

Министерство образования и науки Российской Федерации
Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И.Носова

Е.Б. Агапитов, Б.К. Сеничкин, Г.Н. Матвеева

**ВВЕДЕНИЕ В НАПРАВЛЕНИЕ
«ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА»**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебно-методического пособия*

Магнитогорск
2015

УДК 621.1 (075)
ББК 31.3я7
В 24

Рецензенты:

Заведующий кафедрой металлургических технологий Новотроицкого
филиала ФГОУ ВПО «Национальный исследовательский
технологический университет “МИСиС”»,
кандидат технических наук, доцент
Е.В. Братковский

Заместитель начальника ЦЭСТ ОАО «ММК», кандидат технических наук
В.Н. Михайловский

Доцент кафедры ЭиУН ФГБОУ ВПО «МГТУ»,
кандидат технических наук
Г.Н. Трубицина

Агапитов, Е.Б.

В 24 Введение в направление «Теплоэнергетика и теплотехника»: учеб.-метод. пособие / Е.Б.Агапитов, Б.К.Сеничкин, Г.Н.Матвеева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2015. – 63 с.

Представлены сведения о программе обучения бакалавра – теплоэнергетика, организации учебного процесса, дана характеристика профессиональной деятельности.

Рассмотрены перспективы развития энергетики, энергетические ресурсы и их использование, приведены сведения по топливу, тепловым и атомным электростанциям, котельным установкам, газотурбинным установкам, о производстве металлов и теплоэнергетике металлургического производства.

Пособие предназначено для освоения лекционного материала и подготовки к зачету по дисциплине «Введение в направление», а также при подготовке отчета по учебной практике для обучающихся направления подготовки 140100.62 «Теплоэнергетика и теплотехника» всех форм обучения.

УДК 621.1 (075)
ББК. 31.3я7

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова», 2015

© Агапитов Е.Б., Сеничкин Б.К.
Матвеева Г.Н., 2015

Предисловие

Целью освоения дисциплины «Введение в направление» является развитие у обучающихся личностных качеств, а также формирование общекультурных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВПО по направлению подготовки бакалавров 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника». Профиль подготовки «Промышленная теплоэнергетика» [1].

Задачами преподавания дисциплины «Введение в направление» является ознакомление обучающихся первого курса с:

- системой высшего образования в России;
- местом вуза в системе высшего образования;
- структурой МГТУ;
- учебно-воспитательным процессом в МГТУ.

В процессе обучения обучающиеся должны познакомиться:

- с основными нормативными документами, регламентирующими обучение в высшей школе;
- с основными понятиями, процессами и терминологией, используемыми при дальнейшем обучении на старших курсах.

Пособие предназначено:

- помочь обучающимся адаптироваться к условиям учебного процесса в высшей школе;
- научить основным приемам работы с учебной и технической литературой, самостоятельной работы над изучаемыми дисциплинами;
- научить обучающихся производить элементарные расчеты по топливу, тепловому балансу тепловых агрегатов, добиться усвоения основных понятий и терминологии, используемых в теплоэнергетике и теплотехнике.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- знать структуру МГТУ, основное содержание, объем и взаимосвязь дисциплин учебного плана, основные нормативные документы, регламентирующие обучение в высшей школе, представление об избранной специальности, о роли специалиста-теплоэнергетика в процессах современного производства, основные понятия, процессы и терминологию, используемые при дальнейшем обучении на старших курсах;
- уметь работать с каталогами, учебной и технической литературой, адаптироваться в условиях учебного процесса высшей школы;
- владеть основными приемами и навыками самостоятельной работы над изучаемыми дисциплинами, с литературой и библиотечными каталогами.

Для успешного усвоения курса «Введение в направление» обучающиеся должны владеть знаниями по математике, физике, химии в объеме среднего (полного) общего образования.

Содержание дисциплины является ознакомительным предметом перед изучением курсов: «Гидрогазодинамика», «Техническая термодинамика», «Тепломасообмен», «Топливо и топливосжигающие устройства», «Котельные установки и парогенераторы», «Конструкции и тепловая работа промышленных печей», «Учебная практика».

Введение

Энергетика – это область народного хозяйства, включающая энергетические ресурсы, выработку, передачу и использование различных видов энергии. Человечество постоянно ищет новые источники энергии и совершенствует уже известные. Поэтому специалисты по теплоэнергетике и теплотехнике всегда в цене.

Теплоэнергетик – одна из самых надежных в жизни профессий.

В процессе обучения обучающиеся изучают работу газовых и топливных хозяйств, теплоэнергетические схемы различных производственных объектов, тепловых электростанций, котельных и тепловых сетей, энергетических и малых котлов, осваивают методики расчета и выбора теплоэнергетического оборудования, разрабатывают схемы химической и термической водоподготовки, получают знания о рабочих режимах энергетических объектов и размещении оборудования. Полученные знания в будущем позволят проектировать, эксплуатировать и исследовать генерирующие источники для производства теплоты, холода, сжатого воздуха и системы их распределения.

Теплоэнергетики трудоустраиваются на ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС, АЭС, подразделениях энергонадзора и энергосбыта, районных и промышленных котельных, в жилищно-коммунальном хозяйстве, проектных организациях, отвечают за экологическую безопасность на производстве.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММЕ ОБУЧЕНИЯ БАКАЛАВРА-ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

1.1. Общие положения

Обучение проводится на основе образовательной программы, разработанной в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) подготовки бакалавра по направлению 140100.62 «Теплоэнергетика и теплотехника», утвержденным приказом Министра образования и науки Российской Федерации от 18 ноября 2009 года № 635 [1].

В разработанной вузом основной образовательной программе (ООП) *первого уровня* высшего профессионального образования (*бакалавр*) по направлению подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» определены:

- набор профилей (специализаций) подготовки;
- компетентностно-квалификационная характеристика выпускника (иначе говоря, набором каких знаний и умений должен обладать выпускник);

- содержание и организация образовательного процесса;
- ресурсы, обеспечивающие реализацию ООП;
- порядок итоговой государственной аттестации выпускников.

По нормативным срокам на освоение программы отводятся **4** года.

В итоге обучения выпускник–обучающийся получает квалификацию *бакалавр*.

1.2. Профили подготовки

Подготовка бакалавра по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», согласно ФГОС ВПО может осуществляться по следующим так называемым *профилям* (специализациям):

Тепловые электрические станции.

Технология воды и топлива на тепловых и атомных электрических станциях.

Промышленная теплоэнергетика.

Энергетика теплотехнологий.

Энергообеспечение предприятий.

Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям).

Автономные энергетические системы.

Экономика и управление на предприятии теплоэнергетики.

В силу исторических причин и особенностей традиционной ориентации МГТУ на металлургическое направление, на кафедре теплотехни-

ческих и энергетических систем ведется подготовка бакалавров по профилю «Промышленная теплоэнергетика».

1.3. Характеристика профессиональной деятельности бакалавров по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника»

В *стандарт* профессиональной деятельности бакалавра входит умение:

- проводить исследование, проектирование, конструирование, эксплуатацию, монтаж, ремонт и модернизацию *технических средств по производству теплоты и её применению*;
- управлять потоками и преобразованием иных видов энергии в теплоту;
- автоматизировать процессы производства и распределения теплоты.

Объектами профессиональной деятельности бакалавров по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» (*профиль «Промышленная теплоэнергетика»*), на которых они реализуют свои умения, являются:

- системы энергообеспечения предприятий и объектов ЖКХ, объекты малой энергетики, установки, системы и комплексы низкотемпературной и высокотемпературной теплотехнологии, установки по производству сжатых и сжиженных газов, тепло- и массообменные аппараты различного назначения, установки систем кондиционирования воздуха, тепловые насосы, компрессорные, холодильные установки, теплотехнологическое и электрическое оборудование, тепловые и электрические сети промышленных предприятий;

- паровые и водогрейные котлы различного назначения, вспомогательное теплотехническое оборудование;

- тепло- и массообменные аппараты различного назначения, установки систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, тепловые насосы, компрессорные, холодильные и воздухоразделительные установки;

- тепловые сети предприятий, теплотехнологическое оборудование промышленных предприятий, газы и жидкости как теплоносители и рабочие тела теплотехнологических установок;

- нормативно-техническая документация и системы стандартизации.

Как видно, направление подготовки бакалавров охватывает широчайший круг вопросов, при этом профессиональная деятельность внутри каждого профиля делится на следующие разделы:

- расчетно-проектный и проектно-конструкторский;
- научно-исследовательский;
- производственно-технологический;
- монтажно-наладочный;

- сервисно-эксплуатационный;
- организационно-управленческий.

В ФБГОУ ВПО «МГТУ» предусматривается подготовка по всем видам профессиональной деятельности.

Бакалавр по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», обучающийся в МГТУ, должен научиться решать следующие профессиональные задачи в соответствии с предусмотренными видами профессиональной деятельности и профилем бакалаврской программы «Промышленная теплоэнергетика»:

а) расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:

- сбор и анализ информационных исходных данных для проектирования;
- расчет и проектирование деталей и узлов в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования;
- разработка проектной и рабочей технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ;
- контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;
- проведение предварительного технико-экономического обоснования проектных решений;

б) производственно-технологическая деятельность:

- организация рабочих мест, их техническое оснащение, размещение технологического оборудования установок и систем энергоснабжения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;
- контроль соблюдения технологической дисциплины при обеспечении промышленных объектов топливом, теплотой, электроэнергией, технологическими энергоносителями;
- контроль соблюдения норм расхода топлива и всех видов энергии оборудованием, цехами, промышленными предприятиями, промышленными и общественными зданиями и другими объектами ЖКХ;
- организация метрологического обеспечения технологических процессов при потреблении топлива, теплоты, электроэнергии, технологических энергоносителей, использование типовых методов контроля качества выпускаемой продукции;
- участие в работах по доводке и освоению технологических процессов при их обеспечении энергоресурсами и технологическими энергоносителями в ходе подготовки производства новой продукции;
- подготовка документации по менеджменту качества технологических процессов при их обеспечении энергоресурсами и технологическими энергоносителями на производственных участках;

- контроль соблюдения экологической безопасности при использовании топлива, тепловой и электроэнергии и технологических энергоносителей на производстве;

в) научно-исследовательская деятельность:

- изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;
- проведение экспериментов по заданной методике и анализ результатов;
- проведение измерений и наблюдений, составление описания проводимых исследований, подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций;
- составление отчета по выполненному заданию, участие во внедрении результатов исследований и разработок;

г) организационно-управленческая деятельность:

- выполнение работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
- организация работы малых коллективов исполнителей;
- планирование работы персонала и фондов оплаты труда;
- разработка оперативных планов работы первичных производственных подразделений;

д) монтажно-наладочная деятельность:

- участие в наладке, настройке, регулировке и опытной проверке энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования систем энергообеспечения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;
- участие в монтаже, наладке, испытаниях и приемке/сдаче в эксплуатацию энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования систем энергообеспечения предприятия в целом, а также изделий, узлов, систем и деталей в отдельности;

е) сервисно-эксплуатационная деятельность:

- обслуживание технологического оборудования систем энергообеспечения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;
- проверка технического состояния и остаточного ресурса оборудования систем энергообеспечения промышленных предприятий и объектов ЖКХ, организация профилактических осмотров и текущего ремонта;
- составление заявок на оборудование и запасные части, подготовка технической документации на ремонт оборудования систем энергообеспечения промышленных предприятий и объектов ЖКХ;
- обеспечение подготовки котлов, сосудов, работающих под давлением, трубопроводов пара и горячей воды, электроустановок и других объектов энергохозяйства для приемки в эксплуатацию, проверки и освидетельствования органами государственного надзора.

1.4. Требования к результатам освоения основной образовательной программы бакалавриата

Способности, которыми должен обладать бакалавр к концу обучения, по современной терминологии называются *компетенциями*. Они особым образом «зашифрованы» в учебном плане, по которому обучается бакалавр. Степень овладения компетенциями проверяется в ходе обучения различными контрольными мероприятиями. Бакалавр, обучающийся по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», должен обладать следующими компетенциями:

а) общекультурными компетенциями (ОК) (обязательными для всех профилей):

- способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (**ОК-1**);

- способностью к письменному и устному общению (коммуникации) на государственном языке: умением логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь, готовностью к использованию одного из иностранных языков (**ОК-2**);

- готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе (**ОК-3**);

- способностью находить организационно-управленческие решения в нестандартных условиях, при наличии различных мнений, и готовность нести за них ответственность (**ОК-4**);

- способностью и готовностью понимать и анализировать политические события и тенденции, ответственно участвовать в политической жизни (**ОК-5**);

- способностью в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, готовностью приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения (**ОК-6**);

- готовностью к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции (**ОК-7**);

- способностью и готовностью осуществлять свою деятельность в различных сферах общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм (**ОК-8**);

- способностью и готовностью к соблюдению прав и обязанностей гражданина, к свободному и ответственному поведению (**ОК-9**);

- способностью научно анализировать социально значимые проблемы и процессы, готовностью использовать на практике методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности (**ОК-10**);

- способностью и готовностью применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией (**ОК-11**);

– способностью и готовностью к практическому анализу логики различного рода рассуждений, к публичным выступлениям, аргументации, ведению дискуссии и полемики (**ОК-12**);

– способностью и готовностью понимать роль искусства, стремиться к эстетическому развитию и самосовершенствованию, уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям, терпимо (толерантно) воспринимать социальные и культурные различия, понимать многообразие культур и цивилизаций и их взаимодействие (**ОК-13**);

– способностью и готовностью понимать и анализировать экономические проблемы и общественные процессы, быть активным субъектом экономической деятельности (**ОК-14**);

– способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (**ОК-15**);

– способностью самостоятельно, методически правильно использовать методы физического воспитания и укрепления здоровья, готовностью к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности (**ОК-16**);

б) профессиональными компетенциями (ПК):

– *обще*профессиональными:

– способностью и готовностью использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики в своей предметной области (**ПК-1**);

– способностью демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (**ПК-2**);

– готовностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способностью привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (**ПК-3**);

– способностью и готовностью использовать нормативные правовые документы в своей профессиональной деятельности (**ПК-4**);

– владением основными методами защиты производственного персонала и населения от последствий возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий (**ПК-5**);

– способностью и готовностью анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования (ПК-6);

– способностью формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой) (ПК-7);

для расчетно-проектной и проектно-конструкторской деятельности:

– готовностью участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования элементов оборудования и объектов деятельности в целом с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации (ПК-8);

– способностью проводить расчеты по типовым методикам и проектировать отдельные детали и узлы с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием (ПК-9);

– готовностью участвовать в разработке проектной и рабочей технической документации, оформлении законченных проектно-конструкторских работ в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами (ПК-10);

– способностью к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных разработок по стандартным методикам (ПК-11);

для производственно-технологической деятельности:

– способностью к организации рабочих мест, их технического оснащения, размещению технологического оборудования в соответствии с технологией производства, нормами техники безопасности и производственной санитарии, пожарной безопасности и охраны труда (ПК-12);

– готовностью к контролю соблюдения технологической дисциплины на производственных участках (ПК-13);

– готовностью к планированию и участию в проведении плановых испытаний технологического оборудования (ПК-14);

– готовностью к контролю организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля работы технологического оборудования и качества выпускаемой продукции (ПК-15);

– готовностью к составлению документации по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках (ПК-16);

– готовностью к контролю соблюдения экологической безопасности на производстве, к участию в разработке и осуществлении экозащитных мероприятий и мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на производстве (ПК-17);

для научно-исследовательской деятельности:

- способностью к проведению экспериментов по заданной методике и анализу результатов с привлечением соответствующего математического аппарата (ПК-18);

- готовностью к проведению измерений и наблюдений, составлению описания проводимых исследований, подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций (ПК-19);

для организационно-управленческой деятельности:

- готовностью к участию в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов (ПК-20);

- способностью к управлению малыми коллективами исполнителей (ПК-21);

- способностью к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда (ПК-22);

- готовностью к самообучению и организации обучения и тренинга производственного персонала (ПК-23);

- способностью анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений (ПК-24);

для монтажно-наладочной деятельности:

- владением методиками испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования в соответствии с профилем работы (ПК-25);

- готовностью к планированию и участию в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов (ПК-26);

для сервисно-эксплуатационной деятельности:

- готовностью к организации работы персонала по обслуживанию технологического оборудования (ПК-27);

- готовностью к контролю технического состояния и оценке остаточного ресурса оборудования, организации профилактических осмотров и текущего ремонта (ПК-28);

- готовностью к составлению заявок на оборудование, запасные части, подготовке технической документации на ремонт (ПК-29);

- готовностью к приемке и освоению вводимого оборудования (ПК-30).

2. ФОРМЫ И СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

В процессе обучения используются следующие *формы и средства* организации и проведения образовательного процесса:

а) формы, направленные на теоретическую подготовку:

- лекция;
- семинар;
- самостоятельная аудиторная работа;
- самостоятельная внеаудиторная работа;
- консультация;
- б) формы, направленные на практическую подготовку:
 - практическое занятие;
 - лабораторная работа;
 - учебная практика;
 - производственная практика;
 - курсовая работа;
 - курсовой проект;
 - научно-исследовательская работа;
 - выпускная квалификационная работа.

Лекция. Является одной из основных форм обучения и может быть различных типов: *вводная*, *мотивационная* (возбуждающая интерес к осваиваемой дисциплине), *подготовительная* (готовящая студентов к более сложному материалу), *интегрирующая* (дающая общий теоретический анализ предшествующего материала), *установочная* (направляющая студентов к источникам информации для дальнейшей самостоятельной работы).

Содержание и структура лекционного материала направлены на формирование у студентов соответствующих компетенций и обычно согласуются с выбранным преподавателем методом контроля и оценкой усвоения прослушанного материала.

Лекции проводятся в аудиториях и являются наиболее ответственной формой аудиторных занятий обучающегося. Именно на лекциях обучающийся получает в концентрированном виде основную и наиболее важную часть знаний. В этой связи очень важно умение обучающегося слушать и одновременно конспектировать лекцию. Слушать лекцию – это, прежде всего, внимательно следить за ходом рассуждений лектора, за его логикой. Только в этом случае достигается понимание мыслей и идей лекции.

Записывать, конспектировать лекцию также надо учиться. Не следует делать записи в разных тетрадях и тем более на клочках бумаги. Не пригодны для записи лекций маленькие блокноты и записные книжки. Их использование обычно сопровождается записью мелким неразборчивым почерком. Для записей лекций по каждому курсу нужно иметь отдельную тетрадь с полями для пометок. Записывать лекцию следует отработанным почерком, широко используя условные обозначения и сокращения. Для последних целесообразно иметь ключ-расшифровку. Важно научиться выделять из лекции главное и его в первую очередь стремиться закон-

спектировать. Не рекомендуется списывать все, что пишет или рисует лектор на доске или показывает на слайдах. Следует фиксировать в первую очередь то, что требуется для понимания излагаемого вопроса.

Так как лекция – процесс двусторонний, не следует стесняться спрашивать лектора, если что-то оказалось непонятым (лучше в форме записок), просить читать медленнее или быстрее. Перед каждой очередной лекцией необходимо просматривать содержание предыдущей. При слушании сложных теоретических курсов необходима специальная проработка каждой лекции, в противном случае последующие лекции без глубокого знания предыдущих могут быть непонятыми обучающимся.

Если на просмотр двухчасовой лекции достаточно 20–30 мин, то работа над сложной лекцией требует 1–2 ч с привлечением рекомендованной лектором литературы. Современные лекции, как правило, сопровождаются показом различных наглядных пособий, демонстрацией экспериментов. Эти материалы также следует фиксировать в конспекте лекций в соответствии с их важностью.

Семинар. Это форма обучения *с организацией обсуждения* теоретического материала, изложенного на лекциях. Обычно семинарские занятия используются преподавателями при освоении гуманитарных, социальных и экономических, математических и естественнонаучных дисциплин, а также дисциплин профессионального цикла.

Семинары являются дополнением к лекциям. Их назначение – на конкретных примерах, расчетах разъяснить те общие или наиболее сложные положения, которые давались на лекциях. Учитывая важную роль этих занятий, к ним также следует готовиться, заранее прорабатывая и восстанавливая в памяти нужный лекционный материал.

Самостоятельная аудиторная и внеаудиторная работа при освоении учебного материала выполняется обучающимся в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах и лабораториях, компьютерных классах, а также в домашних условиях. При осуществлении самостоятельной работы обучающегося возможен контролируемый доступ к лабораторному оборудованию, приборам, базам данных, к ресурсам Интернета. При этом обучающиеся могут получать профессиональные консультации или помощь со стороны преподавателей.

Самостоятельная работа обучающихся подкрепляется ресурсами ВУЗа: учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебным программным обеспечением.

Практическое занятие. Эта форма обучения направлена на практическое освоение и закрепление теоретического материала, изложенного на лекциях. Практические занятия могут проводиться в различных формах: решение задач, изучение схем технологических процессов, дискус-

сии и др. и используются при освоении базовых и профильных дисциплин профессионального цикла.

Лабораторная работа должна помочь практическому освоению научно-теоретических основ изучаемых дисциплин, приобретению навыков экспериментальной работы. Лабораторные занятия предназначены, прежде всего, для закрепления лекционного материала. Лабораторные работы выполняются в специализированных лабораториях при освоении основных теоретических дисциплин всех учебных циклов.

Учебная практика. Форма обучения, которая направлена на знакомство обучающихся с организацией работ на предприятиях отрасли (в виде ознакомительных экскурсий), на подготовку студентов к осознанному и углубленному изучению профессиональных дисциплин.

Производственная практика организуется на промышленных предприятиях и призвана закрепить знания материала теоретических профильных дисциплин, ознакомить обучающихся с производственными процессами и действующим оборудованием, а также привить навыки профессиональной деятельности.

Курсовая работа. Является одной из форм практической самостоятельной работы обучающегося, обычно выполняется при освоении дисциплин базовой и вариативной частей профессионального цикла ООП бакалавров. Курсовая работы представляется в виде пояснительной записки, форма которой определяется СМК (стандартом менеджмента качества) ВУЗа. Защита курсовой работы осуществляется в *назначенный срок* перед преподавателем, ведущим курсовое проектирование, либо перед комиссией, состав которой утверждается заведующим кафедрой. Оценивается работа по пятибалльной шкале.

Курсовой проект. Это форма практической самостоятельной работы обучающегося, которая используется при освоении дисциплин базовой и вариативной частей профессионального цикла ООП бакалавров. Проект представляется в виде пояснительной записки, выполненной согласно СМК вуза, и графических листов. Выполнение курсового проекта позволяет закрепить навыки конструирования узлов, механизмов, агрегатов объектов профессиональной деятельности, приобрести опыт проектирования при решении конкретных технических и производственных задач, а также совершенствовать навыки графического оформления результатов проектирования. Защита курсового проекта также осуществляется в *назначенный срок* перед преподавателем, ведущим курсовое проектирование, либо перед комиссией, состав которой утверждается заведующим кафедрой. Оценивается работа по пятибалльной шкале.

Научно-исследовательская работа. Осуществляется под руководством научного руководителя, является формой практической самостоятельной работы обучающегося и позволяет ему участвовать в экспериментах, составлять описания проводимых исследований, анализ и

обобщение результатов, изучить научно-техническую информацию по заданной теме, выступать с сообщениями и докладами на семинарах и конференциях различного уровня, публиковать результаты исследований.

Её роль состоит в приобщении будущего бакалавра к научной деятельности, в ознакомлении его с новыми научными проблемами, путями и методами их решения, техникой эксперимента.

Выпускная квалификационная работа (ВКР) бакалавра защищается перед государственной комиссией и является учебно-квалификационным итогом всей образовательной деятельности обучающегося. Работа должна быть законченной разработкой, свидетельствующей об уровне *профессиональных компетенций* автора. Требования к содержанию, объему и структуре ВКР бакалавра определяются вузом на основании действующего Положения об итоговой государственной аттестации выпускников вузов.

Выпускная работа представляется в форме рукописи с соответствующим иллюстрационным материалом и библиографией. Работа должна содержать самостоятельную исследовательскую часть, выполненную обучающимся. ВКР выполняется под руководством преподавателя, опытного специалиста, научного сотрудника вуза.

Высшее учебное заведение располагает достаточной материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов лекционных, семинарских, практических и лабораторных занятий, а также выпускной квалификационной работы и учебно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом. Материально-техническая база соответствует действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

2.1. Текущий контроль успеваемости, промежуточная и итоговая государственная аттестация

Качество обучения оценивается по текущему контролю успеваемости, промежуточной аттестации, итоговой аттестации.

При проведении всех видов учебных занятий используются различные формы текущего и промежуточного контроля качества усвоения учебного материала: *контрольные работы и типовые задания, индивидуальное собеседование, коллоквиум, зачет, экзамен, защита курсовой работы или проекта*. Конкретные формы и процедуры текущего и промежуточного контроля знаний по каждой дисциплине доводятся до сведения обучающихся в течение первого месяца обучения.

Для контроля текущей успеваемости обучающегося используются, наряду с традиционными формами (контрольные работы, семинары, коллоквиумы), способы опроса с привлечением технических средств.

Для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений поэтапным требованиям соответствующей ООП создаются фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы контроля, позволяющие оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций.

Промежуточная аттестация проходит в форме экзаменов, зачетов, проводимых после выполнения всех планируемых в семестре видов занятий, и включает в течение года не более 10 экзаменов, 12 зачетов.

Цель экзамена – выявить уровень знаний обучающегося по конкретному предмету, определить его способности к творческому мышлению.

Подготовка обучающегося к экзамену ни в коей мере не должна быть механическим заучиванием лекционного материала. Обучающийся должен уметь творчески осмыслить материал, найти правильное соответствие между пониманием и запоминанием наиболее важного из того, что было дано в лекциях. Только при систематической работе над лекциями в течение семестра обучающийся гарантирует себе удачу на экзамене и может рассчитывать на хорошую оценку своих знаний.

На экзаменах ставятся оценки: отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно.

Зачет по курсу, в отличие от экзамена, не предусматривает обязательного изучения обучающимся дополнительного материала, рекомендованного лектором. На зачете, обычно проводимом без оценки, обучающийся проверяется на знание материала только в пределах прочитанных лекций, но это не означает снижение требований к обучающемуся по сравнению с требованиями на экзамене.

Обучающиеся, участвующие в программах двустороннего обмена, могут перезачесть дисциплины, которые они изучали в другом вузе.

Обучающиеся, неаттестованные по дисциплинам учебного плана текущего года, на следующий учебный курс не переводятся.

Итоговая аттестация проводится после освоения программы обучения в полном объеме. Выпускник считается завершившим обучение в вузе на основании *приказа ректора* об отчислении.

2.2. Организация учебного процесса

Учебный год в вузе для обучающихся очной формы обучения состоит из двух семестров, каждый из которых заканчивается предусмотренной учебным планом формой контроля результатов учебы. Для обучающихся очной формы обучения в учебном году устанавливаются каникулы продолжительностью *не менее 7 недель*, из которых не менее 2 недель зимой.

Академический час равен 45 мин, одно занятие равно 2 академическим часам. Перерыв между занятиями не менее 10 мин.

Вся учебная работа обучающегося в вузе строится в соответствии с учебным планом направления (*профиля*), содержащим перечень дисциплин, подлежащих изучению, с указанием их объема, последовательности проработки, сроков освоения и форм контроля. Содержание изучаемых дисциплин отражено в рабочих программах.

В учебных планах и рабочих программах количество часов, отводимых для изучения дисциплин, подразделяют на две части: обязательные занятия, предусмотренные учебным планом, и самостоятельная внеаудиторная работа, учитываемая графиком самостоятельной работы обучающегося. Общий объем рабочего времени, затрачиваемого обучающимся на учебу, составляет до 54 ч в неделю, при этом на аудиторные занятия отводится до 30 ч, остальное – на самостоятельную работу.

Учебный план включает в себя дисциплины, которые можно разделить на следующие учебные циклы:

- гуманитарный, социальный и экономический циклы;
- математический и естественнонаучный циклы;
- профессиональный цикл;

и разделы:

- физическая культура;
- учебная и производственная практики;
- итоговая государственная аттестация.

Учебный план подготовки бакалавров по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», составленный по циклам дисциплин, включает **базовую и вариативную части** (в соответствии с профилем подготовки), перечень дисциплин, их трудоемкость и последовательность изучения.

Вариативная часть устанавливается вузом и дает возможность расширения и углубления знаний, умений и навыков, определяемых содержанием базовых (обязательных) дисциплин, позволяет обучающемуся получить углубленные знания и навыки для успешной профессиональной деятельности или для продолжения профессионального образования в магистратуре.

Задачей дисциплин *гуманитарного, социального и экономического* циклов является формирование мировоззрения молодого специалиста. В этом цикле учебный план предусматривает изучение таких предметов, как: история, философия, иностранный язык, экономическая теория, право, а также ряд дисциплин вариативной части и по выбору обучающегося.

Математический и естественнонаучный циклы включают базовые дисциплины: «Математика», «Физика», «Химия», «Информационные технологии», «Экология» и вариативные: «Теория вероятностей и мате-

матическая статистика», «Теоретическая механика»; дисциплины по выбору: «История теплоэнергетики», «Защита интеллектуальной собственности и патентоведение», «Основы инженерного проектирования», «Энергетические системы обеспечения жизнедеятельности».

Базовыми дисциплинами профессионального цикла являются: «Безопасность жизнедеятельности», «Начертательная геометрия», «Инженерная и компьютерная графика», «Механика», «Электротехника и электроника», «Метрология, сертификация, технические измерения и автоматизация тепловых процессов», «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», которые обеспечивают широкий кругозор молодого специалиста и знания в смежных областях, а также дисциплины «Гидрогазодинамика», «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», закладывающие основы теплотехнических знаний.

К *вариативной части профессионального цикла* относятся дисциплины: «Топливо и топливосжигающие устройства», «Основы трансформации теплоты», «Источники и системы теплоснабжения», «Котельные установки и парогенераторы», «Тепломассообменное оборудование предприятий», «Нагнетатели и тепловые двигатели», «Физико-химические основы водоподготовки», «Технологические энергоносители предприятий».

Эти дисциплины определяют профиль бакалавра как специалиста в области промышленной теплоэнергетики.

К *дисциплинам по выбору* профессионального цикла относятся: «Введение в направление», «Моделирование процессов гидрогазодинамики и тепломассопереноса», «Электроснабжение и оборудование промышленных предприятий», «Конструкции и тепловая работа промышленных печей», «Энергетика и охрана окружающей среды», «Тепловые электрические станции», «Экономика, организация и финансы предприятий», «Вторичные энергоресурсы промышленных предприятий» и другие спецкурсы.

При организации учебного процесса в вузе делается упор на развитие и повышение роли самостоятельной работы обучающегося.

Важным элементом внеаудиторной учебной работы является выполнение обучающимся курсовых проектов и курсовых работ. По направлению подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» обучающийся выполняет 3 курсовых проекта, 5 курсовых работ, расчетно-графические работы, предусмотренные рабочими программами дисциплин.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и чертежей, включающих схему того или иного технологического процесса и конструкции аппаратов с элементами творчества самого студента.

Учебный план предусматривает и такие виды работы обучающегося, как: учебная практика, производственная практика, научно-исследовательская работа, подготовка выпускной квалификационной работы.

Особой формой обучения в вузе является практика. На первом и втором курсах проводится учебная практика общей продолжительностью 4 недели, предназначенная для первого знакомства обучающегося с объектами будущей работы, с производством.

Практика на третьем курсе по своему характеру является производственной с ориентацией на изучение особенностей эксплуатации, монтажа оборудования.

Обучающиеся направления подготовки 140100 проходят практику на передовых энергетических и металлургических предприятиях: тепловых или атомных электростанциях, энергослужбах промышленных предприятий, в проектных институтах и НИИ, в монтажных и наладочных организациях. Как правило, в ходе практики обучающийся находится в должности практиканта, иногда на рабочем месте в штате сотрудников данного предприятия, что позволяет ему лучше познакомиться со своей будущей производственной деятельностью.

В заключительной и наиболее ответственной стадии обучения в вузе обучающийся выполняет выпускную квалификационную работу. Эта работа обучающегося носит, в основном, самостоятельный характер и выполняется под руководством преподавателей кафедры теплотехнических и энергетических систем и консультантов по отдельным частям работы.

На этой стадии обучающийся должен показать, в какой мере он подготовлен к самостоятельной работе, продемонстрировать глубину своих теоретических познаний, умение выполнять сложные расчеты, вести проектирование, проводить эксперименты и обрабатывать полученные результаты, делать обобщения и выводы.

Выпускная работа обучающихся направления 140100 состоит из следующих основных частей: общей теплоэнергетической части, специальной части и должна быть представлена в виде пояснительной записки на 80–90 с. и графической части в количестве 6–7 листов.

Общая часть работы содержит проработку и анализ теплоэнергетической схемы предприятия (например, производственно-отопительной котельной), расчет основного оборудования с выполнением соответствующих чертежей. Эта часть составляет до 35% общего объема работы.

Специальная часть должна содержать проработки технологических решений, направленных на совершенствование энергохозяйства предприятия, повышение его энергоэффективности. Эта часть работы может носить экспериментальный характер и представлять исследования в области энергосбережения, подготовки воды и топлива, применения новых

источников энергии. Специальная часть обычно составляет до 50% всего объема работы.

Каждая выпускная работа должна содержать проработку вопросов охраны окружающей среды при проведении тех или иных технологических мероприятий на предприятии. К этим вопросам обычно относят защиту воздушного бассейна от вредных выбросов, мероприятия по очистке стоков и др.

Успешная защита выпускной работы перед Государственной экзаменационной комиссией завершается присвоением обучающемуся квалификации *бакалавр-теплоэнергетик* по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника».

2.3. Права и обязанности обучающегося вуза

Обучающиеся имеют следующие права и обязанности:

- имеют право в пределах объема учебного времени, отведенного на освоение дисциплин по выбору, предусмотренных ООП, выбирать конкретные дисциплины;
- имеют право при формировании своей индивидуальной образовательной программы получить консультацию в вузе по выбору дисциплин и их влиянию на будущий профиль подготовки;
- имеют право при переводе из другого высшего учебного заведения, при наличии соответствующих документов, на перезачет освоенных ранее дисциплин на основании аттестации;
- обязаны выполнять в установленные сроки все задания, предусмотренные ООП вуза.

3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

3.1. Значение энергии в жизни людей

Энергетическими ресурсами или, сокращенно, энергоресурсами называют такие материальные объекты, из которых технически возможно и экономически целесообразно получать энергию для удовлетворения нужд человека.

На заре развития человечества единственным источником энергии была мускульная сила людей. Но с тех пор, как человек научился обращаться с огнем, он стал использовать природные источники энергии. Сегодня жизнь человеческого общества немыслима без этих источников, позволяющих удовлетворять самые разнообразные потребности - от приготовления пищи и обогрева жилищ до духовных запросов (кино, радио; телевидение и т.п.).

Основная же часть энергии, получаемой из природных источников, используется в настоящее время в производственных процессах и на транспорте.

3.2. Виды энергоресурсов и единицы их измерения

Энергоресурсы, которые иногда называют первичными источниками энергии, естественным образом подразделяются на невозобновляемые и возобновляемые.

Невозобновляемые энергоресурсы человечество может использовать лишь однократно, так как их запасы практически не пополняются. К таким энергоресурсам относятся ископаемые органические топлива (горючие ископаемые): торф, бурый и каменный угли, антрациты, горючие сланцы, нефть, природный горючий газ. Невозобновляемыми являются также различные виды ядерного горючего и тепловая энергия недр Земли (геотермальная).

Возобновляемые источники энергии постоянно пополняются - или непрерывно, или циклически. Непрерывно поступает энергия излучения Солнца. Часть этой энергии на Земле превращается в химическую энергию биомассы живых организмов, в кинетическую энергию движения воздушных масс в атмосфере (ветровую), энергию рек и некоторые иные формы. Возобновляемой является также энергия морских приливов, обусловленная взаимодействием Земли и Луны.

Значительную часть энергии, получаемой от первичных источников, для удобства ее распределения и использования преобразуют в энергию промежуточных энергоносителей - электричества, пара, горячей воды, искусственного топлива и т.п. Такие энергоносители иногда называют вторичными источниками энергии.

При оценке объема энергоресурсов и масштабов их потребления используют различные единицы измерения. Принятая в нашей стране международная система единиц измерения СИ выражает количество энергии в джоулях (Дж).

Работа есть произведение силы на путь её действия. Единице работы присвоено наименование – джоуль:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ кг} \cdot (\text{м}/\text{с}^2) \cdot \text{м}.$$

Так как работа есть форма передачи энергии от одного тела к другому, то энергия измеряется в тех же единицах, что и работа, т.е. в Дж.

Мощность есть работа в единицу времени. Измеряется в ваттах, $1 \text{ Вт} = \text{Дж}/\text{с}$.

Количество энергии, расходуемое или используемое за определенное время, характеризует мощность источника или потребителя энергии. Основной единицей мощности в системе СИ является ватт ($1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж}/\text{с}$).

На практике часто используют киловатт-часы (кВт·ч) и тонны условного топлива (т у т).

Найдем соотношение между указанными единицами.

Так как $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}$, то

$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \times 3600 \text{ Дж} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Для теплоэнергетиков важной характеристикой топлива является *теплота сгорания*, под которой понимается количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 кг топлива (Дж/кг).

Условным принято считать такое топливо, при сгорании 1 кг которого можно получить 7000 ккал (около 29309 кДж) энергии. Таким образом, 1 т у т соответствует $29,3 \cdot 10^9 \text{ Дж} = 8,14 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Часто используются единицы энергии, кратные указанным, но больше их в известное число раз. В этом случае к обозначению единицы добавляют приставки:

кило (к) – в 10^3 раз; мега (М) – в 10^6 раз;

гига (Г) – в 10^9 раз; тера (Т) – в 10^{12} раз.

Например, $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$;

$1 \text{ МДж} = 10^6 \text{ Дж}$ и т.д.

ГОСТ (государственный стандарт) разрешает применение относительных единиц:

процент % сотая часть чего-либо;

миллионная доля (ppm) – 0,000001.

Для теплоэнергетиков важна оставшаяся от старого ГОСТ единица – килокалория. Расчеты потребности в теплоте на отопление и горячее водоснабжение ведут в кило – или гигакалориях.

Килокалория – это количество теплоты, которое надо затратить, чтобы нагреть 1 кг дистиллированной воды на 1 град (с $19,5$ до $20,5^\circ\text{C}$).

$1 \text{ Гкал} = 106 \text{ ккал} = 109 \text{ кал}$;

$1 \text{ ккал} = 4,187 \text{ кДж}$;

$1 \text{ ккал/ч} = 1,162 \text{ Вт}$;

$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 860 \text{ ккал}$.

3.3. Органическое топливо

Из всех энергетических потребностей человека основная часть (95–98%) в настоящее время удовлетворяется за счет органического топлива, добываемого из земных недр.

Химическая энергия, запасенная в таком топливе – это конечный итог сложных и длительных преобразований солнечной энергии, ассимилированной растениями, произраставшими в доисторическую эпоху (0,5–500 млн лет назад). Многообразие видов ископаемых топлив – от торфа до горючего газа обусловлено неодинаковым химическим составом

исходных органических остатков, а главное – чрезвычайным разнообразием условий, которые складывались в тех зонах земной коры, где происходили преобразования этих остатков.

На всем протяжении своего развития человечество использовало органическое топливо в качестве основного источника энергии. Это обусловлено простотой осуществления процесса преобразования химической энергии топлива в тепловую. Такое преобразование производится в разнообразных устройствах (очагах, печах, топках, камерах сгорания), предназначенных для непосредственного использования выделяющейся тепловой энергии либо для превращения ее в другие формы.

Различные виды ископаемого топлива встречаются во многих местах на земном шаре в виде достаточно концентрированных залежей (месторождений). В большинстве случаев топливо, извлеченное из месторождения, нуждается перед использованием лишь в относительно несложной подготовке (переработке).

Процесс сжигания топлива позволяет довольно просто варьировать мощность источников теплоты в широких пределах - от долей ватта до тысяч мегаватт. Температурный уровень процессов горения также сравнительно легко поддается регулированию и обеспечивает возможность проведения самых разнообразных технологических процессов. Благодаря таким достоинствам органическое топливо еще долго будет оставаться на первом месте среди источников энергии.

Ископаемые органические топлива весьма разнообразны по своим свойствам. Однако общей их чертой является относительно низкая концентрация энергии (по сравнению с ядерным горючим).

Количество энергии, которое выделяет при горении 1 кг топлива (или 1 м³ газа), называется **удельной теплотой сгорания**. Значения этого показателя для основных видов органического топлива лежат в следующих пределах.

Топливо	Теплота сгорания, МДж/кг
Торф	21-24
Горючие сланцы	27-33
Бурый уголь	27-31
Каменный уголь	25-35
Антрацит	25-29
Нефть	36-40
Горючие газы	34–60 (МДж/м ³)

Невысокая концентрация энергии в органическом топливе, особенно в твердом, при современных масштабах энергопотребления приводит к тому, что масса и объем ежегодно извлекаемого из земли топлива достигают громадных значений (рис.3.1).

Ежегодно в России добывается:

нефти	620 – 645 млн т,
угля	770 – 800 млн т;
газа	600 – 640 млрд м ³ .

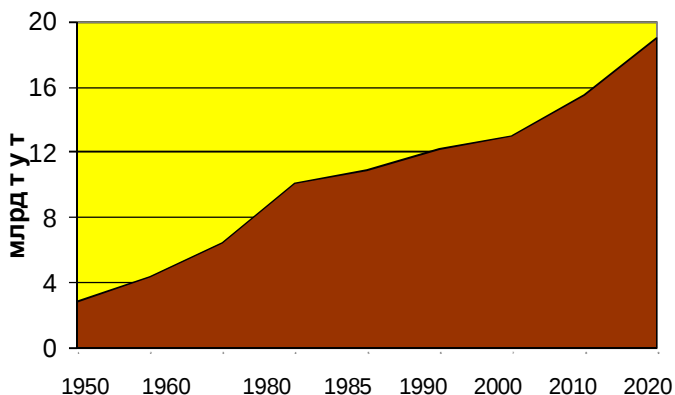


Рис. 3.1. Добыча энергоресурсов в мире

Основные месторождения органического топлива на земле расположены, как правило, вдали от тех регионов, где сконцентрированы промышленные предприятия и другие потребители энергии. Основное потребление энергии в России сосредоточено в Европейской части, а главными источниками угля, нефти и газа являются месторождения в Азиатской части. Транспортировка сотен миллионов тонн топлива в год на расстояние в несколько тысяч километров представляет собой сложную проблему, требует больших затрат на обеспечение достаточной пропускной способности транспортных коммуникаций.

По имеющимся оценкам, в России третья часть всех расходов на промышленное производство связана с добычей, переработкой и использованием органического топлива (включая расходы в отраслях, поставляющих необходимое оборудование, металлы и другие материалы). Из этого следует, что большое значение имеет экономия топлива во всех отраслях народного хозяйства.

3.4. Атомная энергия

Для производства атомной энергии используется ядерное горючее в двух его видах: *первичное и вторичное*. Первичное ядерное горючее - это изотоп урана ^{235}U . Он пригоден для непосредственного использования в современных энергетических реакторах. За счет этого источника в настоящее время удовлетворяется 2–3% энергетических потребностей человечества. К вторичным видам ядерного горючего относят другой изотоп урана ^{233}U и плутоний ^{239}Pu , которых нет в природе и которые поэтому приходится получать искусственно.

На долю изотопа ^{235}U в природном уране приходится всего 0,7%, остальное составляет изотоп ^{238}U , для энергетических нужд пока почти не используемый. Таким образом, первичным ядерным горючим является 1/140 часть природного урана.

Для превращения ядерной энергии ^{235}U в теплоту используются сложные специальные агрегаты – ядерные энергетические реакторы. В них ядра ^{235}U подвергаются бомбардировке нейтронами, имеющими относительно небольшие скорости («тепловыми»). В результате происходит распад ядер, выделяется тепловая энергия и образуются 2–3 новых нейтрона. Один грамм урана-235, распадаясь, дает $23,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 8400 \text{ МДж}$ теплоты. Это в два миллиона раз больше, чем при сжигании 1 г нефти. В пересчете на природный уран, даже с учетом неизбежных потерь, удельное тепловыделение остается очень большим - несколько сотен МДж/г.

4. ЭНЕРГЕТИКА. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Развитие человеческого общества всегда связано с расширением использования энергетических ресурсов. За предыдущее столетие мировое энергопотребление увеличилось более чем в 5 раз и достигло 12 млрд т условного топлива в год. Прирост мирового энергопотребления за десятилетний период с 1963 по 1972 годы составил 2,6 млрд т у т, а за последующий десятилетний период – всего 1,7 млрд т у т, что в полтора раза меньше. Особенно резко снизились темпы прироста энергопотребления в промышленно развитых странах. Средний ежегодный прирост потребления в мире составил 1,7% в год, в США – 0,4%, в странах Западной Европы – 0,25%.

Быстрое возрастание потребления энергии происходит как по общему ее количеству, так и в удельном выражении в расчете на одного человека. В XX веке с 1900 по 1980 годы среднее значение удельного энергопотребления увеличилось примерно в 12 раз; к 2000 году произошло его возрастание еще в 1,7–1,8 раза. Между удельным потреблением энергии в различных странах и уровнем благосостояния существует пря-

мо пропорциональная зависимость. Неуклонное повышение энергообеспеченности общества является необходимым условием его динамичного развития. Однако наблюдается большое различие в удельном потреблении энергии в разных районах Земного шара, достигающее 40 раз.

Современное человечество использует энергию в разнообразных формах: тепловой, механической (кинетической и потенциальной), электрической, энергии электромагнитных полей (включая свет).

Многие страны уже миновали период расточительного использования энергетических ресурсов и встали на путь энергосбережения и одновременно с этим повышения качества использования энергии (табл.4.1).

Таблица 4.1

Мировое потребление энергетических ресурсов в 1950–2020 гг.

Показатель	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Потребление энергоресурсов, млрд т у т .	2,85	4,35	6,44	10,1	12,2	13,0	15,5	19,0 прогноз
Прирост потребления, %	-	52,6	48	56,8	20,8	6,6	19,2	22,6

Переломным в изменении темпов прироста потребления стал 1980 год, когда произошло резкое изменение мировых цен на нефть и промышленно развитые страны приступили к реализации энергосберегающих программ.

Экспертная оценка мирового потребления коммерческих энергоресурсов за период 1860–1990 гг. представлена в табл.4.2.

Таблица 4.2

Мировое потребление энергоресурсов

Год	Уголь, млн т	Нефть, млн т	Газ, млн м ³	Электроэнергия, млн кВт·ч	Прочие, млн т
1860	246	-	-	-	440
1900	1350	26	7,3	28	560
1920	2350	123	22	86	670
1940	3300	494	88	200	780
1960	3810	1160	423	860	780
1970	3930	2590	1058	1390	720
1980	5090	4110	1423	1660	670
1985	5590	4170	1530	2590	590
1990	6280	4220	1920	3300	560

Электроэнергия как первичный энергоресурс (табл.4.2) производится на гидравлических, атомных и геотермальных электростанциях. Структуру мирового баланса энергоресурсов наглядно можно представить, если годовое потребление выразить в процентах от суммарного потребления топлива. Тогда становятся заметны долгосрочные тенденции (рис.4.1).

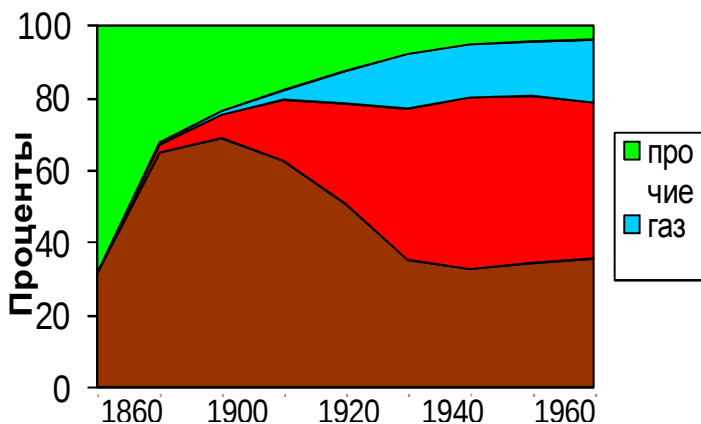


Рис. 4.1. Мировой баланс энергоресурсов

Баланс показывает коренные, глубокие сдвиги, произошедшие в энергетике XX века. В течение длительного времени происходил рост использования нефтепродуктов, вызванный интенсивной «моторизацией» человеческого общества в автомобильном, морском, воздушном транспорте и других видах нестационарной энергетики, однако тенденции последнего десятилетия свидетельствуют об интенсивном использовании газа и угля за счет снижения доли нефти.

Вместе с изменением структуры энергетического баланса в мире наблюдается увеличение неравномерности производства и потребления энергоресурсов различными регионами. Такие страны, как США, Япония, страны Западной Европы, занимая менее 10% территории, при населении менее 20% производят более 50% мирового промышленного продукта, почти 65% электроэнергии и потребляют более 55% природных энергетических ресурсов.

Как было отмечено ранее, основным источником энергии для человечества является *органическое* топливо, и в ближайшем будущем эта ситуация вряд ли изменится. Достигнутое значение потребления топлива в 14–15 млрд т у т не может быть обеспечено за счет других нетрадиционных источников энергии. Запас всех гидроресурсов мира составляет

7,2 млрд т у т, а их использование связано с огромными капитальными затратами на сооружение ГЭС. Использование солнечной энергии ограничивается низким КПД преобразования, высокой стоимостью преобразователей и резкой суточной неравномерностью солнечного излучения, требующей создания мощных накопителей электроэнергии. Например, созданная в Крыму гелиоэлектростанция, занимающая площадь 40 га, имеет электрическую мощность всего 5 МВт. Использование энергии ветра на планете эквивалентно всего лишь 2,8 млрд т у т, а использование геотермальной энергии – 1 млрд т у т.

В настоящее время Россия обеспечена собственными энергетическими ресурсами:

- 37% разведанных мировых запасов природного газа, 13% нефти, 19% угля, 14% урана сосредоточено на ее территории;

- по технически реализуемому потенциалу гидроэнергетических ресурсов (около 1700 млрд кВт·ч) уступает только Китаю;

- мощные трубопроводные системы – единая газоснабжающая и единая нефтеснабжающая системы в основной своей части охватывают территорию России;

- значительная часть российского потенциала природных энергетических запасов находится в Сибири: более 80% природного газа и около 75% нефти [3] (табл.4.3).

Реальная обеспеченность Российской Федерации энергоресурсами составляет по нефти – 15–20 лет, по газу – 55–60 лет, по углю – 300–500 лет.

Основным производителем электроэнергии в России является РАО «ЕЭС России», которое в последнее десятилетие формировало свою топливную политику, предусматривая повышение доли использования природного газа во внутреннем потреблении.

Однако в последнее время ситуация в газовой промышленности резко изменилась, проявились негативные тенденции, связанные с падением добычи газа на действующих месторождениях Западной Сибири, отставанием освоения новых газовых площадей на Ямале, в Тюменской области и на шельфе Баренцева моря.

В среднесрочной и долгосрочной перспективах ОАО «Газпром» не сможет обеспечить поставки газа электростанциям даже на современном уровне. Это связано с истощением трех уникальных действующих месторождений (Медвежье, Уренгойское и Ямбургское), которые совсем недавно обеспечивали максимальную суммарную добычу газа в объеме 535 млрд м³ в год. В настоящее время эти месторождения вступили в период падающей добычи. В 1999 году из них добыто 419,3 млрд м³ газа, в 2005 году добыча на них снизилась до 273 млрд м³, а к 2020 году – до 83 млрд м³. С аналогичными геологопромысловыми характеристиками осталось только одно месторождение – Заполярное, но годовая добыча из

этого месторождения не превысит 100 млрд м³ и срок поддержания такого уровня составит 8-10 лет (прогноз 2005 года).

Таблица 4.3

Производство энергоресурсов в Российской Федерации

Энергоресурсы	1940	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2004
Всего, млн т у т	150	368	858	1465	1875	1406	1267	1486
в том числе: природный газ, млн т у т	0,2	27	119	301	737	685	584	632
нефть и нефтепро- дукты, млн т у т	9,2	101	240	782	738	439	324	458
уголь, млн т у т	134	436	391	261	273	181	258	280
прочие виды топ- лива, млн т у т	19	31	28	26	19,2	20	101	116
Электроэнергия, млрд. кВт·ч,	31,6	197	470	805	1082	862	846	931
в том числе: гидроэнергия	2,5	24,7	65,9	107	170	103	-	-
атомная энергия	-	-	1,6	64,3	102	172	-	-

На поддержание достигнутого уровня добычи и транспорта газа постоянно требуются огромные капитальные вложения. Реальные источники нефти и газа перемещаются в труднодоступные районы, в зоны северных морей. Это вызывает многократный рост затрат, необходимость применения новых дорогостоящих технологий. Удельные затраты на добычу и транспортировку газа из новых месторождений, в том числе месторождений газа полуострова Ямал, сопоставимы с затратами на развитие угледобычи, а в ряде случаев превышают их. Кроме того, нет отечественного опыта проектирования, строительства и эксплуатации месторождений в условиях морского шельфа Баренцева моря и полуострова Ямал на больших глубинах, в ледовых условиях, отсутствуют необходимое оборудование и плавучие средства для освоения таких месторождений.

В этих условиях необходима кардинальная перестройка топливно-го баланса электроэнергетики. В связи с возможным сокращением ресурсов природного газа для электростанций рассматриваются следующие направления перестройки топливного баланса:

- дополнительная загрузка тепловых электростанций, работающих на угле;
- модернизация электростанций, изначально запроектированных для работы на угле (и ранее сжигавших это топливо, а в настоящее время использующих, в основном, газ) в целях возврата этих электростанций в проектный топливный режим;

- использование новых энергоэффективных технологий сжигания газа (ГТУ и ПГУ);
- использование новых энергоэффективных технологий сжигания твердого топлива (ПГУ с газификацией угля и ЦКС);
- дополнительное развитие ТЭС на угле;
- возможности использования попутного газа;
- возможности дополнительного использования ГЭС;
- возможности дополнительного использования АЭС;
- возможности использования нетрадиционных источников энергии.

Уголь остается основным видом топлива не только для регионов традиционного использования – Сибири, Урала и Дальнего Востока, зона его значительного потребления на ТЭС распространяется и на европейскую часть страны. Ожидается, что основная часть вновь вводимых мощностей на пылеугольных ТЭС будет работать на кузнецком и канско-ачинском углях. Использование других видов твердого топлива носит местный характер.

Мировая практика показывает, что выработка электроэнергии с использованием углей может быть вполне конкурентоспособной с электроэнергией, выработанной на газовом оборудовании. Однако это требует осуществления технического переоснащения и реконструкции угольной промышленности в целях не только увеличения объема добычи углей, но и их переработки, обогащения, чтобы снизить издержки производства энергии, в том числе и расходы по доставке твердого топлива.

Заслугой энергетиков является создание единой энергетической системы (ЕЭС) России, являющейся крупнейшей в мире. Ее основу составляют крупные ГРЭС (государственные районные электрические станции), атомные электростанции (АЭС), гидроэлектростанции (ГЭС) и связывающие их линии электропередач (ЛЭП), объединенные в «кольцо». Это делает систему устойчивой. Правительство России в ходе реорганизации экономики страны расчленило единую энергосистему России, создав на ее базе около тысячи отдельных генерирующих компаний и других энергообъектов. Управлять ими из единого центра оказалось невозможно, что привело к ряду проблем, с которыми не сталкивалась отечественная энергетика. Так, летом 2005 года (к счастью, не зимой) из-за выхода из строя небольшого трансформатора произошла системная авария в Мосэнерго, в результате которой в течение нескольких дней без электроснабжения остались часть Москвы, Московской и прилегающих к ней областей.

В разных странах – США, Англии, Италии – ежегодно происходят системные аварии, в результате которых целые города и штаты остаются без электроэнергии. Такие аварии особенно характерны для США. Летом 2002 года надолго осталась без энергии Калифорния. В следующем году

(в США жаркий климат, поэтому аварии случаются летом, когда все кондиционеры включаются на полную мощность) без электроэнергии в течение двух суток пришлось обходиться огромному региону на северо-востоке США с населением около 50 млн человек, а канадскому штату Онтарио – больше недели. Главной причиной является неспособность ЛЭП «перебросить» нужное количество электроэнергии из одного региона в другой.

В США каждый штат (или группа штатов) имеет свою энергетическую компанию. Все компании – частные. Электрические связи между ними недостаточно развиты, так как компании одного штата нет смысла вырывать конкурента из другого штата. После серии ежегодных системных аварий, которые от года к году становятся крупнее, правительство США прорабатывает меры для создания более мощных ЛЭП, связывающих различные регионы страны.

5. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

5.1. Принципиальная схема тепловой электростанции

Электричество для человечества является наиболее удобным (квалифицированным) видом энергии, поэтому рост выработки электроэнергии в развитых странах мира опережает рост потребления топливно-энергетических ресурсов.

Не случайно восстановление народного хозяйства после Великой Октябрьской социалистической революции началось с плана электрификации – ГОЭЛРО. В России, как и в большинстве стран мира, основное количество электроэнергии вырабатывается на тепловых электрических станциях, сжигающих органическое топливо [5]. На большинстве станций используется *паротурбинный* цикл (рис. 5.1).

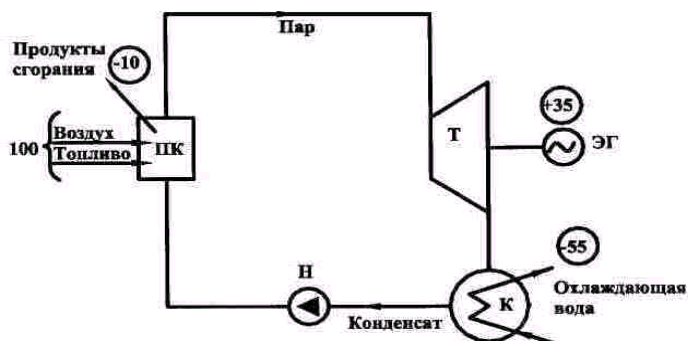


Рис. 5.1. Принципиальная схема паротурбинной электростанции

Топливо сжигается в топке парового котла (ПК), для чего в нее подается необходимый для горения воздух. Продукты сгорания, отдавая теплоту в котле на нагревание воды, парообразование и перегрев пара, охлаждаются и выбрасываются в атмосферу. Пар поступает в паровую турбину Т, действует на лопатки, укрепленные на роторе, заставляет вращаться сам ротор и находящийся на одном с ним валу электрогенератор ЭГ, вырабатывающий электрическую энергию. Отработавший пар поступает в конденсатор К, где конденсируется, отдавая теплоту охлаждающей воде. Насос Н служит для повышения давления конденсата и подачи его в паровой котел.

Современные паротурбинные электростанции имеют КПД до 40%, максимум – до 47%. На рис. 5.1 в кружочках показаны потери теплоты в котле (- 10%), в конденсаторе (- 55%) и доля теплоты топлива, превращенной в электроэнергию (+ 35%).

Развитие паротурбинных электростанций идет по линии увеличения единичной мощности турбин, которая достигает в настоящее время 1,2 ГВт (примерно такую мощность должны были иметь все 20 тепловых электростанций, построенных по плану ГОЭЛРО). Эта тенденция вызвана не стремлением к рекордам, а чисто экономическими причинами: чем крупнее турбина, тем дешевле вырабатываемая ею электроэнергия. Предел этого роста ограничен мощностью энергосистемы, на которую работает турбина. Ее отключение (в частности аварийное) не должно отрицательно сказаться на электроснабжении подключенных к системе потребителей.

Таким образом, **тепловая электростанция** – это электростанция, вырабатывающая электрическую энергию за счет преобразования химической энергии топлива в механическую энергию вращения вала электрогенератора.

Электростанции бывают следующих типов:

Котлотурбинные электростанции:

- *конденсационные электростанции* (КЭС, исторически получили название ГРЭС – государственная районная электростанция);
- *теплоэлектроцентрали* (ТЭЦ, теплофикационные электростанции).

Газотурбинные электростанции:

- электростанции на базе парогазовых установок;
- электростанции на основе *поршневых двигателей*;
- электростанции *комбинированного* цикла.

5.2. Конденсационная электростанция

Конденсационная электростанция (КЭС) производит только электрическую энергию. Историческое название «ГРЭС» – государственная районная электростанция с течением времени потеряло свой перво-

начальный смысл («районная») и в современном понимании означает, как правило, конденсационную электростанцию (КЭС) большой мощности (тысячи МВт), работающую в объединённой энергосистеме совместно с другими крупными электростанциями.

Принцип работы (рис.5.2). В котел с помощью питательного насоса 13 подводится питательная вода под большим давлением, в топку котла 1 подаются топливо и атмосферный воздух для горения. При сжигании топлива его химическая энергия превращается в тепловую и лучистую энергию и передается питательной воде, которая нагревается до температуры кипения, кипит и переходит в пар. Питательная вода протекает по экранным трубам 2 внутри топки котла. Получаемый пар в пароперегревателе 3 котла перегревается выше температуры насыщения, примерно до 540°C , и с давлением 13–24 МПа по одному или нескольким трубопроводам подаётся в паровую турбину 8. Паровая турбина, электрогенератор 9 и возбудитель составляют в целом турбоагрегат.

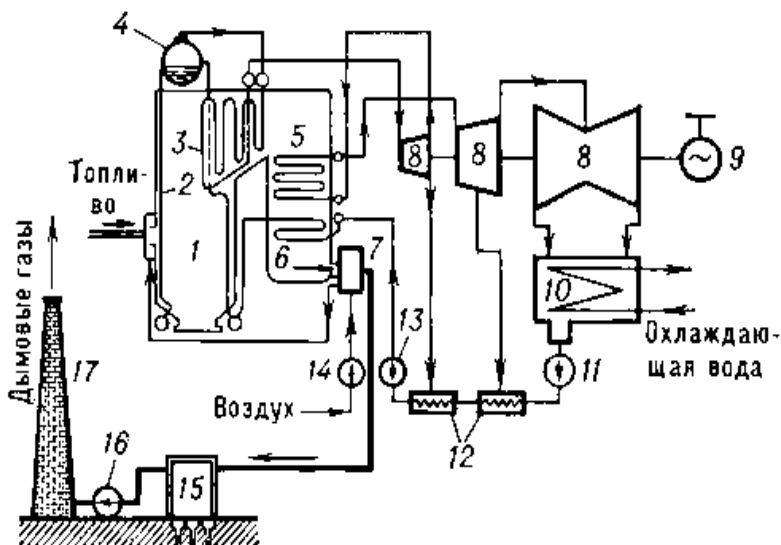


Рис. 5.2. Схема конденсационной паротурбинной электростанции:
 1 – топка котельного агрегата; 2 – экранные трубы; 3 – пароперегреватель;
 4 – барабан котла; 5 – промежуточный пароперегреватель; 6 – водяной экономайзер; 7 – воздухоподогреватель; 8 – паровая турбина;
 9 – электрогенератор; 10 – конденсатор; 11 – конденсатный насос;
 12 – регенеративный подогреватель питательной воды; 13 – питательный насос; 14 – вентилятор; 15 – золоуловитель; 16 – дымосос;
 17 – дымовая труба

В паровой турбине пар попадает на рабочие лопатки турбины 8, расширяется до очень низкого давления (примерно в 30 раз меньше атмосферного). При расширении потенциальная энергия сжатого и нагретого до высокой температуры пара превращается в кинетическую энергию движения, а затем в механическую энергию вращения ротора турбины. Турбина приводит во вращательное движение электрогенератор, преобразующий энергию вращения ротора генератора в электрический ток.

Электрогенератор состоит из статора, в электрических обмотках которого генерируется ток, и ротора, представляющего собой вращающийся электромагнит, питание которого осуществляется от возбуждателя.

Конденсатор турбины 10 служит для конденсации пара, отработавшего в турбине, и создания глубокого разрежения (вакуума) на выходе турбины. Благодаря этой особенности технологического процесса конденсационные электростанции получили своё название. Пар конденсируется до состояния воды путём теплообмена с охлаждающей водой, после чего при помощи насоса 11 конденсат по трубопроводу направляется обратно в котельный агрегат.

5.3. Теплоэлектроцентрль

Теплоэлектроцентрль (ТЭЦ) – разновидность тепловой электростанции, которая производит не только электроэнергию, но и теплоту для централизованных систем теплоснабжения (в виде пара и горячей воды, в том числе и для обеспечения горячего водоснабжения и отопления жилых и промышленных объектов).

Принцип работы. ТЭЦ конструктивно устроена как конденсационная электростанция (КЭС). Главное отличие ТЭЦ от КЭС состоит в возможности отобрать часть тепловой энергии пара до того, как он сработает её на выработку электрической энергии. В зависимости от вида паровых турбин можно организовать отбор из них пара с разными параметрами. Отобранный пар конденсируется в сетевых подогревателях и передает свою энергию сетевой воде, которая направляется на тепловые пункты, где передает теплоту в систему теплоснабжения. На ТЭЦ есть возможность перекрывать тепловые отборы пара, в этом случае ТЭЦ становится обычной КЭС. Это дает возможность работать ТЭЦ по двум графикам нагрузки:

тепловому – электрическая нагрузка в этом случае жёстко зависит от тепловой нагрузки (тепловая нагрузка – приоритет);

электрическому – электрическая нагрузка не зависит от тепловой либо тепловая нагрузка вовсе отсутствует (приоритет – электрическая нагрузка).

Совмещение функций генерации теплоты и электроэнергии называется по современной терминологии *когенерацией*. Совместная вы-

работка тепловой и электрической энергии позволяет более эффективно использовать энергию топлива, так как часть теплоты, которая на КЭС передается в окружающую среду, на ТЭЦ используется в отоплении. Это повышает расчетный КПД в целом (80% у ТЭЦ и 30% у КЭС), но не указывает на экономичность ТЭЦ, так как удельная выработка электроэнергии на ТЭЦ меньше, чем на КЭС.

При строительстве ТЭЦ необходимо учитывать близость потребителей теплоты в виде горячей воды и пара, так как передача тепловой энергии на большие расстояния экономически нецелесообразна.

5.4. Газотурбинные электростанции

Газотурбинная установка (ГТУ) – это тепловой двигатель, рабочее тело в котором остается газообразным во всех точках теплового цикла. Состоит из воздушного компрессора, камеры сгорания и газовой турбины, а также вспомогательных систем, обеспечивающих ее работу, объединенных гидромеханической системой. Совокупность ГТУ и электрического генератора называют газотурбинным агрегатом.

Газотурбинные установки отличаются чрезвычайно большим разнообразием, пожалуй, даже большим, чем паротурбинные. Газотурбинные установки (ГТУ) могут быть осуществлены по тепловым циклам [6]:

- со сгоранием при постоянном давлении $p = \text{const}$ (в открытой камере сгорания),
- со сгоранием при постоянном объеме $v = \text{const}$ (в закрытой камере сгорания).

ГТУ с камерой сгорания открытого типа (с подводом теплоты при постоянном давлении) показана на рис.5.3.

Камеры сгорания ГТУ различны:

- выносные, отличаются большими габаритами,
- встроенные - кольцевые, трубчато-кольцевые.

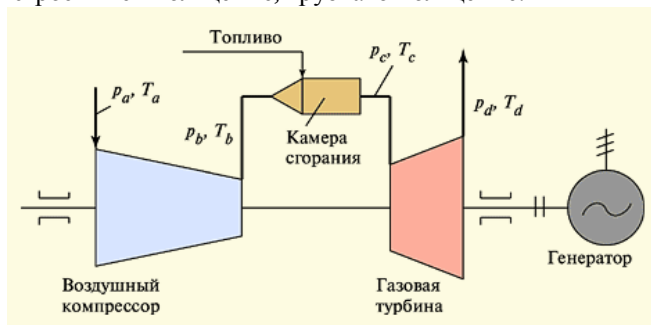


Рис.5.3. Принципиальная схема однофазной ГТУ с камерой сгорания открытого типа (простой цикл)

Из рассмотрения рис.5.3 ясно, почему представленная ГТУ называется ГТУ простого термодинамического цикла. Более простой ГТУ быть не может, так как она содержит минимум необходимых компонентов, обеспечивающих последовательные процессы сжатия, нагревания и расширения рабочего тела: один компрессор, одну или несколько камер сгорания, работающих в одинаковых условиях, и одну газовую турбину.

Малое давление рабочей среды обуславливает небольшую толщину стенок корпуса и легкость их прогрева. Именно это делает ГТУ очень маневренной, т.е. способной к быстрым пускам и остановкам. Если для пуска паровой турбины требуется от одного до нескольких часов, то ГТУ может быть введена в работу за 10–15 мин.

На рис. 5.4 показано устройство ГТУ V94.3 фирмы Siemens. Атмосферный воздух от комплексного воздухоочистительного устройства (КБОУ) поступает в шахту 4, а из нее – к проточной части 16 воздушного компрессора. В компрессоре происходит сжатие воздуха. Степень сжатия в типичных компрессорах составляет $\beta_k = 13\text{--}17$, и таким образом давление в тракте ГТУ не превышает 1,3–1,7 МПа (13–17 ат). Это еще одно серьезное отличие ГТУ от паровой турбины, в которой давление пара больше, чем давление газов в ГТУ, в 10–15 раз.

За компрессором температура воздуха составляет 300–350°C. При этом в большинстве случаев сжатый воздух, идущий из компрессора, разделяется на два потока. Первый поток движется между стенками пламенной трубы и корпуса камеры сгорания к горелочному устройству, к которому также подается топливо (газообразное или жидкое). Внутри пламенной трубы 10 образуются продукты сгорания высокой температуры. К ним подмешивается относительно холодный воздух второго потока с тем, чтобы получить газы с допустимой для деталей газовой турбины температурой (их обычно называют рабочими газами). В результате на выходе из камеры сгорания температура снижается, но остается не менее 1350–1400°C.

Из камеры сгорания горячие рабочие газы поступают в проточную часть 7 газовой турбины, принцип действия которой мало отличается от принципа действия паровой турбины (отличие состоит в том, что газовая турбина работает на продуктах сгорания топлива, а не на паре). В турбине энергия газообразных продуктов сгорания преобразуется в механическую работу за счёт вращения струей газа лопаток турбины. Рабочие газы расширяются практически до атмосферного давления, поступают в выходной диффузор 14 и из него – или сразу в дымовую трубу, или в какой-либо теплообменник, использующий теплоту уходящих газов ГТУ. В большинстве случаев в ГТУ пытаются рекуперировать теплоту выхлопных газов, которая в противном случае теряется впустую. Рекуператоры – это теплообменники, которые передают теплоту выхлопных газов сжатому воздуху, направляемому в камеру сгорания.

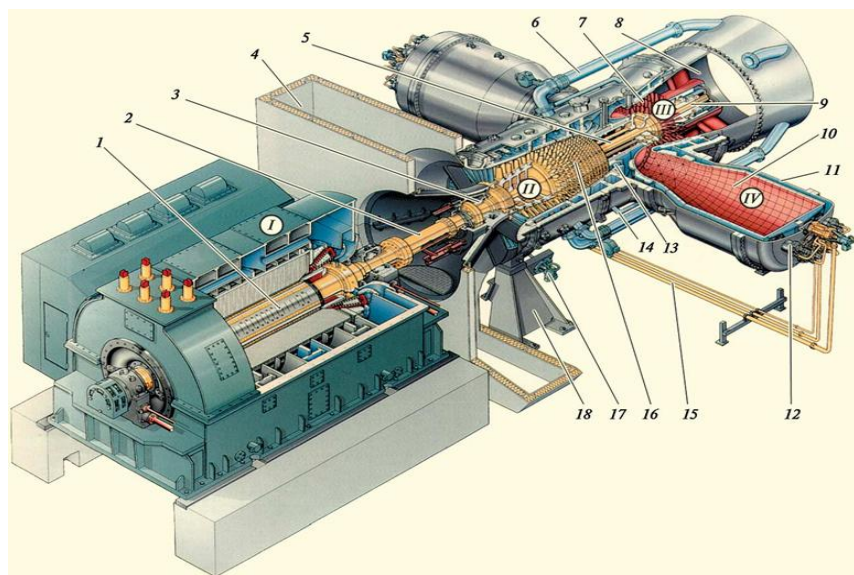


Рис. 5.4. Устройство ГТУ V94.3 Siemens: I – электрогенератор; II – осевой компрессор; III – газовая турбина; IV – камера сгорания; 1 – ротор электрогенератора; 2 – вал-проставка; 3 – передняя опора ротора; 4 – шахта подвода воздуха от комплексного воздухоочистительного устройства; 5 – стяжной болт ротора ГТУ; 6 – обводные трубопроводы; 7 – проточная часть газовой турбины; 8 – выходной патрубок ГТУ (диффузор); 9 – задняя опора ротора; 10 – пламенная труба камеры сгорания; 11 – корпус камеры сгорания; 12 – горелочные устройства; 13 – выходной диффузор компрессора; 14 – трубопровод подачи воздуха на охлаждение корпусных элементов и сопловых лопаток газовой турбины; 15 – трубопроводы подачи топливного газа; 16 – проточная часть компрессора; 17 – серводвигатель входного направляющего аппарата; 18 – передняя опора ГТУ

Для всех циклических тепловых двигателей КПД (коэффициент полезного действия) тем больше, чем выше температура сгорания топлива. Сдерживающим фактором для повышения КПД является способность конструкционных материалов (стали, никеля, керамики), из которых состоит двигатель, выдерживать высокую температуру и давление. Для предупреждения разрушения деталей двигателя используют жаропрочные сплавы, оснащённые системами охлаждения.

Значительная часть (примерно половина) вырабатываемой ГТУ энергии тратится на сжатие воздуха в компрессоре, используется для

привода агрегатов двигателя (топливных подкачивающих насосов, масляных насосов), а оставшаяся часть - на привод электрогенератора, это и есть полезная мощность ГТУ.

Температура газов за ГТУ достаточно высока, и значительное количество теплоты, полученной при сжигании топлива, в буквальном смысле уходит в дымовую трубу. Поэтому при автономной работе ГТУ ее КПД невелик: для типичных ГТУ он составляет 35–36%, т.е. существенно меньше, чем КПД ПТУ. Дело кардинальным образом изменяется при установке на «хвосте» ГТУ теплообменника (сетевого подогревателя или котла-утилизатора) – это комбинированный цикл (**парогазовая установка ПГУ**).

Парогазовая установка объединяет схемы ГТУ и паротурбинной установки (ПТУ). В газовом цикле отработанные горячие газы после газовой турбины с $t = 350^{\circ}\text{C}$ отдают в подогревателе часть теплоты, обычно сбрасываемой в атмосферу, питательной воде парового цикла. Это приводит к уменьшению расхода топлива на генерацию пара в паровом котле, а следовательно, к увеличению КПД комбинированного цикла ПГУ относительно цикла ГТУ либо цикла ПТУ в отдельности.

5.5. Паровые котлы с естественной циркуляцией

На современных ТЭС электроэнергию вырабатывают с помощью *турбогенераторов* (паровая турбина и электрогенератор, объединенные в единый агрегат). Для производства пара с требуемыми параметрами служат *паровые котлы* (парогенераторы). Эти агрегаты являются основными на ТЭС. Однако для их нормальной эксплуатации и достижения высокой экономичности станции требуется еще ряд агрегатов и систем, которые условно могут быть названы вспомогательными.

В паровых котлах для превращения *питательной воды в пар* применяются различные схемы циркуляции теплоносителя: *естественная, многократная принудительная и прямоточная*. Наибольшее распространение получили котлы с естественной циркуляцией.

В зависимости от способа организации движения воды в поверхностях нагрева котлы с естественной и многократной циркуляцией для краткости называют **барабанными**, другие котлы - **прямоточными**. Их принципиальные гидравлические схемы показаны на рис. 5.5, а и б.

Подаваемая в котел питательная вода в обоих случаях сначала проходит водяной подогреватель 5 (*экономайзер*), где нагревается до температуры, близкой к температуре кипения. Далее гидравлические схемы различаются.

У *барабанного* котла вода из экономайзера поступает в барабан 9 - емкость в виде горизонтального цилиндра, расположенную над потолком топочной камеры. С барабаном соединены трубы топочных экранов 4,

располагающиеся на стенах топки, в основном вертикально. Нижние концы труб каждого экрана объединяются в общие коллекторы, каждый из которых соединен с барабаном одной или несколькими трубами 11, проходящими вне топочной камеры (необогреваемыми). Это так называемые опускные трубы. Опускные, экранные трубы, барабан и коллекторы образуют замкнутый контур циркуляции котловой воды (рис. 5.5, а).

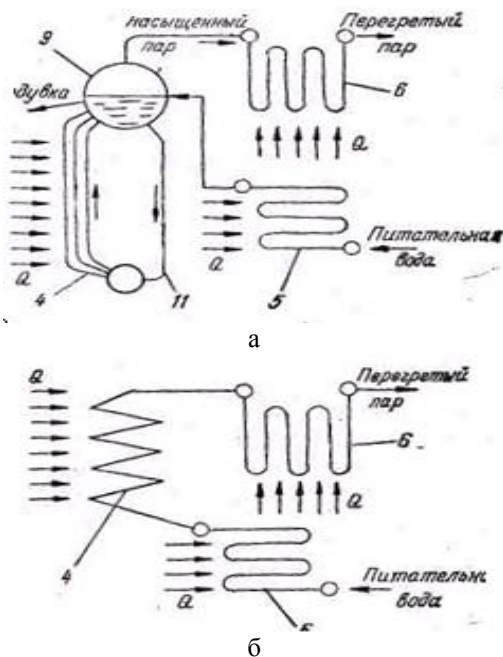


Рис. 5.5. Гидравлическая схема котлов:
а – барабанного; б – проточного

Воспринимая теплоту факела, вода в экранных трубах частично превращается в пар, плотность которого (масса в единице объема) значительно меньше, чем плотность воды. Соответственно пониженной получается и средняя плотность $\rho_{см}$ пароводяной смеси, образующейся в экранных трубах. Гидростатическое давление в нижней точке экранных труб (в коллекторе) равно произведению высоты столба пароводяной смеси (от коллектора до уровня воды в барабане) на плотность смеси $H \cdot \rho_{см}$. Гидростатическое давление создается также в опускных трубах, в которых находится только вода с плотностью ρ_v . Поэтому величина давления со стороны опускных труб составляет $H \cdot \rho_v$. Поскольку $\rho_{см} < \rho_v$, возникает разность гидростатических давлений

$$\Delta p = H p_B - H p_{CM} = H(p_B - p_{CM}) > 0. \quad (*)$$

Эта разность является движущей силой **естественной циркуляции**, за счет которой пароводяная смесь поднимается по экранным трубам и поступает в барабан. Там она разделяется, насыщенный пар уходит в пароперегреватель 6, а неиспарившаяся вода смешивается с новыми порциями питательной воды и поступает повторно в опускные трубы, затем через коллектор вновь попадает в экранные трубы. Пар после барабана проходит дополнительный перегрев в пароперегревателе и направляется в турбину.

Барабанные котлы с естественной циркуляцией способны надежно работать только при давлениях не выше 15,0–16,0 МПа. С ростом давления уменьшается разность плотностей пара и воды, а это ведет к уменьшению движущей силы циркуляции (см. уравнение (*)).

Важным достоинством барабанного котла является допустимость подачи в него питательной воды, содержащей некоторое количество примесей. При частичном упаривании воды примеси в основном остаются в жидкой фазе, поэтому концентрация примесей в котловой воде возрастает. Эти примеси можно частично удалить, выпуская из барабана котла некоторое количество воды с помощью так называемой *продувки*. В котле не будет происходить накопления примесей, если выдерживать равенство между количеством поступающих в него и уходящих примесей.

Прямоточный котел впервые был создан в 1932 году советским инженером Л. К. Рамзиным. Гидравлическая схема его проста (рис.5.5, б): весь поток питательной воды, пройдя экономайзер 5, поступает в несколько параллельных труб 4, огибающих топку и образующих экранные поверхности нагрева, в которых вода полностью испаряется за один проход (*кратность циркуляции* равняется единице). Полученный пар далее, как и в барабанных котлах, проходит через пароперегреватель 6.

Прямоточные котлы проще по конструкции, чем барабанные, и не имеют такого дорогостоящего элемента, как барабан; они могут в принципе применяться при любых давлениях. Сложность эксплуатации прямоточных котлов заключается в том, что им требуется питательная вода, полностью свободная от примесей. Если питательная вода вносит примеси, они неизбежно накапливаются в экранных трубах, а это часто приводит к повреждениям последних и к авариям котла.

На рис. 5.6 приведена схема барабанного котла с естественной циркуляцией, выполненного по традиционной П-образной компоновке. Котлы современных ТЭС - это сложные инженерные сооружения значительных размеров - высота их достигает 100 м. Основными элементами котла являются: *топочная камера* 2, в объеме которой происходит сгорание топлива, подаваемого вместе с воздухом через горелки 1, *газоходы* 8, по которым движутся дымовые газы, размещаемые в топке и газоходах теплообменники, называемые *поверхностями нагрева*.

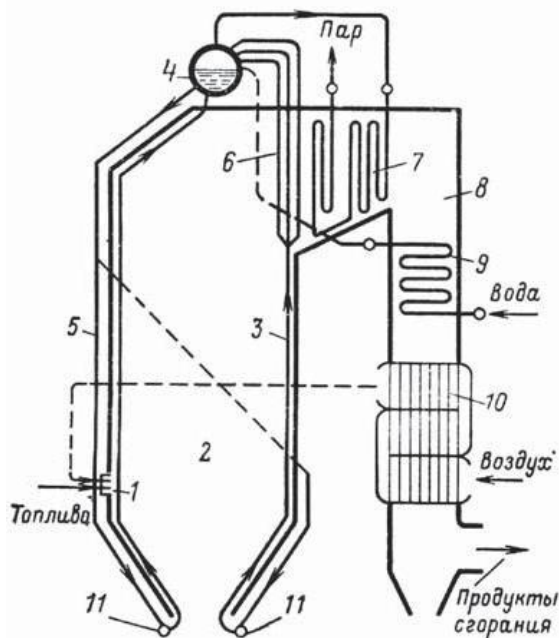


Рис. 5.6. Схема барабанного котла с естественной циркуляцией, работающего на пылевидном топливе: 1 – горелки; 2 – топочная камера; 3 – топочный экран; 4 – барабан; 5 – опускные трубы; 6 – фестон; 7 – пароперегреватель; 8 – конвективный газоход; 9 – экономайзер; 10 – трубчатый воздухоподогреватель; 11 – нижние коллекторы топочных экранов

Различают *радиационные* и *конвективные* поверхности нагрева. Первые имеют форму плоских панелей 3, образованных одним рядом труб. Их располагают на внутренней поверхности стен топочной камеры (сами стены состоят из огнеупорных и теплоизоляционных материалов, как и стенки газоходов).

Теплопередача к радиационным поверхностям нагрева в топке котла осуществляется, в основном, за счет теплового излучения, испускаемого факелами горящего топлива. Поэтому трубные панели, находящиеся в топочной камере, называют еще *топочными экранами*. Экранные поверхности нагрева используют обычно для осуществления собственно процесса испарения воды.

Конвективные поверхности нагрева – это ряды труб, обтекаемых потоком горячих дымовых газов, т.е. получающие теплоту посредством

конвекции. В таких поверхностях нагрева осуществляют предварительный подогрев воды до температуры кипения - в так называемом *водяном экономайзере* 9, и перегрев пара – в *пароперегревателе* 7.

Кроме того, конвективные поверхности нагрева используются для подогрева воздуха в *воздухоподогревателе* 10 перед подачей в топку. Подача воздуха в воздухоподогреватель и далее к горелкам котла осуществляется с помощью *дутьевых вентиляторов*, отсос дымовых газов из топки через газоходы – с помощью *дымососов*, от которых дымовые газы направляются в дымовую трубу (на рис. 5.6 вентиляторы и дымососы не показаны). Привод этих тягодутьевых машин осуществляется электродвигателями.

Питательная вода под давлением, создаваемым *питательным насосом*, поступает в экономайзер, расположенный в конвективной шахте. Экономайзер является первой частью пароводяного тракта котла: нагретая в нем вода поступает в барабан, который в своей нижней части соединен как с необогреваемыми опускными, так и с обогреваемыми подъемными трубами. По необогреваемым трубам котловая вода опускается к коллекторам, размещенным у нижней кромки топочной камеры. Из этих коллекторов вода поступает в *испарительные поверхности* – вертикальные трубки топочных экранов, в которых, благодаря мощному тепловому потоку от сгорания органического топлива, начинается собственно процесс парообразования.

При однократном прохождении через топочные экраны испаряется не вся вода и в барабан возвращается пароводяная смесь. В объеме *барабана* происходит сепарация воды и пара. Пар поступает во входной коллектор *пароперегревателя*, а котловая вода вновь попадает в опускные трубы циркуляционного контура. В котлах с естественной циркуляцией кратность циркуляции обычно составляет 10–50.

Паровые котлы с естественной циркуляцией (ПКЕЦ) отличаются по *паропроизводительности*, измеряемой в т/ч или кг/ч, и могут работать на различных видах органического топлива: природном газе, угле, дровах и древесных отходах, а также на жидком топливе – сырой нефти, мазуте, дизельном топливе. Основные достоинства ПКЕЦ – высокая надежность, простота эксплуатации, повышенная степень автоматизации и экономичность.

Паропроизводительность современных котельных агрегатов ТЭС достигает 3950 т/ч, что соответствует электрической мощности 1200 МВт. Проектируются котлы еще большей мощности. Давление вырабатываемого пара составляет 14,0–35,0 МПа, температура пара после пароперегревателя 545–570°C.

6. ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Металлургия – одна из наиболее энергоемких отраслей промышленности. Системы энергообеспечения являются неотъемлемой частью металлургического производства и выпускники-теплоэнергетики востребованы различными службами, обеспечивающими работу всего комплекса. Металлургия – одна из наиболее энергоемких отраслей промышленности, в которой используются различные типы печных установок, теплообменных устройств, систем газо- и водоснабжения.

Для того, чтобы управлять энергетикой этих агрегатов, бакалавр-теплоэнергетик должен знать технологию производства, изучать его слабые и сильные стороны, быть в курсе современных тенденций не только в энергетике, но и в металлургии. Любой сбой в энергообеспечении этих агрегатов может привести к аварийной ситуации, связанной с жизнью обслуживающего персонала и работой всего металлургического комплекса.

Теплотехнические и технологические процессы, протекающие в металлургических печах, сложны и многообразны. Металлургический завод полного цикла включает в себя следующие комплексы: подготовки руды, выплавки чугуна, выплавки стали, прокатное производство.

Металлургия – область науки и отрасль промышленности, охватывающая различные процессы получения металлов из руд и других материалов, а также процессы, способствующие улучшению свойств металлов и сплавов.

В природе в чистом виде металлы встречаются очень редко. К ним относятся золото, серебро, медь. Остальные металлы находятся в виде соединений – руд, которые принято называть полезными ископаемыми. Железо имеет особое значение в общемировом производстве металлов. На железо и его сплавы приходится свыше 90%. Широкое применение стали в различных областях техники объясняется её ценными физическими и механическими свойствами, а также тем, что железные руды широко распространены в природе, а производство чугуна и стали сравнительно дешево и просто.

Промышленная классификация металлов. Металлы и сплавы условно подразделяют на две основные группы – черные и цветные. Такая классификация сложилась исторически. К черным металлам относят железо и его сплавы (чугун, сталь, ферросплавы – сплавы железа с легирующими элементами). Остальные металлы составляют группу цветных.

Химически чистое железо в промышленности практически не применяется, поскольку обладает невысокими механическими свойствами. Элементом, оказывающим главное влияние на механические свойства черных металлов, является углерод, в зависимости от его содержания черные металлы делят на сталь и чугун.

Сталью называют железоуглеродистый сплав с содержанием углерода до 2,14%. Чугуном является железоуглеродистый сплав, содержащий углерода от 2,14% до 6,67%. Сталь обладает значительно более высокими механическими свойствами (прочностью, твердостью, пластичностью и др.) по сравнению с чугуном. Основное назначение чугуна - служить сырьем для получения стали, поэтому используемый для производства стали чугун называется перепельным.

Сталь в начале получают в виде расплава, затем формируют заготовку определенной формы путем охлаждения расплава в специальных машинах непрерывного литья, после чего в процессе прокатки формируют из заготовки лист, круг, сложный профиль.

В технологических процессах, которые применяют для получения конечного продукта, используется многообразие металлургических агрегатов – печей, непохожих друг на друга ни по форме, ни по технологическому назначению, ни по энергетическому обеспечению.

Любая печь как энергетический агрегат может быть представлена общей схемой: "источник энергии" → "теплота" → "объект тепловой обработки (материалы)". В этой общей схеме должны быть звенья, соединяющие источник энергии с объектом её приложения.

В топливных печах эти звенья представлены наиболее полно. Можно выделить следующие четыре звена тепловой работы топливной печи:

1) сжигание топлива, т.е. превращение химической энергии топлива в теплоту, носителями которой являются продукты горения - дымовые или печные газы;

2) движение печных газов, с помощью которых теплота переносится во все зоны рабочего пространства, а отработанные газы уходят из печи;

3) внешний теплообмен, т.е. передача теплоты от печных газов излучением и конвекцией на поверхность нагреваемых материалов;

4) внутренний теплообмен, т.е. перенос теплоты от поверхности материалов (кусков, массивных изделий) к их середине теплопроводностью.

Задачей теплоэнергетика является осознанное управление процессами теплообмена, позволяющее минимизировать энергетические затраты на производство конечного продукта.

Развитие металлургии идет по пути совершенствования методов плавки и разлива металла, механизации и автоматизации производства, внедрения новых перспективных технологических процессов, обеспечивающих необходимое качество выпускаемой продукции.

6.1. Современная черная металлургия и её продукция

Современное металлургическое производство полного цикла представляет собой сложный комплекс различных производств, связанный с месторождениями руд, коксующихся углей, наличием энергетических мощностей. Оно включает следующие комбинаты, заводы, цехи (рис. 6.1):

шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей;
горно-обогатительные комбинаты, где подготавливают руды к плавке, дробят и обогащают их;

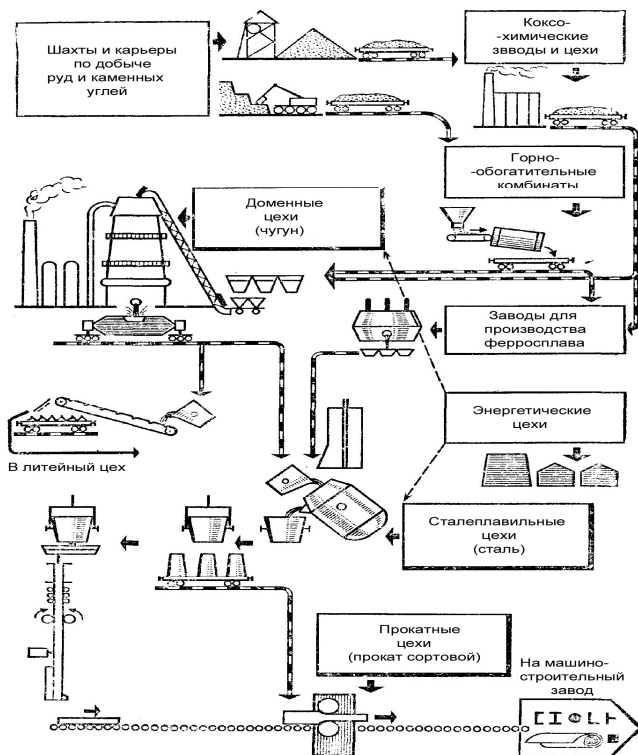


Рис. 6.1. Схема современного металлургического производства

коксохимические заводы или цехи для производства кокса для доменных печей, где осуществляют подготовку углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов;

энергетические цехи для получения сжатого воздуха для дутья доменных печей, кислорода, а также очистки газов металлургических производств;

доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов;
заводы для производства ферросплавов;
сталеплавильные цехи (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные) для производства стали;

прокатные цехи, в которых слитки стали перерабатывают в сортовой прокат – балки, рельсы, прутки, проволоку, лист и т.д.

Основой современной черной металлургии является двухступенчатая схема производства, которая состоит из выплавки чугуна в доменных печах и различных способов его передела в сталь.

При доменной плавке происходит избирательное восстановление железа из руды при посредстве углерода кокса. Одновременно с этим из руды восстанавливаются фосфор и в небольших количествах марганец и кремний; железо науглероживается и частично насыщается серой. В результате из руды получают **чугун** - сплав железа с углеродом, кремнием, марганцем, серой и фосфором.

Передел чугуна в сталь производят в конвертерах, мартеновских и электрических печах. В этих агрегатах происходит избирательное окисление примесей чугуна таким образом, что в процессе плавки они переходят в шлак и газы. В результате получают **сталь** (сплав железа с углеродом с содержанием углерода меньше 2%) заданного химического состава.

Основной продукцией черной металлургии являются:

1) чугуны – переделный, используемый для передела на сталь, и литейный для производства фасонных чугунных отливок на машиностроительных заводах; основное количество (до 60%) выплавляемого чугуна – переделный;

2) ферросплавы (сплавы железа с повышенным содержанием марганца, кремния, ванадия, титана) для производства легированных сталей;

3) стальные слитки для производства сортового проката (рельсов, балок, прутков, полос, проволоки), а также листа, труб и т.д.;

4) стальные слитки для производства крупных кованных деталей машин (валов, роторов, турбин, дисков и т. д.), называемые кузнечными слитками.

Для производства чугуна, стали используют руду, флюсы, топливо и огнеупорные материалы.

Руда. В природе большинство металлов находится в виде химических соединений (окислов, силикатов, карбонатов, сернистых соединений), входящих в состав различных минералов, образующих горные породы.

Промышленной рудой называют горную породу, из которой при данном уровне развития техники целесообразно извлекать металлы или их соединения. Этот уровень определяется содержанием извлекаемого металла в руде. Например, для железа он составляет не менее 30–50%, для меди 3–5%, для молибдена 0,005–0,02%.

Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы. Например, железная руда содержит окислы железа Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, карбонат железа FeCO_3 , а также пустую породу, состоящую в основном из SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO . Руду обычно называют по одному или нескольким металлам, которые в них содержатся: железные, медные, алюминиевые, марганцевые, медно-никелевые, железомарганцевые и т. д.

В зависимости от содержания добываемого материала руды бывают богатые и бедные. Богатые железные руды содержат 45–50% железа и более. Бедные руды (с малым содержанием добываемого металла) специально обрабатывают – обогащают. Обогащение заключается в удалении из руды части пустой породы. В результате получают концентрат – продукт с повышенным содержанием добываемого металла по сравнению с рудой. Использование концентрата позволяет улучшить технико-экономические показатели работы металлургических печей.

Топливо. Основными видами топлива, применяемого в металлургических печах, являются кокс, природный газ, мазут, а также доменный (колошниковый) и коксовый газ. Для доменного процесса требуется прочное, неспекающееся твердое топливо, которое служит не только горючим для нагрева шихты и ее расплавления, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды. Естественные виды топлива не обладают необходимыми свойствами, так как они спекаются и недостаточно прочны. Поэтому для доменной плавки применяют искусственное твердое топливо – кокс. Кокс должен обладать также высокой механической прочностью, чтобы не разрушаться в доменной печи под действием массы столба шихтовых материалов. Важное значение имеет размер кусков кокса – кусковатость, он должен быть 25–60 мм. Теплота сгорания кокса составляет 29,3 МДж/кг.

Кокс получают в коксовых печах сухой перегонкой каменного угля специальных коксующихся сортов (нагрев без доступа воздуха) при температуре 1000–1200°C. В процессе коксования измельченная угольная шихта размягчается, из нее выделяются летучие газообразные продукты, а затем она спекается в пористый коксовый «пирог». При выделении газов в процессе коксования «пирог» растрескивается и при выдаче из печи распадается на куски. Газы удаляются из печи и направляются в химическое отделение, где из них извлекают бензол, фенолы, каменноугольную смолу и другие ценные продукты. После этого газ, который называется коксовым, может использоваться в качестве топлива в энергетике металлургического производства.

Процесс коксования длится 15–17 ч. Кокс охлаждают водой (мокрое тушение) или инертным газом (сухое тушение). В коксе содержится 80–88% С; 8–12% золы; 2–5% влаги; 0,5–1,8% S; 0,02–0,2% Р и до 1,2% летучих продуктов. Важными для доменной плавки показателями

качества кокса являются зольность и содержание серы, которые должны быть минимальными. Сера – вредная примесь, которая в процессе плавки может переходить в металл и ухудшать его свойства. В доменной плавке часть кокса заменяют природным газом, мазутом или пылевидным твердым топливом.

Природный газ содержит 90–98% углеводородов (в основном метан CH_4) и до 1% азота. Теплота его сгорания 33–40 МДж/м³.

Флюсы. Это материалы, способствующие формированию шлака в плавильной печи. Пустая порода железных руд содержит окислы, температура плавления которых значительно выше температур, развиваемых в доменной печи (Al_2O_3 – 2040°C, CaO – 2570°C, MgO – 2800°C). Однако при определенном количественном соотношении этих окислов образуются легкоплавкие соединения – шлаки, имеющие температуру плавления ниже 1300°C и обладающие хорошей текучестью при 1450–1600°C. Для перевода пустой породы руды и золы кокса в шлаки с определенными химическими свойствами в доменную печь при плавке загружают флюсы. Шлаки, образующиеся в доменной печи, должны содержать необходимое количество основных окислов (CaO , MgO), которые способствуют удалению серы из металла, в который она может попасть из кокса и железной руды при плавке. Поэтому при выплавке чугуна в доменных печах в качестве флюса используют известняк CaCO_3 или доломитизированный известняк, содержащий CaCO_3 и MgCO_3 .

Огнеупорные материалы. В современных металлургических агрегатах процессы плавки происходят при высоких температурах. Поэтому внутреннюю облицовку (футеровку) металлургических печей и ковшей для разливки металла делают из огнеупорных материалов, способных выдерживать нагрузки при высоких температурах, противостоять резким изменениям температур, химическому воздействию шлака и печных газов.

Огнеупорные материалы применяют в виде кирпичей разных размеров и форм, а также порошков и растворов, необходимых для заполнения швов между кирпичами при кладке печей.

По химическим свойствам огнеупорные материалы подразделяют на *кислые, основные и нейтральные*. Материалы, содержащие большое количество кремнезема SiO_2 , называют кислыми (динасовые, кварцеглинистые); содержащие основные окислы (CaO , MgO) – основными (магнезитовые, магнезитохромитовые, доломитовые); содержащие большое количество Al_2O_3 и Cr_2O_3 – нейтральными (хромомagneзитовые, высокоглиноземные, шамотные).

Кварцевый песок (не менее 95% SiO_2) – кислый огнеупорный материал. Из кварцевого песка и кварцита изготавливают динасовый кирпич, содержащий 93–95% SiO_2 . Огнеупорность динаса составляет

1690–1720°C. Этим кирпичом футеруют кислые мартеновские и электро-сталеплавильные печи.

Магнезитовый металлургический порошок содержит 85–88% MgO . Из него изготавливают магнезитовый кирпич (86–90% MgO). Он обладает высокой термостойкостью.

Шамотный кирпич – нейтральный материал. Содержит 50–60% SiO_2 и 30–42% Al_2O_3 . Огнеупорность его 1580–1730°C, применяют для футеровки доменных печей, воздухонагревателей, различных ковшей.

6.2. Подготовка руд к доменной плавке. Агломерация

В шихтовых материалах для доменной плавки оптимальное содержание железа должно быть 60–61%. Однако содержание железа в добываемых рудах значительно ниже; кроме того, многие из них содержат вредные примеси, ухудшающие качество чугуна и стали, например, серу, фосфор. Поэтому перед плавкой железные руды подвергают специальной подготовке, целью которой является увеличение содержания железа в шихте, повышение ее однородности по химическому составу. Основные методы подготовки руды к плавке следующие: дробление и сортировка по крупности; обогащение; окускование.

Окускование производят для переработки концентратов, полученных после обогащения, в кусковые материалы необходимых размеров. Используют два способа окускования: агломерацию и окатывание.

Агломерация заключается в спекании шихты, состоящей из железной руды мелких фракций (40–50%), известняка (15–20%), возврата мелкого агломерата (20–30%), коксовой мелочи (4–6%), влаги (6–9%) для улучшения их металлургических свойств. Эти материалы смешиваются с измельченным твердым топливом (коксом, углем), увлажняются и подаются в агломерационную машину. В процессе спекания при 1300–1500°C из руды удаляются вредные примеси (сера, частично мышьяк), разлагаются карбонаты и получается кусковой пористый материал – агломерат.

Агломерационная машина ленточного типа состоит из большого числа тележек – паллет с отверстиями в днище,двигающихся по направляющим рельсам (рис. 6.2). В загруженной паллете после зажигания газовыми горелками начинается горение топлива, причем фронт горения распространяется сверху вниз. Воздух просасывается сквозь слой шихты благодаря действию специальных вакуумных устройств, называемых эксгаустерами. Температура в слое шихты достигает 1300–1600°C.

Агломерат имеет высокую пористость (до 50%) и хорошую восстановимость. В процессе спекания почти полностью выжигается сера, которая удаляется в виде сернистого газа. В металлургии обычно используют офлюсованный агломерат, для чего в шихту дополнительно вводят известняк.

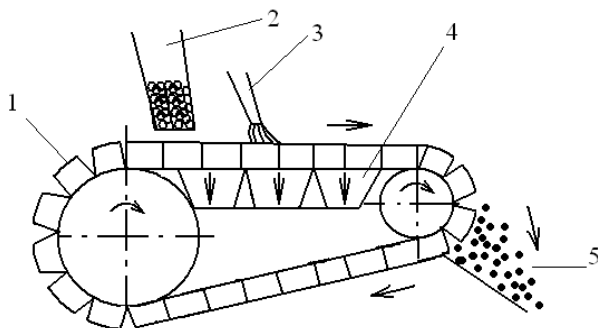


Рис. 6.2. Схема агломерационной машины: 1 – паллеты; 2 – шихтовый бункер; 3 – горелка; 4 – вакуум-камеры (экспаустеры); 5 – агломерат

Окатывание применяют для обработки тонкоизмельченных концентратов. Шихта, состоящая из измельченных концентратов, флюса, топлива, увлажняется и при обработке во вращающихся барабанах, тарельчатых чашах (грануляторах) приобретает форму шариков - окатышей диаметром до 30 мм. Окатыши высушивают при 200–400°C и обжигают при 1300–1400°C на специальных машинах. После обжига окатыши приобретают высокую прочность при достаточной пористости.

Применение агломерата и окатышей исключает отдельную подачу флюса – известняка в доменную печь при плавке, так как флюс в необходимом количестве входит в их состав. Это улучшает работу доменной печи, повышает ее производительность, снижает расход дорогостоящего кокса.

6.3. Выплавка чугуна в доменной печи

Чугун выплавляют в вертикальных печах шахтного типа - доменных печах. Сущность процесса получения чугуна заключается в восстановлении окислов железа (связывании кислорода из оксида в какие-либо соединения), входящих в состав руды, окисью углерода, водородом и твердым углеродом.

Устройство и работа доменной печи. Схема работы доменной печи представлена на рис.6.3. Доменные печи, как и все шахтные печи, работают по принципу противотока. Сверху сходят шихтовые материалы, а снизу им навстречу движутся газы, образующиеся в процессе горения топлива. Агломерат, руду, флюс и кокс, поступающие в печь в определенном соотношении, называют *шихтой*.

Шихта подается на колошник 7 печи скипами 1, реже ленточными конвейерами. Скипы разгружают в печь через приемную воронку 2 и за-

сыпной аппарат, установленный на колошнике. Воздух (дутье) от воздуховодных машин подается в печь через воздухонагреватели (в которых нагревается до $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$) и фурменные приборы, установленные по окружности горна. Через фурмы 13 вводится также дополнительное топливо (природный газ, мазут или угольная пыль).

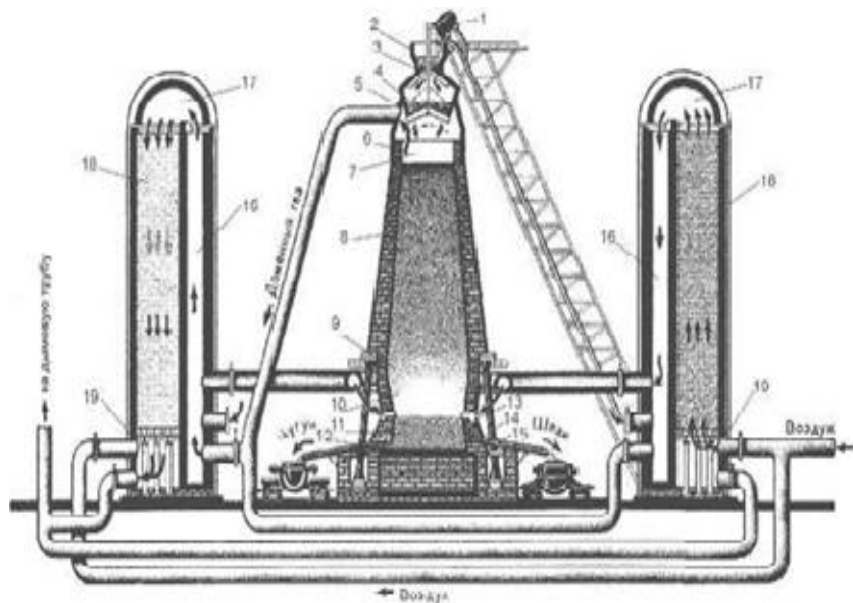


Рис.6.3. Схема доменной печи: 1 – скип; 2 – приёмная воронка; 3 – малый конус; 4 – большой конус; 5 – воронка большого конуса; 6 – защитные сегменты; 7 – колошник; 8 – шахта; 9 – распар; 10 – заплечики; 11 – горн; 12 – чугунная лётка; 13 – фурма; 14 – шлаковая лётка; 15 – лещадь; 16 – камера горения воздухонагревателя (каупера); 17 – подкупольное пространство; 18 – огнеупорная насадка каупера; 19 – поднасадочное пространство

По мере накопления чугуна и шлака их выпускают из печи. Чугун выпускают через 3–4 ч через чугунную лётку 12, а шлак через 1,0–1,5 ч через шлаковую лётку 14. Чугун и шлак сливают по желобам, проложенным по литейному двору, в чугуновозные ковши и шлаковозные чаши, установленные на железнодорожных платформах. Емкость чугуновозных ковшей 90–140 т. В них чугун транспортируют в кислородно-конвертерные или мартеновские цехи для передела в сталь. Чугун, не используемый в жидком виде, поступает на разливочные машины.

Современная доменная печь представляет собой шахтную (вертикальную) печь круглого сечения общей высотой до 70 м и диаметром до 14 м (рис.6.4). Внутри доменная печь выкладывается (футеруется) огнеупорным кирпичом. Снаружи печь для прочности имеет стальной кожух.

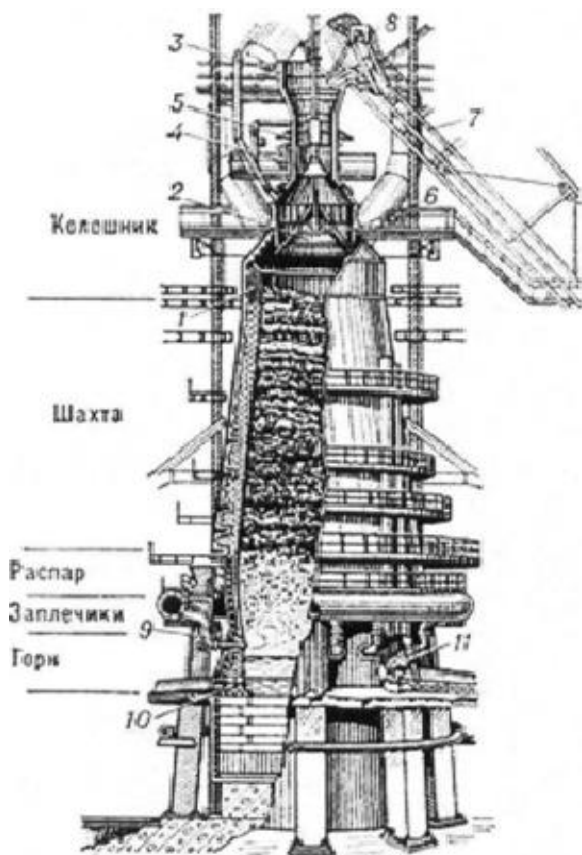


Рис.6.4. Доменная печь: 1 – защитные сегменты колошника; 2 – большой конус; 3 – приемная воронка; 4 – малый конус; 5 – распределитель шихты; 6 – воронка большого конуса; 7 – наклонный мост; 8 – скип; 9 – воздушная фурма; 10 – чугунная летка; 11 – шлаковая летка

Доменная печь включает следующие элементы: засыпной аппарат, колошник, шахту, распар, запleckики и горн.

Засыпной аппарат служит для накопления и подачи шихты через колошник. Вверху колошника имеется газоотвод для выхода доменного

(колошникового) газа. Шахта имеет форму усеченного конуса, расширяющегося книзу. Такая форма шахты способствует свободному опусканию шихты при плавке. Запечники имеют форму усеченного конуса, расширяющегося вверх, поэтому они удерживают всю твердую шихту, находящуюся в распаре и шахте. Нижнюю часть горна, в которой собираются жидкий чугун и шлак, называют лещадью. В горне имеются два отверстия – летки – для выпуска чугуна и шлака. Чугунная летка располагается в нижней части горна, а шлаковая – в верхней.

Лещадь выполняют из особо огнеупорных материалов - углеродистых (графитизированных) блоков. Для повышения стойкости огнеупорной кладки печи в ней устанавливают металлические холодильники, по которым циркулирует вода. Для уменьшения расхода воды (для крупных печей расход воды составляет до 70000 м³ в сутки) применяют испарительное охлаждение, основанное на поглощении теплоты в процессе парообразования.

Подогрев воздуха осуществляется для увеличения производительности печи и уменьшения расхода топлива. Нагрев производят в специальных нагревательных аппаратах - воздухонагревателях (кауперах) регенеративного типа.

Воздухонагреватель представляет собой башню диаметром до 10 м, высотой до 50 м. Корпус воздухонагревателя выполнен из листовой стали, внутри футерован огнеупорным кирпичом. В шахте воздухонагревателя сжигают доменный газ. Остальное пространство воздухонагревателя заполнено насадкой (кирпичной кладкой с проходами для газов), аккумулирующей теплоту продуктов горения доменного газа. Горячие газы, проходя через насадку, нагревают ее и удаляются из воздухонагревателя через дымовую трубу. Затем подача газа к горелке прекращается, и через насадку пропускается холодный воздух, подаваемый турбовоздуходувной машиной.

Доменная печь имеет несколько воздухонагревателей: в то время как в одних насадка нагревается горячими газами, в других она отдает теплоту холодному воздуху, нагревая его. После охлаждения нагретой насадки воздухом нагреватели переключаются.

Внутри воздухонагревателя (см. рис. 6.3) имеются камера горения 16 и насадка 18, занимающая основной объем воздухонагревателя. Насадка выложена из огнеупорных кирпичей так, что между ними образуются вертикальные каналы. В нижнюю часть камеры горения к горелке подается очищенный от пыли колошниковый газ, который сгорает и образует горячие продукты сгорания. Воздух, проходя через насадку воздухонагревателя, нагревается до 1000–1200°С и поступает к фурменному устройству доменной печи, а оттуда в ее рабочее пространство.

Улучшение технико-экономических показателей работы доменных печей является одной из важнейших задач металлургического производ-

ства. Эта задача решается повышением производительности доменных печей путем улучшения их конструкций, энергетики, способов подготовки шихты, интенсификации доменного процесса.

Основным направлением в развитии современного доменного процесса является увеличение полезного объема доменных печей. При этом улучшаются технико-экономические показатели их работы. В России эксплуатируют доменные печи объемом 2300, 2700 и 5000 м³. Такие печи выплавляют в сутки более 10000 т чугуна.

Интенсификация процесса плавки приводит к повышению производительности доменных печей за счет следующего:

- повышение давления газов на колошнике до 0,18 МПа снижает скорость их движения в шахте доменной печи, улучшает условия восстановления железа, снижает расход кокса и уменьшает вынос колошниковой пыли;

- обогащение дутья кислородом повышает интенсивность горения кокса, в результате возрастает температура в горне доменной печи, ускоряются процессы восстановления кремния и марганца, что особенно важно при выплавке доменных ферросплавов и литейных чугунов;

- вдувание в горн природного газа и угольной пыли позволяет снизить расход кокса на 10–15%, увеличить производительность печей на 2–3% за счет повышения восстановительной способности газов.

6.4. Производство стали

Стали – железоуглеродистые сплавы, содержащие до 1,5% углерода. Кроме углерода, сталь содержит в небольших количествах постоянные примеси: марганец (до 0,8%), кремний (до 0,4%), фосфор (до 0,07%), серу (до 0,06%), что связано с особенностями технологии ее выплавки. В технике широко применяют также легированные стали, в состав которых для улучшения качества дополнительно вводят хром, никель и другие элементы. Существует свыше 1500 марок углеродистых и легированных сталей – конструкционных, инструментальных, нержавеющей и т.д.

Изменение состава продуктов по определенным переделам металлургического производства представлено на рис.6.5.

В современной металлургии основными исходными материалами для массового производства стали являются передельный чугун и стальная скрап (лом). По химическому составу сталь отличается от передельного чугуна меньшим содержанием углерода, марганца, кремния и других элементов. Поэтому выплавка стали – передел чугуна (или чугуна и скрапа) в сталь – сводится к проведению окислительной плавки для удаления избытка углерода, марганца и других примесей. При выплавке легированных сталей в их состав вводят необходимые элементы.

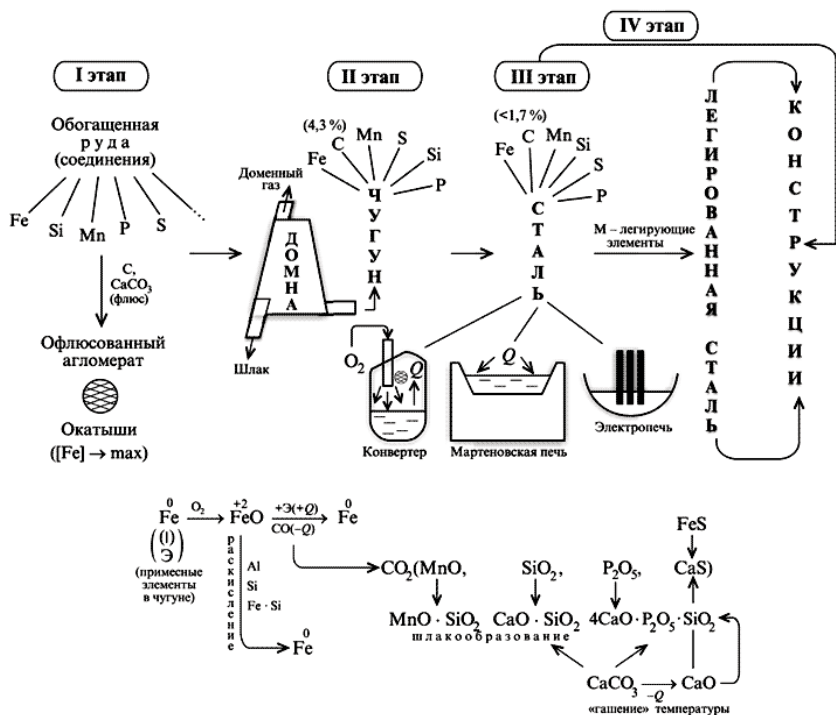


Рис. 6.5. Изменение состава элементов в продуктах металлургического передела

Сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки. В результате окислительных реакций, осуществляемых на первом этапе передела чугуна в сталь, углерод соединяется с кислородом, образуя CO , который удаляется в атмосферу печи. Кремний, марганец, фосфор, сера образуют окислы или другие соединения, нерастворимые или малорастворимые в металле (SiO_2 , MnO , CaS и др.), которые в процессе плавки частично удаляются в шлак.

Однако в полной мере окислить примеси не удастся, так как, несмотря на значительно большее сродство их к кислороду, чем у железа, по мере снижения концентрации примесей, в соответствии с законом действующих масс, начинает окисляться железо. Окислы железа растворяются в железе, насыщая металл кислородом. Сталь, содержащая кислород, непригодна для обработки давлением –ковки, прокатки, так как в ней образуются трещины при деформации в нагретом состоянии.

Для уменьшения содержания кислорода в стали в процессе плавки ее раскисляют, т.е. вводят в нее элементы с большим сродством к кислороду, чем у железа. Взаимодействуя с кислородом стали, эти элементы образуют нерастворимые окислы, частично переходящие в шлак. Для раскисления стали используют ферросплавы – ферросилиций, ферромарганец, а также алюминий.

В 50-х годах XX века появился новый, прогрессивный способ выплавки стали – кислородно-конвертерный процесс.

Сущность кислородно-конвертерного процесса заключается в том, что залитый на лом в плавильный агрегат (конвертер) расплавленный чугун продувают струей кислорода сверху. Углерод, кремний и другие примеси окисляются и тем самым чугун переделывается в сталь.

Устройство кислородного конвертера показано на рис. 6.6. Он имеет грушевидный сварной корпус (кожух) 3, изготовленный из листовой стали толщиной до 110 мм; внутри футерован основными огнеупорными материалами 4 общей толщиной до 1000 мм, емкостью 130–350 т жидкого чугуна.

В процессе работы конвертер можно поворачивать на цапфах 5 вокруг горизонтальной оси на 360° для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали, шлака и т.д.

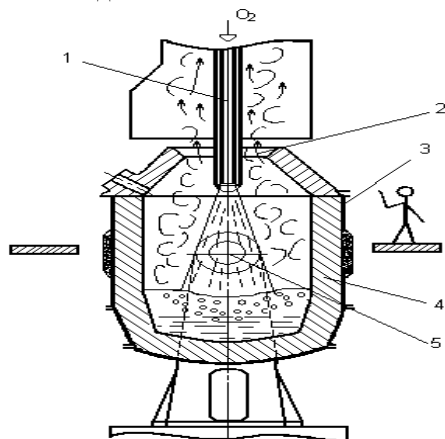


Рис. 6.6. Схема устройства кислородного конвертера:
1 – водоохлаждаемая фурма; 2 – горловина; 3 – корпус;
4 – огнеупорный материал; 5 – цапфы

Во время продувки чугуна кислородом конвертер находится в вертикальном положении. Кислород в конвертер ($P = 9\text{--}14$ бар) подают с помощью водоохлаждаемой фурмы 1, которую вводят в конвертер через горловину 2. Фурму устанавливают строго вертикально по оси конвертера. Ее поднимают специальным механизмом, заблокированным с меха-

низмом вращения конвертера так, что конвертер нельзя повернуть, пока из него не удалена фурма.

Шихтовыми материалами для кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом, известь, железная руда, боксит, плавиковый шпат. Чугун для переработки в кислородных конвертерах должен содержать 3,7–4,4% С; 0,7–1,1% Мп; 0,4–0,8% Si; 0,03–0,08% S; <0,15–0,3% Р. Известь необходима для наводки шлака. Она должна содержать более 90% СаО и минимальное количество SiO₂ и серы. Боксит и плавиковый шпат применяют для разжижения шлака.

Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах представлена на рис.6.7. После выпуска очередной плавки конвертер наклоняют и через горловину с помощью завалочных машин загружают скрапом. Затем в конвертер заливают из чугуновозных ковшей чугун при температуре 1250–1400°С. После этого конвертер поворачивают в вертикальное положение, внутрь него вводят кислородную фурму и подают кислород. Одновременно с началом продувки в конвертер загружают шлакообразующие материалы (известь, боксит, железную руду).

Расстояние головки фурмы от уровня металла в конвертере 0,7–0,3 м в зависимости от емкости конвертера. Струи кислорода, поступающие под большим давлением в конвертер, проникают в металл, вызывают его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Благодаря интенсивному окислению примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой температура достигает 2400°С.

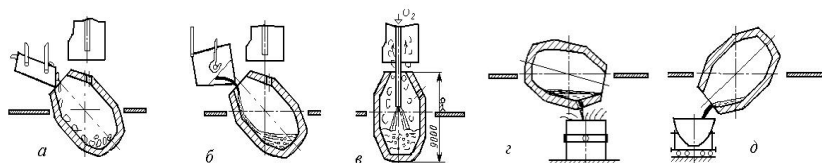
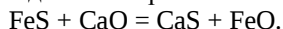


Рис. 6.7. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах: а – загрузка скрапа; б – заливка жидкого чугуна; в – продувка кислородом; г – выпуск стали в ковш; д – слив шлака в шлаковую чашу

Удаление серы из металла происходит по реакции



Вместе с тем высокое содержание серы в шлаке (до 7–20%) затрудняет протекание реакции удаления ее из металла. Поэтому для передела в сталь в кислородных конвертерах применяют чугун с ограниченным содержанием серы (до 0,07%).

Подачу кислорода заканчивают в момент, когда содержание углерода в металле соответствует заданному содержанию в стали. Для этого

осуществляют автоматический контроль химического состава металла по ходу плавки. После этого конвертер поворачивают и производят выпуск стали в ковш.

При выпуске стали из конвертера в ковш ее раскисляют вначале ферромарганцем, затем ферросилицием и алюминием. Затем из конвертера сливают шлак.

В кислородных конвертерах трудно выплавлять легированные стали, содержащие легкоокисляющиеся легирующие элементы. Поэтому в кислородных конвертерах выплавляют низколегированные стали, содержащие до 2–3% легирующих элементов. Легирующие элементы вводят в ковш, предварительно расплавив их в электропечи, или легирующие ферросплавы вводят в ковш перед выпуском в него стали. Окисление примесей чугуна в кислородном конвертере протекает очень быстро: плавка в конвертерах емкостью 130–300 т заканчивается через 20–25 мин.

Производительность конвертера емкостью 300 т достигает 400–500 т/ч стали.

6.5. Дуговая электросталеплавильная печь

В этих печах в качестве источника теплоты используют электрическую дугу, возникающую между электродами и металлической шихтой. Питание дуговой электросталеплавильной печи (рис.6.8) осуществляется трехфазным переменным током.

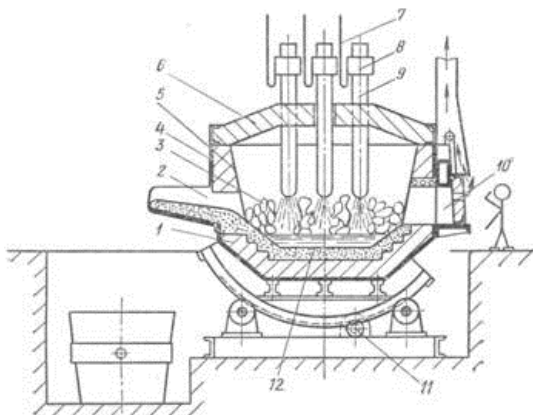


Рис. 6.8. Схема дуговой электрической плавильной печи:

- 1 – основание печи; 2 – желоб; 3 – шихта; 4 – кожух; 5 – стенка;
- 6 – свод; 7 – кабель; 8 – электрододержатель; 9 – электроды; 10 – окно;
- 11 – механизм для наклона печи; 12 – подина

Электрический ток от трансформатора гибкими кабелями 7 и медными шинами подводится к электрододержателям 8, а через них к электродам 9, изготовленным из графитированной массы. Между электродами и металлической шихтой 3 возникает электрическая дуга, электроэнергия превращается в теплоту, которая передается металлу и шлаку излучением. Рабочее напряжение 180–600 В, сила тока 1–10 кА. Во время работы печи длина дуги регулируется автоматически путем вертикального перемещения электродов.

Печь имеет стальной сварной кожух 4. Кожух печи изнутри футерован теплоизоляционным и огнеупорным кирпичом, который может быть основным (магнезитовый, магнезитохромитовый) или кислым (дианасовый). Подина 12 печи набивается огнеупорной массой. Плавильное пространство ограничено стенками 5, подиной 12 и сводом 6, изготавливаемым также из огнеупорного кирпича и имеющим отверстия для прохода электродов. В стенках печи имеются рабочее окно 10 для управления ходом плавки и летка для выпуска готовой стали по желобу 2 в ковш.

Печь загружают при снятом своде. Механизмом 11 печь может наклоняться в сторону загрузочного окна и летки. Емкость дуговых электропечей 0,5–400 т. В металлургических цехах обычно используют дуговые электропечи с основной футеровкой, а в литейных цехах – с кислой.

Шихтой современной печи являются лом и чугуны (до 30% от садки печи).

6.6. Непрерывная разливка стали (НРС)

Непрерывная разливка стали (рис. 6.9) состоит в том, что жидкую сталь из ковша 1 через промежуточное разливочное устройство 2 непрерывно подают в водоохлаждаемое устройство – кристаллизатор 3, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток 4.

Перед заливкой металла в кристаллизатор вводят затравку, образующую его дно. Затравка имеет головку в форме ласточкина хвоста. Жидкий металл, попадая в кристаллизатор и на затравку, охлаждается, затвердевает, образуя корку. Затравка тянущими валками 5 вытягивается из кристаллизатора вместе с затвердевающим слитком, сердцевина которого находится в жидком состоянии. Для предотвращения приваривания слитка к стенкам кристаллизатора последний совершает возвратнопоступательное движение с шагом 10–50 мм и частотой 10–100 циклов в минуту, а рабочая поверхность кристаллизатора смазывается специальными смазками. Скорость вытягивания слитка из кристаллизатора зависит от сечения слитка. Например, скорость вытягивания прямоугольных слитков сечением 150×500 мм и 300×2000 мм ~1 м/мин.

На выходе из кристаллизатора слиток охлаждается водой, подаваемой через форсунки в зоне 6 – так называемой зоне вторичного охла-

ждения. Из зоны вторичного охлаждения слиток выходит полностью затвердевшим и попадает в зону резки 7, где его разрезают газовым резаком 8 на куски заданной длины.

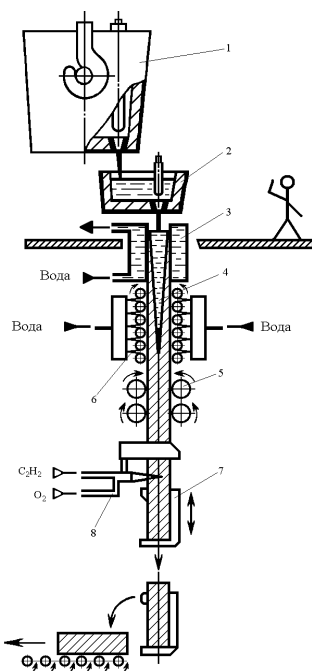


Рис. 6.9. Схема разливки стали на машинах непрерывного литья:
1 – ковш; 2 - промежуточное разливочное устройство; 3 – кристаллизатор; 4 - затвердевающий слиток; 5 – валки; 6 – зона вторичного охлаждения; 7 – зона резки; 8- резак

Высота кристаллизатора 500–1500 мм. В них получают слитки прямоугольного поперечного сечения с габаритными размерами от 150×500 до 300×2000 мм, квадратного от 150×150 до 400×400 мм, круглые в виде толстостенных труб. Вследствие направленного затвердевания и непрерывного питания при усадке в слитках непрерывной разливки отсутствуют усадочные раковины, они имеют плотное строение и мелкозернистую структуру. Поверхность слитка получается хорошего качества. Выход годных заготовок может достигать 96–98% от массы разливаемой стали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» (квалификация (степень) «Бакалавр»). – Утвержден Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 18 ноября 2009 г. № 635.
2. Дьяков А.Ф. Основные направления развития энергетики России. М., 2001.
3. Основы современной энергетики / под общ. ред. Е.В. Аметистова. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 368 с.
4. Фортон В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире: науч. издание. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 168 с.
5. Тепловые электрические станции: учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др.; под ред. В.М. Лавыгина и др. – М., Изд-во МЭИ, 2005. – 454 с.
6. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 584 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
1. Общие сведения о программе обучения бакалавра-теплоэнергетика	5
1.1. Общие положения	5
1.2. Профили подготовки	5
1.3. Характеристика профессиональной деятельности бакалавров по направлению Теплоэнергетика и теплотехника	6
1.4. Требования к результатам освоения основной образовательной программы бакалавриата	9
2. Формы и средства организации образовательного процесса	12
2.1. Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация и итоговая государственная аттестация	16
2.2. Организация учебного процесса	17
2.3. Права и обязанности обучающегося вуза	21
3. Энергетические ресурсы и их использование	21
3.1. Значение энергии в жизни людей	21
3.2. Виды энергоресурсов и единицы их измерения	22
3.3. Органическое топливо	23
3.4. Атомная энергия	26
4. Энергетика. Перспективы развития	26
5. Тепловые электрические станции	32
5.1. Принципиальная схема тепловой электростанции	32
5.2. Конденсационная электростанция	33
5.3. Теплоэлектроцентраль	35
5.4. Газотурбинные электростанции	36
5.5. Паровые котлы с естественной циркуляцией	39
6. Основы металлургического производства	44
6.1. Современная черная металлургия и её продукция	46
6.2. Подготовка руд к доменной плавке. Агломерация	50
6.3. Выплавка чугуна в доменной печи	51
6.4. Производство стали	55
6.5. Дуговая электросталеплавильная печь	59
6.6. Непрерывная разливка стали (НРС)	60
Библиографический список	62

Учебное издание

Евгений Борисович АГАПИТОВ
Борис Кронидович СЕНИЧКИН
Галина Николаевна МАТВЕЕВА

**ВВЕДЕНИЕ В НАПРАВЛЕНИЕ
«ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА»**

Учебно-методическое пособие

Редактор Т.А. Колесникова
Оператор компьютерной правки Е.А. Назарова

Подписано в печать 26.02.2015. Рег. №17-15. Формат 60х84/16. Бумага тип. № 1.
Плоская печать. Усл.печ.л. 4,00. Тираж 100 экз. Заказ 108.



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»