников энергии; о методах извлечения и преобразования энергии традиционных источников; об устройстве действующих энергетических установок и их типах; о роли и месте нетрадиционных источников энергии; о методах извлечения, преобразования, аккумулирования и использования энергии возобновляемых источников; об устройстве, принципе действия базового технологического оборудования традиционной и нетрадиционной энергетики.

В результате изучения дисциплины студент должен научиться разбираться в процессах преобразования и использования энергии в различных ее формах; грамотно оценивать энергетическую ситуацию; учитывать экологические проблемы эксплуатации энергетических объектов; правильно оценивать энергетические возможности региона по применению и использованию нетрадиционных источников энергии, овладеть навыками анализа технологических схем производства электрической и тепловой энергии.

Для успешного изучения дисциплины необходимо знание курсов «Физика», «Химия», «Математика», «Теоретические основы электротехники».

1. РОЛЬ ЭНЕРГЕТИКИ В ЭКОНОМИКЕ СТРАНЫ И РЕГИОНА. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. ПОНЯТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ И РЕГИОНА

1.1. Структура энергетики

Энергетика – область хозяйственно-экономической деятельности человека, совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов всех видов. Энергетика – это базовая отрасль экономики, которая занимается добычей и переработкой топливных полезных ископаемых, производством, транспортировкой и реализацией топлива и энергии.

Её целью является обеспечение производства энергии путём преобразования первичной, природной, энергии во вторичную, например, в электрическую или тепловую. Энергетика включает в себя топливную промышленность (топливно-энергетический комплекс) и электроэнергетику (рис. 1.1). При этом производство энергии чаще всего происходит в несколько стадий:

- получение и концентрация энергетических ресурсов, примером может послужить добыча, переработка и обогащение ядерного топлива;
- передача ресурсов к энергетическим установкам, например, доставка мазута на тепловую электростанцию;
- преобразование с помощью электростанций первичной энергии во вторичную, например, химической энергии угля в электрическую и тепловую;
- передача вторичной энергии потребителям, например, по линиям электропередачи.



Рис. 1.1. Структура энергетики

1.2. Состав и структура топливно-энергетического комплекса

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) – сложная и развитая система добычи природных энергетических ресурсов, их обогащения, преобразования в мобильные виды энергии и энергоносителей, передачи и распределения, потребления и использования во всех отраслях национального хозяйства.

Топливо-энергетический комплекс страны состоит из взаимосвязанно функционирующих электроэнергетической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей, газовой и угольной отраслей промышленности.

Объединение таких разнородных частей в единый национально-хозяйственный комплекс объясняется их технологическим единством, организационными взаимосвязями и экономической взаимозависимостью.

Неразрывная цепь «Добыча – преобразование – передача – распределение – потребление – использование энергоресурсов» определяет технологическое единство топливно-энергетического комплекса.

Организационно комплекс разделяется на отрасли, системы и предприятия ТЭК:

- добывающие: угле-, нефте- и газодобыча, добыча торфа и сланцев, добыча урана и других ядерных материалов;

- преобразующие (перерабатывающие): угле-, нефте- и газопереработка, переработка торфа и сланцев, электроэнергетика, атомная энергетика, котельные, получение местных энергоносителей – сжатого воздуха и газов, холода и т. п.;

- передающие и распределяющие: перевозка угля, торфа и сланцев, нефтепроводы и другие способы транспорта нефти и нефтепродуктов, газопроводы, транспорт газовых баллонов, электрические сети, включая высоковольтные линии электропередачи (ЛЭП) и низковольтные распределительные электросети, паро- и теплопроводы, трубопроводы местных энергоносителей, газобаллонное хозяйство;

- потребляющие и использующие: все отрасли национального хозяйства.

Тем не менее, технологическое единство производства и потребления топливно-энергетических ресурсов приводит к необходимости очень тесных информационных связей между различными частями ТЭК, особенно в электроэнергетике.

Различные отрасли и составные части ТЭК экономически объединяются на российском и мировом энергетическом рынке, будучи хозяйственно самостоятельными субъектами рынка. В то же время технологическое единство ТЭК делает субъекты энергетического рынка взаимозависимыми. Потребители в полном смысле слова привязаны к электрическим и тепловым сетям. В таких отраслях, как электроэнергетика, нефтяная и газовая промышленности, практически всё производство контролируется несколь-

кими крупными компаниями. Доходы этих компаний иногда сопоставимы с федеральным бюджетом, и поэтому необходим контроль государства за их деятельностью.

1.3. Значение электроэнергетики в хозяйственном комплексе России

Электроэнергетика занимается производством и передачей электроэнергии и является важнейшей базовой отраслью промышленности России. От уровня ее развития зависит все народное хозяйство страны.

Отличительная особенность экономики России (так же, как и ранее СССР) – более высокая по сравнению с развитыми странами удельная энергоемкость производимого национального дохода (почти в полтора раза выше, чем в США).

Особенностью электроэнергетики является то, что ее продукция не может накапливаться для последующего использования, поэтому потребление соответствует производству электроэнергетики и по размерам (разумеется, с учетом потерь), и по времени. Существуют устойчивые межрайонные связи по ввозу и вывозу электроэнергии.

Представить сегодня нашу жизнь без электроэнергетики невозможно. Электроэнергетика вторглась во все сферы деятельности человека: промышленность и сельское хозяйство, науку и космос. Немыслим без электроэнергии и наш быт. Столь широкое распространение объясняется ее следующими специфическими свойствами:

- возможностью превращаться практически во все другие виды энергии (тепловую, механическую, звуковую, световую и т.п.);
- способностью относительно просто передаваться на значительные расстояния в больших количествах;
- огромными скоростями протекания электромагнитных процессов;
- способностью к дроблению энергии и изменению параметров (напряжения, частоты).

В промышленности электрическая энергия применяется для приведения в действие различных механизмов и непосредственно в технологических процессах. Работа современных средств связи (телеграфа, телефона, радио, телевидения) основана на применении электроэнергии. Без нее невозможно было бы развитие кибернетики, вычислительной техники, космической отрасли.

Огромную роль электроэнергия играет в транспортной промышленности. Электротранспорт не загрязняет окружающую среду. Большое количество электроэнергии потребляет электрифицированный железнодорожный транспорт, что позволяет повышать пропускную способность дорог за счет увеличения скорости движения поездов, снижать себестоимость перевозок, повышать экономию топлива.

Электроэнергия в быту является основным фактором обеспечения комфортабельной жизни людей. Уровень развития электроэнергетики отражает уровень развития производительных сил общества и возможности научно-технического прогресса.

Исторически сложилось так, что в области энергетики Российская империя заметно отставала от западных стран. В конце XIX в. были построены первые ТЭЦ мощностью более 5 мегаватт – Раушская в Москве и Охтенская в Петербурге. Первая в стране электростанция трехфазного тока появилась в 1893 г. в Новороссийске. Трехфазный ток, впервые примененный русским инженером Михаилом Доливо-Добровольским в Германии, удешевил и выработку электроэнергии, и ее передачу на большие расстояния. На рубеже XIX–XX вв. в России эксплуатировалось уже 35 электростанций, их КПД не превышал 25 %. Все электростанции были частными, причем 12 из них принадлежали обществу электрического освещения.

Первый московский контракт этого общества рассматривал вопрос включения в работу блока для освещения торговых рядов Пассажа купца Постникова и был заключен в 1887 г. В 1889 г. была пущена первая в Москве электростанция.

Становление энергетики в России после революции связано с планом ГОЭЛРО (Государственная комиссия по электрификации России) (1920 г.). План ГОЭЛРО, рассчитанный на 10–15 лет, предусматривал строительство 10 гидроэлектростанций и 20 паровых электростанций суммарной мощностью 1,5 млн кВт. Фактически план был реализован за 10 лет – к 1931 г., а к концу 1935 г. вместо 30 было построено 40 районных электростанций. Основу плана составили:

- широкое использование на электростанциях местных топливных ресурсов;
- создание высоковольтных электрических сетей, объединяющих мощные станции;
- экономическое использование топлива, достигаемое параллельной работой ТЭС и ГЭС;
- сооружение ГЭС в первую очередь в районах, бедных органическим топливом.

План ГОЭЛРО создал базу индустриализации России. В 1920-е годы наша страна занимала одно из последних мест в выработке энергии, а уже в конце 1940-х годов она заняла первое место в Европе и второе в мире.

1.4. Энергетическая безопасность

В 1973 г. после нефтяного кризиса Международным энергетическим агентством было сформулировано понятие «энергетическая безопасность» (ЭБ).

Энергетическая безопасность – это состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении

их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушений бесперебойности энергоснабжения. При этом состояние защищенности – состояние, соответствующее в нормальных условиях обеспечению в полном объеме обоснованных потребностей (спроса) в энергии, в экстремальных условиях – гарантированному обеспечению минимально необходимого объема потребностей.

Проблема энергетической безопасности возникла в период арабо-израильского конфликта, когда крупные страны-импортеры стали ощущать недостаток нефти. В дальнейшем этот процесс развивался с разной спецификой для различных стран. Для России в последние 20 лет эта проблема значительно обострилась.

Энергетическая безопасность характеризуется тремя главными факторами:

- способностью топливно-энергетического комплекса обеспечивать достаточное предложение экономически доступных и качественных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР);

- способностью экономики (как системы потребителей ТЭР) рационально расходовать энергоресурсы и соответственно ограничивать свой спрос;

- достаточно высоким уровнем устойчивости систем энергетики и ТЭК в целом к возмущающим воздействиям при реализации потенциальных угроз энергетической безопасности, а также устойчивости сферы энергопотребления к дефицитам и нарушениям энергоснабжения, вызванным этими угрозами.

Энергетическая безопасность – характеристика не только энергетики и производственной сферы, но и общества в целом, поэтому это понятие имеет как технико-экономический, так и политический смысл.

Для России как крупнейшего экспортера энергоресурсов энергетическая безопасность включает также поддержание энергетического суверенитета и обеспечение условий для недискриминационного доступа на внешние рынки.

В топливно-энергетическом комплексе нашей страны наблюдаются следующие негативные тенденции:

- ухудшение качества запасов углеводородных ТЭР, недостаточная эффективность геолого-разведочных работ, рост доли трудно извлекаемых запасов;

- высокий износ основных производственных фондов энергетики, низкие темпы их обновления и создания строительных заделов, заканчивающийся технический ресурс значительной части оборудования;

- наличие ЧС в системах топливо- и энергоснабжения страны и ее регионов;

- отсутствие серьезных сдвигов в энергосбережении;

- дефицит инвестиций в газовой отрасли и в электроэнергетике;
- недостаточная диверсификация структуры топливно-энергетического баланса (ТЭБ), характерная региональная асимметрия в обеспеченности территорий собственными первичными энергоресурсами;
- негибкость ценовой и налоговой политики, приводящая к росту цен на энергоносители для конечных потребителей.

Основные задачи обеспечения энергетической безопасности:

- модернизация и инновационное развитие ТЭК;
- повышение энергетической эффективности экономики страны (в особенности жилищно-коммунального хозяйства и транспорта), в том числе через разработку и реализацию отраслевых и региональных программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности, снижение энергетической составляющей затрат на производство товаров и услуг;
- своевременное проведение геологоразведки и работ по подготовке и освоению месторождений, обеспечивающее воспроизводство и рациональное использование минерально-сырьевой базы (МСБ) страны, повышение эффективности недропользования (в том числе повышение коэффициента извлечения нефти);
- диверсификация источников и транспортной инфраструктуры энергообеспечения;
- повышение степени самообеспечения регионов ТЭР посредством освоения местных топливных баз и развития малой энергетики (в том числе на базе ВИЭ);
- достижение рационального уровня централизации энергообеспечения и рационального соотношения централизованного и децентрализованного энергообеспечения;
- обеспечение надежной работы и своевременного развития энергетической инфраструктуры, включая обеспечение достаточности резервов производственной мощности ТЭК и пропускной способности энергетических коммуникаций;
- укрепление, на основе межрегиональных и межгосударственных поставок ТЭР, оборудования, услуг и энергетических технологий, позиций России на мировых рынках, прежде всего в СНГ, Европе, АТР.

Вопросы для самопроверки

1. Основные этапы развития и становления энергетики.
2. Состав и структура топливно-энергетического комплекса
3. Что такое технологическое единство производства и потребления топливно-энергетических ресурсов?
4. Перечислите основные стадии производства энергии.
5. Какими специфическими свойствами обладает электроэнергия как продукт производства?

6. Каковы роль и место электрической энергии в различных отраслях народного хозяйства?

7. Что такое план ГОЭЛРО?

8. Каково значение энергетической безопасности для России?

9. Какими основными факторами характеризуется энергетическая безопасность страны?

10. Перечислите основные задачи обеспечения энергетической безопасности.

2. НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

2.1. Топливо-энергетические ресурсы

Известно, что основное количество энергии поступает на поверхность Земли от Солнца, за исключением небольшого количества теплоты за счет радиоактивности земной коры, наличия раскаленного земного ядра, а также гравитационной энергии взаимодействия Земли с Луной и Солнцем. Даже органическое топливо, используемое человечеством, обязано своим происхождением фотосинтезу растительности болот древности. Однако не весь поток энергии солнечного излучения, интенсивность которого составляет примерно $1,4 \text{ кВт/м}^2$, утилизируется, около 30–40 % этого потока энергии рассеивается прямым отражением. Коэффициент отражения (альbedo) зависит от характерных особенностей поверхности, на которую падают лучи Солнца (песчаная пустыня, снежная равнина, водная гладь и т.д.).

Возможная для практического использования человеком энергия сосредоточена в материальных объектах, называемых топливо-энергетическими ресурсами (ТЭР).

Топливо-энергетические ресурсы – это совокупность всех используемых природных и преобразованных видов топлива и энергии.

Топливо – это горючее вещество, применяемое для получения теплоты путем его сжигания.

Энергия – это способность тела или системы тел совершать работу.

Энергетический ресурс – это носитель энергии, который используется в настоящее время или может быть использован в перспективе.

В настоящее время основными потребляемыми энергетическими ресурсами являются природные виды топлива и энергии потоков воды, которые представляют собой не что иное, как преобразованную энергию Солнца.

Энергоноситель – это предварительно переработанный, преобразованный энергетический ресурс, непосредственно используемый на стадии конечного потребления, а также природный энергетический ресурс, потреб-

ляемый на этой стадии (природный газ, мазут, горячая вода и пар в системах центрального теплоснабжения и т. д.).

Все энергетические ресурсы по способу преобразования заключенной в них энергии делятся на первичные и вторичные. **Первичный энергоресурс** – это ресурс, который не был подвергнут какой-либо переработке. **Вторичный энергоресурс** – ресурс, получаемый в ходе любого технологического процесса в результате недоиспользования первичной энергии или в виде побочного продукта основного производства и не применяемый в этом технологическом процессе.

По возобновляемости энергетические ресурсы разделяют на возобновляемые и невозобновляемые.

Невозобновляемые ресурсы – это естественно образовавшиеся и накопившиеся в недрах планеты запасы веществ, способные при определенных условиях высвободить заключенную в них энергию. Но образование новых веществ и накопление в них энергии происходит значительно медленнее, чем их использование. К ним относятся ископаемые виды топлива и продукты их переработки: каменный и бурый уголь, сланцы, торф, нефть, природный и попутный газ. Особыми видами невозобновляемых энергетических ресурсов являются расщепляющиеся (радиоактивные) вещества, находящиеся в недрах нашей планеты.

Возобновляемые ресурсы – это те энергетические ресурсы, в которых происходит постоянное восстановление энергии. Источниками возобновляемой энергии являются солнечное излучение, энергия приливов и отливов, энергия химических реакций и радиоактивного распада в недрах Земли, энергия Солнца.

Топливо – материалы, служащие источником энергии. Топливо – это горючее вещество, умышленно сжигаемое человеком для получения теплоты. Важнейшими характеристиками топлива являются теплота сгорания, содержание золы и влаги, выход летучих веществ. **Теплота сгорания** – это количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании топлива.

Так как основным технико-экономическим показателем работы электрической станции является расход топлива на единицу отпущенной энергии, то для ведения экономических расчетов на единой базе введено понятие условного топлива. **Условное топливо** – это топливо, теплота сгорания которого принята равной 29,35 МДж/кг (7000 ккал/кг), т.е. близкой к теплотворной способности антрацита. В среднем в тепловых электрических станциях удельный расход топлива на отпущенный кВтч составляет 327 г условного топлива. Удельный расход условного топлива на отпуск 1 ГДж теплоты составляет 41,32 кг.

Топливо по происхождению делят на

– природное топливо (уголь, торф, нефть, горючие сланцы, древесина и др.);

– искусственное топливо (моторное топливо, генераторный газ, кокс, брикеты и др.).

По своему агрегатному состоянию его делят на твердое, жидкое и газообразное, а по своему назначению при использовании – на энергетическое, технологическое, бытовое. Наиболее высокие требования предъявляются к энергетическому топливу, а минимальные требования – к бытовому.

К **твердому топливу** относятся древесно-растительная масса, торф, сланцы, бурый уголь, каменный уголь.

Жидкое топливо – это продукты переработки нефти. **Газообразным** является природный газ; газ, образующийся при переработке нефти, а также биогаз.

Ядерное топливо – расщепляющиеся (радиоактивные) вещества (уран, плутоний).

подавляющую часть всего энергопотребления составляет **органическое топливо** – уголь, нефть и природный газ. Образование органического топлива является результатом теплового, механического и биологического воздействия в течение многих столетий на останки растительного и животного мира, откладывавшиеся во всех геологических формациях. Все это топливо имеет углеродную основу, и энергия высвобождается из него, главным образом, в процессе образования диоксида углерода.

Ископаемое твердое топливо (за исключением сланцев) является продуктом разложения органической массы растений. Самое молодое из них – торф, который представляет собой плотную массу, образовавшуюся из перегнивших остатков болотных растений. Бурый уголь – это землистая или черная однородная масса, которая при длительном хранении на воздухе частично окисляется и рассыпается в порошок. Каменный уголь обладает повышенной прочностью и меньшей пористостью. Органическая масса антрацитов претерпела наибольшие изменения и на 93 % состоит из углерода. Антрацит отличается высокой твердостью.

Наибольшими запасами угля располагают США и Россия. Значительные запасы имеются в ФРГ, Англии, Китае, Украине и Казахстане.

Все количество угля можно представить в виде куба со стороной 21 км, из которого ежегодно изымается человеком «кубик» со стороной 1,8 км. Запасы его распределены крайне неравномерно. Известнейшие месторождения угля: Донбасский, Печорский, Карагандинский, Экибастузский, Кузнецкий, Канско-Ачинский, Иркутский бассейны. Самые крупные в мире месторождения угля – Тунгусское и Ленское.

Добыча угля ведется шахтным методом (глубиной от сотен метров до нескольких километров) или в виде открытых карьерных разработок. На этапе добычи и транспортировки угля можно добиться снижения потерь при его перевозке, уменьшения зольности и влажности отгружаемого угля.

Возобновляемым твердым топливом является древесина. Доля ее в энергобалансе мира сейчас невелика, но в некоторых регионах древесина

(а чаще ее отходы) также используется в качестве топлива. В качестве твердого топлива используют брикеты – механическую смесь угольной или торфяной мелочи со связующими веществами (битум и др.), спрессованную под давлением до 100 МПа в специальных прессах.

Практически все жидкое топливо получают путем переработки нефти. Нефть – это жидкое горючее полезное ископаемое, которое представляет собой бурюю жидкость, содержащую в растворе газообразные и легколетучие углеводороды. Она имеет своеобразный смоляной запах. При перегонке нефти получают ряд продуктов, имеющих важное техническое значение: бензин, керосин, смазочные масла, а также вазелин, применяемый в медицине и парфюмерии.

Мазут, получаемый из нефти ряда месторождений, может содержать много серы (до 4,3 %), что резко усложняет защиту оборудования и окружающей среды при его сжигании.

Зольность мазута не должна превышать 0,14 %, а содержание воды должно быть не более 1,5 %. В состав золы входят соединения ванадия, никеля, железа и других металлов, поэтому ее часто используют в качестве сырья для получения, например, ванадия.

В котлах котельных и электростанций обычно сжигают мазут, в бытовых отопительных установках печное бытовое топливо (смесь средних фракций).

Мировые геологические запасы нефти оцениваются в 200 млрд т, из которых 53 млрд т составляют достоверные запасы. Более половины всех достоверных запасов нефти расположено в странах Среднего и Ближнего Востока.

Общие запасы нефти в мире ниже, чем угля. Но нефть более удобное для использования топливо, особенно в переработанном виде. В себестоимости нефти существенную часть имеет транспортная составляющая.

2.2. Эколого-экономическая характеристика основных возобновляемых и альтернативных источников энергии

Возобновляемые источники энергии – это энергоресурсы постоянно действующих природных процессов на планете, энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биоценозов растительного и животного происхождения. Их характерной особенностью является их неистощаемость либо способность восстанавливать свой потенциал за короткое время – в пределах жизни одного поколения людей [5]. Другими словами – это источники непрерывно возобновляемых в биосфере Земли видов солнечной, ветровой, океанической энергии, а также гидроэнергии рек.

Альтернативный источник энергии является возобновляемым ресурсом, он заменяет собой традиционные источники энергии, функционирующие на нефти, добываемом природном газе и угле, которые при сгора-

нии выделяют в атмосферу углекислый газ, способствующий росту парникового эффекта и глобальному потеплению.

Все виды возобновляемых энергетических ресурсов нашей планеты взаимосвязаны и имеют общее происхождение от солнечной энергии.

Мощность солнечной радиации, поглощенной атмосферой и земной поверхностью, составляет 105 ТВт. Эта величина кажется огромной по сравнению с современным мировым энергопотреблением, равным 10 ТВт. Поэтому ее считают наиболее перспективным видом нетрадиционной (альтернативной) энергетики.

Солнечная энергетика

К основным методам преобразования солнечной энергии относятся, прежде всего, методы прямого использования солнечной энергии – фотоэлектрическое преобразование и термодинамический цикл, а также биоэнергия.

Фотоэлектрический метод преобразования солнечной энергии основан на особенностях взаимодействия полупроводниковых материалов со световым излучением. В фотоэлектрическом преобразователе свободные носители образуются в результате поглощения светового кванта полупроводником, разделение зарядов производится под действием электрического поля, возникающего внутри полупроводника. Теоретически КПД преобразователя может достигать 28 %.

Энергию получают из солнечной энергии методом термодинамического преобразования практически так же как из других источников. Однако такие особенности солнечного излучения как низкая мощность, суточная и сезонная изменчивость, зависимость от погодных условий, накладывают определенные ограничения на конструкцию термодинамических преобразователей.

Обычный термодинамический преобразователь солнечной энергии содержит систему улавливания солнечной радиации, которая предназначена частично скомпенсировать низкую плотность солнечного излучения; приемную систему, которая преобразует солнечную энергию в энергию теплоносителя; систему переноса теплоносителя от приемника к аккумулятору или к теплообменнику; тепловой аккумулятор, который обеспечивает смягчение зависимости от суточной изменчивости и погодных условий; теплообменники, образующие нагревательный и охлаждающий источники тепловой машины.

В настоящее время идеи термодинамического преобразования реализуются в схемах двух типов: гелиостаты башенного типа и станции с распределенным приемником энергии.

На гелиостанции башенного типа энергия от каждого гелиостата передается оптическим способом. До 80 % стоимости станции составляет стоимость гелиостатов. Система сбора и передачи энергии в установках ба-

шенного типа оказывается очень дорогой. Поэтому такие установки не получили широкого распространения.

Станции с распределенными приемниками солнечной энергии являются более перспективными. Концентраторы параболического типа, вращающиеся вокруг оси, передают энергию трубчатым приемникам, находящимся на фокальной линии. В качестве теплоносителя обычно используется масло.

Солнечная энергетика имеет особенности, которые существенно затрудняют ее широкое использование. Это, прежде всего низкая плотность потока энергии и ее непостоянство, так как интенсивность солнечного излучения зависит от времени года, суток и метеословий.

Широкому внедрению солнечной энергетике препятствует более высокая стоимость производства на солнечных электростанциях по сравнению с традиционными источниками энергии. Кроме того, использование энергии солнца предполагает обязательное наличие накопителей электроэнергии достаточной емкости (обычные аккумуляторы).

Ветровая энергетика

Человечество давно использует энергию ветра. Парусные суда, ветряные мельницы – известные примеры эффективного использования ветровой энергии в течение столетий. В конце прошлого века наступил новый этап использования ветровых установок – они начали применяться для выработки электроэнергии. По мере развития центрального электроснабжения распространение ветровых электрогенераторов резко упало. Ветровой потенциал огромен – около 2000 ТВт составляет мощность ветрового потока в атмосфере. Использование даже небольшой части этой мощности привело бы к решению энергетических проблем человечества.

Ветровая энергетика не потребляет ископаемое топливо, не использует воду для охлаждения и не вызывает теплового загрязнения водоемов, не загрязняет атмосферу. И, тем не менее, ветровые электрогенераторы имеют широкий спектр негативных экологических последствий.

Главные недостатки ветровой энергетике – низкая энергетическая плотность, сильная изменчивость в зависимости от погодных условий, ярко выраженная географическая неравномерность распределения ветровой энергии, а также сильные вибрации их несущих частей, которые передаются в грунт. При скорости ветра меньше 5 м/с эффективность работы установки падает, при скоростях ветра, больших 15 м/с, велика вероятность разрушения конструкции (прежде всего лопастей). Создание более надежных конструкций значительно удорожает стоимость ветровых установок.

Ветровые генераторы являются источниками радиопомех. В результате того, что скорость вращения лопастей ветровых генераторов близка к частоте синхронизации телевидения ряда стран, работа ветровых генераторов нарушает прием телепередач в радиусе до двух километров от генератора.

Так как ветровая энергетика требует больших площадей для размещения установок, то системы ветровых установок размещают в безлюдной местности, что, в свою очередь, удорожает стоимость передачи энергии.

Приливные электростанции

Человек уже давно начал использовать энергию приливов. Так, приливные мельницы использовались в XV в. в Англии, были широко распространены на северо-восточном побережье Канады в XVII в.

Для концентрации водного напора на станции плотина отделяет часть акватории. В теле плотины размещаются гидрогенераторы, водопропускные сооружения, здание станции. Величина напора зависит от колебаний уровня по обе стороны плотины. Колебания во внешнем бассейне определяются местным приливом, колебания во внутреннем бассейне определяются расходами воды при работе станции. Приливные станции относятся к низконапорным гидротехническим сооружениям, в которых водяной напор не более 15–20 м.

Первая в мире приливная гидроэлектростанция мощностью 320 МВт была запущена в 1966 г. устье реки Ранс (Франция). Первая приливная электростанция в нашей стране, имеющая два гидроагрегата по 400 кВт каждый, была построена в Кислой губе на Баренцевом море в 1968 г. Наиболее развитым в мире рынком электроэнергии, выработанной посредством волн и приливов, является Шотландия, где установлены самые большие приливные турбины.

Использование энергии приливов ограничивается, в основном, высокой стоимостью сооружения. Кроме того, как оказалось, приливные станции характеризуются отрицательным влиянием на окружающую среду. Сооружение плотины приведет к увеличению амплитуды прилива. Даже небольшое повышение амплитуды прилива вызовет значительное изменение распределение грунтовых вод в береговой зоне, увеличит зону затопления, нарушит циркуляцию водных масс, изменит ледовый режим в части бассейна за плотинной и т.д.

Волновая энергетика

Волновая электростанция – установка, расположенная в водной среде, целью которой является получение электричества из кинетической энергии волн.

Интерес к волновой энергетике возрос после первого крупномасштабного нефтяного кризиса семидесятых годов прошлого века. В последнее время пристальное внимание ученых и конструкторов привлекает использование различных видов энергии Мирового океана. Построены приливные электростанции. Разрабатываются методы использования тепловой энергии океана, связанной, например, со значительной разницей темпера-

тур поверхностного и глубинного слоев океана, достигающей в тропических областях 20 °С и более.

Первая заявка на патент волновой электростанции была подана в Париже в 1799 г, а в 1890 г. была предпринята первая попытка практического использования энергии волн. Существует три основных типа проектов по извлечению волновой энергии. В первом используется метод повышения концентрации волновой энергии и превращения ее в потенциальную энергию воды. Во втором – тело с несколькими степенями свободы находится у поверхности воды. Волновые силы, действующие на тело, передают ему часть волновой энергии. В третьем типе проектов система, поглощающая энергию, находится под водой. Передача волновой энергии происходит под действием волнового давления или скорости.

Энергия биомассы

Биомасса как источник энергии используется с древнейших времен. В процессе фотосинтеза солнечная энергия запасается в виде химической энергии в зеленой массе растений. Запасенная в биомассе энергия может быть использована в виде пищи человеком или животными либо для получения энергии в быту и производстве. В настоящее время до 15 % энергии в мире производится из биомассы.

Самый древний, и еще широко применяемый, способ получения энергии из биомассы заключается в ее сжигании. В сельской местности до 85 % энергии получают этим способом. Как топливо биомасса имеет ряд преимуществ перед ископаемым топливом. При сжигании биомассы выделяется в 10–20 раз меньше серы и в 3–5 раз меньше золы, чем при сжигании угля. Количество углекислого газа, выделившегося при сжигании биомассы, равно количеству углекислого газа, затраченного в процессе фотосинтеза.

Энергию биомассы можно получать из специальных сельскохозяйственных культур. К перспективным видам относятся быстрорастущие деревья, растения, богатые углеводами, которые применяются для получения этилового спирта (например, сахарный тростник). Широко распространенный способ получения энергии из биомассы заключается в получении биогаза путем анаэробного перебраживания. Такой газ содержит около 70 % метана. Биогаз позволяет использовать газовые турбины, являющиеся самыми современными средствами теплоэнергетики. Для производства биогаза используются органические отходы сельского хозяйства и промышленности. Это направление является одним из перспективных и многообещающих способов решения проблемы энергообеспечения сельских районов.

Градиент-температурная энергетика

Данный способ получения энергии основан на разности температур и не является слишком распространенным. Посредством него можно получать достаточно большое количество энергии при небольшой ее себестоимости. Перепад температур между водами на глубине в сотни метров и водами на поверхности океана – огромный источник энергии, который оценивается в 20–40 тыс. ТВт, из них можно использовать только 4 ТВт. Наибольшее число градиент-температурных электростанций располагается на морском побережье и для работы использует морскую воду.

Недостатками данного способа являются выделение большого числа углекислоты, нагрев и снижение давления глубинных вод и остывание поверхностных вод. Все эти процессы негативно влияют на климат, флору и фауну региона. Кроме того, по предварительным расчётам расходы на строительство такой гидроэлектростанции вполне соотносятся с расходами на традиционную ГЭС.

Геотермальная энергетика

Геотермальная энергия – это энергия, внутренних областей Земли, запасенная в горячей воде или водяном паре. В отдаленных районах стоимость энергии, получаемой на геотермальных станциях, оказывается ниже стоимости энергии, получаемой из привозного топлива. Геотермальные станции успешно функционируют в ряде стран – Италии, Исландии, США. Первая в мире геотермальная электростанция была построена в 1904 г. в Италии. В 1966 г. на Камчатке в долине реки Паужетка была пущена первая в СССР геотермальная тепловая станция мощностью 1,1 МВт. Интерес и использование геотермальной энергии резко выросли в 60–70 гг. XX в.

Наиболее доступна геотермальная энергетика в зонах повышенной вулканической деятельности и землетрясений. Такая привязка к определенным районам является одним из недостатков геотермальной энергетике. Гейзеры – это хорошо известная форма поступления на поверхность Земли горячей воды и пара. По оценке Геологического управления США разведанные источники геотермальной энергии могли бы дать 5–6 % современного потребления электроэнергии в стране. Оценка перспективных источников дает величину примерно в 10 раз большую. Однако эксплуатация некоторых этих источников пока нерентабельна. Наряду с этими ресурсами, которые могут быть использованы для выработки электроэнергии, в еще большем количестве имеется вода с температурой 90–1500 °С, которая пригодна как источник тепла для обогрева. В перспективе для извлечения энергии из недр Земли можно использовать не только запасы горячей воды и пара, но и тепло сухих горных пород (такие области сухих горных пород с температурой около 3000 °С встречаются значительно чаще, чем водо-

носные горячие породы), а также энергию магматических очагов, которые в некоторых районах расположены на глубинах в несколько километров.

Наиболее оптимальная форма – сухой пар. Прямое использование смеси пара и воды невозможно, так как геотермальная вода содержит обычно большое количество солей, вызывающих коррозию, и капли воды в паре могут повредить турбину. Наиболее частая форма поступления энергии – просто в виде горячей воды, прежде всего, для получения тепла. Эта вода может быть использована также для получения пара рабочей жидкости, имеющей более низкую температуру кипения, чем вода. Так как геотермальный пар и вода имеют сравнительно низкую температуру и давление, КПД геотермальных станций не превышает 20 %, что значительно ниже атомных (30 %) и тепловых работающих на ископаемом топливе (40 %).

Использование геотермальной энергии имеет и отрицательные экологические последствия. Строительство геотермальных станций нарушает «работу» гейзеров. Для конденсации пара на геотермальных станциях используется большое количество охлаждающей воды, поэтому геотермальные станции являются источниками теплового загрязнения. При одинаковой мощности с ТЭС или АЭС геотермальная электростанция потребляет для охлаждения значительно большее количество воды, так как ее КПД ниже. Сброс сильно минерализованной геотермальной воды в поверхностные водоемы может привести к нарушению их экосистем. В геотермальных водах в больших количествах содержится сероводород и радон, который вызывает радиоактивные загрязнения окружающей среды.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое топливно-энергетические ресурсы? Дайте характеристику каждого вида топливно-энергетического ресурса.
2. Какие виды топлив Вы знаете?
3. Что такое «условное топливо»?
4. Для сего вводится понятие «условное топливо»?
5. Какая специфическая особенность возобновляемых источников энергии?
6. Какая специфическая особенность альтернативных источников энергии?
7. Дайте характеристику основным методам преобразования солнечной энергии.
8. Перечислите достоинства и недостатки ветровой энергетики.
9. Чем ограничивается широкое использование приливных электростанций?
10. Какие существуют основные типы проектов по извлечению волновой энергии?
11. Охарактеризуйте биомассу как источник энергии.
12. Что такое градиент-температурная энергетика?

13. Что является первичным ресурсом в геотермальной энергетике?
14. Чем обусловлен выбор конкретного вида первичного ресурса в энергетике?
15. Какое воздействие на окружающую среду оказывают основные возобновляемые и альтернативные источники энергии?

3. ТЕРМОДИНАМИКА

3.1. Основные положения технической термодинамики

Термодинамика – наука о закономерностях превращения энергии. Термодинамика изучает законы превращения тепловой энергии в механическую.

В разделе рассматриваются вопросы термодинамики лишь в той части, позволяющей сравнивать эффективность различных методов преобразования энергии, необходимых для понимания дисциплины.

Термодинамической системой называется совокупность материальных тел, находящихся в механическом и тепловом взаимодействии друг с другом и с окружающими систему внешними телами («внешней средой»).

Выбор системы произволен и диктуется условиями решаемой задачи. Тела, не входящие в систему, считаются окружающей средой. **Контрольная поверхность** – это оболочка, которая отделяет систему от окружающей среды.

Через контрольные поверхности осуществляется механическое и тепловое взаимодействие термодинамической системы. При механическом взаимодействии самой системой или над системой совершается работа. Тепловое взаимодействие характеризуется переходом теплоты между отдельными телами системы и между системой и окружающей средой.

Открытая система – это такая система, которая может обмениваться со средой и веществом (например, потоки газа или пара в турбинах и трубопроводах). В **закрытой системе** вещество не проходит через границы системы.

Свойства каждой системы характеризуются **термодинамическими параметрами**.

Температура – это физическая величина, характеризующая степень нагретости тела, это мера интенсивности теплового движения молекул. Температура тел определяет направление возможного самопроизвольного перехода тепла между телами. Ее численное значение связано с величиной средней кинетической энергии молекул вещества соотношением

$$\frac{mc^2}{2} = \frac{3}{2} hT,$$

где h – постоянная Больцмана, $h = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Температура T , измеренная по шкале Кельвина, называется абсолютной.

Давление – это сила, действующая по нормали к поверхности тела и отнесенная к единице площади этой поверхности. Давление газа P (Па, $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$) определяется соотношением

$$P = \frac{2}{3} n \frac{mc^2}{2},$$

где n – число молекул в единице объема; m – масса молекулы; c^2 – средняя квадратическая скорость поступательного движения молекул.

Для сравнения величин, характеризующих рабочее тело в одинаковых состояниях, вводится понятие нормальные физические условия:

$$P = 101,325 \text{ кПа} = 760 \text{ мм рт. ст.}; T = 273,15 \text{ К.}$$

Плотность – отношение массы вещества к объему, занимаемому этим веществом.

Удельный объем v ($\text{м}^3/\text{кг}$) – это объем единицы массы вещества. Это величина, обратная плотности. Для однородного тела массой M занимающего объем V , удельный объем определяется по формуле

$$v = \frac{V}{M}.$$

Удельный объем вещества и его плотность являются обратно пропорциональными величинами.

Термические параметры состояния однородного рабочего тела в равновесном состоянии (абсолютное давление – p , абсолютная температура – T и удельный объем – v) не могут принимать произвольные значения. Они связаны между собой соотношением, которое в термодинамике называют уравнением состояния:

$$F(p, v, T) = 0.$$

Термодинамический процесс – это изменение состояния термодинамической системы во времени. Если в термодинамической системе меняется хотя бы один из параметров любого входящего в систему тела, то в системе происходит термодинамический процесс.

Термодинамический цикл – это круговой процесс, осуществляемый термодинамической системой.

Равновесный термодинамический процесс – процесс, при котором все параметры системы меняются достаточно медленно. В этом случае система находится в состоянии равновесия с окружающей средой.

Состояние равновесия однородного вещества определяется двумя независимыми параметрами (p и T , или p и v , или T и v). Эта функциональная связь индивидуальна для каждого рабочего тела. Каждое

равновесное состояние в пространстве (p, v, T) изображается точкой; геометрическое место точек, представляющих все возможные состояния рабочего вещества, является поверхностью в этом пространстве. Термические параметры состояния системы характеризуют лишь данное ее состояние, никак не свидетельствуя о предшествующих состояниях. Равновесный процесс изображается линией, лежащей на поверхности. Равновесному циклу в пространстве состояний соответствует замкнутая кривая, лежащая на поверхности состояний рабочего тела.

Внутренняя энергия – это энергия хаотического движения молекул и атомов, включающая энергию поступательного, вращательного и колебательного молекулярного или внутримолекулярного движений, а также потенциальная энергия сил взаимодействия между молекулами.

Кинетическая энергия молекул определяется значением температуры, величина потенциальной энергии зависит от среднего расстояния между молекулами и от занимаемого газом объема V , следовательно, является функцией этого объема. Из этого следует, что внутренняя энергия U – это функция состояния тела. **Удельная внутренняя энергия** u (Дж/кг) – это внутренняя энергия единицы массы вещества:

$$u = \frac{U}{M}.$$

Она может быть представлена в виде функции двух любых независимых параметров, определяющих ее состояние.

Тепловое движение – это хаотическое движение молекул, атомов и др. микрочастиц, из которых состоят все тела.

Передача энергии от одного тела к другому происходит двумя способами – в форме работы (L) и в форме теплоты (Q). **Работа** – это передача энергии в результате макроскопического упорядоченного движения микрочастиц. **Теплообмен** – это передача энергии в результате обмена хаотическим, ненаправленным движением микрочастиц. Количество передаваемой в результате теплообмена энергии называется количеством теплоты или теплотой. Подведенная теплота имеет положительное значение, отведенная – отрицательное.

Рабочее тело – это газообразное, жидкое или плазменное вещество, с помощью которого осуществляется преобразование какой-либо энергии при получении механической работы, теплоты, холода. Рабочим телом в реакторной установке РБМК является вода, которая после испарения в активной зоне в виде пара совершает работу в турбине, вращая ротор.

Работа в термодинамике, так же как и в механике, определяется произведением действующей на рабочее тело силы на путь ее действия.

Характер равновесных процессов показан на pv -диаграмме (рис. 2.1). Ось абсцисс показывает удельный объем, а ось ординат – давление. Так как состояние термодинамической системы определяется двумя парамет-

рами, то на $p\nu$ -диаграмме оно изображено точкой. Точка 1 соответствует начальному состоянию системы, точка 2 – конечному, а линия 12 – процессу расширения рабочего тела от ν_1 до ν_2 (см. рис. 2.1). При бесконечно малом изменении объема $d\nu$ площадь заштрихованного вертикального участка $p d\nu = \delta_1$, следовательно, работа процесса 12 – это площадь, ограниченная кривой процесса, осью абсцисс и крайними ординатами. Таким образом, работа изменения объема эквивалентна площади под кривой процесса в диаграмме.

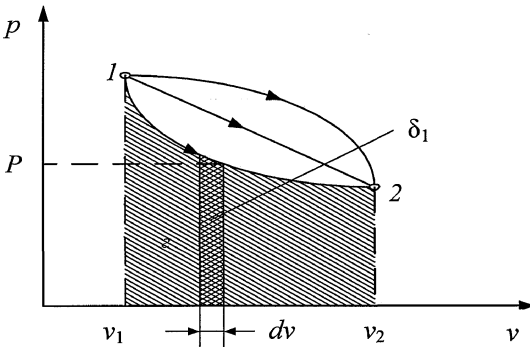


Рис. 2.1. Графическое изображение работы в $p\nu$ -координатах

Теплоемкость тела – это отношение количества теплоты dQ , полученной телом при бесконечно малом изменении его состояния, к связанной с этим изменением температуре тела dT [1]:

$$C = \frac{dQ}{dT}.$$

Теплоемкость – это коэффициент пропорциональности между количеством подведенной (отведенной) к телу теплоты и соответствующим изменением его температуры T [4]:

$$Q = C T.$$

В зависимости от выбранной единицы различают:

- удельную массовую теплоемкость c , отнесенную к 1 кг газа, Дж (кг К);
- теплоемкость при постоянном давлении

$$C_p = \frac{dq_p}{dT};$$

- теплоемкость при постоянном объеме

$$C = \frac{dq}{dT}.$$

Простейшим критерием сравнения эффективности методов преобразования энергии является коэффициент полезного действия (КПД) любого теплового двигателя, который определяется отношением полезно полученной работы к теплу, которое на получение этой работы затрачено:

$$\eta = \frac{L}{Q_1},$$

где L – полученная работа, Дж, Q_1 – теплота, затраченная на получение работы, Дж.

Отношение работы к 1 кг массы рабочего тела является удельной работой:

$$l = \frac{L}{M},$$

где M – масса рабочего тела, кг.

Удельная теплота q – это теплота, затраченная на совершение работы системой, содержащей 1 кг рабочего тела, Дж/кг:

$$q_1 = \frac{Q_1}{M}.$$

Коэффициент полезного действия η – это отношение удельных величин теплоты и работы:

$$\eta = \frac{l}{q_1}.$$

Коэффициент полезного действия ТЭС, работающих на органическом топливе с паровыми турбинами, составляет 33...35 %, а КПД АЭС – 40...44 %, так как законы термодинамики накладывают определенные ограничения на значение КПД.

3.2. Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики (закон сохранения энергии для тепловых процессов) – изменение внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно разности между количеством теплоты, переданной системе, и работой, совершенной системой над внешними телами. Энергия не исчезает и не возникает вновь, она переходит из одной формы в другую, причем убыль энергии одного вида дает эквивалентное количество энергии другого вида.

Накопителей работы и теплоты не существует. Работа не приобретается и не расходуется, она совершается в процессе воздействия внешних тел на термодинамическую систему либо термодинамической системы на внешние тела. О количестве теплоты или теплообмене можно говорить, только описывая процесс взаимодействия термодинамической системы с внешни-

ми телами, в процессе которого происходит изменение ее внутренней энергии. Теплообмен происходит при условии наличия разности температур тел, участвующих в процессе. Конечный результат теплообмена – выравнивание температур. Следовательно, количество теплоты – это энергия, передаваемая от одного тела другому в процессе теплообмена, а не энергия, которой обладают тела до или после теплообмена.

Согласно закону сохранения энергии теплота, сообщаемая системе, идет на приращение ее внутренней энергии и на совершение внешней работы:

$$dQ = dU + dL.$$

Полученное уравнение является математическим выражением первого закона термодинамики. Каждый из трех членов этого соотношения может быть положительным, отрицательным либо равным нулю, их определенное сочетание характеризует следующие процессы:

- изохорный, протекающий при постоянном объеме;
- изобарный – при постоянном давлении;
- изотермический – при постоянной температуре;
- адиабатный – без теплообмена с окружающей средой;
- политропный процесс, который является обобщением вышеперечисленных процессов.

В *изохорном* процессе газ работы не совершает: $dL = 0$, при этом объем тела не изменяется, $dV = 0$. При изохорном нагревании тепло поглощается газом ($Q > 0$) и его внутренняя энергия увеличивается. При охлаждении тепло отдается внешним телам ($Q < 0$). Количество теплоты, подведенное к системе при постоянном объеме, равно увеличению внутренней энергии данной системы и уравнение имеет вид

$$dQ = dU.$$

Изобарный процесс характеризуется уравнениями: $p = \text{const}$ или $dp = 0$. При изобарном расширении ($Q > 0$) тепло поглощается газом, и газ совершает положительную работу. При изобарном сжатии ($Q < 0$) тепло отдается внешним телам. В этом случае $L < 0$. Температура газа при изобарном сжатии уменьшается, $T_2 < T_1$; внутренняя энергия убывает, $\Delta U < 0$.

Изотермический процесс характеризуется уравнениями $pV = \text{const}$, $T = \text{const}$ или $dT = 0$. Так как $dT = 0$, теплоемкость в изотермическом процессе $c = \pm\infty$. Знак плюс соответствует подводу теплоты к системе, знак минус – отводу теплоты от системы. Количество теплоты Q , полученной газом в процессе изотермического расширения, превращается в работу над внешними телами. При изотермическом сжатии работа внешних сил, произведенная над газом, превращается в тепло, которое передается окружающим телам.

При **адиабатном** процессе $dQ = 0$ – теплообмен системы с окружающей средой отсутствует. Для него характерно уравнение $dL = -dU$. Работа расширения, совершаемая системой в адиабатном процессе, равна уменьшению внутренней энергии данной системы. При адиабатном сжатии рабочего тела затрачиваемая извне работа целиком идет на увеличение внутренней энергии системы.

Уравнение **политропного** процесса: $pV^n = \text{const}$, где n – показатель политропы – величина постоянная и для различных процессов может принимать любые значения от $-\infty$ до $+\infty$. Уравнение политропного процесса схоже с уравнением адиабатного процесса, однако существенная разница между этими уравнениями состоит в том, что показатель адиабаты является в общем случае переменной величиной, а показатель политропы – постоянной. В политропном процессе к системе подводится (или отводится от нее) теплота.

Рассмотренные выше процессы являются частными случаями политропного процесса:

- изохорный процесс соответствует политропному при $n = \pm\infty$;
- изобарный при $n = 0$;
- изотермический при $n = 1$;
- адиабатный при $n = k = \text{const}$.

3.3. Второй закон термодинамики. Энтропия

Измеряя температуру, не всегда можно определить количество переданной теплоты. Например, при подводе теплоты к кипящей воде ее температура не меняется до момента полного выкипания.

Второй закон связан с понятием энтропии (S – для произвольного количества газа, s – для 1 кг газа), являющейся мерой хаоса (или мерой порядка).

Существует два классических определения второго закона термодинамики:

- определение Кельвина и Планка о не существовании циклического процесса, который способен извлечь количество теплоты из резервуара при определенной температуре и полностью превратить ее в работу;
- определение Клаузиуса о не существовании процесса, результатом которого является только передача всего количества теплоты от одного тела к другому.

Для произвольного количества газа энтропия измеряется в Дж/К, а для 1 кг газа – в Дж/(кг К).

Для того чтобы энергию можно было использовать, в системе должны быть области с высоким и низким уровнями энергии. Полезная работа производится в результате передачи энергии от области с высоким уровнем энергии к области с низким уровнем энергии. 100 % энергии не может быть преобразовано в работу. Энтропия может вырабатываться, но не мо-

жет быть уничтожена. Энтропия является экстенсивным, т.е. зависящим от массы вещества параметром состояния. Она не может быть измерена и определяется только расчетным путем:

$$ds = \frac{dq}{T}.$$

В технической термодинамике часто используют не абсолютное значение энтропии, а ее изменение в каком-либо процессе:

При подводе теплоты к телу ($dq > 0$) его энтропия возрастает ($ds > 0$), а при отводе теплоты ($dq < 0$) – убывает ($ds < 0$).

Коэффициент полезного действия оценивает степень совершенства цикла теплового двигателя: чем больше КПД, тем большая часть подведенной теплоты превращается в работу.

Второй закон термодинамики устанавливает качественное различие между теплотой и работой: механическая энергия может быть полностью превращена в теплоту, например, путем трения, однако теплоту полностью превратить в механическую энергию в периодически повторяющемся процессе нельзя. Английский физик У. Кельвин дал в 1851 г. следующую формулировку второго закона: в циклически действующей тепловой машине невозможен процесс, единственным результатом которого было бы преобразование в механическую работу всего количества теплоты, полученного от единственного теплового резервуара. Немецкий физик Р. Клаузиус дал другую формулировку второго закона термодинамики: невозможен процесс, единственным результатом которого была бы передача энергии путем теплообмена от тела с низкой температурой к телу с более высокой температурой. Обе формулировки второго закона термодинамики эквивалентны.

Первый закон термодинамики утверждает, что невозможно создать двигатель, который мог бы бесконечно совершать работу без подвода энергии извне (вечный двигатель первого рода), второй закон термодинамики говорит, что невозможно создать двигатель, который мог бы всю теплоту, полученную рабочим телом от горячей среды, преобразовать в работу, не отдавая сколько-нибудь теплоты холодной среде (вечный двигатель второго рода).

Отношение работы, производимой двигателем за цикл, к количеству теплоты, подведенной за этот цикл от горячего источника, называется термическим коэффициентом полезного действия (КПД) цикла.

3.4. Прямой цикл Карно

Цикл, состоящий из двух изотерм и двух адиабат, носит название цикла Карно. Цикл Карно – идеальный термодинамический цикл, показывающий основные законы превращения тепловой энергии в механическую. Осуще-

ствление цикла Карно в тепловой машине можно охарактеризовать рабочей и тепловой диаграммами.

Газ (рабочее тело) с начальными параметрами, характеризующимися точкой a , помещается в цилиндр под поршень (рис. 3.1). Боковые стенки цилиндра и поршень абсолютно нетеплопроводны. Теплота может передаваться только через основание цилиндра.

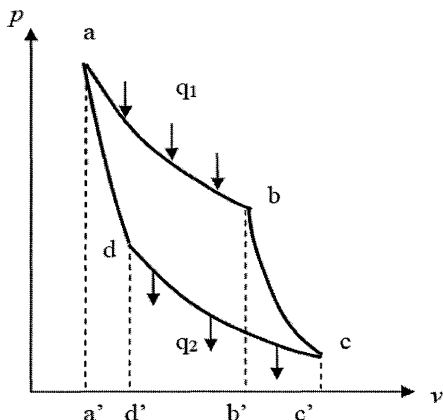


Рис. 3.1. Рабочая p - v -диаграмма

Идеальный газ вначале расширяется по изотерме $a-b$ ($T_1 = \text{const}$) от v_a до v_b , а затем – по адиабате $b-c$ от v_b до v_c [3]. В изотермическом процессе $a-b$ к газу подводится теплота (q_1); вся подведенная теплота переходит в работу, численно равную площади фигуры $abb'a'$. При расширении по адиабате $b-c$ без теплообмена с окружающей средой совершается работа, численно равная площади фигуры $bcc'b'$, за счет уменьшения внутренней энергии, при этом температура падает от T_1 до T_2 . В процессах изотермического и адиабатного расширения с общим увеличением объема от v_a до v_c газ совершил работу, численно равную площади фигуры $abcc'a'$. Возвращение газа в исходное состояние – в точку a (см. рис. 3.1) происходит в результате двух процессов. Сначала газ сжимается по изотерме $c-d$ ($T_2 = \text{const}$), объем уменьшается от v_c до v_d ; на сжатие затрачивается работа извне, численно равная площади фигуры $ccd'c'$; от газа отводится теплота (q_2) к охлаждающему телу с температурой T_2 .

Далее происходит адиабатное сжатие $d-a$ без теплообмена с окружающей средой за счет работы извне, численно равной площади $daa'd'$, объем уменьшается от v_d до v_a ; работа затрачивается на увеличение внутренней энергии газа, температура возрастает от T_2 до T_1 . Точка d выбирается так, чтобы путем адиабатного сжатия газ вернуть в исходное состояние.

В результате осуществления цикла рабочее тело получает от источника с температурой T_1 теплоту q_1 , совершает работу l , равную площади фигуры

$abcd$ и отдает теплоту q_2 охладителю с температурой T_2 . В круговом процессе, который начинается и заканчивается в точке a , изменение внутренней энергии равно нулю.

На рис. 3.2 изображен обратимый цикл Карно в координатах S, T . Количество теплоты q_1 , подведенное к рабочему телу в изотермическом процессе $a-b$ ($T_1 = \text{const}$), численно равно площади фигуры $abb'a' = T_1(Sb - Sa)$; количество теплоты q_2 , отведенное от рабочего тела в изотермическом процессе ($T_2 = \text{const}$) к охладителю, численно равно площади $cda'b' = T_2(Sc - Sa)$. Так как изотермы и адиабаты для любого рабочего тела представляются в тепловой диаграмме соответственно горизонтальными и вертикальными прямыми, то форма цикла Карно представляет собой прямоугольник независимо от природы рабочего тела, что и является наглядным доказательством теоремы Карно.

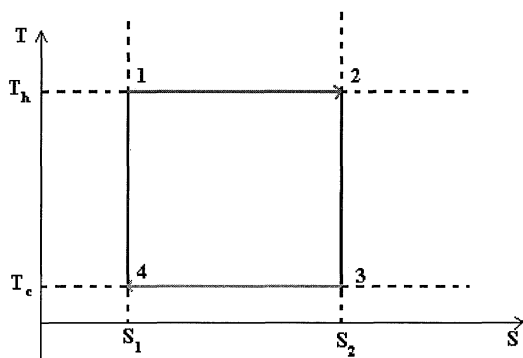


Рис. 3.2. Тепловая TS -диаграмма

Термический КПД цикла Карно больше, чем термический КПД любого другого цикла в том же интервале температур. Термический КПД цикла Карно зависит только от абсолютных температур горячего и холодного источников. Увеличить КПД цикла можно либо за счет увеличения температуры горячего источника, либо за счет уменьшения температуры холодного. Причем увеличение температуры горячего источника в меньшей степени повышает КПД цикла Карно, чем такое же (в Кельвинах) уменьшение температуры холодного.

3.5. Процесс парообразования. Диаграмма водяного пара

В энергетике большое распространение получил водяной пар, являющийся рабочим телом в паровых турбинах, паровых машинах, в атомных установках, теплоносителем в различных теплообменниках и т.п. Вода в зависимости от давления и температуры может находиться в различных агрегатных (или фазовых) состояниях: газообразном, жидком и твердом. Для равновесных состояний каждой фазы вещества существует термическое уравнение состояния:

$$F(p, v, T) = 0,$$

которое находят экспериментально.

Вещество может переходить из одной фазы в другую; этот переход называется фазовым переходом или фазовым превращением. Переход из одного агрегатного состояния в другое происходит при строго определенных взаимно связанных температуре и давлении. Фазовый переход сопровождается выделением или поглощением теплоты.

Процесс парообразования, т.е. превращения вещества из жидкого состояния в газообразное можно изобразить на p, v -диаграмме (рис. 3.3).

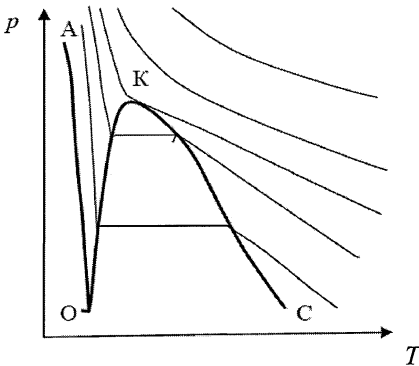


Рис. 3.3. Фазовая pT -диаграмма, где точка K – критическая точка, точка O – тройная точка, линия OKC – линия фазового перехода из жидкого состояния в газообразное, остальные линии – изотермы (OA – изотерма при нулевой температуре)

Начальное состояние воды, находящейся под давлением p и имеющей температуру 0°C , изображено на диаграмме линией AO . При подводе теплоты к воде ее температура повышается, пока не достигнет температуры кипения, соответствующей данному давлению. Область, заключенная между изотермой OA и осью координат, является областью равновесного сосуществования жидкой (вода) и твердой (лед) фаз. Левее кривой OK расположена область воды. Между кривыми OK и KC – область двухфазной системы, включающей в себя пар и жидкость (пароводяная смесь). Правее кривой KC и выше точки K расположена область перегретого пара.

Параметры критической точки для воды: $t_k = 374,12^\circ \text{C}$, $v_k = 0,003147 \text{ м}^3/\text{кг}$, $p_k = 22,115 \text{ МПа}$, $h_k = 2095,2 \text{ кДж/кг}$, $s_k = 4,424 \text{ кДж}/(\text{кг К})$.

Для воды в тройной точке O – $p_0 = 610,8 \text{ Па}$, $T_0 = 273,16 \text{ К}$ или $t_0 = 0,01^\circ \text{C}$ [3].

Насыщенным называется пар, находящийся в термическом и динамическом равновесии с жидкостью, из которой он образуется.

Насыщенный пар, в котором отсутствуют взвешенные частицы жидкой фазы, называется **сухим насыщенным паром**.

Массовая доля сухого насыщенного пара во влажном называется степенью сухости пара и обозначается буквой x . Для кипящей жидкости $x = 0$, а для сухого насыщенного пара $x = 1$.

Перегретым называется пар, температура которого превышает температуру насыщенного пара того же давления.

Для исследования различных процессов с водяным паром, кроме таблиц, используется Ts -диаграмма, которая строится путем переноса числовых таблиц водяного пара в Ts -координаты.

3.6. Циклы паротурбинных установок. Цикл Ренкина

Паротурбинная установка (ПТУ) предназначена для привода электрогенераторов на тепловых электростанциях. Рабочим телом ПТУ является водяной пар, агрегатное и фазовое состояние которого изменяется в процессе цикла от жидкого до перегретого (кипящая вода, влажный и сухой насыщенный пар). Продукты сгорания топлива в ПТУ являются только промежуточным теплоносителем в отличие от двигателей внутреннего сгорания.

Пар производится в котле (КТ) (рис. 3.4) путем подвода теплоты сгорания топлива к жидкости (воде); сухой насыщенный пар поступает на турбину (ПТ), где совершает работу; турбина соединена с электрогенератором (ЭГ); отработавший пар попадает в конденсатор (КН), где отдает теплоту охлаждающей среде (холодной воде или воздуху), в результате чего его степень сухости уменьшается, затем компрессором (КМ) сжатый конденсат возвращается в котел [3].

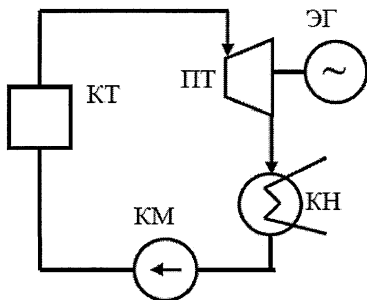


Рис. 3.4. Схема простейшей паротурбинной установки

Получение пара в котле соответствует фазе 4–1 (рис. 3.5, 3.6); поступивший на турбину сухой насыщенный пар совершает работу в адиабатном процессе 1–2 расширения пара, пар, отдающий теплоту в конденсаторе, соответствует процессу конденсации пара 2–3, адиабатное сжатие 3–4 – это сжатый конденсат, возвратившийся в котел. Состояние 4 – кипящая вода, состояние 1 – сухой насыщенный пар, состояние 2 и 3 – пар со степенью сухости x_2 и x_3 соответственно.

ПТУ, работающие по циклу Карно, практически невыгодны:

- увеличение КПД путем завышения температуры пара T_1 в процессе подвода теплоты ограничено температурой критической точки $T_k=647,3\text{ К}$;
- температура холодного источника T_2 ограничена снизу температурой окружающей среды;
- так как конденсация пара в процессе 2–3 осуществляется не полностью, то объем цилиндра компрессора должен быть весьма значителен, а это затраты на металл; размеры цилиндра компрессора возрастают с увеличением давления пара в котле и с уменьшением давления в конденсаторе, т.е. при переходе к более выгодным температурным режимам;
- турбина работает на влажном паре, вследствие эрозии ее лопатки быстро изнашиваются;
- последнее (большая влажность пара) также относится и к работе компрессора [3].

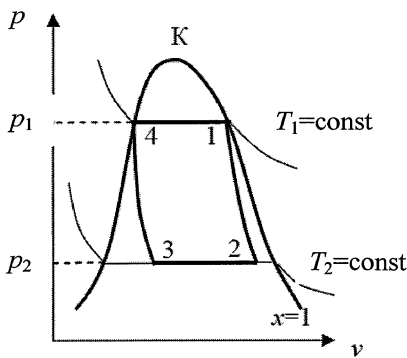


Рис. 3.5. p - v -диаграмма цикла Карно для насыщенного пара

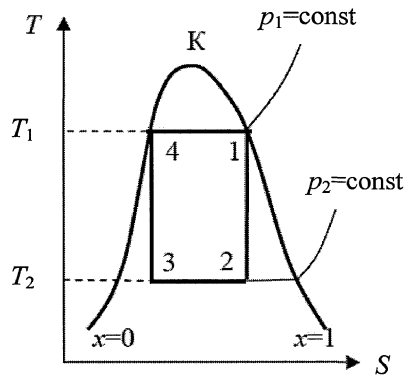


Рис. 3.6. T - S -диаграмма цикла Карно для насыщенного пара

В 1849 г. шотландский инженер, физик и механик Уильям Джон Ренкин получил общие уравнения термодинамики, выражающие соотношение между количеством теплоты и механической энергией. В 1850 г. исследовал термодинамические свойства газов и пара и составил таблицы водяных паров, получивших широкое применение. В 1859 г. построил полную теорию паровой машины; в частности, разработал идеальный термодинамический цикл парового двигателя, названного в его честь. У. Дж. Ренкин предложил заменить частичную конденсацию пара в процессе отвода теплоты полной конденсацией (рис. 3.7). Тогда в процессе сжатия рабочее тело находится в жидком состоянии и вместо компрессора используется насос (Н). Кроме того, в схеме ПТУ перед подачей в турбину добавлен пароперегреватель (ПП).

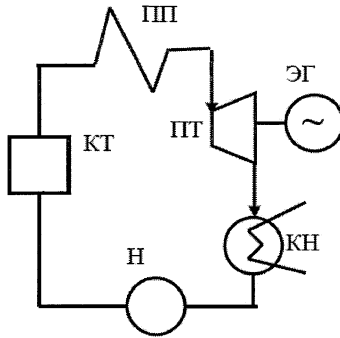


Рис. 3.7. Паротурбинная установка, предложенная У. Дж. Ренкиным

Термический КПД паросиловой установки возрастает с увеличением температуры пара перед турбиной. Повышение параметров пара определяется уровнем развития промышленности, в частности, металлургии, поставляющей металлы для котлов и турбин. Между тем металлы, которыми располагает современное машиностроение, позволяют перегреть пар до 550–600 °С. Это позволяет повысить термический КПД процесса. Максимальная температура цикла ограничена стойкостью паропровода, по которому пар поступает от парового котла в турбину. Благодаря применению низколегированных сталей стало возможно получение пара с температурой 535–565 °С, а применение высоколегированных сталей дает возможность получить пар с температурой 600–650 °С.

В цикле Ренкина (рис. 3.8, 3.9):

- точка 4' характеризует состояние кипящей воды в котле;
- линия 4'–4'' – процесс парообразования;
- линия 4''–1 – процесс перегрева пара в ПП;
- пар по адиабате 1-2 расширяется от давления p_1 до p_2 ;
- пар конденсируется (линия 2–2') в КН до состояния кипящей воды;
- адиабата 2'–3 – процесс перекачки воды насосом;
- изобара 3–4' соответствует нагреванию воды в котле при $p=p_1$ от температуры в КН до температуры кипения в КТ [3].

Перегрев пара увеличивает КПД цикла. Суммарный КПД цикла составляет 40 %, без перегрева пара – 38 %. Перегрев пара не только увеличивает термический КПД, но также помогает бороться с паровой эрозией – основной проблемой эксплуатации паровых турбин.

Пароводяная смесь в хвостовой части турбины обладает сильным эрозийным свойством, что вызывает разрушение лопаток и трубопроводов. Одновременно с повышением температуры перегрева пара необходимо повышать и его давление перед турбиной, чтобы поддерживать влажность выходящего из турбины пара в заданных пределах.

Пар, частично расширившийся в турбине, возвращают в котел и снова перегревают (уже при меньшем давлении), осуществляя так называемый вторичный (а иногда и третичный) регенеративный подогрев. Одновременно это повышает термический КПД.

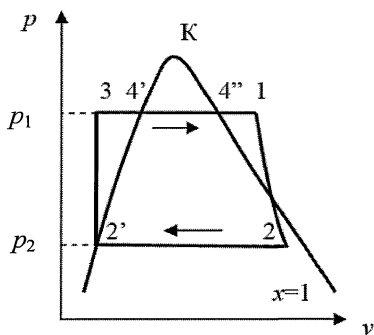


Рис. 3.8. p - v -диаграмма цикла Ренкина для насыщенного пара

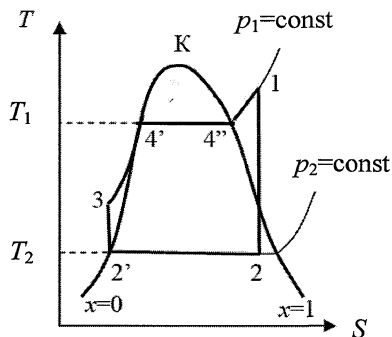


Рис. 3.9. TS -диаграмма цикла Ренкина для насыщенного пара

Перегрев пара дает возможность уменьшить потери при передаче теплоты от продуктов сгорания к рабочему телу и тем самым увеличить эффективность цикла. Перегрев пара уменьшает потери на трение при его течении в проточной части турбины. Все тепловые электрические станции на органическом топливе работают на перегретом паре, а иногда пар на станции перегревают дважды и даже трижды.

Для прохождения цикла паросиловой установки необходимо сообщить воде тепло, получить из нее перегретый пар (этот процесс совершается в паровом котле при постоянном давлении), затем, за счет расширения полученного пара в паровом двигателе (паровой турбине), получить механическую работу и далее отвести тепло к холодному источнику – конденсатору, где отработанный пар охлаждается холодной водой, превращаясь в конденсат. Круговой процесс замыкается при сжатии конденсата с помощью насоса до давления в котле.

В отличие от цикла Карно, в идеальном цикле Ренкина подвод тепла от источника и отвод тепла происходит не при постоянной температуре, а при постоянном давлении ($p = \text{const}$). Второй особенностью цикла Ренкина является то, что в процессе отвода тепла от теплоносителя его состояние доводится до полной конденсации в жидкость.

Термический КПД цикла Ренкина повышается с увеличением давления и температуры пара перед турбиной и с уменьшением давления за турбиной.

Чем выше температура пара, поступающего из котла в турбину, тем меньше влажность отработанного пара. Однако повышение начальной температуры пара лимитируется качеством современных сталей и другими конструктивными факторами. В связи с этим в паросиловых установках высокого давления применяется так называемый промежуточный перегрев пара, происходящий обычно в том же котельном агрегате. Промежуточный перегрев дает возможность заметно улучшить термический КПД парового цикла и повысить срок службы последних ступеней паровых турбин.

Экономичность современных паросиловых установок можно повысить путем подогрева питательной воды за счет частично отработавшего пара, отбираемого из турбины. Этот процесс, называемый регенеративным, позволяет снизить потери тепла с отработавшим паром.

3.7. Энтальпия

Энтальпия – величина, которая является функцией состояния и обозначается H . Энтальпия – это сумма внутренней энергии системы U и произведения давления системы p на ее объем V (Дж):

$$H = U + pV.$$

Энтальпия – это полная энергия, связанная с данным состоянием тела, которая состоит из внутренней энергии системы и работы, которую нужно было затратить для того, чтобы ввести это тело (объемом V) во внешнюю среду (с давлением p).

Изменение энтальпии в любом процессе определяется только начальным и конечным состоянием тела и не зависит от характера процесса. Энтальпия тем больше, чем больше давление среды.

При изобарном процессе ($dp=0$), если давление системы сохраняется неизменным,

$$dq_p = dh$$

и

$$qp = h_2 - h_1,$$

т.е. теплота, подведенная к системе при постоянном давлении, идет только на изменение энтальпии данной системы. Это выражение часто используется в расчетах, так как огромное количество процессов подвода теплоты в паровых котлах, камерах сгорания газовых турбин и реактивных двигателей осуществляется при постоянном давлении.

Теплообмен – это переход тепловой энергии от одного тела к другому, обусловленный разностью температур между этими телами. Способы теплообмена:

– теплопроводность, когда тепло распространяется внутрь тела, и молекулы, обладающие большим запасом кинетической энергии, переносят

часть своей энергии непосредственно соседним молекулам, имеющим меньший запас энергии;

– конвекция, когда тепло передается при помощи движущейся среды; конвективный теплообмен всегда связан с течением либо жидкого, либо газообразного тела, причем возможно как принудительное (при помощи насосов или вентиляторов), так и свободное течение, обусловленное неодинаковой плотностью нагретой и холодной частей среды;

– радиация, когда тепловая энергия нагретого тела превращается в лучистую энергию; часть этой энергии, воспринимаясь другим телом, превращается вновь в тепловую.

На практике теплообмен часто происходит одновременно всеми тремя способами.

Вопросы для самопроверки

1. Почему на практике не осуществляется цикл Карно насыщенного пара?

2. Изобразите цикл Ренкина насыщенного пара в TS -диаграмме. На каких типах ЭС этот цикл нашел широкое применение?

3. Что такое регенеративный подогрев? Его назначение.

4. С какой целью применяется перегрев пара? Охарактеризуйте необходимость его применения.

5. Охарактеризуйте температурные параметры перегрева пара.

6. Изобразите цикл Ренкина перегретого пара в TS -диаграмме. Покажите способы повышения термического КПД.

7. Назовите основные способы теплообмена.

8. Дайте понятие энтальпии и энтропии.

9. Дайте определение тепловым двигателям, перечислите их.

10. Дайте определение удельной работы и удельной теплоты.

11. Охарактеризуйте термодинамические параметры: температуру, давление.

12. Что такое теплоемкость, какую теплоемкость различают?

13. Как определяется работа расширения? Чему она эквивалентна в pV -диаграмме?

14. Сформулируйте первый закон термодинамики. Математическое выражение первого закона термодинамики. Его частные случаи.

15. Приведите примеры теплового и механического взаимодействия термодинамической системы.

16. Сформулируйте второй закон термодинамики. Что такое термический КПД?

17. Изобразите цикл Карно в pV - и TS -диаграммах. Из каких процессов он состоит?

18. От чего зависит термический КПД цикла Карно?

19. Изобразите диаграмму водяного пара. Какие области она разделяет?

20. Как на диаграмме водяного пара проходят изобары, изохоры, линии постоянной степени сухости?

4. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТОПЛИВ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА. ТОПОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Получение энергии необходимого вида и последующее снабжение ею потребителей происходит в процессе энергетического производства, включающего основные этапы:

- 1) получение и концентрация энергетических ресурсов;
- 2) передача энергетических ресурсов к установкам, преобразующим энергию, различными способами: перевозки по суше и воде, перекачка по трубопроводам и т. п.;
- 3) преобразование первичной энергии во вторичную, имеющую наиболее удобную для распределения и потребления в данных условиях форму;
- 4) передача и распределение преобразованной энергии;
- 5) потребление энергии либо в той форме, в которой она доставлена потребителю, либо в преобразованной.

Как правило, полезно используемая энергия составляет только 35–40 % от общей энергии применяемых первичных энергоресурсов, остальная часть энергии теряется, причем большая часть – в виде теплоты.

Различные виды топлива имеют существенно разные энергоемкости, величина которых приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Энергоемкость различных видов топлива

Удельная энергоемкость	Вид топлива					
	Водород	Газ	Дрова	Нефть	Уголь	Условное топливо
10^6 Дж/кг	12,06	46,1	10,5	41,9	33,5	29,35
Ккал/кг	2 880	11 000	2 500	10 000	8 000	7 000

Сжигание топлива происходит в основном элементе котельного агрегата – топке. **Топка** – это часть парогенератора, предназначенная для сжигания топлива, при котором химическая энергия топлива преобразуется в тепловую энергию продуктов сгорания, передаваемую далее жидкости и пару, находящемуся в котле, за счет которой генерируется пар.

Тепловое напряжение объема топочного пространства (q) – тепло-техническая характеристика топочных устройств, основываясь на которой решаются вопросы их конструкции и оценивается интенсивность работы. Оно представляет собой количество теплоты, выделившейся при сжигании

определенного количества топлива в единицу времени и приходящейся на 1 м³ объема топочного пространства, Вт/м³:

$$q = \frac{Q}{V_T},$$

где Q – количество теплоты, выделившейся при сжигании определенного количества топлива в единицу времени, Вт;

V_T – объем топочного пространства, м³.

Если значение q будет превышать определенную числовую величину, установленную практически, то за время нахождения в топке топливо не сгорит полностью. Для различных видов топлива, способов сжигания и конструкций топок допустимое значение q изменяется в широких пределах.

В настоящее время различают три основных способа сжигания твердого топлива: слоевой, факельный и вихревой (циклонный). Факельный и вихревой способы сжигания топлива могут быть объединены в один, называемый камерным. Выбор способа сжигания топлива зависит от мощности и конструкции парогенератора и водогрейного котла, вида топлива и свойств его золы.

Слоевые топки предназначены для сжигания твердого топлива в слое на колосниковой решетке. При слоевом способе сжигания необходимый для горения воздух подается к слою топлива через колосниковую решетку. По способу механизации слоевые топки разделяются на топки с ручным забросом топлива, полумеханические и механические. В настоящее время для промышленных парогенераторов и водогрейных котлов топки с ручным обслуживанием практически не применяют. **Механическая топка** – это слоевое топочное устройство, в котором все операции (подача топлива и удаление шлака и т.п.) выполняются механизмами. Если при обслуживании топки имеется доля ручного труда, то топку называют **полумеханической**.

В зависимости от размещения и состояния слоя топки бывают:

- с неподвижной колосниковой решеткой и неподвижно лежащим слоем топлива;
- с движущейся колосниковой решеткой и перемещающимся вместе с ней топливом;
- с неподвижной колосниковой решеткой и перемещающимся по ней слоем топлива.

В зависимости от взаимного направления движения потоков топлива и воздуха различаются:

- топки со встречной схемой движения топлива и воздуха;
- поперечной схемой движения топлива и воздуха;
- параллельной схемой движения топлива и воздуха.

В слоевых топках, в которых часть топлива сгорает в слое, а другая часть – в топочном пространстве, применяют характеристику интенсивности тепловой работы топки, называемую тепловым напряжением зеркала горения. *Характеристика интенсивности тепловой работы топки* (q_R) – это количество теплоты, выделившейся при сжигании определенного количества топлива в единицу времени и приходящейся на 1 м^2 площади поверхности зеркала горения, Вт/м^2 :

$$q_R = \frac{Q}{V_T},$$

где Q – количество теплоты, выделившейся при сжигании определенного количества топлива в единицу времени, Дж/кг ;

V_T – площадь поверхности зеркала горения, м^2 .

Установлено, что чем больше q_R , тем больше потеря теплоты от механического недожога вследствие уноса из пределов топки мелких, не успевших сгореть частиц топлива [12].

В камерных топках сжигается твердое топливо во взвешенном состоянии в виде пыли и дробленых частиц, а также жидкое, распыляемое с помощью форсунок, и газообразное. Камерные топki подразделяются на факельные и вихревые.

Факельные топki применяются для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива. При сжигании жидкого и газообразного топлива факельные топki используются для котлоагрегатов любой мощности, а для твердых топлив – мощностью более 20 МВт. Твердое топливо для сжигания в факельных топках должно быть предварительно превращено в мелкую пыль в пылеприготовительной установке. Жидкое топливо предварительно распыляется на мелкие капли, а газ никакой предварительной подготовки к сжиганию не требует.

В факельных топках топливо сгорает во взвешенном состоянии, т. е. в объеме топочной камеры. Время пребывания газа и пыли в объеме топki незначительно (1,5–2 с).

Большое значение для работы пылеугольных топок имеет конструкция применяемых горелок. *Горелка* – это агрегат, включающий помимо форсунки воздухонаправляющий аппарат, запальное устройство и механизм управления. Горелки должны обеспечивать хорошее перемешивание топлива с воздухом, надежное зажигание аэросмеси, максимальное заполнение факелом топочной камеры и легко поддаваться регулированию по производительности в заданных пределах.

Факельный способ сжигания твердого топлива обладает определенными достоинствами. Факельные топki для твердого топлива имеют низкий коэффициент избытка воздуха, могут практически иметь любую мощность, позволяют сжигать разнообразные по качеству топлива: как высокой влажностью, зольностью, так и несортированные, а также обеспечивают

поточность процесса горения, его полную механизацию и автоматизацию. Недостатки пылеугольных топок: расход электроэнергии на пылеприготовление, значительный унос золы продуктами сгорания, неустойчивость работы при пониженных нагрузках котлоагрегата.

Факельный способ сжигания твердого топлива широко распространен и постепенно полностью вытесняет слоевой.

Циклонный (вихревой) способ сжигания основан на использовании закрученных топливовоздушных потоков. Транспорт топлива осуществляется воздухом. Топливные частицы циркулируют по определенным траекториям в течение времени, необходимого для завершения их сгорания. Под действием центробежных сил частицы движутся в виде уплотненного пристенного слоя, интенсивно перемешиваясь с воздухом. В вихревых топках создается циркуляционное движение топлива в газовоздушном вихре, что увеличивает время пребывания топлива в топочной камере и обеспечивает большую устойчивость горения. Время пребывания частиц в циклонной камере выбирается достаточным для выгорания грубой пыли (размер частиц – 200 мкм) или дробленого топлива (размер частиц до 5 мм). Твердое топливо перед сжиганием в вихревых топках предварительно превращается в грубую пыль, мазут распыляется форсунками, а газ не требует никакой предварительной подготовки.

Камерные топки для сжигания твердого топлива используют в котельных агрегатах средней и большой производительности.

Основные преимущества камерных топок заключаются в следующем:

- 1) возможность экономичного использования практически всех сортов угля, в том числе и низкокачественных, которые трудно сжигать в слое;
- 2) хорошее перемешивание топлива с воздухом, что позволяет работать с небольшим избытком воздуха ($\alpha=1,2-1,25$);
- 3) возможность повышения единичной мощности котельного агрегата;
- 4) относительная простота регулирования режима работы и, следовательно, возможность полной автоматизации топочного процесса.

Жидкое топливо, сжигаемое в топках, подвергается предварительному распылению с помощью форсунки, являющейся элементом горелки. Для сжигания мазута необходима его предварительная подготовка: уменьшение вязкости и распыление, при котором обеспечивается испарение мазута.

Распыление и распределение жидкого топлива в потоке окислителя (воздуха) производится в одном из элементов горелки, называемом форсункой. Форсунки, в которых распыление топлива производится за счет потенциальной энергии струи мазута, находящейся под давлением, называются **механическими**. Форсунки, в которых для распыления мазута используется кинетическая энергия распыляющего агента (воздуха, пара), называются **пневматическими**. Форсунки, в которых для распыления мазута используется механическая энергия вращающегося распылителя (диск или стакан), называют **ротационными** [12].

В топках промышленных парогенераторов и водогрейных котлов главным образом используется природный газ. Подготовка газа для его сжигания производится в газогорелочном устройстве. Газогорелочные устройства в зависимости от способа перемешивания в них газа с воздухом принято разделять на горелки полного предварительного смешения, диффузионные и частичного предварительного смешения.

В горелках полного предварительного смешения газ и воздух перед поступлением в топку предварительно полностью перемешиваются в необходимых для горения количествах и после этого готовая газозвдушенная смесь подается в топку. В диффузионных горелках газ и воздух в необходимых для горения количествах раздельно подаются в топку и процесс перемешивания их протекает одновременно с процессом горения. В горелках частичного предварительного смешения только часть воздуха, необходимого для горения, перемешивается с газом, а остальной подается непосредственно в топочную камеру как вторичный.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные этапы получения энергии необходимого вида и последующего снабжения ею потребителей.
2. Дайте понятие энергоемкости различных видов топлива.
3. Что такое тепловое напряжение объема топочного пространства?
4. Что такое характеристика интенсивности тепловой работы топки?
5. Перечислите основные характеристики топочных устройств.
6. Перечислите способы сжигания твердого топлива, дайте краткую характеристику каждого из них.
7. Каковы особенности слоевого способа сжигания?
8. Что такое слоевая топка? Классификация слоевых топок.
9. Основные достоинства и недостатки слоевых топок.
10. Какие бывают камерные топки? Дайте краткую характеристику каждого вида.
11. Основные достоинства и недостатки камерных топок.
12. Особенности факельного способа сжигания.
13. Дайте характеристику циклонному (вихревому) способу сжигания.
14. Классификация форсунок.
15. Область применения основных видов топок.

5. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА. ТЕПЛОФИКАЦИЯ

5.1. Элементарные способы передачи теплоты

Для решения основной задачи расчета теплообмена – определения температурных полей и тепловых потоков при теплоотдаче и теплопередаче

необходимо уметь рассчитывать три элементарных способа передачи тепловой энергии:

- 1) теплопроводность (кондукцию);
- 2) конвекцию;
- 3) тепловое излучение (радиационный теплообмен).

Теплопроводность (кондукция) – это способ передачи теплоты за счет взаимодействия микрочастиц тела (атомов, молекул, ионов в электролитах и электронов в металлах) в переменном поле температур. Теплопроводность имеет место в твердых, жидких и газообразных телах. В твердых телах теплопроводность является единственным способом передачи теплоты. В вакууме теплопроводность отсутствует.

Конвекция – это способ передачи теплоты за счет перемещения макрообъемов среды из области с одной температурой в область с другой температурой. При этом текучая среда с более высокой температурой перемещается в область более низких температур, а с холодной – в область с высокой температурой. В вакууме конвекция теплоты невозможна.

Тепловое излучение (радиационный теплообмен) – это способ передачи теплоты за счет распространения электромагнитных волн в определенном диапазоне частот.

Конвекция теплоты всегда протекает совместно с теплопроводностью, так как макрообъемы текучей среды состоят из микрообъемов, и есть неравномерное по пространству температурное поле. Передача теплоты совместно теплопроводностью и конвекцией называется **конвективным теплообменом**. Совместная передача теплоты излучением и теплопроводностью называется **радиационно-кондуктивным теплообменом**. Совместная передача теплоты излучением и конвекцией называется **радиационно-конвективным теплообменом**.

И в природе, и в технических устройствах, как правило, все способы передачи теплоты происходят одновременно. Такой теплообмен называется **сложным теплообменом**. Чаще всего встречаются следующие варианты сложного теплообмена:

- 1) **теплоотдача** – это процесс теплообмена между непроницаемой твердой стенкой и окружающей текучей средой;
- 2) **теплопередача** – передача теплоты от одной текучей среды к другой текучей среде через непроницаемую твердую стенку.

Процесс теплоотдачи может быть осуществлен сочетанием следующих элементарных процессов теплообмена:

– **конвективная теплоотдача**. (одновременно конвекция и теплопроводность) – имеет место при омывании твердых поверхностей различной формы текучей средой (лученепрозрачной капельной жидкостью);

– **лучистая** или **радиационная теплоотдача** (тепловое излучение) – имеет место при радиационном теплообмене в вакууме или между стенкой и излучающим и поглощающим неподвижным газом;

– *радиационно-конвективная теплоотдача* (одновременно тепловое излучение и конвективный теплообмен) – наиболее часто встречающийся случай сложного теплообмена;

– *конвективная теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя*. (одновременное наличие конвекции, теплопроводности с возможностью излучения) – это теплоотдача при конденсации и кипении, протекающая с выделением или поглощением теплоты фазового перехода.

Теплопередача включает в себя следующие процессы:

1) теплоотдачу от горячей текучей среды (горячего теплоносителя) к стенке;

2) теплопроводность внутри стенки;

3) теплоотдачу от стенки к холодной текучей среде (холодному теплоносителю).

5.2. Теплофикация

Теплофикация – это комбинированное производство электроэнергии и тепла, достигаемое использованием пара, отработавшего в приводных тепловых двигателях электростанций, для целей централизованного теплоснабжения. Система теплофикации включает в себя как распределение тепла по тепловым сетям, так и потребление тепла в технологических, отопительных и других аппаратах и устройствах. Другими словами, *теплофикация* – это энергоснабжение тепловых и электрических потребителей на базе комбинированного производства тепла и электроэнергии в одной технологической установке.

Теплофикация получила самое широкое распространение в России, так как Россия – северная страна с суровым климатом. Первые установки централизованного теплоснабжения появились в конце XIX в. в разных странах. В СССР первая теплоэлектроцентраль начала работать в 1924 г. в Ленинграде.

Используемое при теплофикации тепло, как правило, является продуктом отходов производства при выработке электроэнергии или сжигании мусора. Вместо того, чтобы бесполезно отдавать это тепло в окружающую среду, его можно применить для обогрева зданий и целых кварталов города. Комбинированное производство энергии двух видов способствует более экономичному использованию топлива по сравнению с его использованием при отдельной выработке электроэнергии на конденсационных электростанциях (ГРЭС) и тепловой энергии в котельных установках. Замена мелких котельных централизованной системой теплоснабжения способствует экономии топлива, снижению загрязнения воздушного бассейна, улучшению экологической обстановки. Преимущество теплофикации: наряду с экономией производственного пространства достигается лучшее использование произведенной энергии при достаточно низкой стоимости тепла. Чем дальше удалено местонахождение источника от потребителя,

тем больше тепла теряется при транспортировании. Поэтому для теплофикации предпочтение отдается электростанциям небольшой мощности вблизи населенных пунктов, так как крупные, но удаленные от мест потребления экономически невыгодны.

Такие энергетические установки могут быть одновременно поставщиками как тепла, так и электрического тока, их общий КПД достигает 80 %.

Когенерация – технология, позволяющая вырабатывать электричество и тепло. Она эффективна при наличии дешевого топлива и минимальной удаленности генератора от потребителя. Основное достоинство когенератора: способность преобразовывать энергию с большей эффективностью по сравнению с ТЭС.

Исходный источник энергии па ТЭЦ – органическое топливо (на паротурбинных и газотурбинных ТЭЦ) либо расщепляющееся (ядерное) топливо. Суть метода теплофикации заключается в том, чтобы потери теплоты в цикле Ренкина (в конденсаторе) сделать полезными, тем самым увеличить КПД установки. Теплота перегретого пара является полезно отпущенной и направляется в жилые районы. Теплота от промышленной ТЭЦ передается на расстояние нескольких км (преимущественно паром), от отопительной – до 20–30 км (горячей водой).

Возможность использовать для отопления, горячего водоснабжения и для различных технологических процессов отбросной теплоты позволяет повысить эффективность паросиловой установки. Это достигается путем увеличения давления и температуры за турбиной до определенной величины. С этой целью охлаждающая вода, нагретая в конденсаторе К (рис. 5.1), не выбрасывается в водоем, как в чисто конденсационном цикле, а направляется через отопительные приборы теплового потребителя ТП и, охлаждаясь в них, отдает полученную в конденсаторе теплоту [10]. В результате станция, работающая по такой схеме, одновременно вырабатывает и электрическую энергию, и тепловую. Такая станция называется теплоэлектроцентралью (ТЭЦ).

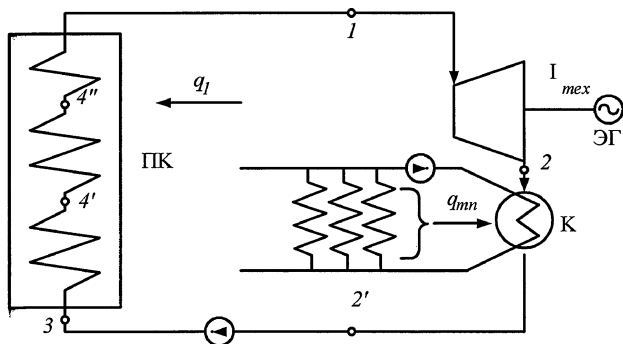


Рис. 5.1. Схема установки для совместной выработки тепловой и электрической энергии: ПК – паровый котел; Т – паровая турбина; К – конденсатор-подогреватель; Н – насос; ТП – тепловой потребитель, цифры соответствуют точкам цикла в TS -диаграмме (см. рис. 3.9)

Процесс теплофикации показан на рис. 5.2. Водяной пар с состоянием в точке 1 направляется в паровую турбину, но процесс расширения проводится не до конца, а до давления теплофикации $P_{\text{тепл}}$. Далее, пар после турбины направляется по паропроводу в тепловые пункты жилых районов. В этих пунктах установлен теплообменник, который нагревает питьевую воду из водопроводной сети за счет процесса конденсации пара из паропровода. Горячая вода идет на отопление жилых и производственных зданий, либо на бытовые нужды. Конденсат возвращается обратно в паросиловую установку на вход питательного насоса. Чем выше давление P_1 , тем больше КПД идеального цикла Ренкина. Большему давлению перед турбиной соответствует более высокая влажность выходящего из нее пара. Содержание капелек воды в паре увеличивает потери от трения его в проточной части турбины. Поэтому одновременно с повышением давления пара за паровым котлом необходимо повышать и температуру его перегрева, чтобы поддерживать влажность выходящего из турбины пара в заданных пределах.

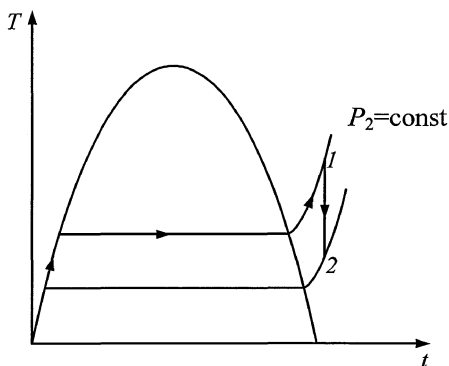


Рис. 5.2. Процесс теплофикации

Охлаждающую воду можно использовать для отопления при условии, что ее температура не ниже 70–100 °С. Температура пара в конденсаторе-подогревателе должна быть на 10–15 °С выше. На практике она получается выше 100 °С, а давление насыщенного пара P_2 при этой температуре выше атмосферного. Поэтому турбины, работающие по такой схеме, называются турбинами с противодавлением.

По виду вырабатываемой энергии тепловые электрические станции на органическом топливе подразделяются на конденсационные электрические станции (КЭС) и на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ).

На конденсационных электрических станциях устанавливаются турбогенераторы конденсационного типа, которые производят только электрическую энергию (рис. 5.3).

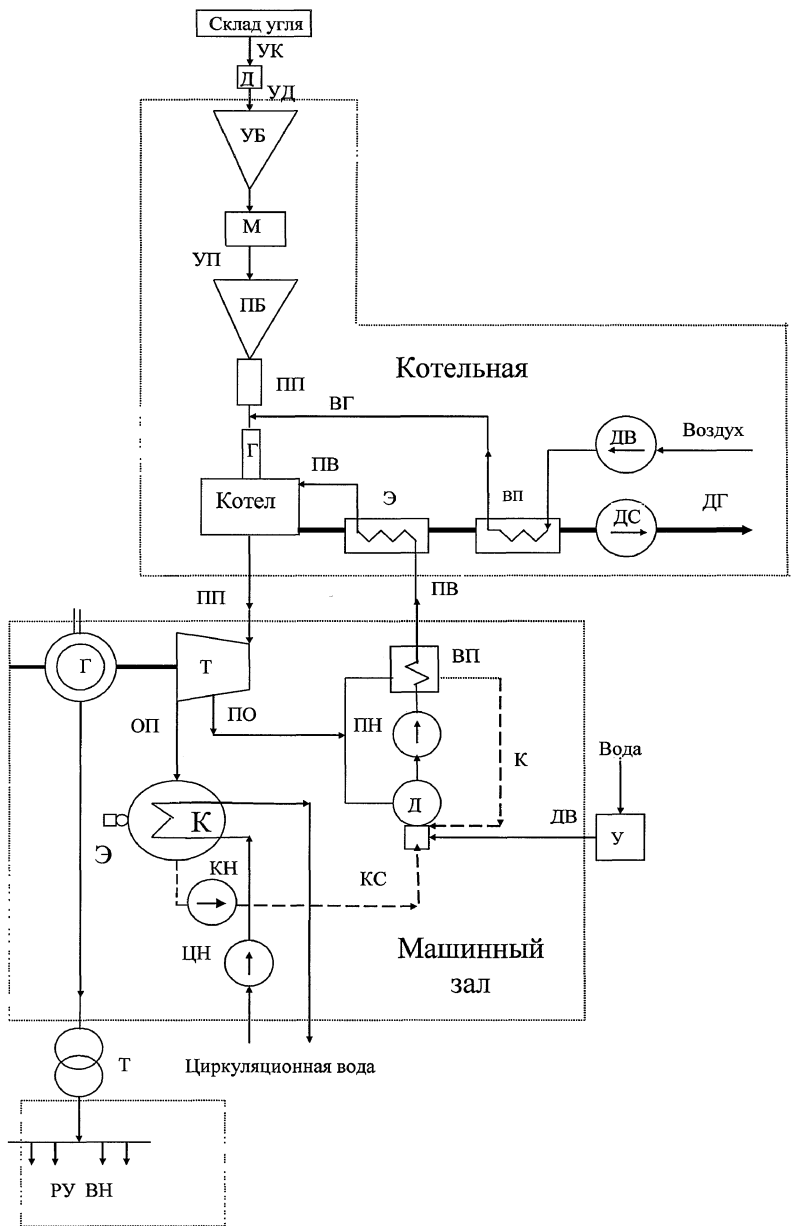


Рис. 5.3. Технологическая схема энергоблока КЭС

Со склада кусковой уголь УК поступает в дробилки Д, затем дробленый уголь УД – в мельницы М. Перед ними располагается угольный бункер УБ, а за ними – пылевой бункер ПБ для складирования избытков угольной пыли УП. Угольная пыль подается к горелкам питателями пыли ПП и через них вдувается в котел горячим воздухом ВГ. Холодный воздух забирается из атмосферы с помощью дутьевых вентиляторов ДВ и, проходя через воздухоподогреватели ВП, нагревается отходящими из котла дымовыми газами ДГ. Горячий воздух служит для подсушивания угольной пыли, ее транспортировки и повышения эффективности сгорания в котле. Дымовые газы отсасываются из котла дымососами ДС и через дымовую трубу выбрасываются в атмосферу. Тепло отходящих газов из котла используются в экономайзере Э для подогрева питательной воды ПВ. Из котла перегретый пар ПП поступает в паровую турбину Т, где проходит ряд ступеней, вращая вал турбины и генератора Г. Полностью отработавший в турбине пар ОП в конденсаторе К конденсируется в результате охлаждения циркуляционной водой, которая подается циркуляционными насосами ЦН из водоема. Воздух, попадающий в конденсатор с паром, удаляется эжектором Э. Конденсат КС перекачивается конденсатными насосами КН в деаэратор Д, где освобождается от растворенных газов. В деаэраторе питательная вода ПВ подогревается паром до температуры выделения газов. Нагрев осуществляется паром ПО, отобранным с промежуточных ступеней турбины. Освобожденный от газов конденсат уже в виде питательной воды ПВ с помощью питательных насосов (ПН) через воздухоподогреватели ВП и экономайзер Э подается в котел. Для нагрева в воздухоподогревателе используется также пар отбора, а конденсат его отводится в деаэратор.

Для восполнения потерь питательной воды через деаэратор поступает добавочная вода ДВ, химически очищенная в установке У.

Конденсационные паровые турбины имеют несколько отборов для подогрева питательной воды. Чем больше отбор, тем большее количество тепла возвращается (регенерируется) с питательной водой, и тем меньше поступает в конденсатор и теряется с циркуляционной водой, и тем выше КПД.

Общий КПД станций не превышает 25...40 %, поэтому они невыгодны на дальнепривозном сырье.

На теплоэлектроцентрали устанавливаются теплофикационные (рис. 5.4) и противодавленческие турбогенераторы, а также турбогенераторы с ухудшенным вакуумом [10].

На работающих по тепловому графику станциях (ТЭЦ) большая часть пара из регулируемых отборов турбин отбирается на производственные нужды и теплофикации и только минимально необходимое для вентиляции проточной части турбины направляется в конденсатор. Пар первого отбора, имеющий высокие параметры, поступает непосредственно на собственные нужды потребителей. Второй отбор используется для подогрева

питательной воды в деаэраторах и водоподогревателях. Третий отбор с самыми низкими параметрами пара используется для отопления и горячего водоснабжения промышленных и бытовых потребителей.

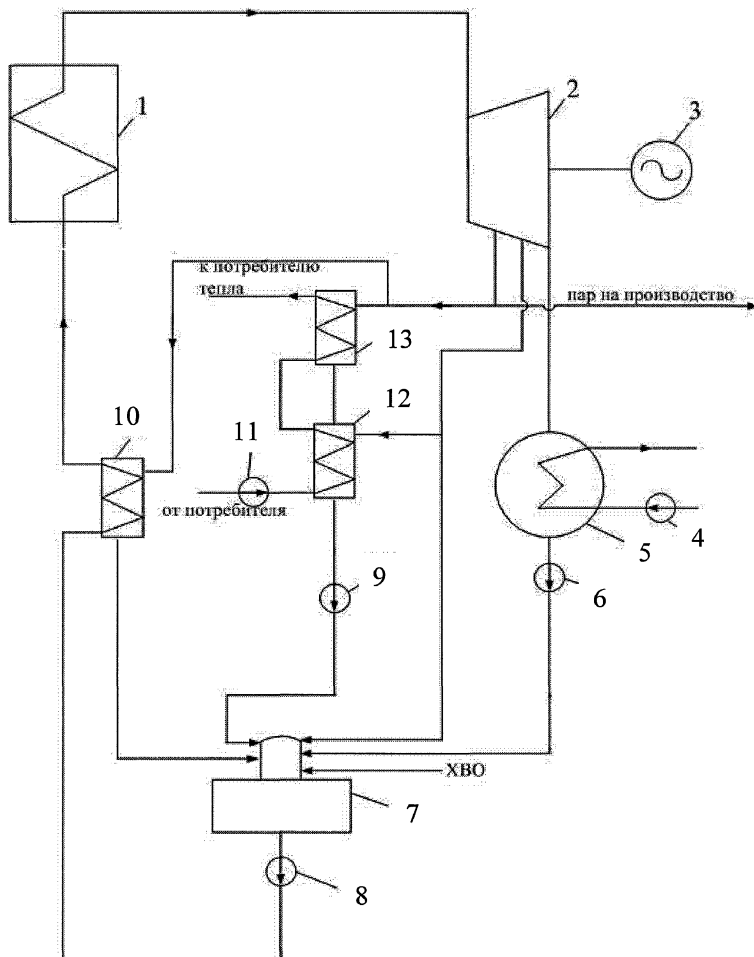


Рис. 5.4. Типовая схема ТЭЦ: 1 – паровой котел, 2 – теплофикационная турбина, 3 – генератор, 4 – циркулярный насос, 5 – конденсатор, 6 – конденсатный насос, 7 – деаэратор, 8 – питательный насос, 9 – конденсатный насос подогревателей, 10 – подогреватель питательной воды высокого давления, 11 – сетевой насос, 12 – подогреватель сетевой воды низкого давления, 13 – подогреватель сетевой воды высокого давления

Вода из сети теплофикации сетевыми насосами СН подается в водоподогреватели ВП и возвращается в сеть. Удельный расход условного топлива на отпущенный кВт на ТЭЦ значительно ниже, чем на КЭС.

Охлаждение отбросной теплоты осуществляется одним из следующих способов:

- прямоточное охлаждение;
- устройство искусственного водоема-охладителя;
- брызгальный бассейн;
- применение градирен.

При прямоточном охлаждении вода, взятая из водотока или водоема, прокачивается через трубки конденсатора и отбирает скрытую теплоту пара. Затраты на создание такой системы водоснабжения, на ее эксплуатацию и техническое обслуживание обычно небольшие. Преимущество использования искусственного водоема-охладителя для охлаждения отбросной теплоты – относительная дешевизна, особенно в районах с невысокой стоимостью земельных участков. Как правило, удельная площадь зеркала воды пруда составляет порядка 0,81...0,9 га на один киловатт установленной мощности.

Если земельные участки имеют высокую стоимость, то целесообразней организовывать брызгальный бассейн, площадь которого всегда меньше площади пруда-охладителя. Принципиальной особенностью является то, что испарение, происходящее в результате контакта воды с атмосферным воздухом, становится гораздо интенсивнее, так как вода разбрызгивается над поверхностью бассейна.

В случае применения градирен (рис. 5.5) охлаждение происходит в основном за счёт испарения части воды под действием потока воздуха (испарение 1 % воды понижает её температуру примерно на 6 °С). Воздушный поток создаётся вентилятором либо образуется вследствие естественной тяги, возникающей в высокой башне. Охлаждаемая вода разбрызгивается в потоке воздуха и под действием силы тяжести стекает в резервуар охлаждённой.

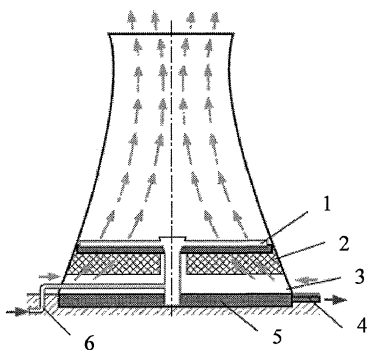


Рис. 5.5. Схема башенной градирни: 1 – водораспределитель; 2 – ороситель; 3 – подача воздуха; 4 – отвод охлажденной воды; 5 – резервуар (бассейн); 6 – подвод горячей воды

Самая высокая градирня в России построена в 2012 г. для 1-го энергоблока строящейся Нововоронежской АЭС-2. Её высота составляет 172,5 м, спроектированы градирни высотой 179 м для Курской АЭС-2.

5.3. Основное теплофикационное оборудование. Виды, классификация, характеристики

Основная задача теплофикационного оборудования ТЭЦ заключается в подготовке теплоносителя к транспортировке по тепловой сети и в приеме использованного теплоносителя на ТЭЦ. Характер оборудования зависит от профиля ТЭЦ и системы теплоснабжения.

Границей между теплофикационным оборудованием электростанции и тепловой сетью являются задвижки, установленные на коллекторах или отходящих от электростанции трубопроводах тепловой сети. Этими задвижками отсекаются полностью подача теплоносителя от станции в сеть и возврат отработавшего теплоносителя из сети на станцию. Через задвижки готовая продукция – теплоноситель – отпускается с электростанции в сеть.

Основное теплофикационное оборудование ТЭЦ в водяных системах теплоснабжения включает в себя пароводяные подогреватели, сетевые насосы, установки для подготовки подпиточной воды, включающие водоподготовку, деаэрационные устройства, аккумуляторы горячей воды и подпиточные насосы.

Основное теплофикационное оборудование ТЭЦ в паровых системах теплоснабжения включает в себя систему баков и насосов для сбора, контроля и перекачки конденсата; паропреобразовательные установки для выработки из химически очищенной воды вторичного пара, используемого для теплоснабжения; компрессорные установки для повышения давления пара из отбора, если это давление ниже требуемого для теплоснабжения; редукционно-охладительные установки для снижения давления и температуры свежего пара, частично используемого в ряде случаев для теплоснабжения.

5.4. Отопление и горячее водоснабжение

В населенных пунктах источниками тепла являются ТЭЦ. Теплофикационные турбины имеют отбор пара, используемый для подогрева холодной воды, поступающей на вход теплообменного аппарата. Эта вода должна предварительно проходить через очистные сооружения и иметь качество питьевой водопроводной воды, так как на ТЭЦ осуществляется только деаэрация подаваемой воды (удаление из воды воздуха и прежде всего кислорода). Как правило, на ТЭЦ имеется несколько водогрейных котлов, которые используются как пиковые источники теплоты при нехватке тепловой мощности турбины. Они могут использоваться и как самостоятель-

ные источники теплоты (например, в летний период, когда требуется небольшая тепловая мощность только для горячего водоснабжения). Водогрейные котлы являются вторым источником при централизованном теплоснабжении. Они в необходимых количествах могут устанавливаться на отопительных котельных, способны работать в общую тепловую сеть или снабжать отдельных тепловых потребителей. Система отопления должна обеспечить комфортную температуру внутри помещений согласно установленных норм и правил. Установленные температурные требования должны выдерживаться при расчетных отрицательных температурах наружного воздуха, которые определяется на основе карты климатического районирования. Началом отопительного периода считается тот момент, когда среднесуточная температура наружного воздуха стала ниже $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5 суток в подряд. Концом отопительного периода считается тот момент, когда среднесуточная температура наружного воздуха становится выше $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 5 суток в подряд.

С централизованным отоплением неразрывно связано горячее водоснабжение. Основные виды горячего водоснабжения:

- закрытая система горячего водоснабжения;
- открытая система горячего водоснабжения.

Закрытая система горячего водоснабжения (рис. 5.6) имеет источник тепла 1, в качестве которого может выступать ТЭЦ, котельные с водогрейными котлами [2]. Через напорный вентиль 2 горячая вода с температурой, достигающей $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, направляется в подающий трубопровод. В теплообменнике смешивающего типа (смешивается прямая горячая вода и обратная вода, подаваемая насосом 5) вода принимает температуру, необходимую для отопления ($95\text{ }^{\circ}\text{C}$). Эта вода подается в батареи отопления 8. Теплообменник поверхностного типа 6 обеспечивает подогрев водопроводной воды до температуры $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, подогретая вода используется в системе горячего водоразбора 7. Утечка сетевой воды компенсируется подпиточной водой, которая вместе с обратной водой подается сетевым насосом 4 в источник тепла для подогрева. В результате получается двухтрубная система теплоснабжения, работающая по замкнутому циклу. Открытая система горячего водоснабжения (рис. 5.7) характеризуется тем, что в водоразборники 7 подается та же вода, которая используется для теплоснабжения. Подогретая вода в источнике тепла через напорный вентиль 2 подается в теплообменник смешивающего типа 3. Для доведения сетевой воды до требуемой температуры в теплообменник насосом 5 подается обратная вода. Далее сетевая вода поступает в здания. Непосредственно она подается в батареи отопления 8, а с добавкой обратной воды в систему подачи горячей воды – к водоразборникам 7.

Приведенные схемы теплоснабжения носят упрощенный характер, показывающие только принцип теплоснабжения. Реальные тепловые сети

имеют много не показанных элементов, таких как системы регулирования, в том числе и автоматические, системы телемеханики и защиты и т.п.

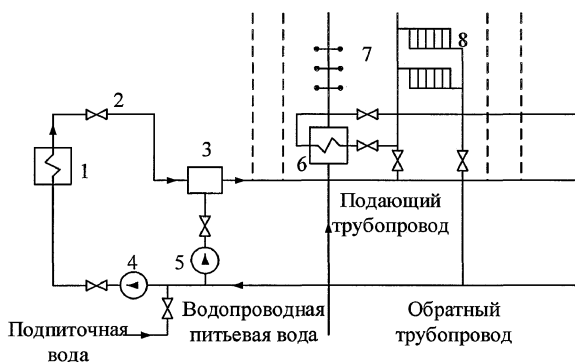


Рис. 5.6. Закрытая система горячего водоснабжения

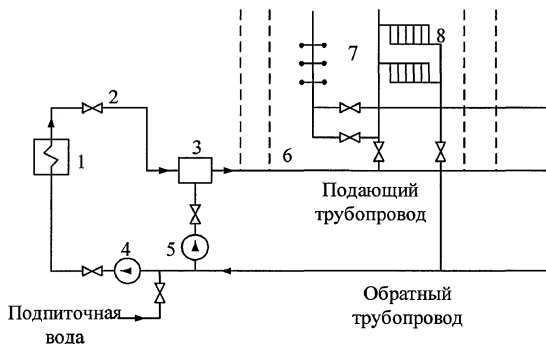


Рис. 5.7. Открытая система горячего водоснабжения

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте элементарные способы передачи тепловой энергии.
2. Какие существуют варианты сложного теплообмена?
3. Сочетанием каких элементарных процессов теплообмена может быть осуществлен процесс теплоотдачи?
4. Какие способы применяются для охлаждения отбросной теплоты? Охарактеризуйте каждый способ.
5. Что такое теплофикация? Преимущества теплофикации.
6. Объясните процесс теплофикации.
7. Что такое когенерация?
8. Принцип работы конденсационных электрических станций (КЭС).
9. Принцип работы теплоэлектроцентрали (ТЭЦ).
10. Каковы общие и отличительные особенности работы КЭС и ТЭЦ?

11. Почему КПД КЭС выше КПД ТЭЦ?
12. Основное теплофикационное оборудование ТЭЦ в водяных системах теплоснабжения.
13. Основное теплофикационное оборудование ТЭЦ в паровых системах теплоснабжения.
14. Опишите процесс совместной выработки тепловой и электрической энергии.
15. Основные виды горячего водоснабжения.

6. ПАРОВЫЕ КОТЛЫ

6.1. Классификация котельных агрегатов

Котельные агрегаты или **котлы** – это устройства, предназначенные для получения пара или горячей воды повышенного давления за счет теплоты, выделяемой при сжигании топлива или подводимой от посторонних источников. В зависимости от теплоносителя, котлы делятся на паровые и водогрейные. Паровые котлы предназначены для производства пара и по назначению делятся на

- энергетические, вырабатывающие пар, используемый в паровых турбинах для выработки электрической энергии;
- промышленные, вырабатывающие пар для технологических нужд.

Энергетические котлы используются на ТЭС и ТЭЦ в комплексе с турбогенераторами. Такая связка называется **турбоагрегатом**. Промышленные котлы вырабатывают насыщенный пар, а энергетические – перегретый.

Насыщенный пар – это пар, который образовывается в процессе кипения и находится в динамическом равновесии с жидкостью и имеет температуру кипения воды.

Водогрейные котлы – это котлы, предназначенные для нагрева воды под давлением. Кипение воды в котле не допускается, её давление во всех точках выше давления насыщения при достигаемой там температуре и практически всегда выше атмосферного давления. Водогрейные котлы применяются в основном для теплоснабжения на районных котельных и ТЭЦ.

По назначению котельные агрегаты делятся на

- отопительные;
- отопительно-производственные;
- энергетические;
- производственные (промышленные).

Отопительные водогрейные котлы устанавливаются в отопительных котельных и вырабатывают горячую воду температурой 90...200 °С.

Отопительно-производственные котлы устанавливаются в производственных и отопительно-производственных котельных, вырабатывают на-

сыщенный или перегретый пар с температурой до 450 °С и давлением до 4 МПа, который используется как в технологических процессах разных отраслей промышленности, так и для обеспечения тепловой энергией систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Энергетические котлы имеют мощность до 1000 МВт, используются на электростанциях, вырабатывающих перегретый пар с температурой до 575 °С и давлением до 25 МПа, используемый для производства электрической и тепловой энергии.

Промышленные котельные агрегаты устанавливаются в отопительно-производственных котельных, вырабатывающих перегретый или насыщенный пар с температурой до 450 °С и давлением до 4 МПа, используемый в технологических процессах промышленности.

По конструктивным особенностям паровые и водогрейные котлы делятся на газотрубные, водотрубные.

Газотрубный котел – это паровой или водогрейный котел, у которого поверхность нагрева состоит из трубок небольшого диаметра, внутри которых движутся горячие продукты сгорания топлива. Теплообмен происходит посредством нагрева теплоносителя (воды), который находится снаружи трубок. По конструкции газотрубный котел является противоположностью водотрубному котлу. Самым известным газотрубным котлом является самовар.

Водотрубный котел – паровой или водогрейный котел, у которого поверхность нагрева (экран) состоит из кипяtilьных трубок, внутри которых движется теплоноситель (вода). Теплообмен происходит посредством нагрева кипяtilьных трубок горячими продуктами сгорающего топлива.

Водотрубные паровые котлы по конструкции значительно сложнее газотрубных. Основные их достоинства: они быстро разогреваются, практически безопасны в отношении взрыва, легко регулируются в соответствии с изменениями нагрузки, просты в транспортировке и допускают значительную перегрузку. Из недостатков можно выделить следующее: в их конструкции много агрегатов и узлов, соединения которых не должны допускать протечек при высоких давлениях и температурах, к агрегатам котлов, работающих под давлением, затруднен доступ при ремонте.

По типу применяемого топлива котлы делятся на

- газовые;
- жидкотопливные (дизельные);
- двухтопливные (газомазутные);
- котлы на твердом топливе.

6.2. Основные элементы котлов

Пароперегреватель – это устройство для повышения температуры пара, поступающего из испарительной системы котла. Пароперегреватели бывают радиационные и конвективные.

Экономайзер – это устройство, обогреваемое продуктами сгорания топлива и предназначенное для подогрева или частичного парообразования воды, поступающей в котел.

Воздухоподогреватель – это устройство для подогрева воздуха продуктами сгорания топлива перед подачей в топку котла.

Обмуровка котла – система огнеупорных и теплоизоляционных ограждений или конструкций котла, предназначенная для уменьшения тепловых потерь и обеспечения газовой плотности. Температура наружной поверхности не должна превышать 328 К.

К вспомогательным устройствам котельной установки относятся:

– **система топливоподачи**, включающая топливный бункер сырого угля, углеразмольную мельницу, мельничный вентилятор;

– **система водоподготовки** (химводоочистки) – система, предназначенная для предотвращения отложений накипи в природную воду, при которой природную воду подвергают осветлению (удалению механических примесей отстаиванием и фильтрованием), умягчению (удалению накипеобразователей) и деаэрации (удалению растворенных в воде газов);

– **система очистки продуктов сгорания и окружающей среды**;

– различные регулирующие, запорные и предохранительные устройства.

Исходным типом современных котлов является простой цилиндрический котел (рис. 6.1), выполненный в виде горизонтального барабана с топкой под ним. Причем стенки барабана – это одновременно и поверхность нагрева.

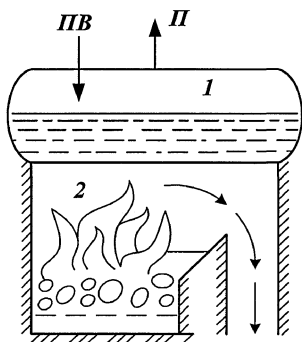


Рис. 6.1. Схема простого цилиндрического котла

Одна из схем котла с естественной циркуляцией приведена на рис. 6.2 [10]. Барабанный паровой котел состоит из топочной камеры и газоходов, барабана, поверхностей нагрева, находящихся под давлением рабочей среды (воды, пароводяной смеси, пара), воздухоподогревателя, соединительных трубопроводов и воздухопроводов.

Топливо подается к горелкам 2. К горелкам подводится также воздух, предварительно нагретый уходящими из котла газами в воздухоподогревателе 11. Топливовоздушная смесь, подаваемая горелками в топочную камеру (топку) 3 парового котла, сгорает, образуя высокотемпературный факел (1500 °С), излучающий теплоту 6 на трубы, расположенные на внутренней поверхности стен топки (экраны). Отдав часть теплоты экранам, топочные газы с температурой 1000 °С проходят через пароперегреватель 9. Затем продукты сгорания движутся через водяной экономайзер, воздухоподогреватель и покидают котел с температурой около 110...150 °С.

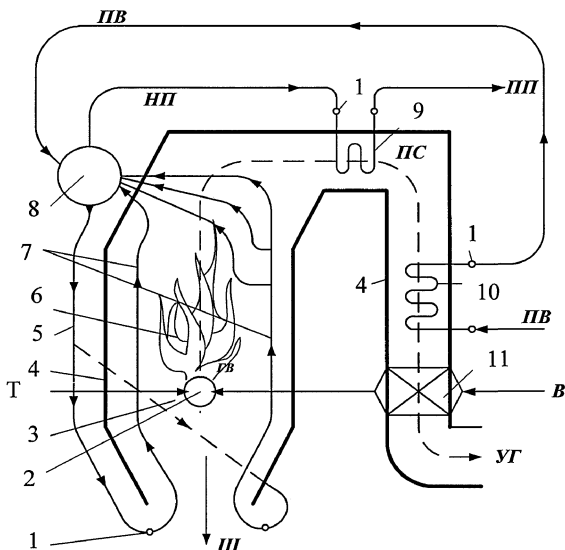


Рис. 6.2. Современный вертикально-водотрубный барабанный паровой котел с естественной циркуляцией: ПВ – подача питательной воды; НП – линия насыщенного пара; ПП – перегретый пар; Т – подача топлива к горелке; В – подвод воздуха к воздухоподогревателю; ГВ – горячий воздух; ПС-УГ – тракт продуктов сгорания и уходящих газов; Ш – шлак

Вода, поступающая в паровой котел, называется питательной. Она подогревается в водяном экономайзере 10 теплом уходящих газов, экономя тем самым теплоту сожженного топлива. Испарение воды происходит в экранных трубах 7. Испарительные поверхности подключены к барабану 8 и вместе с опускными трубами 5, соединяющими барабан с нижними коллекторами экранов, образуют циркуляционный контур. В барабане проис-

ходит разделение пара и воды. Сухой насыщенный пар из барабана поступает в пароперегреватель 9, перегретый пар направляют к потребителю.

С целью обеспечения стабильной и безопасной работы котла его снабжают вспомогательным оборудованием, служащим для подготовки и подачи топлива, воздуха, очистки и подачи воды, отвода продуктов сгорания и их очистки от золы и токсичных примесей, удаления золошлаковых остатков.

Комплекс устройств, включающий в себя собственно котел и вспомогательное оборудование, называют *котельной установкой* (рис. 6.3). Котельные установки, снабжающие паром турбины ТЭС, называют энергетическими.

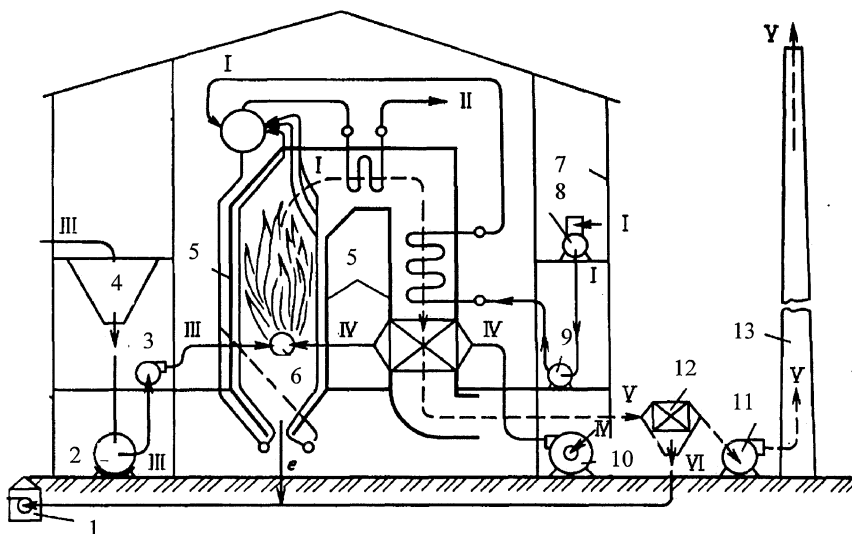


Рис. 6.3. Технологическая схема котельной установки, работающей на твердом топливе: I – водяной тракт; II – перегретый пар; III – топливный тракт; IV – путь движения воздуха; V – тракт продуктов сгорания; VI – путь золы и шлака

Топливо с угольного склада после дробления подается конвейером в бункер сырого угля 4, из которого направляется в углеразмольную мельницу 2. Затем пылевидное топливо подается вентилятором 3 к горелкам б топки котла 5, находящегося в котельной 7. Внутри топки котла в результате сгорания топлива образуется высокотемпературный факел с температурой порядка 1400...1500 °С. Факел образует топочные газы. К горелкам также подводится дополнительный горячий воздух из воздухонагревателя, нагнетаемый дутьевым вентилятором 10. В результате смешивания воздуха и топлива на выходе горелки происходит поджог топливно-воздушной

смеси. Питательная вода в котел нагнетается питательным насосом 9, создающим необходимое давление воды и пара, из бака питательной воды 8, имеющего деаэрационное устройство, предназначенное для удаления воздуха из питательной воды.

Уходящие газы очищаются от золы в золоулавливающем устройстве 12 и дымососом 11 выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу 13.

Уловленная из дымовых газов пылевидная зола и выпавший шлак удаляются в потоке воды по каналам, а затем образующаяся пульпа откачивается багерными насосами 1 и удаляется по трубопроводам.

6.3. Ядерные энергетические установки

Ядерное топливо (ядерное горючее) – материалы, которые используются в ядерных реакторах для осуществления управляемой цепной ядерной реакции деления. Ядерное топливо принципиально отличается от других видов топлива, используемых человечеством, оно является очень энергоемким (выделяет теплоты в миллион раз больше, чем лучшее органическое топливо) и при этом очень опасным для человека, что накладывает множество ограничений на его использование. Ядерное топливо гораздо сложнее в применении. В качестве ядерного топлива используется в основном обогащенный природный уран U_{238} в смеси с ураном U_{235} и иногда торий (Th_{232}).

Цепная ядерная реакция представляет собой деление ядра на две части, называемые осколками деления, с одновременным выделением нескольких нейтронов, которые, в свою очередь, могут вызвать деление следующих ядер. Такое деление происходит при попадании нейтрона в ядро атома исходного вещества. Образующиеся при делении ядра осколки деления обладают большой кинетической энергией. Торможение осколков деления в веществе сопровождается выделением большого количества тепла.

Устройство, в котором происходит саморазвивающийся регулируемый процесс деления атомных ядер с преобразованием освобождающейся при этом ядерной энергии в теплоту, называется *реактором*. Ядерное топливо используется в ядерных реакторах в виде таблеток размером в несколько сантиметров, где оно обычно располагается в герметично закрытых тепловыделяющих элементах (ТВЭЛах), которые в свою очередь для удобства использования объединяются по несколько сотен в тепловыделяющие сборки (ТВС). В реакторе одновременно с процессом деления происходит поглощение части нейтронов ураном и материалами, входящими в основном в активную зону реактора. Эти потери нейтронов должны восполняться, а это возможно лишь при условии, если деление каждого ядра будет сопровождаться образованием двух, трех и больше новых нейтронов.

Управление реакцией деления производится с помощью регулирующих стержней. Такие стержни, погруженные в активную зону реактора, интенсивно поглощают нейтроны и уменьшают число деления ядер урана 235.

Изменяя глубину погружения стержней, можно достаточно точно влиять на процесс работы реактора в широких пределах.

Наиболее освоенными энергетическими реакторами являются водородные энергетические реакторы типа ВВЭР. Такой реактор представляет собой металлический корпус с размещенными в нем кассетами. Каждая кассета состоит из металлического кожуха с собранными в нем цилиндрическими стержнями – тепловыделяющими элементами. Стержни, в свою очередь, состоят из тонкой циркониевой оболочки, заполненной ураном.

Через корпус реактора, т.е. через кассеты тепловыделяющих элементов, насосами прогоняется теплоноситель, который нагревается за счет теплоты, выделяющейся в результате реакции деления ядерного топлива.

Ядра атомов U_{235} обладают способностью самопроизвольно делиться. Осколки деления разлетаются со скоростью 2104 км/ч, в результате чего кинетическая энергия этих частиц преобразуется в тепловую с выделением большого количества теплоты. Нейтроны, преодолевая металлический кожух тепловыделяющих элементов и попадая в соседние ТВЭЛы, вызывают в них деление ядер U_{235} и создают цепную реакцию.

Вода выполняет как роль теплоносителя, так и роль замедлителя нейтронов. Для поддержания цепной реакции нужны замедленные тепловые нейтроны, скорость которых не превышает 2 км/с.

Первый советский ВВЭР (ВВЭР-210) был введен в эксплуатацию в 1964 г. на первом энергоблоке Нововоронежской АЭС. Общее название реакторов этого типа в других странах – PWR, они являются основой мировой мирной ядерной энергетики. Первая станция с таким реактором была запущена в США в 1957 г.

ВВЭР был разработан в СССР параллельно с реактором РБМК (реактор большой мощности канальный) и обязан своим происхождением одной из реакторных установок для атомных подводных лодок. Одной из целей при разработке реактора РБМК было улучшение топливного цикла. Решение этой проблемы связано с разработкой конструкционных материалов, слабо поглощающих нейтроны и мало отличающихся по своим механическим свойствам от нержавеющей стали. Снижение поглощения нейтронов в конструкционных материалах даёт возможность использовать более дешёвое ядерное топливо с низким обогащением урана.

В настоящее время разрабатываются и улучшаются типы реакторов. В современных проектах реакторов РБМК учтены новые, ужесточившиеся требования безопасности и устранены главные недостатки прежних реакторов данного типа. Кроме реакторов типа ВВЭР и РБМК, используются и реакторы-размножители на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем типа БН.

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение котельных агрегатов?
2. Классификация котельных агрегатов.

3. Из каких элементов состоит паровой котел? Объясните их назначение и устройство.
4. Что относится к вспомогательным устройствам котельной установки?
5. Расскажите о пути золошлакоудаления, водоподготовки и топливоподачи.
6. Дайте характеристику котла с естественной циркуляцией.
7. Опишите технологическую схему котельной установки.
8. Из каких процессов состоит водоподготовка?
9. Как происходит очистка продуктов сгорания?
10. Дайте характеристику понятию «ядерное топливо».
11. Как происходит саморазвивающийся регулируемый процесс деления атомных ядер в ядерном реакторе?
12. Какова роль тепловыделяющих элементов в реакторах?
13. Какие типы АЭС Вы знаете? В чем преимущество двухконтурных АЭС?
14. Что такое ВВЭР и РБМК?
15. Расскажите об устройстве водо-водяного энергетического реактора. Почему он так называется?

7. ТУРБИНЫ

Турбина – это ротационный двигатель с непрерывным рабочим процессом и вращательным движением рабочего органа (ротора), преобразующий кинетическую или внутреннюю энергию рабочего тела (пара, газа, воды) в механическую работу. Струя рабочего тела воздействует на лопатки, закреплённые по окружности ротора, и приводит их в движение. В энергетике турбина применяется в качестве привода электрического генератора на тепловых, атомных и гидроэлектростанциях.

Турбина обеспечивает очень высокий КПД преобразования внутренней энергии нагретого рабочего тела в энергию вращения вала турбины. Турбины характеризуются малыми удельными капитальными вложениями на единицу мощности, равномерностью вращения и отсутствием вибрации при работе, экономичностью обслуживания. КПД турбины достаточно высок и составляет 70...80 %.

Ступень турбины состоит из следующих основных частей:

- рабочее колесо – лопатки, установленные на роторе (подвижная часть турбины), которые непосредственно создают вращение;
- сопловый аппарат – лопатки, установленные на статоре (неподвижная часть турбины), которые поворачивают рабочее тело для придания потоку необходимого угла атаки по отношению к лопаткам рабочего колеса.

По типу рабочего тела турбины делятся на паровые, газовые и гидротурбины.

Паровая турбина – это тепловой двигатель, в котором энергия пара преобразуется в механическую работу. Паровая турбина состоит из двух основных частей: ротор с лопатками (подвижная часть турбины) и статор с соплами (неподвижная часть). В лопаточном аппарате паровой турбины потенциальная энергия сжатого и нагретого водяного пара преобразуется в кинетическую, которая в свою очередь преобразуется в механическую работу – вращение вала турбины.

Вытекающий из сопла поток рабочего тела обладает большой кинетической энергией и действует на лопатки с силой, которая зависит от формы их поверхности. Для получения максимальной работы поток должен не ударяться о поверхность, а обтекать ее плавно, без завихрения. Но использовать наиболее выгодный профиль лопаток не удастся. Практически невозможно при вращательном движении диска с лопатками подать на них газ в направлении, совпадающем с плоскостью вращения. Поэтому в турбинах струя газа из сопла подается на лопатки под углом $11...16^\circ$.

Паровая турбина является одним из элементов паротурбинной установки (ПТУ). Паровая турбина и электрогенератор в комплексе называются **турбоагрегат**.

По способу расширения пара и действия его на рабочие лопатки турбины делятся на активные, реактивные, комбинированные.

Турбины, в которых весь располагаемый теплоперепад преобразуется в кинетическую энергию потока в соплах, а в каналах между рабочими лопатками расширения не происходит, называются **активными турбинами** или турбинами равного давления (рис. 7.1). Преимуществами активных турбин являются:

- большая свобода расположения подводящих каналов по отношению к турбине в связи с более равномерным распределением давления в камере;
- меньшие требования к величине зазоров между турбиной и корпусом, облегчающие изготовления и требования к подшипникам, так как утечка через зазоры в условиях малой разности давления незначительна;
- малая продольная нагрузка на вал;
- меньшая по сравнению с реактивными турбинами скорость вращения, облегчающая сопряжение с машинами.

Реактивная турбина – это турбина, ротор которой использует силу реакции потока, возникающую при расширении рабочего тела (напор жидкости, теплоперепад газа или пара) в каналах, образованных лопатками ротора, и в которой большая часть потенциальной энергии рабочего тела преобразуется в механическую работу в лопаточных каналах рабочего колеса, как правило, имеющих конфигурацию реактивного сопла.

Все турбины одновременно являются в какой-то степени и активными, и реактивными, то есть давление рабочего тела на лопатки обеспечивается

как его кинетической энергией, так и за счет его расширения, но соотношение активной и реактивной составляющей у разных турбин отличается друг от друга. Принято называть реактивными лишь те турбины, в которых по реактивному принципу в механическую работу переходит не менее 50 % всей преобразованной потенциальной энергии рабочего тела.

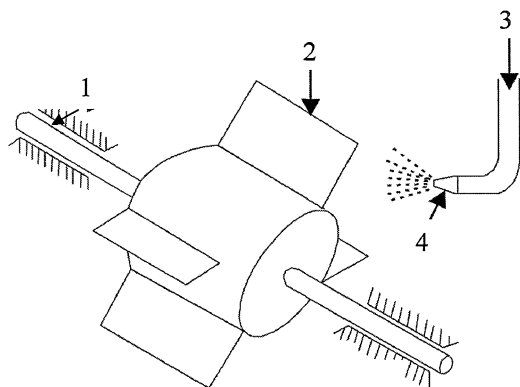


Рис. 7.1. Схема активной турбины: 1 – ось, 2 – лопатка, 3 – рабочее тело, 4 – сопло

По давлению турбины делятся на

- низкого давления, использующие отработанный пар с производства;
- среднего давления от 10 до 30 атм.;
- высокого и сверхвысокого давления от 30 и выше атмосфер.

По числу оборотов различают тихоходные турбины с числом оборотов менее 3000 в минуту и быстроходные с числом оборотов 3000 и более в минуту.

По числу валов турбины бывают одновальные и многовальные.

По числу цилиндров турбины различаются на одноцилиндровые и многоцилиндровые с цилиндрами высокого, среднего и низкого давления с промежуточным перегревом пара.

В зависимости от характера теплового процесса паровые турбины делятся на 3 основные группы:

- конденсационные – без регулируемых (с поддержанием давления) отборов пара;
- теплофикационные – с регулируемыми отборами;
- турбины специального назначения.

Конденсационные паровые турбины служат для превращения максимально возможной части теплоты пара в механическую работу. Они работают с выпуском отработавшего пара в конденсатор, в котором поддерживается вакуум. Теплофикационные паровые турбины служат для одновре-

менного получения электрической и тепловой энергии. Паровые турбины специального назначения обычно работают на отбросном тепле металлургических, машиностроительных, и химических предприятий.

Газовая турбина – это двигатель внутреннего сгорания непрерывного действия, в лопаточном аппарате которого энергия сжатого и/или нагретого газа преобразуется в механическую работу на валу. Газовые турбины используются в составе газотурбинных двигателей, стационарных газотурбинных установок (ГТУ) и парогазовых установок (ПГУ). Газовая турбина чаще всего используется как привод генераторов. Их использование на электростанциях объясняется тем, что в сочетании с паровым котлом и паровой турбиной они имеют более высокий КПД по сравнению с поршневым двигателем. В сложных проектах автономного электроснабжения нашли применение микротурбины как разновидность газовых турбин.

Гидравлическая турбина (гидротурбина) – это двигатель, преобразующий энергию движущейся воды в механическую энергию вращения его рабочего колеса. Прообразом гидротурбин можно считать водяные колеса, старейшие из которых возникли еще в древнем Египте. Широкое развитие гидротурбин началось в XIX в. – американец Френсис изобрел радиально-осевую турбину, позже немецкий инженер Финк придумал направляющий аппарат с поворачивающимися лопатками. На диагональную турбину был получен патент в 1932 г.

Турбина служит приводом для электрического генератора (гидрогенератора).

Каждая турбина – это гидравлическое устройство с проточной частью, которая включает в себя подводящие органы (турбинную камеру, колонны статора, лопатки направляющего аппарата), рабочие органы (лопастную систему рабочего колеса) и отводящие органы (отсасывающую трубу). Роторы гидротурбины и гидрогенератора, как правило, посажены на единый вал, имеющий общую систему опор вращающихся частей. Такое объединение образует сложную машину, называемую гидроагрегатом.

В гидроэнергетике используется энергия воды, сконцентрированная при напорах от нескольких метров до 1500...2000 м. Для работы в таком широком диапазоне применяются различные системы турбин, отличающиеся формой рабочих органов. Каждая из систем имеет свою область применения по напору.

Турбины могут иметь вертикальную, горизонтальную или наклонную ось вращения. Преобладающее распространение получили реактивные турбины с вертикальной осью вращения.

Турбина имеет невращающиеся и вращающиеся, части. Статор, облицовки камер – невращающиеся закладные части. К невращающимся частям также относятся часть рабочих механизмов – направляющий аппарат, крышка, подшипник. Рабочее колесо с валом – это основной орган турбины, который относится к вращающейся части.

Рабочее колесо реактивных турбин полностью погружено в поток воды, в активных же турбинах рабочее колесо работает при атмосферном давлении и приводится в действие отдельными струями воды. К реактивным гидротурбинам относятся: радиально-осевые, пропелерные, поворотнлопастные (включая двухперовую) и диагональные. Большинство гидротурбин – реактивные, из активных широкое распространение получили только ковшовые турбины, использующиеся в специфических условиях – при очень высоких напорах (рис. 7.2).

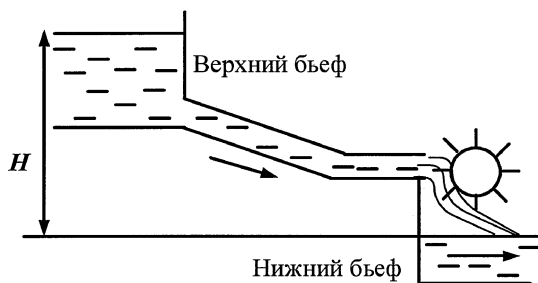


Рис. 7.2. Схема ковшовой турбины

Вода из верхнего бьефа подводится трубопроводом к рабочему колесу, выполненному в виде диска, закрепленного на валу турбины, и вращающемуся в воздухе. По окружности диска расположены ковшеобразные лопасти (ковши). На ковшах происходит преобразование гидравлической энергии, заключенной в струе, в механическую. Ковши равномерно распределяются по ободу рабочего колеса и последовательно один за другим при его вращении принимают струю.

Подвод воды к рабочему колесу осуществляется с помощью сопла, внутри которого расположена регулирующая игла. Из отверстий сопла выбрасывается струя воды и практически вся подведенная к нему по трубопроводу энергия превращается в кинетическую. Для быстрого отвода струи от рабочего колеса, необходимого для предотвращения гидравлического удара, возникающего при медленном закрытии сопла иглой, применяется отклонитель, отбрасывающий воду в сторону. Перемещение иглы и отклонителя производится одновременно.

Конструктивные формы ковшовых турбин разнообразны и различаются по расположению вала, по числу сопел и рабочих колес на одном валу. В гидроэнергетике используются турбины как с вертикальным, так и с горизонтальным положением вала. По ряду причин технического и экономического характера, горизонтальное расположение вала применяется в первую очередь на малых ГЭС.

Улучшение технико-экономических показателей гидротурбин достигается за счет уменьшения их размеров и веса при условии обеспечения их расчетной мощности.

Чтобы снизить размеры и вес агрегата, необходимо при стандартных параметрах и характеристиках увеличить удельную пропускную способность турбины и частоту ее вращения. Это связано с ростом скоростей потока в проточной части турбины и может, в свою очередь, привести к изменению ее гидродинамических и прочностных характеристик. Увеличение скоростей потока сопровождается потерями энергии, падением КПД турбины и дальнейшим понижением давления в потоке.

Эксплуатация гидротурбин на ГЭС связана с графиком нагрузки энергосистемы. Изменение расхода на ГЭС сопровождается колебаниями отметок уровня воды перед и за плотиной, что также вызывает изменение давления в потоке, протекающем через турбину. При некоторых значениях расхода и отметках установки турбины по отношению к нижнему бьефу абсолютное давление в потоке может приблизиться к давлению парообразования при заданной температуре воды. В результате этого наступает кавитация, которая является причиной ухудшения эксплуатационных характеристик гидротурбины.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте характеристику основных частей ступени турбины.
2. Каковы характерные особенности гидротурбин?
3. Что называют ступенью турбины?
4. Что называется степенью реактивности турбины?
5. От чего зависит эффективная мощность турбины?
6. По каким признакам осуществляется классификация турбин? Перечислите основные из них.
7. Назовите достоинства и недостатки пропеллерной турбины. Чем она отличается от поворотно-лопастной?
8. Назовите отличия, преимущества и недостатки гидротурбин.
9. Что такое активная и реактивная турбина? Их особенности.
10. На какие виды делятся турбины по способу расширения пара и действия его на рабочие лопатки?

8. ПРОБЛЕМЫ И ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

8.1. Современные проблемы отрасли

Среди основных проблем общества, связанных с энергетикой, можно выделить следующие:

– дефицит энергоресурсов и электроэнергии, так как состояние энергетики сегодня характеризуется нарастанием дефицита генерирующих мощностей;

– неблагоприятное техногенное воздействие на окружающую среду объектов энергетики;

– геополитические и социальные угрозы.

Дальнейшее развитие энергетики будет представлять собой постоянное решение трёх глобальных проблем, осложняемое разнообразными препятствиями [6, 9]:

– технологическими – невозможность быстрой смены технологических укладов;

– экономическими – необходимость инвестирования средств в огромных объёмах;

– социальными, характеризующимися быстрым ростом населения в развивающихся странах и невозможностью быстрого изменения сложившихся бытовых укладов;

– историческими и географическими – большой разрыв в уровне развития стран и крайняя неравномерность распределения энергоресурсов по странам и регионам.

8.2. Эксплуатация тепловых электрических станций

По оценкам экспертов, топливная энергетика ещё долгое время будет оставаться преобладающим видом генерации. Лидирующее положение теплоэнергетики является исторически сложившейся и экономически оправданной закономерностью развития российской энергетики.

Тепловые электростанции (ТЭС) дают более 80 % всей электроэнергии. К тепловым электростанциям относят:

1) паротурбинные электростанции: теплофикационные (ТЭЦ), конденсационные (КЭС);

2) газотурбинные установки (ГТУ);

3) парогазовые установки (ПГУ).

КЭС снабжают потребителей электроэнергией, а ТЭЦ – электрической и тепловой энергией в виде горячей воды и (или) пара.

Атомные электростанции также являются тепловыми электростанциями, но в силу специфики производства их выделяют в отдельную группу.

Тепловые электростанции, действующие на территории России, можно классифицировать по следующим признакам:

1) по источникам используемой энергии:

– работающие на органическом топливе;

– использующие геотермальную энергию;

– потребляющие солнечную энергию;

2) по виду выдаваемой энергии:

– конденсационные ТЭС;

– теплофикационные ТЭС;

3) по использованию установленной электрической мощности и участию ТЭС в покрытии графика электрической нагрузки:

- базовые (не менее 5000 ч использования установленной электрической мощности в году);
- полупиковые или маневренные (соответственно 3000 и 4000 ч в году);
- пиковые (менее 1500–2000 ч в году).

ТЭС, работающие на органическом топливе, различаются по технологическому признаку:

– паротурбинные (с паросиловыми установками на всех видах органического топлива: угле, мазуте, газе, торфе, сланцах, дровах и древесных отходах, продуктах энергетической переработки топлива и т. д.);

- дизельные;
- газотурбинные;
- парогазовые.

На ТЭС с паротурбинным приводом возможно использование любого вида топлива; газотурбинные станции используют только жидкое и газообразное. Паровая турбина не столь маневренна, как газовая.

Наибольшее развитие и распространение в России получили тепловые электростанции общего пользования, работающие на органическом топливе (газ, уголь), преимущественно паротурбинные.

Самой большой ТЭС на территории России является крупнейшая на Евразийском континенте Сургутская ГРЭС-2 (5600 МВт), работающая на природном газе. Из электростанций, работающих на угле, наибольшая установленная мощность у Рефтинской ГРЭС (3800 МВт). К крупнейшим российским ТЭС относятся также Сургутская ГРЭС-1 и Костромская ГРЭС, мощностью свыше 3 тыс. МВт каждая.

Коэффициент полезного действия ТЭС составляет около 40 %. Наряду с топливом ТЭС потребляет значительное количество воды.

На конденсационных электрических станциях установлены турбоагрегаты конденсационного типа, они производят только электроэнергию (рис. 8.1). Теплоэлектроцентрали отпускают потребителям электрическую и тепловую энергию с паром и горячей водой (см. рис. 5.1).

Энергия топлива при сжигании в паровом котле (ПК) преобразуется в тепловую, которая используется для подогрева воды в котле и образования пара (см. рис. 8.1). Энергия водяного пара способна привести во вращение турбину, соединенную с ротором электрогенератора. В генераторе механическая энергия превращается в электрическую.

Схема простейшей конденсационной электростанции включает в себя котельный агрегат с пароперегревателем (ПК), турбоагрегат (Т), конденсатор (К) и насосы (Н) для добавления питательной воды и перекачки конденсата из конденсатора в парогенератор (конденсатный и питательные насосы).

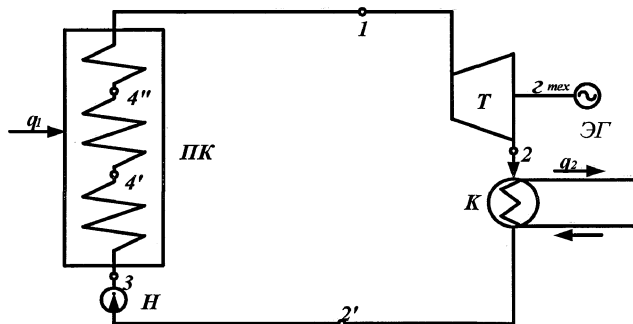


Рис. 8.1. Схема паросиловой установки для выработки электроэнергии (КЭС): ПК – паровой котел; Т – паровая турбина; ЭГ – электрогенератор; К – конденсатор; Н – насос; охлаждающая вода показана стрелками

Охлаждающая вода в результате прохождения через конденсатор нагревается и затем сбрасывается в водоем. Имеется возможность использовать сбросную теплоту (q_2) (которая составляет более половины всего количества теплоты, затраченной в цикле) для отопления, горячего водоснабжения и различных технологических процессов.

КЭС связывают с потребителем только линии электропередачи, поэтому она может находиться вдали от потребителя, например, вблизи места добычи топлива.

В ТЭЦ охлажденная вода, нагретая в конденсаторе, не выбрасывается в водоем, а прогоняется через отопительные приборы теплового потребителя (ТП) и, охлаждаясь в них, отдает полученную в конденсаторе теплоту (см. рис. 5.1). ТЭЦ связана с предприятием или жилым районом трубопроводами пара или горячей воды, их нецелесообразно чрезмерно удлинять. Поэтому ТЭЦ располагаются обычно непосредственно на предприятии, в жилом массиве либо вблизи них. Наиболее целесообразно использовать ТЭЦ для комплексного энергоснабжения промышленных районов и городов электрической и тепловой энергией.

Крупные КЭС, обеспечивающие электроэнергией промышленные районы, называются *государственные районные электростанции* – ГРЭС, их мощность составляет до 2/3 всей электрической мощности страны.

8.3. Эксплуатация гидравлических электрических станций

ГЭС используют энергию водных потоков (рек, водопадов) для выработки электроэнергии. В среднем ГЭС вырабатывают 15 % от общего объема производства электроэнергии. Чтобы использовать водную энергию, необходимо построить на данном участке реки гидросиловую установку, в которой водная энергия преобразовывалась бы в механическую работу или

электрическую энергию. В большинстве случаев гидроустановка, в которой водная энергия превращается, в конечном счете, в электрическую энергию, называется *гидроэлектрической силовой установкой* или *гидроэлектрической станцией* (ГЭС).

Энергетический потенциал реки определяется ее уклоном и стоком – объемом воды, протекающий через створ за определенный отрезок времени. В России используется менее 20 % гидроэнергетического потенциала.

Для использования энергии данного участка реки необходимо искусственно сконцентрировать падение реки в одном каком-либо месте (створе), т. е. создать разность уровней воды, которую называют напором (рис. 8.2).

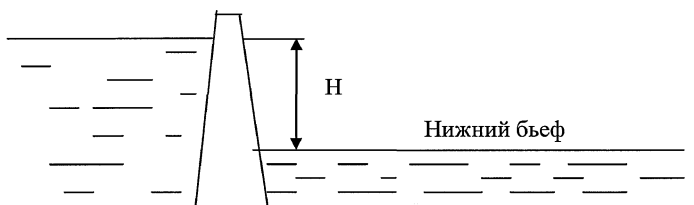


Рис. 8.2. Принцип организации ГЭС

Разность уровней воды верхнего и нижнего бьефов называется *статическим напором* $H_{ст}$.

Гидроэлектростанции обладают следующими достоинствами.

1. Высокая эффективность использования гидроэнергии благодаря большим значениям КПД турбин и генераторов. КПД составляет 85...90 %.

2. Низкая себестоимость вырабатываемой на ГЭС энергии и, как следствие, быстрая окупаемость. Низкая себестоимость обусловлена тем, что не требуется поставок и подготовки специального топлива, выработки теплоносителя и т.д.

3. Высокая маневренность гидроагрегатов, в следствие чего они могут быть поставлены под полную нагрузку в течение 1–2 мин.

4. На выработку энергии тратится в 15–20 раз меньше рабочей силы, чем на выработку того же количества электроэнергии на тепловых станциях.

5. Более высокая надежность в эксплуатации по сравнению с ТЭС и более высокая надежность снабжения электроэнергией всех потребителей.

6. Улучшение судоходства, орошения земель, водоснабжения городов за счет водохранилищ.

7. Использование энергии рек, которая способно непрерывно возобновляться.

8. Возможность аккумуляции энергии.

9. Небольшое потребление электроэнергии на собственные нужды (подготовку топлива, утилизацию тепла и т.д.).

10. Меньшая численность персонала и меньший объем эксплуатационных и ремонтных работ.

11. Возможность регулирования мощности в большом диапазоне и с минимальными затратами.

Недостатки эксплуатации ГЭС:

1) затопление больших площадей сельскохозяйственных земель, железных дорог, линий электропередач, линий связи, автодорог, населенных пунктов и пр.;

2) сильное испарение и изменение климата, которое не всегда бывает благоприятным;

3) в водохранилищах развиваются сине-зеленые водоросли, ускоряются процессы эвтрофикации, что приводит к ухудшению качества воды, нарушает функционирование экосистем;

4) при строительстве водохранилищ нарушаются естественные нерестилища, происходит затопление плодородных земель, изменяется уровень подземных вод.

Первичными двигателями на ГЭС являются гидравлические турбины, которыми приводятся во вращение синхронные гидрогенераторы. Мощность, развиваемая турбиной, зависит от количества проходящей через нее воды Q и величины напора H (см. рис. 8.2).

Цепь гидротехнических сооружений обеспечивает необходимый напор воды, поступающей на лопасти гидротурбины, которая приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию.

Необходимый напор воды образуется посредством строительства плотины и, как следствие, концентрации реки в определенном месте или деривацией – естественным током воды. В некоторых случаях для получения необходимого напора воды используют совместно и плотину, и деривацию.

Напор создается плотиной на равнинных реках, где отсутствуют естественный перепад уровней воды. Со стороны верхнего бьефа образуется водохранилище.

Плотины могут быть водосливные и глухие. Водосливные плотины имеют водопропускные отверстия с затворами для сброса излишней воды из водохранилища в нижний бьеф.

В состав гидроузла на равнинной реке входят: плотина, здание станции, судоходные шлюзы и дамбы. Сооружение гидроузла вместе с затратами на обустройство водохранилища требует значительных капитальных вложений. Значительны и сроки строительства. В этом состоят основные недостатки ГЭС.

На горных реках используют естественные уклоны реки, но при этом приходится создавать систему деривационных сооружений, направляющих воду в обход русла реки.

При небольших напорах наиболее распространенным типом являются русловые ГЭС, при которых здание ГЭС является продолжением плотины. Через отверстия в плотине вода подается к турбинам.

В зависимости от принципа использования природных ресурсов ГЭС разделяются на

- плотинные ГЭС;
- приплотинные ГЭС;
- деривационные ГЭС;
- гидроаккумулирующие (ГАЭС).

Плотинные ГЭС являются наиболее распространённым видом гидроэлектрических станций. Напор воды в них создается посредством установки плотины, полностью перегораживающей реку, или поднимающей уровень воды в ней на необходимую отметку. Такие гидроэлектростанции строят на многоводных равнинных реках, а также на горных реках, в местах, где русло реки более узкое, сжатое.

При напорах более 30–35 м сооружают станции приплотинного типа, на которых здание станции расположено за глухой бетонной стеной со стороны нижнего бьефа и не воспринимает непосредственного напора воды. В этом случае река полностью перегораживается плотиной, а само здание ГЭС располагается за плотиной, в нижней её части. Вода, в этом случае, подводится к турбинам через специальные напорные тоннели, а не непосредственно, как в русловых ГЭС. Регулирование мощности осуществляется с помощью затворов напорного трубопровода.

Деривационные ГЭС строят в тех местах, где велик уклон реки. Необходима концентрация воды в ГЭС такого типа создается посредством деривации. Вода отводится из речного русла через специальные водоотводы, которые спрямлены и имеют уклон значительно меньший среднего уклона реки. В итоге вода подводится непосредственно к зданию ГЭС. Деривационные ГЭС могут быть разного вида – безнапорные или с напорной деривацией. В случае с напорной деривацией, водовод прокладывается с большим продольным уклоном. В другом случае в начале деривации на реке создается более высокая плотина, и создается водохранилище – такая схема еще называется смешанной деривацией, так как используются оба метода создания необходимой концентрации воды.

Более перспективным является сооружение ГЭС на горных реках. Это обусловлено их более высоким гидроэнергетическим потенциалом по сравнению с равнинными реками. При сооружении водохранилищ в горных районах не изымаются из землепользования большие площади плодородных земель.

Особую роль играют гидроаккумулирующие станции (ГАЭС). Они имеют два бассейна на разных уровнях и «обратимые» гидроагрегаты. ГАЭС способны аккумулировать вырабатываемую электроэнергию и использовать в моменты пиковых нагрузок. В определенные периоды агрега-

ты ГАЭС работают как насосы от внешних источников энергии и закачивают воду в специально оборудованные верхние бассейны. Когда возникает потребность, вода из них поступает в напорный трубопровод и приводит в действие турбины.

Таким образом, в часы минимума нагрузки энергосистемы генераторы ГАЭС работают в двигательном режиме, а турбины – в насосном. При этом вода по трубопроводу перекачивается из нижнего в верхний бассейн. В периоды максимальной нагрузки ГАЭС осуществляют сброс воды из верхнего в нижний бассейн и вырабатывают электроэнергию, снимая пики нагрузки энергосистемы. В результате повышается экономичность работы ТЭС и АЭС, так как на них не потребуется проведение дорогостоящих мероприятий по регулированию мощности.

Зимний период в работе ГЭС наиболее ответственный, так как с понижением температуры на реках появляется ледяной покров, а при переохлаждении потоков и водоемов образуется донный лед и шуга. *Донный лед* – это внутриводный лед, который образуется на дне реки и остается там до тех пор, пока слой его не достигнет толщины, при которой сила плавучести превысит силу сцепления с дном. Чаще всего донный лед образуется на подводных камнях, металлических частях сооружений. *Шуга* – это плывущая в воде губчатая непрозрачная масса льда, образовавшаяся из всплывшего донного льда или кристаллов, образовавшихся во взвешенном состоянии на поверхности воды. Донный лед, всплывая, поднимает на поверхность вмерзшие в него камни, песок, ил. Особенно много шуги бывает на горных незамерзающих реках.

По мощности гидроэлектростанции делятся на

- мелкие до 0,2 МВт;
- малые до 2,0 МВт;
- средние до 20 МВт;
- крупные свыше 20 МВт.

По напору ГЭС делятся на

- низконапорные ГЭС ($H < 10$ м) с величиной напора до 10 м;
- ГЭС среднего напора ($10 < H < 100$ м) – от 10 до 100 м;
- высоконапорные – свыше 100 м.

Достаточно надежным, маневренным резервом для ответственных потребителей как в районах централизованного электроснабжения, так и в изолированных районах могут служить малые ГЭС. Сооружение малых гидроэлектростанций в качестве резервного источника электроснабжения при определенных условиях считается более выгодным, чем установка дизельгенераторов.

8.4. Эксплуатация атомных электрических станций

Атомные электрические станции преимущественно конденсационного типа – это те же тепловые электрические станции с паротурбинным приво-

дом (см. рис. 8.1), но вместо парового котла на них используют ядерный реактор (Р). В реакторе происходит деление изотопов урана ^{235}U (U_{235}) и урана ^{238}U (U_{238}). Ядерное топливо обеспечивает значительную экономию органического топлива. Атомные электрические станции можно сооружать в любом месте.

Коэффициент полезного действия АЭС составляет около 30 %.

На АЭС роль котельных агрегатов выполняют атомные реакторы и парогенераторы.

Один из основных элементов АЭС – реактор. В России используются, в основном, реакторы на тепловых нейтронах: ВВЭР и РБМК.

В водо-водяном энергетическом реакторе (ВВЭР) вода используется в качестве замедлителя реакции и теплоносителя. Выделяемое в реакторе тепло передается первичному теплоносителю, который с помощью насосов циркулирует через реактор. Так как реакторы являются источником опасных радиоактивных излучений, первичный теплоноситель не подают непосредственно в турбоагрегаты, а его энергия используется для получения пара (вторичного теплоносителя). Реактор и парогенератор располагают в отдельных изолированных помещениях.

В реакторе РБМК (реакторе большой мощности канального типа) в качестве замедлителя нейтронов используется графит, а в качестве первичного теплоносителя – вода. Технологическая схема АЭС с реакторами типа РБМК является одноконтурной. Пароводяная смесь из реактора поступает в сепараторы, куда также подается нагретая вода. Получая дополнительную энергию, вода превращается в пар, который направляется непосредственно в цилиндры паровой турбины.

Реакторы на быстрых нейтронах (БН) используются одновременно для получения тепловой и электрической энергии, а также для воспроизводства ядерного горючего.

Достоинства АЭС:

– малый расход ядерного топлива, в результате чего разгружается транспортная промышленность;

– большие единичные мощности (до 2000 МВт);

– чистота производства, так как АЭС не вырабатывают углекислого газа, а объем других загрязнений атмосферы по сравнению с ТЭС также мал.

Основные проблемы использования АЭС:

1) безопасность реакторов. Все современные типы реакторов ставят человечество под угрозу риска глобальной аварии, подобной Чернобыльской;

2) снижение эмиссии диоксида углерода;

3) снятие с эксплуатации реакторов на АЭС. По данным Всемирной ядерной ассоциации (WNA), более 130 промышленных ядерных установок уже выведены из эксплуатации либо ожидают этой процедуры. Во всех случаях возникает проблема утилизации радиоактивных отходов, которые

надо надежно изолировать и хранить длительный срок в специальных хранилищах;

4) опасность использования АЭС для распространения ядерного оружия.

8.5. Участие электростанций в формировании суточного графика производства электроэнергии

Электростанции разных типов вносят определенный вклад в формирование общего суточного графика выработки электроэнергии (рис. 8.3). В постоянной базисной части графика работают электростанции, на которых невозможно, неэкономично или небезопасно регулировать мощность – это ТЭЦ, ГЭС без водохранилищ, а также АЭС.

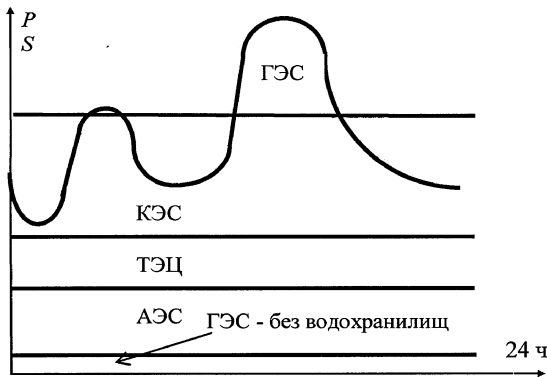


Рис. 8.3. Участие электростанций в формировании суточного графика производства электроэнергии

КЭС экономически выгоднее использовать в базисной части графика, но при необходимости на них осуществляется регулирование мощности для покрытия переменных нагрузок в полупиковой зоне.

В пиковой части суточного графика энергосистемы используются ГЭС либо ГАЭС, ГТУ и ПГУ. На таких электрических станциях технологически просто и экономически недорого осуществляется регулирование мощности в зависимости от требований энергосистемы. При этом ГАЭС, ГТУ и ПГУ вырабатывают незначительное количество электроэнергии в масштабах энергосистемы по сравнению с ГЭС.

Гидроэлектростанции в энергосистеме работают параллельно с тепловыми. При этом, если ГЭС не имеет водохранилища, регулирование мощности на ней определяется естественным (сезонным) изменением стока.

Поэтому они работают в базисной части графика, а регулирование суточного графика нагрузки осуществляется на ТЭС, что крайне неэкономично.

ГЭС с водохранилищами осуществляют искусственное регулирование стока, как сезонное (задерживают паводковые воды и постепенно расходуют в другие периоды), так и суточное (увеличивают сток в период максимальной нагрузки и снижают в часы минимума нагрузок). Поэтому ГЭС с водохранилищами используют в пиковой и полупиковой части графика (соответственно в паводковый и непаводковый периоды).

АЭС работают в базисной части графика нагрузки энергосистемы. Хотя на АЭС технически осуществимо регулирование мощности в широком диапазоне, оно не используется по условиям безопасности. По этой же причине АЭС удалены от потребителей. Поэтому в электрической части атомные электростанции аналогичны КЭС.

На ТЭЦ допускается и даже требуется сезонное регулирование графика электрических нагрузок в зависимости от режима тепловых нагрузок. На суточном графике нагрузки энергосистемы они располагаются в базисной части.

Вопросы для самопроверки

1. Какие типы электрических станций Вы знаете?
2. Перечислите преимущества и недостатки различных типов электрических станций.
3. Чем определяется величина КПД различных типов электрических станций?
4. На каком принципе работают ТЭС, ГЭС, АЭС?
5. Перечислите виды ТЭС, работающие на органическом топливе.
6. Перечислите основные элементы ГЭС. Как они классифицируются?
7. Какие бывают ГЭС в зависимости от вида используемых ресурсов?
8. Перечислите основные элементы паросиловой установки ТЭС, АЭС.
9. Каковы характерные особенности реактора ВВЭР и реактора РБМК?
10. Чем определяются условия формирования суточного графика нагрузки?

9. ВЛИЯНИЕ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

9.1. Краткая экологическая характеристика объектов энергетики

Потребление энергии является обязательным условием существования человечества. Наличие доступной для потребления энергии всегда было необходимо для удовлетворения потребностей человека, увеличения продолжительности и улучшения условий его жизни. История цивилизации – история непрерывного создания новых методов преобразования энергии,

освоения ее новых источников и в конечном итоге увеличения энергопотребления.

В то же время энергетика – один из источников неблагоприятного воздействия на окружающую среду и человека. Она влияет на атмосферу (потребление кислорода, выбросы газов, влаги и твердых частиц), гидросферу (потребление воды, создание искусственных водохранилищ, сбросы загрязненных и нагретых вод, жидких отходов) и на литосферу (потребление ископаемых топлив, изменение ландшафта, выбросы токсичных веществ).

Энергетика оказывает заметное воздействие на окружающую природную среду, загрязняя элементы биосферы вредными выбросами дымовых газов, сточными водами электростанций, сбросами большого количества теплоты, расходуя значительное количество водных и земельных ресурсов, подвергая биосферу неблагоприятному воздействию радиации, связанной с эксплуатацией атомных электростанций, электромагнитных полей линий электропередачи.

Работа энергетических предприятий представляет собой единый процесс сжигания топлива, выработки и транспортировки электрической и тепловой энергии от генерирующих источников к потребителям.

Масштабы и характер воздействий разных объектов электроэнергетики на окружающую среду существенно различаются.

Основными объектами воздействия на окружающую среду являются электростанции. Общим для всех электростанций является производство одного и того же продукта – электроэнергии, что обеспечивает их широкую взаимозаменяемость.

Различаются электростанции потреблением первичных энергоресурсов, от характеристик которых существенно зависят условия и форма воздействия станций на окружающую среду.

Принципиально различны в экологическом отношении такие виды первичных источников энергии, как органическое и ядерное топливо, гидроэнергия, солнечная энергия, энергия ветра, приливов, волн, геотермальная энергия.

Сжигание органических видов топлива приводит к воздействию на все сферы окружающей среды. Воздух, вода, земля загрязняются выбросами дымовых газов и стоками электростанций. ТЭС являются потребителями земельных, водных и воздушных ресурсов. Производство электроэнергии на АЭС не связано с дымовым загрязнением окружающей среды. При выработке электроэнергии на гидроэлектростанциях воздушный бассейн не загрязняется вообще [11].

Производство электроэнергии и тепла на базе использования минеральных ресурсов является уникальным по масштабам как энергетического, так и материального обмена с окружающей средой. Потребляя первичные природные ресурсы в виде топлива, энергопроизводство выдает конечный продукт в виде электрической энергии, преобразованной из потен-

циальной энергии топлива. Материальные же ресурсы полностью превращаются в отходы и поступают в окружающую среду в виде продуктов сгорания, причем масса этих отходов, как правило, превышает массу использованного топлива.

В окружающей среде рассеивается более половины исходной энергии топлива в виде подогретой воды и горячих газов. Кроме того, выработанная энергия в процессе ее передачи и потребления также в значительной мере превращается в тепло и рассеивается в окружающей среде.

В настоящее время из всего количества затраченных материальных ресурсов в виде топлива и кислорода энергетика с состоянием использовать только часть отходов – золу и шлак. Основные отходы производства тепловой и электрической энергии – двуокись углерода и пары воды – при сжигании органических топлив не используются. Они поступают в атмосферу и включаются в природные циклические процессы, поглощаясь растительностью для синтеза органических соединений и регенерации кислорода. Учитывая то, что темпы использования органического топлива человеческим хозяйством сильно превышают регенерационные возможности растительного мира, можно утверждать, что процесс регенерации не в состоянии восстановить существовавшего в природе равновесия.

Энергетическое производство сопровождается отрицательным влиянием на гидросферу: загрязняются стоки, связанные с процессом водоподготовки, консервации и промывки оборудования, гидротранспортом твердых отходов и т.п. Эта проблема может быть решена путем создания замкнутых систем водоснабжения, т.е. может быть осуществлена регенерация использованной воды.

В таких условиях взаимозаменяемость электростанций обеспечивает возможность маневрирования их составом и размещением в целях снижения отрицательного воздействия электроэнергетики на окружающую среду с учетом состояния природы и экологических характеристик объектов энергетики.

С пуском первых электростанций на ядерном горючем открылась перспектива существенного сокращения материального обмена с окружающей средой при производстве электроэнергии. В противоположность минеральному топливу, требующему для выделения тепла затрат постороннего вещества – атмосферного кислорода, ядерное горючее выделяет энергию в результате ядерного распада, не требуя затрат каких-либо других материальных ресурсов. Так как «теплота сгорания» 1 кг ядерного горючего в $2,85 \cdot 10^6$ раза больше, чем 1 кг условного топлива, то материальные отходы производства электроэнергии на базе этого горючего по всем показателям на несколько порядков меньше, чем при работе на минеральном топливе. Относительно большие объемы вентиляционного воздуха, выбрасываемые современными АЭС в атмосферу, при тщательной очистке его от активных

примесей практически не изменяют его состава и скорее относятся к тепловому, чем к материальному обмену производства с окружающей средой.

Сбросы тепла атомными электростанциями в водные бассейны заметно превышают аналогичные тепловые сбросы ТЭС, хотя можно ожидать, что по мере совершенствования тепловых схем АЭС эта разница будет сглаживаться.

Сооружение АЭС не всегда может вызвать более интенсивное загрязнение атмосферы, чем сооружение ТЭС на обычных топливах. Но и обычные ТЭС на органическом топливе являются источниками выбросов в окружающую среду некоторого количества радиоактивных элементов. Радиоактивные выбросы ТЭС в некоторых случаях сопоставимы с выбросами АЭС. Кроме того, с дымовыми газами в атмосферу выбрасываются двуокиси серы и азота, зола и другие продукты органического топлива. При этом расчетные концентрации загрязняющих веществ в воздухе при проектировании ТЭС всегда принимаются близкими к предельным. Если бы объекты сопоставлялись при равной вредности выбросов, то стоимость 1 кВт установленной мощности выбросов была бы значительно выше и приблизилась бы к капиталовложениям АЭС.

Особенностью объектов ядерной энергетики, основную часть которых представляют атомные станции, является образование и накопление значительных количеств радиоактивных веществ в процессе их эксплуатации. Большую их часть составляют продукты деления урана с суммарной активностью порядка 1020 Беккерелей (Бк). Именно по этой причине с АЭС связан специфический риск – потенциальная радиологическая опасность для населения и окружающей среды в случае выхода радиоактивных продуктов за пределы АЭС.

При работе в нормальных безаварийных режимах радиационное воздействие АЭС не превышает 10 % от фоновых значений природной радиации.

Тепловые выбросы ТЭС и АЭС менее заметны визуально, чем выбросы загрязняющих веществ. При сооружении электростанций тепловой сброс существующими нормативами не ограничивается, а лишь предъявляются требования, чтобы температура воды в водоемах после выпуска в нее сточных вод не превышала естественную летом на 3 °С, а зимой – 5 °С. В отношении температуры газовых выбросов в атмосферу никаких ограничений не существует. Следовательно, уменьшение и предотвращение отрицательного теплового воздействия на гидросферу электростанциями можно достигнуть или путем сокращения непрерывно растущих тепловых сбросов путем повышения экономичности электростанций, или рациональной организации рассеивания тепла в пространстве. Такой метод, основанный на свойстве элементов биосферы самоочищаться, именуется пассивным методом защиты. Он, аналогично методу предотвращения образования в атмосфере недопустимых фактических концентраций вредных

веществ отведением выбросов на большую высоту и устройством санитарно-защитных зон, позволяет уменьшить концентрацию вредных в единице объема.

Гидроэнергетика по своим масштабам и возможностям не в состоянии оказать заметного влияния на процесс увеличения объема производства энергии. Ее относительная выработка стабилизировалась на уровне 13...15 %, снизившись по сравнению с 1970 г., когда ее удельный вес составлял 18 %.

В настоящее время существенные экологические ограничения налагаются и на развитие гидроэнергетики, в результате чего может произойти дальнейшее снижение доли выработки ГЭС с соответствующим повышением выработки электроэнергии на ТЭС. В экологическом отношении эти тенденции неблагоприятны, так как тепловые электростанции являются особенно сильными загрязнителями атмосферы.

Сооружение ГЭС всегда изменяет природные условия. Особенно это характерно для равнинных ГЭС, требующих затопления значительных площадей. Однако часто доля выработки энергии ГЭС снижается в результате уменьшения ввода новых ГЭС, вызываемого сокращением неиспользованных гидроресурсов.

В результате естественных природных процессов, протекающих в биосфере, в атмосферу поступает практически тот же состав примесей, что и в результате деятельности электростанций. Например, в результате вулканической деятельности в атмосферу попадают диоксид серы и фтористые соединения, грозная деятельность сопровождается попаданием в атмосферу окислов азота и т.д. Продолжительность «жизни» в атмосферном воздухе этих веществ колеблется от нескольких суток до сотен лет (например, продолжительность существования метана – 100 лет). Поэтому благодаря свойству элементов биосферы самоочищаться, концентрация этих веществ в атмосферном воздухе уменьшается. Очищение атмосферы от диоксида серы, например, происходит в результате окисления ее озоном или кислородом воздуха, в результате поглощения растительными организмами.

Продолжительность существования в атмосферном воздухе имеющихся в выбросах АЭС радиоактивных изотопов характеризуется их периодом полураспада и для некоторых составляет несколько часов.

В сокращении выбросов углекислого газа, разрешении многих экологических проблем все более существенную роль играет замещение традиционной энергетики на атомную. В настоящее время общепризнанно, что атомные электростанции могут быть созданы с высокими показателями надежности и безопасности, обеспечивающими выполнение самых строгих требований надзорных органов, в том числе по охране биосферы от загрязнения радиоактивными и другими вредными веществами. Однако следует предпринять дополнительные усилия для того, чтобы снизить риск аварий на АЭС. В частности, решение этой задачи видится на пути разработки но-

вого поколения реакторов с внутренне присущей безопасностью, т.е. реакторов с мощными внутренними обратными связями самозащиты.

Определенные надежды на экологически чистое пополнение электроэнергетического баланса возлагаются в настоящее время на нетрадиционные источники электроэнергии, использующие возобновляемые энергетические ресурсы, такие, как солнечная энергия, энергия ветра, энергия морских волн и приливов, энергия подземных недр, биоэнергия и т.п. Нетрадиционные источники энергии могут улучшить энергетический баланс и зависящую от электроэнергетики природную среду.

Доля выработки энергии, которая может быть получена за счет перечисленных выше нетрадиционных источников, даже в далекой перспективе невелика – в пределах 3...5 %, а это недостаточно для радикального и эффективного изменения структуры электроэнергетического баланса. Кроме того, на настоящее время нет тенденций роста этого направления получения энергии в обозримом будущем.

9.2. Влияние тепловых электростанций на окружающую среду

Тепловые электростанции, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию на базе сжигания органических видов топлива, оказывают существенное отрицательное воздействие на окружающую среду.

Тепловые электростанции работают по принципу сжигания топлива в топке парового котла. Выделяющееся при горении тепло испаряет воду, циркулирующую внутри расположенных в котле труб, и перегревает образовавшийся пар. Пар, расширяясь, вращает турбину, а та, в свою очередь, – вал электрического генератора. Затем отработавший пар конденсируется; вода из конденсатора через систему подогревателей возвращается в котел.

Тепловые электростанции работают на органическом топливе, и их строят обычно вблизи мест его добычи. Тепловые электростанции используют в качестве топлива сравнительно дешевые уголь и мазут. Но эти виды топлива – невозполнимые природные ресурсы. Основными энергетическими ресурсами в мире на современном этапе являются уголь (40 %), нефть (27 %) и газ (21 %). Этих запасов, по некоторым оценкам, хватит, соответственно, на 270, 50 и 70 лет, и то при условии, что человечество будет расходовать их с той же скоростью, с какой расходует сегодня.

С дымовыми газами электростанций в воздушный бассейн выбрасывается большое число твердых и газообразных загрязнителей, среди которых такие вредные вещества, как зола, оксиды серы и азота. Помимо этого, в воздушный бассейн попадает огромное количество диоксида углерода и водяных паров.

Из-за недостатка добываемого угля снижается его качество; увеличиваются затраты на его транспортировку, так как многие месторождения энергетических ресурсов уже исчерпаны. Усиливается экологический контроль над производством и использованием топлива. Так как не хватает

качественного топлива, ТЭС работают на низкосортном. Сжигание углей низкого качества приводит к резкому снижению КПД ТЭС и, как следствие, к перерасходу топлива, а также к загрязнению атмосферы.

Золошлаковые отходы ТЭС могут использоваться в народном хозяйстве как строительные материалы, удобрения и для других целей. Однако у нас в стране реализуется не более 10 % общей массы уловленной золы и шлаков.

Все остальные продукты сгорания топлива представляют собой отходы производства. В процессе сгорания топлива на ТЭС в атмосферу выбрасывается большое количество вредных веществ. Тепловые электростанции вместе с транспортом поставляют в атмосферу основную долю техногенного углерода, около 50% двуокиси серы, 35 % окислов азота и около 35 % пыли. Большая часть этих отходов выбрасывается в атмосферу, в частности 10 млн м³/ч дымовых газов, содержащих 2350 т/ч диоксида углерода, 250 т/ч паров воды, 35 т/ч диоксида серы, 9 т/ч оксида азота и 2 т/ч летучей золы, не уловленной в электрофилтрах.

Диоксид углерода и пары воды – основные по массе отходы производства – поступают в атмосферу, включаются в природные циклы и поглощаются растительностью в процессе синтеза органических соединений и регенерации кислорода. В этом качестве эти отходы нельзя признать вредными.

Оксиды азота (NO_x) – газ красновато-бурого цвета, в малых концентрациях не имеет запаха, хорошо растворяется в воде с образованием кислот. В дополнение к косвенному воздействию (кислотный дождь) длительное воздействие диоксида азота в концентрации 470...1880 мкг/м³ может подавлять рост некоторых растений. Значимость атмосферных эффектов оксидов азота связана с ухудшением видимости. Диоксид азота играет важную роль и в образовании фотохимического смога.

Оксиды азота могут отрицательно влиять на здоровье как самостоятельно, так и в комбинации с другими загрязняющими веществами. Пиковые концентрации действуют сильнее, чем интегрированная доза. Кратковременное воздействие 3000...9400 мкг/м³ диоксида азота вызывает изменения в легких. Помимо повышенной восприимчивости к респираторным инфекциям, воздействие диоксида азота может привести к бронхостенозу (сужение просвета бронхов) у чувствительных людей.

Оксиды азота раздражающе действуют на слизистые оболочки глаз, носа, остаются в легких в виде азотной и азотистой кислот, получаемых в результате их взаимодействия с влагой верхних дыхательных путей. Опасность их воздействия заключается в том, что отравление организма проявляется не сразу, а постепенно, причем каких-либо нейтрализующих средств нет. Степени воздействия оксидов азота на организм человека примерно в 10 раз сильнее СО. Наибольшее количество оксидов азота образуется при сжигании жидкого топлива.

Высокие концентрации диоксида серы SO_2 вызывают серьезное повреждение растительности. Острое повреждение, вызванное диоксидом серы, отражается в появлении белесых пятен на широколистных растениях или обесцвеченных некротических полос на листьях с продольным жилкованием. Хронический эффект проявляется как обесцвечивание хлорофилла, приводящее к пожелтению листьев, появлению красной или бурой окраски, которая в нормальных условиях маскируется зеленой. Независимо от формы проявления результатом является снижение продуктивности и замедление роста. Лишайники особенно чувствительны к SO_2 и используются как биоиндикаторы при определении его избыточных количеств в воздухе. Однако диоксид серы не всегда вызывает повреждение: в сульфатдефицитных местностях дополнительные небольшие уровни SO_2 могут благотворно влиять на растения, но происходящее параллельно некоторое подкисление почвы может потребовать дополнительного известкования. Среднегодовая концентрация диоксида серы в воздухе городов составляет около 1 мг/м^3 [7].

Оксид углерода (СО) снижает способность крови переносить кислород к тканям. СО связывается с гемоглобином, образуя карбоксигемоглобин. Содержание 2...5 % СО приводит к нарушению психомоторных функций, а более 5 % – к нарушению сердечной деятельности и дыхания. Содержание карбоксигемоглобина более 10 % приводит к головной боли, утомляемости, сонливости, снижению работоспособности, коме, остановке дыхания и смерти.

Масштабы использования органического топлива и соответственно выброса диоксида углерода по некоторым оценкам превышают регенерационные возможности растительного мира. В результате в атмосфере наблюдается возрастание удельного веса оксидов углерода (углекислого газа), создающих парниковый эффект, который ведет к общему повышению температуры на планете. Это может привести к ряду катастрофических последствий глобального масштаба [8], в том числе к таянию ледников, повышению уровня мирового океана и затоплению огромных и наиболее обжитых прибрежных территорий океанов, перераспределению осадков, речного стока и др.

Полиядерные ароматические углеводороды (ПАУ) – большая группа органических соединений, содержащих два бензольных кольца или более. Они относительно мало растворяются в воде, но хорошо – в жирах. Существует несколько сотен ПАУ; наиболее известен бенз(а)пирен, действие которого увеличивает вероятность возникновения онкологических заболеваний.

Кроме того, в выбросах ТЭС содержится значительное количество металлов и их соединений. При пересчете на смертельные дозы в годовых выбросах ТЭС мощностью 1 млн кВт содержится алюминия и его соединений свыше 100 млн доз, железа – 400 млн доз, магния – 1,5 млн доз. Ле-

тальный эффект этих загрязнителей не проявляется только потому, что они попадают в организмы в незначительных количествах. Это, однако, не исключает их отрицательного влияния через воду, почвы и другие звенья экосистем. Такие абразивные материалы, как окислы кремния и алюминия, способны разрушать легочную ткань и вызывать такое заболевание, как силикоз.

К вредным воздействиям ТЭС следует отнести и выбросы теплоты, приводящие к тепловому загрязнению окружающей среды. ТЭС является существенным источником подогретых вод, которые используются здесь как охлаждающий агент.

Для ТЭС характерно высокое радиационное и токсичное загрязнение окружающей среды. Это обусловлено тем, что обычный уголь, его зола содержат микропримеси урана и ряда токсичных элементов в значительно больших концентрациях, чем земная кора.

При строительстве крупных ТЭС или их комплексов загрязнение еще более значительно. При этом могут возникать новые эффекты, например, обусловленные превышением скорости сжигания кислорода над скоростью его образования за счет фотосинтеза земных растений на данной территории, или вызванные увеличением концентрации углекислого газа в приземном слое.

Энергетический баланс угольной ТЭС складывается таким образом, что потребителю отдается только 30...35 % энергии, полученной при сжигании топлива. Примерно 10 % теплоты уходит в атмосферу с дымовыми газами, а более 50 % отводится в процессе охлаждения конденсаторов турбин либо водой, забираемой из рек или водоемов, либо в градирнях. Происходящее при этом тепловое загрязнение водоемов при недостаточности защитных мер способно нарушить условия обитания водной флоры и фауны, привести к развитию в водоемах нежелательных биологических процессов (размножение водорослей, потеря кислорода и т.п.).

Водные объекты ТЭС отдают избыточную теплоту в атмосферу. Туда же попадает и теплота, выбрасываемая с дымовыми газами электростанций, тепловые потери в машинах, оборудовании, в электрических сетях. Тепловые выбросы ТЭС воздействуют на окружающую среду, меняя микроклимат в районе ее размещения, а при больших концентрациях мощности могут привести к изменению циркуляции воздушных масс, их температуры и влажности.

Энергетическому производству ТЭС сопутствуют также различные загрязненные стоки, связанные с процессом водоподготовки, промывки оборудования, с гидротранспортом твердых отходов (шлаков).

Помимо загрязнения воздушного бассейна, водных источников и земли, производство электроэнергии на ТЭС связано со значительным расходом природных ресурсов, запасы которых ограничены и потому нуждаются в защите и бережном отношении.

Тепловые электростанции потребляют огромное количество топлива. На ТЭС мощностью 2400 МВт сжигается по 17–20 вагонов угля в час или более 400 вагонов в сутки. Очень велик и расход кислорода – 820 тыс. т/ч, т.е. около 20 млн т в сутки.

Для водяного охлаждения конденсаторов турбин таких ТЭС требуется 300 тыс. м³/ч, или 2 км³/год воды. В целях сокращения ее расхода применяются дорогостоящие оборотные (замкнутые) системы технического водоснабжения, где вода используется многократно. Часовой расход свежей воды в этом случае сокращается в 30 раз. Безвозвратные потери воды для рассматриваемой ТЭС оцениваются в 20 млн м³/год.

Строительство ТЭС связано и с существенными изъятиями земельных ресурсов, в том числе и сельскохозяйственных, в основном для создания водоемов-охладителей в системе оборотного водоснабжения. Например, для угольной ТЭС мощностью 2400 МВт требуется 2...2,5 тыс. га земли при работе с оборотной системой водоснабжения с прудами-охладителями и до 1 тыс. га при использовании градирен.

Таким образом, тепловые электростанции, сжигающие органические виды топлива, оказывают влияние на все сферы окружающей среды (воздух, воду, землю, флору, фауну), масштабы их воздействия очень значительны. В то же время следует помнить, что эти масштабы зависят от мощности ТЭС, вида и характеристик сжигаемого топлива, уровня природоохранных мероприятий, степени технологического совершенства электростанции и многих других факторов.

Влияние ТЭС на элементы биосферы представлено в прил. 1.

Определенную специфику имеют теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которые, кроме электрической, производят и тепловую энергию. В связи с этим ТЭЦ на единицу электрической мощности сжигают больше топлива, чем ТЭС, что ведет к соответственно большим выбросам.

Влияние энергетики на среду и ее обитателей в большей мере зависит от вида используемых энергоносителей – топлива. Наиболее чистым топливом является природный газ, затем – нефть (мазут), каменные и бурые угли, сланцы, торф.

Для тепловых электростанций, работающих на органических видах топлива, неотъемлемой составляющей является топливная база – шахты, угольные разрезы, предприятия газо- и нефтедобычи.

Добыча любых видов топлива связана как с воздействиями на воздушный и водный бассейны, так и с изъятием и загрязнением земельных ресурсов.

Обязательным дополнительным звеном в общей структуре выработки энергии является система доставки (транспортирования) топлива от места его добычи к месту сжигания. Транспортирование топлива требует затрат энергии, оно связано с его неизбежными потерями при перевозке, с изъя-

тием земельных ресурсов, а также с другими отрицательными воздействиями на окружающую среду.

Тепловые электростанции в отношении экологической ненадежности не являются исключением по сравнению с другими источниками электроэнергии. Тяжелые аварийные ситуации имеют определенную вероятность возникновения на каждом этапе энергетического цикла, в том числе на электростанциях, где производство связано с использованием чрезвычайно высоких температур и давлений, хранением больших запасов топлива и т.д.

9.3. Влияние гидроэлектростанций на окружающую среду

Гидроэлектростанции (ГЭС) преобразуют механическую энергию потока воды в электроэнергию с помощью гидравлических турбин, приводящих во вращение электрические генераторы. Наибольший КПД гидроэлектростанция имеет тогда, когда поток воды падает на турбину сверху. Для этих целей строится плотина, поднимающая уровень воды в реке и сосредотачивающая напор воды в месте расположения турбин. Уникальной особенностью гидроэлектростанций как источника энергии является использование ими постоянно естественно возобновляемого гидроэнергетического ресурса. В настоящее время ежегодная экономия органического топлива за счет работы гидроэлектростанций составляет около 80 млн т условного топлива. Для ГЭС не требуется топливной базы и транспортирования топлива, которые служат дополнительным источником отрицательного воздействия на окружающую среду.

Объективная необходимость развития гидроэнергетики определяется следующими основными факторами:

- требованиями сократить использование органического топлива для выработки электроэнергии и увеличить количество маневренных мощностей в энергетических системах страны в целях повышения надежности и бесперебойности электроснабжения;

- ростом потребностей народного хозяйства в воде и в связи с этим необходимостью за счет перераспределения стока водохранилищами ГЭС создать благоприятные возможности для комплексного использования водных ресурсов;

- ростом комплексного значения ГЭС для нужд энергетики, сельского хозяйства, водного транспорта, борьбы с наводнениями и т.п.

В связи с тем, что дальнейшее развитие электроэнергетики предполагается в основном путем строительства крупных тепловых и частично атомных электростанций, регулирование нагрузки которых технически сложно и часто экономически невыгодно, роль гидроэлектростанций как источников маневренных мощностей будет все более возрастать. Кроме того, высокая маневренность гидроэлектростанций позволяет использовать их наиболее эффективно для регулирования частоты тока в энергосистемах,

выполнения функций оперативного и аварийного резерва, синхронного компенсатора и т.д.

Гидроэнергия является наиболее экологически чистой. В отличие от тепловых электростанций, работающих на органическом топливе, ГЭС не выбрасывают в атмосферу вредные вещества, не спускают в водоемы загрязненные стоки и подогретую воду.

Однако гидроэлектростанции и их водохранилища (особенно крупные) оказывают другие многообразные воздействия на окружающую природную среду. Влияние гидроэлектростанций на природу связано, прежде всего, со строительством перегораживающих русло рек гидроузлов, создающих подпор и изменяющих во времени речной сток. А это является следствием нарушения целой цепочки природных процессов, имеющих как отрицательные, так и положительные последствия.

Отрицательными последствиями строительства гидроэлектростанций и создания их водохранилищ являются: значительные изъятия земельных ресурсов в результате затопления и подтопления земель, причем подтопленные земли в равнинных условиях могут превышать 10 % от затопленных; перестроение берегов и дна водохранилищ; размывы русел и берегов рек ниже гидроузлов; изменения почвенного и растительного покровов, условий обитания флоры и фауны в долинах рек и самого водотока, качества воды; иногда влияние на частоту землетрясений и др. Обычно абразионные процессы, т.е. процессы разрушения земель и свойственных им экосистем при формировании береговой линии, продолжаются десятилетиями и имеют следствием переработку больших масс почвогрунтов, загрязнение вод, заиление водохранилищ.

Строительство водохранилищ сопровождается резким нарушением гидрологического режима рек, свойственных им экосистем и видового состава гидробиотов.

В водохранилищах наблюдается увеличение количества органических веществ как за счет ушедших под воду экосистем (древесина, другие растительные остатки, гумус почв и т. п.), так и вследствие их накопления в результате замедленного водообмена. Это своего рода отстойники и аккумуляторы веществ, поступающих с водосборов.

В водохранилищах резко усиливается прогревание вод, что интенсифицирует потерю ими кислорода и другие процессы, характеризующиеся тепловым загрязнением, что создает условия для зарастания водоемов и интенсивного развития водорослей, в том числе и ядовитых сине-зеленых (цианей). По этим причинам, а также вследствие медленной обновляемости вод резко снижается их способность к самоочищению. Ухудшение качества воды ведет к гибели многих ее обитателей. Возрастает заболеваемость рыб, особенно поражение гельминтами, снижаются вкусовые качества обитателей водной среды.

Нарушаются пути миграции рыб, идет разрушение кормовых угодий, нерестилищ и т. п.

Перекрытые водохранилищами речные системы из транзитных превращаются в транзитно-аккумулятивные. Кроме биогенных веществ, здесь аккумулируются тяжелые металлы, радиоактивные элементы и многие ядохимикаты с длительным периодом жизни. Продукты аккумуляции делают проблематичным возможность использования территорий, занимаемых водохранилищами, после их ликвидации. В виду исчерпания наиболее дешевых ресурсов и большой территориальной емкостью равнинных водохранилищ доля энергии, получаемой из гидроресурсов, в энергетическом балансе постепенно уменьшается.

Водоохранилища оказывают заметное влияние на атмосферные процессы. Например, в засушливых районах испарение с поверхности водохранилищ превышает испарение с аналогичной поверхности суши десятки раз. Повышенное испарение влияет на понижение температуры воздуха, увеличение туманных явлений. Различие тепловых балансов водохранилищ и прилегающей суши обуславливает формирование местных ветров типа бризов. Эти, а также другие явления имеют следствием смену экосистем, причем не всегда положительную и изменение погодно-климатических условий. Иногда в зоне водохранилищ приходится даже менять направление сельского хозяйства, что не всегда экономически эффективно.

Издержки гидростроительства для окружающей среды заметно меньше в горных районах, когда водохранилища обычно невелики по площади. Однако в сейсмоопасных горных районах водохранилища могут провоцировать землетрясения. Увеличивается вероятность оползневых явлений и вероятность катастроф в результате возможного разрушения плотин.

К положительным последствиям влияния гидроэлектростанций и их водохранилищ можно отнести: преобразование гидрографической сети; осуществление необходимого для народного хозяйства комплексного перераспределения стока во времени для нужд энергетики, орошения, водного транспорта и т.д., уменьшение или полная ликвидация таких вредных явлений природы, как наводнения, сели, маловодья; улучшение природных условий; оздоровление прилегающих территорий; смягчение климата; водное благоустройство и т.п.

Основные виды воздействия ГЭС на окружающую природную среду приведены в прил. 2.

9.4. Влияние атомных электростанций на окружающую среду

Ядерная энергетика до недавнего времени рассматривалась как наиболее перспективная. Это связано как с относительно большими запасами ядерного топлива, так и со щадящим воздействием атомных электростанций (АЭС) на окружающую среду. Кроме выработки электроэнергии, в

ядерных реакторах могут вырабатываться полезные для применения в медицине и промышленности радионуклиды.

Современная АЭС по назначению и технологическому принципу действия существенно не отличается от ТЭС. Основное принципиальное отличие АЭС от ТЭС на органическом топливе – вид парогенератора. В качестве топлива на АЭС используется обогащенная руда урана. Ядерный реактор работает на основе цепной ядерной реакции, когда деление одного ядра вызывает деление других ядер. Весь последующий цикл преобразования энергии в паровой турбине, генераторе, трансформаторе, в принципе, идентичен.

Нейтроны, освобождающиеся при делении ядер урана, способны вызвать деление лишь ядер изотопа урана с массовым числом 235, а для разрушения ядер изотопа урана-238 их энергии недостаточно. В природном уране на долю урана-238 приходится 99,3 %, а на долю урана-235 – только 0,7 %, и поэтому первым возможным путем осуществления цепной реакции является процесс разделения изотопов урана и получения в чистом виде большого количества изотопа урана-235. В образце малых размеров большинство нейтронов пролетает сквозь образец, не попав ни в одно ядро, поэтому для осуществления цепной реакции необходимо большое количество урана, называемое критической массой. Критическая масса для урана-235, т.е. такая его минимальная масса, при которой может возникнуть цепная реакция, составляет несколько десятков килограммов.

Первыми ядерными реакторами были реакторы на медленных нейтронах. Большинство нейтронов, освобождающихся при делении ядер урана, обладают большой скоростью, поэтому их называют быстрыми нейтронами. При таких скоростях нейтроны взаимодействуют с ядрами урана-235 и урана-238 примерно с одинаковой эффективностью, но развитие цепной реакции невозможно, так как ядер урана-238 в природном уране в 140 раз больше, чем ядер урана-235. Медленные нейтроны, т. е. нейтроны, движущиеся со скоростями, близкими к скорости теплового движения, поглощаются ядрами урана-235 в 500 раз эффективнее, чем быстрые. Поэтому при облучении природного урана медленными нейтронами большая часть их поглощается не в ядрах урана-238, а в ядрах урана-235 и вызывает их деление. Следовательно, для развития цепной реакции в природном уране скорости нейтронов необходимо уменьшить до тепловых.

Замедление нейтронов возможно при их столкновении с атомными ядрами той среды, в которой они движутся. Для этого в реакторе используется вода или графит.

Для уменьшения утечки нейтронов пространство, в котором протекает цепная реакция (активную зону реактора) окружают отражателем нейтронов (водой или графитом), отбрасывающим значительную часть вылетающих нейтронов внутрь активной зоны.

Энергия, которая выделяется при работе реактора, выводится при помощи теплоносителя. В качестве носителя широко применяется вода, иногда применяются углекислый газ, а иногда и жидкий натрий.

Управление реактором производится с помощью специальных управляющих стержней, вводимых в активную зону реактора. Управляющие стержни изготавливаются из соединений бора или кадмия, поглощающих тепловые нейтроны с очень большой эффективностью. Поглощая значительную часть нейтронов, они делают невозможным развитие цепной реакции. Для запуска реактора стержни выводятся из активной зоны до тех пор, пока выделение энергии не достигнет заданного уровня. При увеличении мощности свыше установленного уровня включаются автоматы, погружающие управляющие стержни в глубь активной зоны.

Как и другие промышленные предприятия, АЭС оказывают определенное влияние на окружающую их природную среду за счет:

- технологических сбросов тепла (тепловое загрязнение);
- общепромышленных отходов;
- выбросов, образующихся при эксплуатации радиоактивных продуктов, которые хотя незначительны и строго нормированы, но имеют место.

По воздействию на окружающую среду АЭС существенно отличаются от обычных тепловых электростанций прежде всего тем, что они не используют органического топлива для производства электроэнергии. АЭС не загрязняют атмосферу выбросами твердых частиц (золы) и различных газообразных веществ, в том числе оксидов азота и серы. Благодаря этому, они не являются источниками кислотных дождей, источниками распространения различных ядовитых веществ, в том числе канцерогенных и даже радиоактивных, содержащихся в золе.

В отношении загрязнения воздушного бассейна обычными химическими загрязнителями АЭС можно считать чистыми объектами.

АЭС, в отличие от других источников получения электроэнергии, не засоряют также земельные и водные ресурсы золошлаковыми отходами. На АЭС отсутствуют такие явления, как пыление золоотвалов и засорение атмосферы продуктами горения золошлаковых отходов.

В отличие от ТЭС, производство электроэнергии на АЭС не сопровождается использованием кислорода воздуха, который на ТЭС расходуется в огромных количествах.

Преимуществом АЭС является возможность их строительства без привязки к месторождениям природных ресурсов, так как их транспортировка не требует существенных затрат в связи с малыми объемами. Так, 0,5 кг ядерного топлива позволяет получать столько же энергии, сколько сжигание 1000 т каменного угля.

Главная особенность технологического процесса на АЭС заключается в образовании значительных количеств радиоактивных продуктов деления, находящихся, в основном, в тепловыделяющих элементах активной зоны

реактора. Для надежного удержания (локализации) радиоактивных продуктов в ядерном топливе и в границах сооружений атомной станции в проектах АЭС предусматривается ряд последовательных физических барьеров на пути распространения радиоактивных веществ и ионизирующих излучений в окружающую среду. В связи с этим атомные станции технически более сложны по сравнению с традиционными тепловыми и гидравлическими электростанциями.

При работе АЭС, как и ТЭС, требуется большое количество воды для охлаждения конденсаторов турбин. При этом из-за более низких параметров пара, применяемых в атомных реакторах, от турбин приходится отводить значительно больше теплоты, чем на ТЭС (КПД АЭС ниже, чем ТЭС). При одинаковой мощности электростанций расход воды на охлаждение конденсаторов АЭС больше, чем ТЭС. В случае использования прудов-охладителей их поверхность должна быть также соответственно больше, а следовательно, требуется больше земель под водохранилища.

Следовательно, в отношении масштабов использования природных земельных и водных ресурсов АЭС хуже, чем обычные ТЭС.

АЭС загрязняет окружающую среду тепловыми выбросами гораздо в больших количествах, чем ТЭС. Следствием больших потерь тепла на АЭС является более низкий коэффициент их полезного действия по сравнению с ТЭС. На ТЭС КПД равен 35 %, а на АЭС не превышает 30 %. Современный блок АЭС электрической мощностью 1000 МВт имеет тепловую мощность 3000 МВт, т.е. из всей полученной в реакторе теплоты только 1/3 расходуется на производство электроэнергии, а 2/3 ее бесполезно теряются и выбрасываются в окружающую среду. На единицу получаемой энергии тепловое загрязнение АЭС в 2...2,5 раза больше, чем на ТЭС, где значительно больше тепла отводится в атмосферу. Выработка 1 млн кВт электроэнергии на ТЭС дает 1,5 км³ подогретых вод, а на АЭС такой же мощности объем подогретых вод достигает 3...3,5 км³.

Основным же фактором экологической опасности АЭС является возможность радиоактивного воздействия на окружающую среду в результате использования ядерного топлива. Радиационная опасность в силу своих поражающих факторов и длительности воздействия по международному классификатору техногенных опасностей занимает приоритетное место среди других видов опасностей для человека и окружающей среды и является определяющей в проблемах экологической безопасности.

При эксплуатации АЭС не исключается вероятность возникновения инцидентов и аварий, включая тяжелые аварии, связанные с повреждением тепловыделяющих элементов и выходом из них радиоактивных веществ. Тяжелые аварии происходят очень редко, но величины их последствий при этом очень велики. Как правило, вероятность возникновения аварии находится в обратной зависимости от величины ее последствий.

Безопасность АЭС обеспечивается биологической защитой реактора и созданием конструкций, рассчитанных на силу воздействия землетрясений, цунами и других ЧС природного и техногенного характера. Технические возможности создания таких реакторов подтверждаются опытом США, Франции, Японии и других стран.

При нормальной работе АЭС выбросы радиоактивных элементов в среду крайне незначительны. В среднем они в 2–4 раза меньше, чем от ТЭС одинаковой мощности.

Некоторые сравнительные показатели воздействия в течение года ТЭС и АЭС мощностью по 1000 МВт на окружающую среду представлены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Сравнительные характеристика потребления топлива и воздействия на окружающую среду АЭС и ТЭС

Факторы воздействия на окружающую среду	ТЭС	АЭС
Топливо	3,5 млн т угля	1,5 т урана или 1000 т урановой руды
Отходы:		
углекислый газ;	10 млн т	–
сернистый ангидрид и другие соединения;	400 тыс. т	–
зола;	100 тыс. т	–
радиоактивные	–	2 т

О достаточной радиационной безопасности качественно запроектированных, построенных и эксплуатируемых АЭС свидетельствуют систематические наблюдения за воздействием их на окружающую среду при нормальной эксплуатации. В подавляющем большинстве случаев суммарные выбросы радиоактивных веществ значительно ниже предельно допустимых уровней (ПДУ).

Безопасная эксплуатация АЭС вполне достижима. Возможность эффективного и надежного использования АЭС для производства электроэнергии в России должна быть обеспечена совершенствованием их конструкции, улучшением качества строительства и эксплуатации.

В процессе ядерных реакций выгорает лишь 0,5...1,5 % ядерного топлива. Ядерный реактор мощностью 1000 МВт за год работы несет около 60 т радиоактивных отходов. Только часть их подвергается переработке, основная же масса требует захоронения. Проблема хранения и переработки радиоактивных отходов сегодня стоит очень остро. Технология захоронения является сложным и дорогостоящим мероприятием. Смесь урана-235 и урана-238 в реакторах электростанций выгорает далеко не полностью: всего на несколько процентов в каждом цикле. Отработанное ядерное топливо

перерабатывается, извлекается из него несгоревший уран и образовавшийся в процессе реакции плутоний, затем они снова используются для производства энергии. После переработки остаются высокоактивные ядерные отходы, масса которых ежегодно увеличивается на тысячу тонн. Отработанное топливо может быть загружено в бассейны выдержки, где за несколько лет существенно снижается радиоактивность и тепловыделение.

Обобщенно воздействие АЭС на окружающую среду можно разделить на следующие составляющие:

- разрушение экосистем и их элементов (почв, грунтов, водоносных структур и т. п.) в местах добычи руд (особенно при открытом способе);
- изъятие земель под строительство самих АЭС. Особенно значительные территории отчуждаются под строительство сооружений для подачи, отвода и охлаждения подогретых вод. Для электростанции мощностью 1000 МВт требуется пруд-охладитель площадью около 800...900 га. Пруды могут заменяться гигантскими градирнями с диаметром у основания 100...120 м и высотой, равной 40-этажному зданию;
- изъятие значительных объемов вод из различных источников и сброс подогретых вод;
- вероятность радиоактивного загрязнения атмосферы, вод и почв при работе АЭС, а также в процессе добычи и транспортировки сырья, складировании и переработки отходов, при их захоронениях.

Работа АЭС, как и ТЭС на органическом топливе, невозможна без соответствующего развития и эксплуатации предприятий по добыче радиоактивных руд, их обработке и обогащению, производству тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов). Воздействие АЭС на окружающую среду нельзя рассматривать без учета соответствующего влияния их топливной базы и транспорта топлива. Дополнительными элементами ядерной энергетики, влияющими на окружающую среду, являются хранилища радиоактивных отходов АЭС.

Чрезвычайно сложным и экологически опасным процессом является демонтаж АЭС по окончании ее нормальной эксплуатации (после исчерпания ресурса). Стоимость работ по демонтажу АЭС составляет от 1/6 до 1/3 от стоимости самих АЭС.

Экологически безопасные АЭС должны быть доведены до такого уровня, чтобы была невозможна авария типа чернобыльской. Только в этом случае об АЭС можно будет говорить как об объектах, сопоставимых с другими источниками электроэнергии по безопасности и экологической чистоте.

9.5. Нетрадиционные источники электроэнергии

Общим у всех этих электростанций является использование возобновляемых первичных источников энергии, при котором для их работы не

требуется сопутствующего развития и эксплуатации ни топливной базы, ни транспорта топлива.

Опыт проектирования и строительства таких электростанций свидетельствует об их технической осуществимости. Однако относительно низкая экономическая эффективность их использования (сравнительно малое количество производимой электроэнергии) не дает возможности их широкого применения.

Все нетрадиционные источники энергии наносят определенный вред окружающей среде, т.е. их только условно можно считать экологически безвредными. Все такие электростанции, особенно ветровые, занимают значительные территории.

Производство ветряков очень дешево, но их мощность мала и их работа зависит от погоды. К настоящему времени испытаны ветродвигатели различной мощности, вплоть до гигантских. Ветровые электростанции являются источником создаваемого ими шума, что влечет за собой необходимость достаточного их удаления от населенных пунктов, а иногда и отключения установок на ночь. Помимо этого, ветряные электростанции создают помехи для воздушного сообщения и даже для радиоволн. Применение ветряков вызывает локальное ослабление силы воздушных потоков, мешающее проветриванию промышленных районов и даже влияющее на климат.

На втором месте по изъятиям земельных ресурсов находятся солнечные электростанции. Они преобразуют энергию Солнца в электрическую. Их мощность зависит от площади, занимаемой отражателями (зеркалами) или батареями фотоэлементов. Солнечные электростанции не загрязняют окружающую среду вредными веществами, но к основному недостатку следует отнести их малую мощность, так как способны превращать в электричество не более 20 % энергии солнечных лучей, попадающих на них. Кроме того, эффективность их работы зависит от погоды. Помимо всего прочего, солнечные электростанции очень материалоемки, но если требуется получение небольшого количества энергии, использование фотоэлементов уже в настоящее время экономически целесообразно.

По условиям загрязнения окружающей среды ведущее место среди нетрадиционных источников электроэнергии занимают геотермальные установки, использующие пар и горячую воду, поступающие из земных недр. В данном случае источником тепла являются разогретые воды, содержащиеся в недрах земли. В отдельных районах такие воды изливаются на поверхность в виде гейзеров (например, на Камчатке). Термальные источники выносят на поверхность растворенные в них соли и газы, которые являются первичными источниками загрязнения вод, атмосферы и земной поверхности.

К недостаткам геотермальных электростанций относится возможность локального оседания грунтов и пробуждения сейсмической активности, а

выходящие из-под земли газы создают в окрестностях немалый шум и могут, к тому же, содержать отравляющие вещества. Кроме того, геотермальную электростанцию построить можно не везде, потому что для ее постройки необходимы определенные геологические условия.

Неблагоприятные последствия работы приливных электростанций в первую очередь связаны с изъятием больших акваторий морских и океанских заливов. Они нарушают нормальный обмен соленой и пресной воды и, следовательно, условия жизни морской флоры и фауны, в частности – ограничение миграции и условий нереста рыб. Недостаток приливных электростанций в том, что они строятся только на берегу морей и океанов, к тому же они развивают не очень большую мощность, так как их работа зависит от приливов и отливов, которые бывают только два раза в сутки. Влияют приливные электростанции и на климат, поскольку их работа меняет энергетический потенциал морских вод, их скорость и территорию перемещения.

Морские теплостанции, построенные на перепаде температур морской воды, способствуют выделению большого количества углекислоты, нагреву и снижению давления глубинных вод и остыванию поверхностных. В бывшем СССР за счет этого вида ресурсов производилось только около 20 МВт электроэнергии.

При определении стратегии развития электроэнергетики необходимо считаться с тем, что и нетрадиционные источники электроэнергии будут оказывать определенное отрицательное воздействие на окружающую среду.

9.6. Основные пути решения экологических проблем современной энергетики

В ближайшей перспективе тепловая энергетика, существенно влияющая на изменения состояния окружающей среды, будет оставаться преобладающей в энергетическом балансе. Пути и способы использования объектов энергетике, позволяющие существенно уменьшать отрицательное воздействие на среду, базируются в основном на совершенствовании технологий подготовки топлива и улавливания вредных отходов. Основными из них являются следующие.

1. Использование и совершенствование очистных устройств. В настоящее время на многих объектах улавливаются в основном твердые выбросы с помощью различного вида фильтров. Наиболее агрессивный загрязнитель – сернистый ангидрид не улавливается или улавливается в ограниченном количестве. Наиболее широко улавливание окислов серы и азота осуществляется посредством пропускания дымовых газов через раствор аммиака. Конечными продуктами такого процесса являются аммиачная селитра, используемая как минеральное удобрение, или раствор сульфата натрия (сырье для химической промышленности). Такими установками

улавливается до 96 % окислов серы и более 80 % оксидов азота. Существуют и другие методы очистки от названных газов.

2. Уменьшение поступления соединений серы в атмосферу посредством предварительного обессеривания (десульфурации) углей и других видов топлива (нефть, газ, горючие сланцы) химическими или физическими методами. Этими методами удается извлечь из топлива от 50 до 70 % серы до момента его сжигания.

3. Большие и реальные возможности уменьшения или стабилизации поступления загрязнений в среду связаны с экономией электроэнергии. Не менее реальна экономия энергии за счет уменьшения металлоемкости продукции, повышения ее качества и увеличения продолжительности жизни изделий. Перспективно энергосбережение за счет перехода на наукоемкие технологии, связанные с использованием компьютерных и других устройств.

4. Не менее значимы возможности экономии энергии в быту и на производстве за счет совершенствования изоляционных свойств зданий. Реальную экономию энергии дает замена ламп накаливания с КПД около 5 % флуоресцентными, КПД которых в несколько раз выше.

Крайне расточительно использование электрической энергии для получения тепла. Важно иметь в виду, что получение электрической энергии на ТЭС связано с потерей примерно 60...65 % тепловой энергии, а на АЭС – не менее 70 % энергии. Энергия теряется также при передаче ее по проводам на расстояние. Поэтому прямое сжигание топлива для получения тепла, особенно газа, намного рациональнее, чем через превращение его в электричество, а затем вновь в тепло.

5. Заметно повышается также КПД топлива при его использовании вместо ТЭС на ТЭЦ. В последнем случае объекты получения энергии приближаются к местам ее потребления и тем самым уменьшаются потери, связанные с передачей на расстояние. Наряду с электроэнергией на ТЭЦ используется тепло, которое улавливается охлаждающими агентами. При этом заметно сокращается вероятность теплового загрязнения водной среды. Наиболее экономично получение энергии на небольших установках типа ТЭЦ непосредственно в зданиях. В этом случае потери тепловой и электрической энергии снижаются до минимума. Такие способы в отдельных странах находят все большее применение.

Основные трудности в защите окружающей среды при производстве энергии связаны с использованием в качестве первичных ресурсов органического топлива. Использование ядерного горючего, а в последствии ядерного синтеза может стать реальной альтернативой современному состоянию проблемы защиты окружающей среды при условии осуществления всех уже известных мероприятий по предотвращению радиоактивных выбросов. В то же время выработка энергии на базе ядерного горючего сможет только снизить темп роста загрязнений, а не приостановить его.

Одним из наиболее перспективных направлений защиты биосферы является изменение технологии производства электроэнергии, которое позволяло бы значительно сократить выбросы или избавиться от них совсем.

Примерно 90 % эмиссии парниковых газов в CO_2 -эквиваленте приходится на энергетический сектор, где выбросы CO_2 составляют 85 %. Более существенного эффекта защиты окружающей среды можно достичь за счет эффективного использования энергии на всех этапах энергетической цепочки: производство, распределение, потребление. Среди комплекса энергосберегающих мероприятий на промышленном объекте можно выделить следующие:

- использование теплоты конденсата для подогрева оборотной воды цеха;
- применение инфракрасных обогревателей для локального обогрева рабочих мест;
- монтаж автоматизированной системы управления установкой приточной вентиляции цеха;
- утилизация теплоты выбрасываемой паровоздушной смеси в теплоутилизаторах с промежуточным теплоносителем;
- организация системы целевого мониторинга энергопотребления;
- устранение утечек пара и теплоизоляция паропроводов и др.

Очевидно, что реализация определенного набора таких мероприятий требует определенных финансовых затрат, причем чем меньше уровень потребления энергии, тем больше величина требуемых инвестиций. Поэтому помимо технических мероприятий по снижению выбросов в окружающую среду, необходимо провести анализ экономической эффективности реализации таких мероприятий.

Выгодой от реализации таких мероприятий считается величина ежегодных сбережений финансовых средств от экономии различных видов энергии и топлива. Так как после внедрения энергосберегающего мероприятия может возникнуть необходимость в дополнительном обслуживании или произойдет увеличение эксплуатационных затрат, то, вычитая эти затраты из выгоды, можно получить величину чистой годовой выгоды. Оценив для каждого предложенного мероприятия его затраты и выгоды, можно рассчитать величину чистых удельных затрат, необходимых для снижения выбросов.

Показатель чистых удельных затрат можно использовать и для определения приоритетности реализации того или иного мероприятия по отношению к другим, так как чем ниже чистые удельные затраты, тем выгоднее мероприятие. Ранжируя энергосберегающие мероприятия в порядке возрастания, можно получить оптимальную последовательность мероприятий, при реализации которой обеспечивается наибольший объем снижения выбросов.

Наряду с изменением технологии производства электроэнергии, непосредственно направленным на защиту окружающей среды, имеют место технические изменения, дающие технологические преимущества, но не дающие положительный эффект в природоохранном направлении. Иногда такие мероприятия могут привести к увеличению выбросов в атмосферу. Например, сжигание твердого топлива в циклонных предтопках с жидким шлакоудалением способствует сокращению количества и уменьшению абразивности летучей золы, что предохраняет поверхности нагрева от золотого износа. Но одновременно с этим повышение температуры газов в топочной камере приводит к увеличению количества оксида азота. Предварительное удаление влаги из твердых топлив перед их сжиганием с выбросом испарившейся влаги минуя котельный аппарат целесообразно в теплотехническом отношении. Вместе с тем при использовании таких разомкнутых схем должны предприниматься эффективные меры по предотвращению выбросов угольной пыли и образующихся больших концентраций оксидов азота. Таким образом, осуществление технических мероприятий с целью повышения эффективности работы основного оборудования объектов энергетики должно сопровождаться анализом воздействия этих объектов на окружающую среду в целом и на отдельные ее элементы.

Выполнение требований, связанных с охраной окружающей среды, относится практически ко всем участкам энергетического производства. Рациональное решение задач охраны биосферы эффективно при комплексном подходе, поэтому комплекс мероприятий по защите окружающей среды должен составлять соответствующую весомую часть оборудования объектов производства и передачи энергии.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте краткую характеристику основным объектам воздействия на окружающую среду.
2. Охарактеризуйте воздействие на окружающую среду каждого вида первичных источников энергии.
3. Какое негативное влияние оказывают объекты энергетики на атмосферу, биосферу, литосферу?
4. Что такое тепловое загрязнение и какие объекты энергетики оказывают тепловое загрязнение на окружающую среду?
5. В чем принципиальное отличие негативного воздействия на окружающую среду ТЭС и АЭС?
6. Какое влияние оказывают отходы ТЭС на организм человека?
7. На какие составляющие можно разделить воздействие АЭС на окружающую среду?
8. Перечислите положительные и отрицательные стороны строительства водохранилищ для ГЭС.

9. Дайте характеристику экологическим последствиям при использовании нетрадиционной энергетики.

10. Перечислите основные направления охраны окружающей среды в энергетике.

10. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Несмотря на обострение энергетического кризиса, эффективность использования энергоресурсов в РФ остается очень низкой. Из каждой добытой в настоящее время в России тонны нефти и угля в полезную энергию превращается не более 1/3. Остальное топливо либо теряется, либо бессмысленно тратится у потребителя.

Если общее потребление первичных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) принять за 100 %, то полезно используемая энергия составит около 40 %, а потери составят 60 %. Из этих 60 % – 20 % ТЭР теряется при добыче, обогащении, транспорте и преобразовании и 40 % у конечных потребителей. То есть наибольшая часть потерь энергоресурсов связана с конечным их потреблением. Поэтому вопросы проведения энергосберегающих мероприятий у потребителей имеют исключительно важное народнохозяйственное значение. При этом нужно отметить, что 55 % конечного потребления энергии приходится на промышленность, следовательно, промышленные предприятия могут дать большую экономию топливно-энергетических ресурсов.

Процесс преобразования энергии первичных энергоресурсов в электрическую и тепловую энергию обязательно связан с потерями на каждом этапе. Все потери можно разделить на тепловые, гидроэнергетические и электрические.

В паровых котлах потери возникают по причине наличия уходящих газов из-за неплотности котла, из-за теплопроводности стенок котла, а также при пуске котла. По этой причине общий КПД в паровых котлах составляет 85...95 %,

В паропроводах потери возникают из-за неидеальности изоляции при достаточно высоком КПД – 99...99,5 %. Потери в турбинах возникают при пусках турбин, на этапах охлаждения, смазки, регулирования. Потери неизбежны при переработке и доставке топлива.

Гидроэнергетические потери неизбежны в водохранилищах по причине испарения воды, потери напора при движении воды по деривационным сооружениям и т.п. Гидромеханические потери воды характерны на этапе обеспечения водой собственных нужд, в результате ухода воды в нижний бьеф. Электрические потери – это потери в электрических генераторах, связанные с питанием систем возбуждения, механические потери генераторов, а также потери в обмотках генератора, статора и ротора.

Потери в трансформаторах и автотрансформаторах характеризуются потерями холостого хода, потерями в обмотках, потерями на охлаждение трансформаторов. Потери в воздушных и кабельных линиях электропередачи как часть электрических потерь – это, в основном, потери на изоляцию, на корону, потери холостого хода. У потребителей электрической нагрузки также имеются потери.

Более 50 % всего энергопотребления в промышленности приходится на нефтеперерабатывающие, химические предприятия и предприятия черной металлургии. Остальная часть энергопотребления примерно поровну делится между энергоемкими и неэнергоемкими отраслями промышленности. Резервы энергосбережения в промышленности оцениваются в размере 70–90 млн т условного топлива в год.

Сокращение потерь на разных этапах получения, передачи и потребления электрической и тепловой энергии можно осуществлять различными способами. На ТЭС, например, возможно использование передовых технологий сжигания топлива, новых более эффективных термодинамических циклов. Уменьшение потерь электрической энергии возможно благодаря замене незагруженных электродвигателей на электродвигатели, работающие с нагрузкой 90...95 %, работе трансформаторов с нагрузкой порядка 90 %. Эффективным способом является использование энергосберегающих ламп для освещения промышленных и бытовых зданий. На электрических станциях и подстанциях снизить потери можно путем уменьшения затрат на собственные нужды.

При оптимальном распределении электрических нагрузок между электростанциями и оптимальной загрузки линий можно добиться существенного снижения электрических потерь.

Для выявления резервов энергосбережения на предприятиях составляются программы энергоаудита для каждого конкретного предприятия. Прежде чем начать работы по энергосбережению на предприятии, необходимо организовать учет электрической и тепловой энергии, теплоносителя и холодной воды. Учет расхода электрической и тепловой энергии на промышленном предприятии делится на две составляющие: коммерческий и технический.

Коммерческий учет – это учет энергии, полученной предприятием от энергоснабжающей организации. Для этого устанавливаются тепло- и электросчетчики на границе раздела с энергоснабжающей организацией, по показаниям которых осуществляются денежные расчеты за потребленную энергию.

Технический учет – это учет, предназначенный для контроля за расходом энергии внутри предприятия. Основываясь на данных этого учета, можно достаточно точно определять удельные нормы расхода энергии, судить о рациональности тепло- и электропотребления и неисправностях оборудования.

Количество потребляемой электроэнергии измерить легче, чем тепловой. Так как тепловая энергия – это количество отдаваемой теплоносителем теплоты, определяемое разностью энтальпий, следовательно, существуют теплосчетчики, которые замеряют энтальпию теплоносителя.

Резерв экономии тепловой энергии имеет несколько источников, среди которых ведущее место занимает теплоизоляция. Качественная тепловая изоляция позволяет снизить потери тепла только на электростанциях в 3–4 раза. Эффективным источником сбережения тепловой энергии является применение тепловых насосов для теплоснабжения административных и жилых зданий. Тепловые насосы трансформируют тепловую энергию с низкотемпературного уровня на более высокий с использованием в рабочем цикле источника низкопотенциального тепла.

Таким образом, первым шагом на пути к рациональному управлению объектом является организация контроля за потреблением энергоресурсов. Этот контроль предусматривает:

- а) выявление внутри предприятия цехов и участков, перерасходующих энергоресурсы;
- б) детальную проверку счетов, выставляемых предприятию энерго-снабжающими предприятиями;
- в) выявление наиболее энергетически эффективных режимов работы оборудования;
- г) строгую количественную оценку эффективности различных энерго-сберегающих мероприятий в натуральном (ГДж, кВт·ч и т.п.) и денежном выражении.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные виды потерь электрической и тепловой энергии.
2. На какие группы можно разделить тепловые, гидроэнергетические и электрические потери?
3. Дайте краткую характеристику видам учета электроэнергии.
4. Какие Вы знаете пути снижения потерь энергии?
5. Что включает в себя контроль за потреблением энергоресурсов?

ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Анализ энергетики как элемента инфраструктуры общества: роль, место, назначение.
2. Исследование основных этапов становления теплоэнергетики и ее перспективы.
3. Исследование проблем традиционных технологий в энергетике: экологичность, экономичность, утилизация.

4. Перспективные технологии выработки электроэнергии. Сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта.
5. Исследование путей повышения КПД традиционных источников энергии.
6. Передача электроэнергии на расстояние: исследование сберегающих технологий.
7. Ресурсосбережение: сравнительный анализ методов расчета потерь электроэнергии в РФ и за рубежом.
8. История развития, проблемы и перспективы альтернативной энергетики.
9. Экономия электроэнергии. Сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта.
10. Анализ современного состояния электроэнергетики: объединение энергосистем, иерархичность, централизация управления.
11. Анализ состояния основных фондов электроэнергетики России.
12. Вторичные ресурсы – источник энергопотенциала.
13. Региональные особенности энергетики в РФ.
14. Экологические аспекты развития энергетики в России и за рубежом. Сравнительный анализ.
15. Анализ деятельности на потребительском рынке электрической и тепловой энергии: тарифы на электрическую и тепловую энергию и платежеспособность потребителей.
16. Этапы формирования российской энергетики.
17. Природные, географические и экономические особенности энергетики России.
18. Особенности развития и размещения отраслей топливно-энергетического комплекса России.
19. Анализ законодательной базы в сфере энергосбережения.
20. Исследование становления оптового рынка электрической энергии в РФ.
21. Взаимосвязь энергетики РФ с системой энергетики зарубежной страны (по выбору).
22. Анализ электроснабжения объектов как составной части энергетики.
23. Исследование источников реактивной мощности в энергосистеме.
24. Анализ энергосбытовой компании и ее места в общей системе энергетики.
25. Исследование основных этапов становления децентрализованного теплоснабжения в РФ.

ВОПРОСЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Состав и структура энергетики.
2. Состав и структура топливно-энергетического комплекса.
3. Этапы развития и становления энергетики.
4. Современные проблемы отрасли.
5. Понятие и характеристика энергетической безопасности.
6. Виды топлива. Элементарный состав твердого топлива. Условное топливо.
7. Характеристика любого вида топлива.
8. Возобновляемые и невозобновляемые энергетические ресурсы.
9. Основные возобновляемые и альтернативные источники энергии.
10. Основные положения технической термодинамики.
11. Термодинамические параметры. Теплота. Работа. Давление.
12. Основные термодинамические процессы.
13. Первый закон термодинамики.
14. Второй закон термодинамики.
15. Энтропия.
16. Процесс парообразования. Диаграмма водяного пара.
17. Цикл Карно.
18. Циклы паротурбинных установок.
19. Цикл Ренкина
20. p - v -диаграммы.
21. T - S -диаграммы.
22. Энтальпия.
23. Принцип работы и виды топочных устройств.
24. Физическая сущность теплообмена.
25. Элементарные способы передачи теплоты.
26. Виды теплообмена.
27. Характеристика процесса теплофикации.
28. Классификация систем теплоснабжения.
29. Организация отопления и горячего водоснабжения.
30. Виды, классификация, характеристики основного теплофикационного оборудования.
31. Основные параметры теплоносителей.
32. Основные источники теплоты в теплоснабжении.
33. Теплофикация. Схема ТЭЦ.
34. Виды котельных агрегатов и их назначение.
35. Классификация котельных установок.
36. Основные элементы котлов.
37. Ядерные энергетические установки.
38. Типы и классификация ядерных реакторов.

39. Водно-водяной энергетический реактор.
40. Реактор большой мощности канального типа.
41. Реактор на быстрых нейтронах.
42. Основные типы и краткая характеристика электростанций по производству электрической и тепловой энергии.
43. Преимущества и недостатки различных типов электрических станций.
44. Особенности эксплуатации тепловых электрических станций.
45. Принципиальная тепловая схема ТЭЦ; принципы её работы.
46. Принцип действия газотурбинной установки.
47. Основные типы ГЭС. Виды гидротурбин, используемых на ГЭС.
48. Тепловой баланс. Причины потерь.
49. КПД различных электростанций по производству электрической и тепловой энергии.
50. Принцип работы активных и реактивных паровых турбин.
51. Назначение и устройство конденсационной установки паровых турбин.
52. Особенности эксплуатации гидравлических электрических станций.
53. Работа ГЭС в зимнее время, пропуск паводка.
54. Схемы использования гидравлической энергии. Преобразование гидроэнергии в электрическую.
55. Классификация гидротурбин.
56. Особенности эксплуатации атомных электрических станций.
57. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии.
58. Участие электростанций различных типов в формировании суточного графика производства электроэнергии.
59. Влияние различных типов электростанций на окружающую среду.
60. Энергосберегающие технологии в энергетике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беляков, Ю.С. Основы энергетики (конспект лекций): учебное пособие / Ю.С. Беляков. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. – 80 с.
2. Бородин, А.И. Лекции по технической термодинамике: учебное пособие / А.И. Бородин. – Томск: Изд-во Томского гос. архитектурно-строительного ун-та, 2007. – 160 с.
3. Дэвинс, Д. Энергия / Д. Дэвинс. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 360 с.
4. Лукутин, Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2008. – 187 с.
5. Макаров, А.А. Тенденции развития мировой энергетики и энергетическая стратегия России / А.А. Макаров, В.Е. Фортов // Вестник РАН. – 2004. – № 3. – С. 195–208.
6. Справочник по электроснабжению железных дорог / под ред. К.Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1980. – Т. 1. – 392 с.
7. Теплотехника: учебник для вузов / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Вайт и др.; под ред. А.П. Баскакова. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 224 с.
8. Трофимова, С.Н. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / С.Н. Трофимова, В.И. Чуманов, В.А. Шишимиров. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2003. – 203 с.
9. Хлебников, В.В. Топливо-энергетический комплекс России в XXI веке. Стратегия развития энергетического будущего / В.В. Хлебников. – М.: Научтехлитиздат, 2006. – 331 с.
10. Черкасова, Н.И. Общая энергетика (курс лекций): учебное пособие для студентов специальности 100400 заочной формы обучения / Н.И. Черкасова. – 2-е изд. – Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2010. – 161 с.
11. Экология энергетики: материалы Международной конференции // Энергопресс. – 2000. – № 49/315, № 50/316.
12. Эстеркин, Р.И. Промышленные парогенерирующие установки / Р.И. Эстеркин. – Л.: Энергия: Ленинградское отд., 1980. – 400 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Влияние ТЭС на элементы биосферы

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биоту				Примеры цепных реакций
	воздух	почвы и грунты	воды	экосистемы и человека	
Добыча жидкого топлива (нефть) и топлива в виде газа	Углеводородное загрязнение при испарении и утечках	1. Повреждение или уничтожение почв при разведке и добыче топлива, передвижениях транспорта и т.п. 2. Загрязнение нефтью, техническими химикатам, металлолом и др. отходами	1. Загрязнение нефтью в результате утечек, особенно при авариях и добычах со дна водоемов. 2. Загрязнение технологическими химреактантами и другими отходами. 3. Разрушение водонесных структур в грунтах, откачка подземных вод их сброс в водоемы	1. Разрушение экосистем в местах добычи и при обустройстве месторождений (дороги, линии электропередач, водопроводы и т.п.). 2. Загрязнение при утечках и авариях, потеря продуктивности, ухудшение качества продукции. 3. Воздействие на человека в основном через биопroduкцию (особенно гидробионтов)	Загрязнение почв → нефтью и химическими реагентами → гибель планктона и других групп организмов → снижение рыбопродуктивности → потеря потребительских или вкусовых свойств воды и продуктов промысла
Добыча твердого топлива (угли, сланцы торф и т.п.)	Пыль при взрывных и других работах, продукты горения территорий и т.п.	1. Разрушение почв и грунтов при добыче открытыми методами (карьеры). 2. Просадки рельефа. 3. Разрушение грунтов при шахтных методах добычи	1. Сильное нарушение водонесных структур. 2. Откачка и сброс в водоемы шахтных, часто высокоминерализированных, желвак и других вод	1. Разрушение экосистем или их элементов, особенно при открытых способах добычи. 2. Снижение продуктивности. 3. Воздействие на биоту и человека через загрязненные воздух, воды и пищу.	—

Продолжение прил. 1

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биоту				Примеры цепных реакций
	воздух	почвы и грунты	воды	экосистемы и человека	
Транспортировка топлива	Загрязнение при испарении жидкого топлива, потере газа, нефти, пылью от твердого топлива	Загрязнение при утечках, авариях, особенно нефтью	Загрязнение нефтью в результате потерь и при авариях	В основном через загрязнение вод и гидробионтов	-
Работа электростанций на твердом топливе	Загрязнение CO_2 , сернистым ангидридом, NO_x продуктами для кислотных осадков, аэрозолями, радиодиактивными веществами, пылью, золой, золоотвалами	1. Разрушение и сильное загрязнение почв вблизи предприятий (техногенные пустыни). 2. Загрязнение тяжёлыми металлами, радиоактивными веществами, кислотными осадками. 3. Отчуждение земель под землеотвалы, др. отходы	1. Тепловое загрязнение в результате сбросов подогретых вод. 2. Химическое загрязнение через кислотные осадки и сухое осаждение из атмосферы. 3. Загрязнение продуктами вымывания биогенов и ядовитых веществ (алюминий) из почв и грунтов	1. Основной агент разрушения и гибели экосистем, особенно озер и хвойных лесов (обеднение видового состава, снижение продуктивности, разрушение хлорофилла, вымывание биогенов, повреждение корней). 2. Эвтрофикация вод и их цветение. 3. На человека через загрязнение воздуха, воды, продуктов питания, разрушение природы, стрессный, памятник и т.п.	Загрязнение воздуха продуктами горения → кислые осадки → гибель лесов и экосистем озер → нарушение круговоротов веществ → антропогенные сукцессии → тепловое загрязнение вод → дефицит O_2 → эвтрофикация и цветение вод → усиление дефицита O_2 → превращение водных экосистем в болотные

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биоту			Примеры цепных реакций
	воздух	почвы и грунты	воды	
Работа электростанций на жидком топливе и газе	То же, но в значительно меньших масштабах	То же, но в значительно меньших масштабах	Тепловое загрязнение, как для твердого топлива, остальные в значительно меньших масштабах	-

Влияние ГЭС на элементы биосферы

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биоту			Примеры цепных реакций	
	воздух	почвы и грунты	воды		
Строительство ГЭС	Разрушение почв и грунтов на стройплощадках, подъездных путях, хозяйственных объектах и перемещенных больших масс грунтов, особенно при строительстве плотин и обваловании водохранилищ	Аэрозольное загрязнение почв, разрушениями (особенно цементом); химическое – в небольших объемах в основном от работы техники, предприятий, строительных	Некоторое нарушение режима и загрязнение в местах строительства (обводные каналы и т.п.)	экоисистемы и человека Частичное разрушение экосистем и их элементов (растительности, почв), фактор беспокойства для животных, интенсивный промысел и т.п. Влияние на человека в основном через изменение среды и социальные факторы	Текущая вода (река) → водохранилище → накопление химических веществ плюс тепловое загрязнение → зарастание водоема (цветение) → обогашение органикой → обескислороживание → превращение экосистемы транзитного типа в аккумулятивную → порча воды → болезни рыб → потеря пищевых или вкусовых свойств воды и продуктов промысла

Продолжение прил. 2

Влияние на элементы среды и биоту		Примеры целных реакций
Технологический процесс		
Заполнение водохранилищ	Уход под воду плодородных пойменных земель (затопление), подъем грунтовых вод в прибрежной зоне (подтопление, заболачивание). В горных условиях такие явления выражены в меньшей степени	Давление водных масс на ложе водохранилищ → интенсификация сейсмических явлений
	Дополнительное испарение с чаши водохранилищ	Полное уничтожение сухопутных экосистем (сведение лесов или их гибель от подтопления, часто оставление всей биомассы в зоне затопления), смешение прибрежных экосистем. Незбежное переселение людей из зоны затопления, социальные издержки
		Смена текущих вод на застойные, неизбежное загрязнение водохранилищ быстросрастворимыми или взмучиваемыми веществами при заполнении чаши водохранилищ и формирования берегов

Технологический процесс	Влияние на элементы среды и биоту			Примеры ценных реакций
	воздух	почвы и грунты	водны	
Работа ГЭС	То же, что и при загопленнии, и дополнительно многолетнее разрушение береговой линии (абразия), формирование новых типов почв в прибрежной зоне	Повышение влажности, понижение температур, туманы, местные ветры, часто неприятный запах от гниения органических остатков	Загрязнение в результате стоков с водосборов и разложения больших масс органики почв, растительных остатков, древесины и т.п., образование фенолов, накопление биогенов и других веществ; усиленное прогревание, особенно мелководий (тепловое загрязнение), эвтрофикация, цветение, потеря кислорода, накопление тяжелых металлов, ила, радиоактивных и других веществ, порча воды	экоисстемы и человека Формирование новых экосистем (в основном луговых и болотных) в зоне подтопления, зарастание вод; цветение; нарушение миграций рыб, смена более ценных видов менее ценными; заболевания рыб (гельминты и другие паразиты), забивание жаберных щелей рыб водорослями, разрушение нерестилищ и зимовальных ям. Потеря вкусовых качеств рыб. Увеличение вероятности заболеваний людей при контакте с водными массами (купание и т.п.) и продуктами промысла

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Роль энергетики в экономике страны и региона. Технико-экономические и социально-экологические проблемы энергетики. Понятие энергетической безопасности страны и региона	
1.1. Структура энергетики	4
1.2. Состав и структура топливно-энергетического комплекса	5
1.3. Значение электроэнергетики в хозяйственном комплексе России.....	6
1.4. Энергетическая безопасность	7
2. Невозобновляемые и возобновляемые энергетические ресурсы и их использование	
2.1. Топливо-энергетические ресурсы.	10
2.2. Эколого-экономическая характеристика основных возобновляемых и альтернативных источников энергии	13
3. Термодинамика	
3.1. Основные положения технической термодинамики	20
3.2. Первый закон термодинамики	24
3.3. Второй закон термодинамики. Энтропия	26
3.4. Прямой цикл Карно	27
3.5. Процесс парообразования. Диаграмма водяного пара	29
3.6. Циклы паротурбинных установок. Цикл Ренкина	31
3.7. Энтальпия	35
4. Классификация и характеристика топлив. Организация процесса горения топлива. Топочные устройства	37
5. Теплопроводность и теплопередача. Теплофикация	
5.1. Элементарные способы передачи теплоты	41
5.2. Теплофикация	43
5.3. Основное теплофикационное оборудование. Виды, классификация, характеристики	50
5.4. Отопление и горячее водоснабжение	50
6. Паровые котлы	
6.1. Классификация котельных агрегатов	53
6.2. Основные элементы котлов	54
6.3. Ядерные энергетические установки	58
7. Турбины	60
8. Проблемы и потенциал развития традиционной энергетики	
8.1. Современные проблемы отрасли	65
8.2. Эксплуатация тепловых электрических станций	66
8.3. Эксплуатация гидравлических электрических станций	68
8.4. Эксплуатация атомных электрических станций	72

8.5. Участие электростанций в формировании суточного графика производства электроэнергии	74
9. Влияние объектов энергетики на окружающую среду	
9.1. Краткая экологическая характеристика объектов энергетики	75
9.2. Влияние тепловых электростанций на окружающую среду	80
9.3. Влияние гидроэлектростанций на окружающую среду	85
9.4. Влияние атомных электростанций на окружающую среду	87
9.5. Нетрадиционные источники электроэнергии	92
9.6. Основные пути решения экологических проблем современной энергетики	94
10. Энергосберегающие технологии в энергетике	98
Примерные темы рефератов по дисциплине	100
Вопросы промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины	102
Библиографический список	104
Приложения	105

Учебное издание

Трофимова Светлана Николаевна,
Шведова Елена Владимировна

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Учебное пособие

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 06.05.2016. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 6,51. Тираж 40 экз. Заказ 177/424.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.