

Федеральное агентство по образованию
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОУ ВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой энергетики

_____ Н.В. Савина

« _____ » _____ 2007

г.

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для специальности 140101 – «Тепловые электрические станции»

Составитель: ст. преп. Гриценко М.В.

Благовещенск

2007 г.

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного
университета

Гриценко М.В.

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» для студентов специальности 140101 «Тепловые электрические станции». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007. – 75 с.

Учебно-методический комплекс предназначен для оказания помощи студентам специальности 140101 «Тепловые электрические станции» в изучении дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»: виды возобновляемых источников энергии, перспективы и особенности использования, их роль в общем производстве энергии; основы Государственной политики в области энергосбережения, методы и критерии оценки эффективности использования энергии с учетом экономических и экологических требований в современных условиях.

В авторской редакции

© Гриценко Марина Викторовна

© Амурский государственный университет, 2007

АННОТАЦИЯ

В рамках направления 650800 «Теплоэнергетика» на кафедре Энергетики реализуется подготовка дипломированного специалиста по специальности 140101. Государственный образовательный стандарт подготовки инженера по специальности 140101 «Тепловые электрические станции» включает изучение дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» в разделе ОПД.Ф.10.

Согласно учебному плану специальности данная дисциплина изучается на третьем курсе обучения (шестой семестр), предусмотрены следующие виды занятий и формы контроля

Лекции	54 часа
Практические занятия	18 часов
Самостоятельная работа	48 часов
Вид итогового контроля	экзамен
Всего	120 часов

Учебно-методический комплекс дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» включает в себя:

1. Примерную программу дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» (Министерство образования Российской Федерации, 2001 г. Автор – В.П.Мотулевич, профессор МЭИ (ТУ));

2. Рабочую учебную программу дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» (Амурский государственный университет, кафедра «Энергетика», 2006. Автор – Гриценко М.В., ст. преподаватель каф. «Энергетика»);

3. Настоящий учебно-методический комплекс.

В настоящем учебно-методическом комплексе приведен краткий конспект лекций (с указанием тем для самостоятельного изучения и вопросов для самопроверки), методические рекомендации и методические указания по проведению практических занятий, график самостоятельной работы, рекомендуемые темы рефератов, а также материалы по контролю качества образования (методические указания по организации контроля знаний студентов, критерии оценки знаний студентов и фонды тестовых заданий).

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

1.1. Цель преподавания дисциплины

Изучение данной дисциплины позволит студентам, будущим инженерам, составить целостную картину о нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии, возможностях их использования при решении задач энергообеспечения и энергосбережения.

1.2. Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины студенты должны знать виды возобновляемых источников энергии, перспективы и особенности использования, их роль в общем производстве энергии; основы Государственной политики в области энергосбережения, методы и критерии оценки эффективности использования энергии с учетом экономических и экологических требований в современных условиях.

Знания, полученные в курсе, используются в научно-исследовательской работе студентов, при выполнении типовых расчетов, а также дипломных проектов и работ.

1.3. Перечень дисциплин, освоение которых необходимо при изучении данной дисциплины

Физика: электричество, колебания и волны, оптика.

Математика: дифференциальное и интегральное исчисления, дифференциальные уравнения, вероятность и статистика.

Теоретические основы теплотехники. Термодинамика: I и II законы термодинамики, циклы и термический КПД тепловых двигателей и холодильных установок, тепловой и энергетический балансы, эксергетический анализ циклов, термодинамика химических процессов.

Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: теплопроводность, конвективный теплообмен, лучистый теплообмен, теплопередача и способы ее интенсификации, типы теплообменных аппаратов, порядок их расчета.

Гидрогазодинамика: свойства жидкостей и газов, кинематика и динамика жидкости, режимы течения, истечение жидкости и газа из отверстия и насадки, принцип действия и устройство насосов.

2. КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Теоретические сведения, необходимые для изучения дисциплины изложены в [1, 2, 3, 4]. Ниже приведен краткий конспект лекций, а также темы для самостоятельного изучения и вопросы для самопроверки.

Тема 1

Введение. Традиционные и нетрадиционные источники энергии.

Общие сведения о природных источниках энергии и энергоресурсах. Традиционные энергетические ресурсы, их оценка и распределение по регионам.

Научные принципы использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ): анализ возобновляемых энергоресурсов, временные характеристики ВИЭ, качество источников энергии.

Технические проблемы использования возобновляемых источников энергии. Согласование источников энергии и их потребителей. Методы управления. Потенциальные ресурсы и уровень использования ВИЭ на современном этапе. Характерные особенности ВИЭ.

Все источники энергии можно разделить на два класса:

1. *Возобновляемые* источники энергии – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. Типичный пример – солнечное излучение с характерным периодом повторения 24 часа. Возобновляемая энергия присутствует в окружающей среде в виде энергии, не являющейся следствием целенаправленной деятельности человека, и это является ее отличительным признаком.

2. *Невозобновляемые* источники энергии – это природные запасы веществ и материалов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. Примером могут служить ядерное топливо, уголь, нефть, газ. Энергия невозобновляемых источников в отличие от возобновляемых находится в природе в связанном состоянии и высвобождается в результате целенаправленных действий человека («невозобновляемый» – истощаемый).

Существует пять основных источников энергии:

- 1) солнечное излучение;
- 2) движение и притяжение Солнца, Луны и Земли;
- 3) тепловая энергия ядра Земли, а также химических реакций и радиоактивного распада в ее недрах;
- 4) ядерные реакции;
- 5) химические реакции различных веществ.

Источники 1-3 являются источниками возобновляемой энергии. Источниками невозобновляемой энергии является 1 (топливо на основе окаменелых органических соединений), 3 (горячие горные породы), 4 и 5.

Окружающее нас пространство непрерывно пронизывается потоками энергии от различных источников. Например, полный поток солнечного излучения, падающего на Землю, равен $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт, т.е. на одного человека приходится около 30 МВт. Максимальная плотность потока солнечного излучения на Земле достигает 1 кВт/м^2 .

Научные принципы использования ВИЭ.

Анализ возобновляемых энергоресурсов. В окружающем нас пространстве всегда существуют потоки возобновляемой энергии и энергетика на возобновляемых источниках энергии должна ориентироваться только на эти уже существующие энергоресурсы, а не ставить себе целью создание новых потоков. Отсюда следует, что прежде чем развивать энергетику на возобновляемых источниках, необходимо точно определить их мощность. Это требует регулярных и длительных наблюдений и анализа параметров этих источников.

Временные характеристики ВИЭ. Потребности в энергии, как правило, не постоянны во времени. Например, потребность в электрической энергии максимальна в утренние и вечерние часы и минимальна в ночное время. Традиционные ТЭС могут подстраиваться под эти колебания спроса на энергию, регулируя расход топлива. При использовании же возобновляемых источников энергии колеблется не только спрос на энергию, но и мощность этих источников, поэтому этих источников, поэтому работающие на этих источниках энергетические установки должны учитывать оба этих фактора.

Качество источника энергии. Под качеством источника энергии будем понимать долю энергии источника, которая может быть превращена в механическую работу. Например, электроэнергия обладает высоким качеством, так как с помощью электродвигателя более 95% ее можно превратить в механическую работу. Качество тепловой энергии, выделяющейся при сжигании топлива на традиционных ТЭС, довольно низкое, потому что только около 30% теплотворной способности топлива превращается, в конечном счете, в механическую работу.

Возобновляемые и истощаемые источники энергии очень сильно различаются по характерной для них начальной плотности энергии. Для возобновляемых источников энергии эта величина – порядка 1 кВт/м^2 (например, плотность потока энергии солнечного излучения, ветра при скорости около 10 м/с); для невозобновляемых источников она на несколько порядков выше. Например, тепловая нагрузка в трубах паровых котлов – порядка 100 кВт/м^2 , а в теплообменниках ядерных реакторов – несколько мегаватт на 1 м^2 . Потребители энергии, за редким исключением, используют у себя гораздо меньшие плотности потоков энергии.

Из-за большого различия плотностей потоков энергии в энергоустановках на невозобновляемых и возобновляемых источниках первые эффективны при большой единичной мощности установки, но при этом распределение энергии среди потребителей требует больших затрат. Вторые же эффективнее при небольшой единичной мощности, но большие затраты требуются

уже для повышения мощности за счет объединения таких установок в единую энергосистему.

Технические проблемы использования ВИЭ.

Согласование источников энергии и потребителей. После анализа характеристик потребителей и потенциальных источников возобновляемой энергии необходимо согласовать их друг с другом. Согласование предполагает выполнение следующих условий:

1. Энергоустановка должна максимально эффективно использовать возобновляемую энергию.

2. Использование систем управления с отрицательной обратной связью между потребителем и источником энергии невыгодно, так как приходится сбрасывать в окружающую среду часть выработанной преобразователем энергии. Такое регулирование оправдано только в случае крайней необходимости или когда удовлетворены все возможные потребители энергии.

3. Спрос на энергию обычно колеблется (временные характеристики), точно так же, как и ее производство энергоустановками на возобновляемой энергии. Согласовать спрос и предложение, не завышая при этом мощность энергоустановки, можно только, включив в энергосистему накопители энергии.

4. Если согласовать энергоустановку на возобновляемой энергии с потребителями очень сложно, от решения этой задачи отказываются. В этом случае установку подключают к более крупной и универсальной по составу источников энергии системе. Если такие системы имеют накопители энергии (например, гидравлические или тепловые), их эффективность повышается и становится возможным увеличить в них долю установок на возобновляемой энергии.

5. Наиболее эффективная схема использования энергии возобновляемых источников – к источнику энергии подключаются в каждый момент столько потребителей, чтобы суммарная нагрузка соответствовала текущей мощности источника. При этом отдельные потребители могут в свою очередь иметь накопители энергии или подстраиваться под изменяющиеся параметры источника. В таких схемах используется регулирование с прямой связью.

Методы управления. Для согласования источников энергии с потребителями используются различные методы управления. В энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии можно использовать три метода управления: основанные на сбросе излишков энергии, аккумуляции энергии и изменении нагрузки. Эти методы могут быть реализованы различными способами применительно ко всей энергосистеме или ее частям.

Извлекаемые запасы органического топлива в мире оцениваются следующим образом, млрд т у.т.

уголь	4850
нефть	1140

газ	310
всего	6310

При уровне мировой добычи девяностых годов (млрд. т у.т.) соответственно: 3,1 – 4,5 – 2,6; всего – 10,3 млрд т у.т., запасов угля хватит на 1500 лет, нефти на 250 лет и газа – на 120 лет.

Между тем, теоретический потенциал солнечной энергии, приходящий на Землю в течение года, превышает все извлекаемые запасы органического топлива в 10-20 раз.

А экономический потенциал возобновляемых источников энергии в настоящее время оценивается в 20 млрд. т у.т. в год, что в два раза превышает объем годовой добычи всех видов органического топлива. И это обстоятельство указывает путь развития энергетики будущего, не такого уж и далекого.

Для самостоятельного изучения.

Характерные отличия энергосистем на возобновляемых и невозобновляемых источниках энергии. [4]

Тема 2

Актуальность использования ВИЭ.

Структура мирового энергопотребления. Динамика роста энергопотребления в мире и в России. Роль возобновляемых источников энергии в удовлетворении энергетических потребностей человечества.

Энергосбережение и экология. Факторы, обуславливающие актуальность энергосбережения. Влияние добычи, транспортировки, подготовки и сжигания органического топлива на состояние окружающей среды.

Необходимость использования ВИЭ как для экономии органического топлива, так и для защиты окружающей среды.

Основное преимущество возобновляемых источников энергии их неисчерпаемость и экологическая чистота. Их использование не изменяет энергетический баланс планеты. Эти качества и послужили причиной бурного развития возобновляемой энергетики за рубежом и весьма оптимистических прогнозов их развития в ближайшем десятилетии. Возобновляемые источники энергии играют значительную роль в решении трех глобальных проблем, стоящих перед человечеством: энергетика, экология, продовольствие (табл. 1).

Таблица 1

«+» – положительное влияние, «-» – отрицательное влияние,
«0» – отсутствие влияния

№ п\п	Вид ресурсов или установок	Энергетика	Экология	Продовольствие
1	Ветроустановки	+	+	+ ¹⁾
2	Малые и микроГЭС	+	+	+ ²⁾
3	Солнечные тепловые установки	+	+	+ ³⁾
4	Солнечные фотоэлектрические установки	+	+	+ ⁴⁾
5	Геотермальные электрические станции	+	+/-	0
6	Геотермальные тепловые установки	+	+/-	+ ⁵⁾
7	Биомасса. Сжигание твердых бытовых отходов	+	+/-	0
8	Биомасса. Сжигание сельскохозяйственных отходов, отходов лесозаготовок и лесопереработок	+	+/-	+ ⁶⁾
9	Биомасса. Биоэнергетическая переработка отходов	+	+	+ ⁷⁾
10	Биомасса. Газификация	+	+	0
11	Биомасса. Получение жидкого топлива	+	+	+ ⁸⁾
12	Установки по утилизации низкопотенциального тепла.	+	+/-	0

Примечания.

¹⁾ Водоподъемные установки на пастбищах и в удаленных населенных пунктах.

²⁾ Орошение земель на базе малых водохранилищ, водоподъемные устройства таранного типа.

³⁾ Установки для сушки зерна, сена, сельхозпродуктов, фруктов.

⁴⁾ Водоподъемные системы, питание охранных устройств на пастбищах.

⁵⁾ Обогрев теплиц геотермальными водами.

⁶⁾ Использование золы в качестве удобрения.

⁷⁾ Получение экологически чистых удобрений в результате сбраживания отходов.

⁸⁾ Получение дизельного топлива из семян рапса – самообеспечение сельского хозяйства дизельным топливом.

Динамика использования ВИЭ в мире характеризуется следующими данными.

Ветроэнергетика. Установленная мощность ветроустановок в мире увеличилась с 6172 МВт в 1996 г. до 12000 МВт в 1999 г., прогноз на 2006 г. –

около 36000 МВт. Страны-лидеры: Германия – 4444 МВт, США – 1819 МВт, Дания – 1752 МВт, Испания – 1539 МВт, Индия – 1100 МВт (Россия – 4 МВт).

Геотермальная энергетика. Установленная мощность геотермальных электростанций (ГеоТЭС) возросла с 678 МВт в 1970 г. до 8000 МВт в 2000 г. Страны-лидеры: США – 2228 МВт, Филиппины – 1909 МВт, Мексика – 755 МВт, Италия – 785 МВт, Индонезия – 589 МВт (Россия – 23 МВт).

Установленная мощность геотермальных тепловых установок за последние 20 лет возросла с 1950 МВт до 17175 МВт.

Солнечная энергетика. В производстве фотоэлементов и систем на их основе наблюдается настоящий бум. В 1999 году годовое производство в мире составило 200 МВт. Годовые темпы роста за последние 5 лет составляют 30 %. Страны-лидеры: США – 60 МВт, Япония – 80 МВт, Германия – 50 МВт, (Россия – 0,5 МВт).

Общая площадь солнечных водонагревателей (солнечных коллекторов) в мире превысила по неполным данным 21 млн. м², при этом годовое производство солнечных коллекторов превышает 1,7 млн. м². Страны-лидеры: Япония – 7 млн. м², США – 4 млн. м², Израиль – 2,8 млн. м², Греция – 2,0 млн. м² (Россия – 0,1 млн. м²).

Энергия биомассы. Использование энергии биомассы осуществляется по нескольким направлениям, в том числе:

Производство биогаза и удобрений на:

- малых установках по переработке сельскохозяйственных и бытовых отходов индивидуальных крестьянских фермерских хозяйств, общее количество которых превысило 6 млн. штук (это направление особенно развито в Китае и Индии);

- больших установках по переработке городских сточных вод (более 1000 установок) и комбинированных установок по сбраживанию городских и промышленных сточных вод (более 100 новейших установок);

- мощных комбинированных установок (фабрик) по переработке отходов продукции сельского хозяйства, животноводства и фермерских хозяйств (фабрики получили большое распространение в Дании, где находится 18 из 50 фабрик Европы).

Биогаз, полученный на указанных выше установках, используется в быту, в водонагревательных и паровых котлах, а также в дизель-генераторах, производящих электричество.

Другие формы использования биомассы.

Широкое распространение получили электростанции (США, Дания), на которых сжигаются твердые бытовые отходы (ТБО) городов, а также электростанции, работающие на биогазе свалок ТБО (Италия).

В стадии опытно-промышленной эксплуатации находятся электростанции, для которых организовано выращивание «энергетических лесов», т.е. они работают на сжигании в котлах древесины. Широко используются отходы лесопереработки и лесозаготовок для производства тепла и электричества

(страны Скандинавии), как при прямом сжигании отходов, так и через их газификацию с последующим сжиганием полученного газа.

Гидроэнергетика. Экономический потенциал гидроэнергии в мире составляет 8100 млрд. кВт·ч, установленная мощность всех гидростанций – 669000 МВт, вырабатываемая энергия – 2691 млрд. кВт·ч, т.е. экономически потенциал используется на 33 %. В России эти данные составляют соответственно 600 млрд. кВт·ч, 43940 МВт, 157,5 млрд. кВт·ч и 26 %. По экономическому потенциалу малые и микро ГЭС составляют примерно 10 % от общего экономического потенциала. В России экономический потенциал малых и микро ГЭС использован примерно на 0,5 %, т.к. как число малых ГЭС с 5 тыс. в 50-х годах сократилось до 300 в девяностых. Сейчас начинается процесс восстановления разрушенных и строительства новых малых и микро ГЭС.

Мировым лидером в малой гидроэнергетике является Китай, где с 1950 г. по 1996 г. общая мощность малых ГЭС выросла с 5,9 МВт до 19200 МВт. В планах Китая на ближайшее десятилетие – строительство более 40 000 малых ГЭС с ежегодным вводом до 1000 МВт.

В Индии на конец 1998 г. установленная мощность малых ГЭС (единичной мощностью до 3 МВт) составляет 173 МВт, и в стадии строительства находятся ГЭС общей мощностью 188 МВт. Определены места строительства еще около 4000 станций с общей проектной мощностью 8 370 МВт.

Эффективно работают малые ГЭС в ряде Европейских стран, в том числе в Австрии, Финляндии, Норвегии, Швеции и др.

Причины, по которым развитые страны активно занимаются использованием ВИЭ:

1. Обеспечение энергетической безопасности;
2. Экология;
3. Завоевание мировых рынков, особенно в развивающихся странах;
4. Сохранение запасов собственных энергоресурсов для будущих поколений;
5. Увеличение потребления сырья для неэнергетического использования топлива.

Мировые энергетические кризисы начала и конца 70-х годов стимулировали развитие и внедрение энергосберегающих технологий и структурные изменения в использовании традиционных коммерческих энергоресурсов в промышленно развитых странах. Это позволило существенно сократить энергоемкость валового национального продукта (ВНП) и снизить зависимость от импортируемых энергоносителей. В 1973-1985 гг. энергоемкость ВНП Японии, США, Великобритании, Западной Германии соответственно снизилась на 31, 23, 20 и 18%. В 1975-1985 гг. зависимость импорта энергоносителей в Японию снизилась на 10 пунктов, в США – на 4, Великобритания – на 20 и в Западной Германии – на 7 пунктов.

В рамках осуществления политики энергосбережения, начиная с середины 70-х годов, все большее внимание стало уделяться использованию нетра-

диционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ). В основном, это относилось к исследованиям и разработкам в области использования энергии солнца, ветра, биомассы, малых рек, а также геотермальной энергии.

В 80-х годах все большее внимание в качестве стимулирующего фактора развития НВИЭ приобретал экологический фактор. В первую очередь, это относилось к промышленно развитым странам Северной Америки, Западной Европы и Японии, в которых экологические стандарты на выбросы загрязняющих веществ в атмосферу постоянно ужесточались. Поэтому в настоящее время НВИЭ фигурируют как в национальных программах по энергосбережению, так и в природоохранных программах.

Тема 3 **НВИЭ в России и за рубежом.**

Общая оценка состояния использования. Система государственной поддержки развития возобновляемой энергетики в зарубежных странах. Использование нетрадиционных источников энергии в России и за рубежом.

Федеральный закон «Об энергосбережении», Закон «О развитии нетрадиционных возобновляемых источников энергии в Амурской области»

По оценке Американского общества инженеров-электриков, если в 1980 году доля производимой электроэнергии на ВИЭ в мире составляла 1 %, к 2005 году она достигла 5 %, то к 2020 г она достигнет 13 %, а к 2060 – 33 %.

По данным Министерства энергетики США, в этой стране к 2020 году объем производства электроэнергии на базе ВИЭ может составить от 11 до 22 % от общего производства (включая мощные ГЭС).

В планах Европейского Союза увеличение доли использования ВИЭ в энергопотреблении (т.е. производства электричества и тепла) с 6 % в 1996 году до 12 % в 2010 г.

Исходная ситуация в странах ЕС различна. И если в Дании доля возобновляемых источников энергии в 2000 году достигла 10 %, то Нидерланды планируют увеличить долю возобновляемых источников энергии с 3 % в 2000 г. до 10% в 2020 г.

Основной результат в общей картине определяет Германия, в которой планируется увеличить долю возобновляемой энергетики с 5,9% в 2000 г. до 12% в 2010 г. в основном за счет энергии ветра, солнца и биомассы.

К 2010 г. электрическая мощность электростанций в мире на возобновляемых источниках энергии (без крупных ГЭС) составит 380-390 ГВт, что превышает мощность всех электростанций России (215 ГВт) в 1,8 раза.

Все причины, по которым развитые страны активно работают в области использования ВИЭ, распространяются и на Россию. Однако существует специфика, вызванная существующим состоянием экономики и общества. Главная особенность состоит в том, что работы по ВИЭ в России направлены

на решение социальных проблем, снижение уровня безработицы, развитие малого бизнеса, повышение качества жизни населения, уровня образования и культуры. Ниже в порядке приоритетности приводятся направления использования ВИЭ по экономическим и социальным критериям.

- Обеспечение энергоснабжения удаленных районов, не подключенных к сетям энергосистем.

- Предотвращение или снижение ограничений потребителей, подключенных к сетям энергосистем. Создание конкурентной среды в энергетике, прежде всего, в дефицитных энергосистемах.

- Развитие собственной промышленности. Постоянное увеличение в экспорте доли машин и оборудования, создание дополнительных рабочих мест, реализация имеющегося высокого научно-технического потенциала России.

- Снижение экологической напряженности, существующей в ряде городов, в том числе в зонах отдыха за счет снижения вредных выбросов от энергетических установок.

- Обеспечение энергетической безопасности некоторых регионов России, в том числе: Камчатки, Чукотки, Приморья, Архангельской области и др. – ситуация с энергоснабжением в которых не нуждается в комментариях.

Барьеры и препятствия на пути использования ВИЭ в России

Законодательный барьер. Аспекты барьера: отсутствие закона, отсутствие государственных целей и приоритетов развития ВИЭ – отсюда неясность перспективы. Отсутствие нормативных подзаконных актов, обеспечивающих на практике свободный доступ независимых производителей к электрическим сетям энергосистем. Отсутствие государственных органов управления на федеральном уровне и научных центров.

Экономический барьер. Аспекты барьера: низкий платежеспособный спрос населения и организаций. Многие субъекты РФ – дотационные, нет экономических стимулов для вложения инвестиций (налоговые льготы, льготные кредиты), отсутствие утвержденной федеральной программы. Отсутствие механизмов финансирования и возврата вложенных средств, недостаточный уровень экономических знаний организаций, принимающих решения.

Научно-технический барьер. Аспекты барьера: отсутствие по некоторым видам ВИЭ готовых систем энергоснабжения, низкий уровень стандартизации и сертификации оборудования, неразвитость инфраструктуры, отсутствие обслуживающего персонала, недостаточный объем научно-технических и технологических разработок, недостаточный уровень технических знаний организаций, принимающих решения.

Психологический барьер. Аспекты барьера: Россия богата энергоресурсами, привычка к централизованным поставкам, привычка энергетиков к большим единичным мощностям.

Информационный барьер. Аспекты барьера: слабая осведомленность населения, руководителей и общественности о возможностях ВИЭ. Отсутствие широко поставленной пропаганды по радио, телевидению и в печати воз-

возможностей и достоинств ВИЭ, отсутствие сведений о положительных примерах использования.

В течение 80-х годов за рубежом был достигнут значительный прогресс в снижении стоимости энергии, производимой на базе НВИЭ и качестве выпускаемого нетрадиционного энергетического оборудования. Особенно это относится к ветроэнергетическим установкам и фотоэлектрическим преобразователям солнечной энергии.

Как показывает опыт большинства стран, осваивающих НВИЭ, прогресс в этой сфере был бы невозможен без государственной поддержки.

Правовое обеспечение поддержки развития НВИЭ в зарубежных странах включает соответствующие положения, относящиеся к различным законодательным документам (законам, директивам, правилам), как в сфере энергосбережения, так и охраны окружающей среды. Необходимость и формы осуществления такой поддержки в отдельных странах фиксируются также в национальных и региональных энергетических и экологических программах, а также в программах развития отдельных отраслей экономики (например, сельского хозяйства). Кроме этого, осуществляется поддержка НВИЭ на межстрановом уровне. Здесь в качестве примера можно привести соответствующие программы стран ЕС.

Формы государственной поддержки НВИЭ разнообразны. Они могут осуществляться как прямо, так и косвенно.

Конкретная финансовая поддержка НВИЭ в зарубежных странах включает в себя финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР), образовательных программ, а также поддержку производителей необходимого оборудования, распределителей и пользователей энергии, производимой на базе НВИЭ.

Государственная поддержка НИОКР в области НВИЭ особенно необходима на начальной стадии развития нетрадиционной энергетики, поскольку создает предпосылки для ускорения научно-технического прогресса в области разработки экономически конкурентоспособных систем.

В настоящее время основным элементом косвенной поддержки НВИЭ в промышленно-развитых странах является установление ограничений на использование традиционных энергоресурсов путем установления специальных налогов.

В рамках ветроэнергетического демонстрационного проекта ЕС в середине 80-х годов была установлена ВЭУ в Ирландии мощностью 18 кВт.

В строительстве и испытании мощных ВЭУ также принимала участие Европейская Комиссия (ЕК). ВЭУ модели WK 60 (мощность 1,2 МВт) установлены в Западной Германии и Испании. В Греции планируемый проект мощностью 3,9 МВт для островов Эгейского моря финансируется в соответствии с программой ЕС HORS-QUOTA. Кроме того, в различных частях страны уже осуществляются 15 демонстрационных проектов, финансируемых ЕС.

При финансовом содействии ЕС в Италии (близ г. Брони) был построен и действует крупнейший в ЕС завод по производству биогаза (мощность метантека 2 тыс. м³) из твердых бытовых отходов и осадка сточных вод ЕС.

Наибольшее развитие конкретная финансовая поддержка получила в области средней и малой ветроэнергетики в странах ЕС. В первую очередь, это относится к Дании, Нидерландам, Западной Германии и Великобритании.

Производители ВЭУ субсидируются с целью стимулирования производства более экономически эффективных образцов. Субсидия увеличивается только после проверки и подтверждения технических характеристик усовершенствованных образцов.

Обязательная система поддержки цен на электроэнергию с ВЭУ применяется также и в Греции, где закон от 1985 года требует, чтобы занимающая монопольное положение государственная электрическая компания РРС была обязана покупать электроэнергию у мелких независимых производителей.

В США производством и распределением энергии занимаются в основном частные компании, однако на долю общественных (федеральных, муниципальных, кооперативных и т.д.) коммунальных служб приходится 22% производимой в стране электроэнергии. Закон PURPA требует от общественных коммунальных служб приобретать электроэнергию от независимых производителей (к ним относятся владельцы нетрадиционных энергетических установок) по «полной стоимости», т.е. по цене, определяемой из расчета себестоимости, по которой электроэнергия из НВИЭ производилась бы самими общественными коммунальными службами. Это означает, что частные инвесторы, которые хотят, например, установить ветроэнергетическую установку или восстановить малую гидроэлектростанцию имеют гарантированный рынок сбыта для производимой ими электроэнергии.

Для стимулирования производителей за счет использования НВИЭ на стационарных установках в США в 80-х годах практиковалась система налоговых стимулов, выразившихся в основном в налоговых скидках. Налоговые стимулы действовали как на федеральном, так и на штатном уровнях.

Для самостоятельного изучения.

Основные положения закона Амурской области «О развитии нетрадиционных возобновляемых источников энергии в Амурской области». [5]

Тема 4

Использование Солнца как источника тепловой энергии.

Солнечная энергия и методы ее преобразования. Спектральные характеристики солнечного излучения. Влияние географических координат, ориентировки приемника излучения в пространстве, времени суток и времени года.

Преобразование солнечной энергии в тепловую. Типы солнечных коллекторов, их характеристики и способы повышения эффективности. Концентраторы солнечной энергии.

Активные и пассивные солнечные тепловые системы. Принцип действия и параметры солнечных установок для отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования воздуха. Использование солнечного тепла в промышленности, сельском хозяйстве и для бытовых нужд.

Солнечная энергия – это неисчерпаемый возобновляемый источник экологически чистой энергии. На Землю попадает незначительная доля излучаемой Солнцем энергии, причем 95% поступающей солнечной энергии – это коротковолновое излучение в диапазоне длин волн от 0,3 до 2,4 мкм.

Верхней границы атмосферы Земли за год достигает поток солнечной энергии в количестве $5,6 \cdot 10^{24}$ Дж. Атмосфера Земли отражает 35% этой энергии, т.е. $1,9 \cdot 10^{24}$ Дж обратно в космос, а остальная энергия расходуется на нагрев земной поверхности (около $2,4 \cdot 10^{24}$ Дж); испарительно-осадочный цикл (около $1,3 \cdot 10^{24}$ Дж) и образование волн в морях и океанах, воздушных и океанских течений и ветра (около $1,2 \cdot 10^{22}$ Дж). Мощность потока солнечного излучения у верхней границы атмосферы Земли равна $1,78 \cdot 10^{17}$ Вт, а на поверхности Земли – $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт.

Плотность потока солнечной энергии I_0 у верхней границы атмосферы на поверхность, расположенную перпендикулярно направлению солнечных лучей, составляет 1353 Вт/м^2 и называется *солнечной постоянной*, а среднее количество энергии $E_{0.н.}$, поступающей за 1 ч на 1 м^2 этой поверхности, равно $4871 \text{ кДж/(ч} \cdot \text{м}^2)$.

Распределение глобального потока солнечной радиации на поверхности земного шара крайне неравномерно. Количество солнечной энергии, поступающее за год на 1 м^2 поверхности Земли, изменяется приблизительно от 3000 МДж/м^2 на севере до 8000 МДж/м^2 в наиболее жарких пустынных местах.

Преобразование солнечной энергии в теплоту, работу и электричество.

Солнечная энергия может быть преобразована в тепловую, механическую и электрическую энергию, использована в химических и биологических процессах. Солнечные установки находят применение в системах отопления и охлаждения жилых и общественных зданий, в технологических процессах, протекающих при низких, средних и высоких температурах. Они используются для получения горячей воды, опреснения морской или минерализованной воды, для сушки материалов и сельскохозяйственных продуктов и т.п. Благодаря солнечной энергии осуществляется процесс фотосинтеза и рост растений, происходят различные фотохимические процессы.

В целом способы утилизации солнечной энергии делятся на две основные группы: прямое использование солнечной радиации и косвенное, через ее вторичные проявления, в виде энергии ветра, тепловой энергии океана, энергии запасов биомассы растений, гидроэнергии и т.д.

Прямое использование солнечной энергии, в свою очередь, можно подразделить на тепловое, фото- и термоэлектрическое превращение солнечной радиации, т.е. получение тепловой или электрической энергии при воздействии солнечной радиации на различного рода специальные устройства под названием гелиоприемников или коллекторов.

Отличительной особенностью солнечной энергии является то, что она сильно зависит от атмосферных условий, и в первую очередь от облачности. Интенсивность солнечного излучения в течение суток меняется от максимума в полдень до нуля ночью. Поэтому на энергетических системах, использующих солнечную энергию, должны устанавливаться специальные устройства, которые аккумулировали бы солнечную энергию в периоды излучения высокой интенсивности и могли бы включаться в систему в ночное время или при слишком малом солнечном излучении. По сравнению с традиционными источниками энергии, солнечная энергия обладает малой плотностью. Поэтому для получения тепловых потоков, достаточных для функционирования современных энергетических систем и технологических процессов, необходимо применять солнечные концентраторы. В современных солнечных установках с концентраторами достигнуты температуры выше 3000 К, позволяющие использовать энергию Солнца для таких высокотемпературных процессов, как плавка металлов.

Основными конструктивным элементом солнечной установки является коллектор, в котором происходит улавливание солнечной энергии, ее преобразование в теплоту и нагрев воды, воздуха или какого-либо другого теплоносителя. Различают два типа солнечных коллекторов – плоские и фокусирующие. В плоских коллекторах солнечная энергия поглощается без концентрации, а в фокусирующих – с концентрацией, т.е. с увеличением плотности поступающего потока радиации. Наиболее распространенным типом коллекторов в низкотемпературных гелиоустановках является плоский коллектор солнечной энергии (КСЭ). Для того, чтобы изготовить плоский КСЭ, необходима прежде всего, лучепоглощающая поверхность, имеющая надежный контакт с рядом труб или каналов для движения нагреваемого теплоносителя. Совокупность плоской лучепоглощающей поверхности и труб (каналов) для теплоносителя образует единый конструктивный элемент – *абсорбер*. Для лучшего поглощения солнечной энергии верхняя поверхность абсорбера должна быть окрашена в черный цвет или должна иметь специальное поглощающее покрытие. Снижение тепловых потерь от абсорбера в окружающее пространство достигается путем применения тепловой изоляции, закрывающей нижнюю поверхность абсорбера, а также светопрозрачной изоляции, размещаемой над абсорбером на определенном расстоянии от него. Все названные элементы помещаются в корпус, и производится уплотнение прозрачной изоляции – остекления.

Максимальная температура, до которой можно нагреть теплоноситель в плоском коллекторе не превышает 100 °С и зависит как от климатических данных, так и от характеристик коллектора и условий его эксплуатации. К

числу принципиальных преимуществ плоского КСЭ по сравнению с коллекторами других типов относится его способность улавливать как прямую (лучистую), так и рассеянную солнечную энергию и, как следствие этого, – возможность его стационарной установки без необходимого слежения за Солнцем.

При использовании концентраторов, т.е. оптических устройств типа зеркал или линз, достигается повышение плотности потока солнечной энергии. Это имеет место в фокусирующих коллекторах солнечной энергии, требующих специального механизма для слежения за Солнцем. Зеркала – плоские, параболические или параболоцилиндрические – изготавливают из тонкого металлического листа или фольги или других материалов с высокой отражательной способностью; линзы – из стекла или пластмасс. Фокусирующие коллекторы обычно применяют там, где требуются высокие температуры (солнечные электростанции, печи, кухни и т.п.). В системах теплоснабжения зданий они, как правило, не используются.

Эффективность солнечных коллекторов и методы ее повышения. Показателем эффективности КСЭ является его коэффициент полезного действия, равный отношению теплопроизводительности коллектора к количеству солнечной энергии, поступающему на коллектор:

$$\eta_K = \frac{Q_K}{E_K \cdot F}, \quad (1)$$

где Q_K – теплопроизводительность коллектора, Вт·ч; E_K – количество солнечной энергии, поступающей на 1 м² площади поверхности КСЭ, Вт·ч/м²; F – площадь поверхности абсорбера, м².

Повышение тепловой эффективности солнечных коллекторов может быть достигнуто путем применения: концентраторов солнечного излучения, селективно-поглощающего покрытия абсорбера; вакуумирования пространства внутри коллектора; нескольких слоев прозрачной изоляции; сотовой ячеистой структуры в пространстве между абсорбером и остеклением и антиотражательных покрытий на остеклении.

В результате применения указанных методов снижаются тепловые потери коллектора и повышается его КПД.

Солнечные тепловые системы бывают пассивными и активными. Пассивные системы – это, как правило, неподвижные устройства, ориентированные под определенным углом к горизонту на юг. Ими могут быть стены или крыши домов, сельскохозяйственных помещений, специальным образом окрашенные и остекленные, они позволяют получать за счет солнечной радиации низкотемпературное тепло, используемое для обогрева и вентиляции помещений, для подогрева воды. Характерным признаком активных систем является наличие коллектора солнечной энергии, аккумулятора теплоты, дополнительного источника энергии, трубопроводов, теплообменников, насосов или вентиляторов и устройств для автоматического контроля и управления. В пассивных системах роль солнечного коллектора и ак-

кумулятора теплоты обычно выполняют сами ограждающие конструкции здания, а движение теплоносителя (воздуха) осуществляется за счет естественной конвекции без применения вентилятора.

Тема 5

Преобразование солнечной энергии в электрическую.

Физические основы преобразования энергии солнечного излучения в электрическую. Схемы, принцип действия и характеристики солнечных электростанций с термодинамическим циклом.

Фотопреобразование. Типы солнечных батарей, их параметры, КПД. Конструкция фотоэлементов и перспективы применения солнечных батарей.

Комбинированные установки для производства тепловой и электрической энергии. Экономические и экологические аспекты использования солнечной энергии.

Известны методы термодинамического преобразования солнечной энергии в электрическую, основанные на использовании циклов тепловых двигателей, термоэлектрического и термоэмиссионного процессов, а также прямые методы фотоэлектрического, фотогальванического и фотоэмиссионного преобразований. Наибольшее практическое применение получили фотоэлектрические преобразователи и системы термодинамического преобразования с применением тепловых двигателей.

Солнечная энергия преобразуется в электрическую на солнечных электростанциях (СЭС), имеющих оборудование, предназначенное для улавливания солнечной энергии и ее последовательного преобразования в теплоту и электроэнергию. Для эффективной работы СЭС требуется аккумулятор теплоты и система автоматического управления.

Улавливание и преобразование солнечной энергии в теплоту осуществляется с помощью оптической системы отражателей и приемника сконцентрированной солнечной энергии, используемой для получения водяного пара или нагрева газообразного или жидкометаллического теплоносителя (рабочего тела).

Для размещения солнечных электростанций лучше всего подходят засушливые и пустынные зоны. Районы, в которых годовое количество осадков не превышает 250 мм, занимают около 1/8 части всей суши Земли. На поверхность самых больших пустынь мира общей площадью 20 млн. км² (площадь Сахары 7 млн. км²) за год поступает около $5 \cdot 10^{16}$ кВт·ч солнечной энергии. При эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую, равной 10%, достаточно использовать всего 1% территории пустынных зон для размещения солнечных электростанций, чтобы обеспечить современный мировой уровень энергопотребления.

В настоящее время строятся солнечные электростанции двух типов: СЭС башенного типа и СЭС распределенного (модульного) типа. Идея, лежащая в основе работы СЭС башенного типа была высказана более 350 лет назад, однако строительство СЭС этого типа началось только в 1956 году, а в 80-х годах был построен ряд мощных солнечных электростанций в США, Западной Европы, СССР и в других странах.

В 1985 г. в п. Щелкино Крымской области была введена в эксплуатацию первая в СССР солнечная электростанция СЭС-5 мощностью 5 МВт; 1600 гелиостатов (плоских зеркал) площадью 25,5 км² каждый, имеющих коэффициент отражения 0,71, концентрировали солнечную энергию на центральный приемник в виде открытого цилиндра, установленного на башне высотой 89 м и служащего парогенератором. Строительство СЭС-5 обошлось в 830 млн. рублей, а удельная стоимость установленной мощности равнялась 6 тыс. руб/кВт.

Главными недостатками башенных СЭС являются их высокая стоимость и большая занимаемая площадь. Так, для размещения СЭС мощностью 100 МВт требуется площадь в 200 га, а для АЭС мощностью 1000 МВт – всего 50 га.

В СЭС распределенного (модульного) типа используется большое число модулей, каждый из которых включает параболо-цилиндрический концентратор солнечного излучения и приемник, расположенный в фокусе концентратора и используемый для нагрева рабочей жидкости, подаваемой в тепловой двигатель, который соединен с электрогенератором. Самая крупная СЭС этого типа построена в США и имеет мощность 12,5 МВт.

При небольшой мощности более экономичны СЭС модульного типа. В то же время башенные СЭС мощностью до 10 МВт нерентабельны, их оптимальная мощность равна 100 МВт, а высота башни 250 м. В СЭС модульного типа обычно используются линейные концентраторы солнечной энергии с максимальной степенью концентрации около 100, а в башенных СЭС используется центральный приемник с полем гелиостатов, обеспечивающим степень концентрации в несколько тысяч. Во втором случае система слежения за Солнцем значительно сложнее, так как при этом требуется вращение вокруг двух осей. Управление системой осуществляется с помощью ЭВМ.

В качестве рабочего тела в тепловом двигателе обычно используется водяной пар с температурой 550 °С, воздух и другие газы – до 1000 °С, низкокипящие органические жидкости (в том числе фреоны) – до 100 °С, жидкометаллические теплоносители – до 800 °С.

В ряде стран разрабатываются гелиоэнергетические установки с использованием так называемых солнечных прудов. СЭС на базе солнечных прудов значительно дешевле СЭС других типов, так как они не требуют зеркальных отражателей со сложной системой ориентации, однако их можно сооружать только в районах с жарким климатом. Стоимость производства 1 кВт·ч электроэнергии составляет 0,1 долл., что в 4,5 раза дешевле, чем на СЭС башенного типа.

Энергия солнечной радиации может быть преобразована в постоянный электрический ток посредством солнечных батарей – устройств, состоящих из тонких пленок кремния или других полупроводниковых материалов.

По прогнозам к 2010 г. суммарная мощность СЭС в мире должна достичь 128,5 млн. кВт, в т.ч. СЭС с термодинамическим преобразованием – 115 млн. кВт, с солнечными прудами – 3,5 млн. кВт и фотоэлектрическими установками – 10 млн. кВт.

Прямое превращение солнечной энергии в электрическую. Большие перспективы по прямому получению электричества из солнечной энергии открывает использование фото- и термоэлектрических преобразователей. Энергетические системы с такими преобразователями находят применение в отдаленных и сельских районах при производстве небольших количеств электроэнергии для бытовых нужд, электропитания радио- и телеаппаратуры, а также в целях обеспечения энергией средств связи. Данные системы размещаются и в пустынях для производства электрической энергии, приводящей в действие водяные насосы.

Преимущество фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) обусловлено отсутствием подвижных частей, их высокой надежностью и стабильностью. При этом их срок службы практически неограничен. Они имеют малую массу, отличаются простотой обслуживания, эффективным использованием как прямой, так и рассеянной солнечной радиации. Модульный тип конструкции позволяет создавать установки практически любой мощности и делает их весьма перспективными.

Фотоэлектрические батареи широко распространены в космической технике, для питания бортовых систем аппаратов, находящихся на околоземных орбитах или в открытом космическом пространстве. Основную часть фотоэлектрических генераторов составляют полупроводниковые элементы, в которых под влиянием солнечного излучения проявляется фотоэлектрический эффект. Он возникает в результате воздействия солнечного излучения на поверхностные слои полупроводника толщиной $\approx 2-3$ мкм, высвобождая при этом некоторое количество электронов. С появлением в теле полупроводника свободных электронов и при наличии разности электрических потенциалов в нем возникает электрический ток. Разность потенциалов образуется между облучаемой поверхностью полупроводника и его «теневой» стороной за счет внедрения в его поверхностные слои специальных добавок. Один вид добавок образует дополнительные электроны и отрицательный заряд поверхности, другой – дефицит электронов, и, следовательно, положительный заряд. Отрицательный и положительный заряды создают разность потенциалов.

Большинство фотоэлектрических генераторов изготавливается из кремниевых элементов. Кремний – один из самых дешевых материалов на земле – может быть выделен из простого песка. Фотоэлектрические элементы получают из кварцевых кристаллов, к которым предъявляются высокие требования по чистоте. Они производятся путем плавления кремния, и затем выращивания в виде круглых стержней диаметром от 50 до 150 мм. Для получе-

ния непосредственно полупроводниковых элементов эти стержни разрезаются на тонкие пластины, толщиной около 300 мкм, которые и служат основной частью фотоэлектрических элементов. На сторону, обращенную к солнцу, наносится тонкий слой фосфора, дающий избыток электронов для отрицательного заряда. Положительный заряд достигается за счет присутствия брома, дающего недостаток электронов в поверхностном слое «теневого» стороны. На наружную сторону элемента накладывается металлическая сетка (она служит отрицательным электродом), на внутреннюю напыляется металл, который выполняет функцию положительного электрода. В наземных условиях с интенсивностью светового излучения 1 кВт/м^2 коэффициент полезного действия данных элементов может достигнуть $\approx 19 \%$. В настоящее время для обычных кремниевых элементов КПД 10-15 %.

Другим весьма перспективным полупроводниковым материалом для изготовления фотоэлектрических элементов является сульфид кадмия. Несмотря на то, что КПД сульфидно-кадмиевых элементов меньше, чем кварцевых, и приблизительно равен 8-10 %, данные элементы проявляют большую стабильность при высоких температурах. Если эффективность кремниевых элементов падает с повышением их температуры, то сульфидно-кадмиевые сохраняют постоянный коэффициент полезного действия до 90°C . Это свойство особенно важно в условиях жаркого климата.

Еще один перспективный полупроводниковый материал – арсенид галлия. Он обладает высокой эффективностью по превращению лучистой энергии в электрическую с КПД до 27 %. Это самый высокий коэффициент полезного действия для солнечных фотоэлектрических генераторов. Кроме того, арсенид галлия проявляет стабильность при температурах выше 100°C . Однако ограниченные запасы и высокая цена этого материала затрудняет его применение.

Другая система, которая позволяет осуществлять прямое преобразование солнечной световой энергии в электрическую, – солнечные термоэлектрогенераторы.

Принцип действия термоэлектрических электрогенераторов основан на эффекте Зеебека. Суть его в том, что в замкнутой цепи, состоящей из разнородных проводников, возникает ЭДС, если места контактов поддерживаются при разных температурах. В простейшем случае, когда электрическая цепь состоит из двух различных проводников, она называется термопарой.

Фото- и термоэлектрические солнечные генераторы находят применение в различных областях народного хозяйства.

Солнечные электрогенераторы этих типов нашли широкое распространение в космической технике. Фото- и термоэлектрические генераторы оборудованы практически все космические аппараты, запускаемые на околоземные орбиты и в открытое космическое пространство.

В настоящее время рассматриваются проекты по крупномасштабному производству электрической энергии в космосе с последующей ее передачей на Землю. Все эти проекты основаны на создании фотоэлектрических прием-

ников площадью в несколько десятков км² на высоте до 35 тыс. км и расположенных над экватором. В отличие от наземных систем такие станции не создают проблем хранения энергии, так как солнечный свет будет падать на их поверхность непрерывно.

Основной недостаток солнечных электростанций – перебои их работы в ночное время и при непогоде. Поэтому наряду с совершенствованием их тепловых схем разрабатываются «гибридные» системы, в которых в качестве резервного используемого органического топлива (например, сочетание СЭС с газотурбинной или парогазовой установками). Автономные СЭС можно широко использовать, например, в системе насосных станций массивов оазисного орошения.

Тема 6

Использование энергии ветра.

Ветровая энергия и методы ее преобразования. Особенности циркуляции земной атмосферы. Факторы, влияющие на скорость и направление ветра.

Общие характеристики ветряных энергетических установок (ВЭУ). Классификация ветроустановок. ВЭУ с горизонтальной и вертикальной осью. Ветроэнергетические установки для производства электроэнергии и механической работы. Возможности и перспективы развития ветроэнергетики.

Тепловая энергия, непосредственно поступающая от Солнца, преобразуется в кинетическую энергию движения в атмосфере огромных масс воздуха, циркуляция которых и называется ветром.

Крупномасштабная циркуляция воздуха происходит между высокими широтами и экватором. В экваториальных областях Солнце очень сильно нагревает поверхность Земли. В результате горячий воздух вблизи экватора поднимается вверх и двумя потоками движется в сторону северного и южного полушарий. Охладившись в районе полюсов, воздух опускается вниз, образуя крупномасштабное циркуляционное течение у поверхности Земли от полюсов к экватору.

Конечно, данное представление о ветрах идеализировано. Вращение Земли, наличие суши и моря, гор и долин, участков суши, покрытых растительностью, и пустынь, значительно усложняют картину ветров.

Сила и направление ветра в различных зонах по-разному изменяются в зависимости от высоты над поверхностью Земли. Так, на экваторе близко к земной поверхности расположена зона с относительно небольшими скоростями ветра, переменного по направлению, а в верхних слоях рождаются достаточно большие по скорости воздушные потоки в восточном направлении. На высоте от 1 до 4 км от поверхности Земли, около 30⁰ северной и южной широт, образуются достаточно равномерные воздушные течения, назы-

ваемые пассатами. В северном полушарии, ближе к поверхности Земли, их средняя скорость составляет 7-9 м/с.

Вокруг зоны пониженного давления возникают крупномасштабные циркуляции воздушных масс: в северном полушарии – против направления движения часовой стрелки, а в южном – по направлению ее движения. Из-за наклона на $23,5^{\circ}$ оси вращения Земли к плоскости ее движения относительно Солнца, происходят сезонные изменения тепловой энергии, получаемой от него, величина которых зависит от силы и направления ветра над определенной зоной земной поверхности.

Суммарная кинетическая энергия ветров оценивается величиной порядка $0,7 \cdot 10^{21}$ Дж. Вследствие трения, в основном в атмосфере, а так же при контакте с земной и водной поверхностями, эта энергия непрерывно рассеивается, при этом рассеиваемая мощность – порядка 1200 ТВт ($1,2 \cdot 10^{15}$ Вт), что примерно составляет 1 % поглощенной энергии солнечного излучения.

На относительно большой высоте над поверхностью Земли (в среднем 8-12 км) в тропосфере возникают достаточно равномерные и мощные воздушные течения, получившие название струйных. Их образование вызвано особенностями высотной атмосферной циркуляции, поэтому характеристики струйных течений существенно отличаются от параметров приземного ветра. Размеры струйных течений в поперечнике достигают 400-600 км, а протяженность – до 1000 км. Обычно они не подвержены большим сезонным изменениям, но могут менять свое расположение по высоте. Над Восточной Сибирью и Чукоткой, например, иногда опускаются до 3-4 км от поверхности Земли. Скорости воздушных масс в ядре струйного течения составляют 30-80 км/ч, но иногда доходят до 200 км/ч.

Энергетические установки обычно используют ветер в приземном слое на высоте до 50-70 м, реже – до 100 м от поверхности Земли, поэтому наибольший интерес представляют характеристики движения воздушных потоков именно в этом слое. В дальнейшем, по мере создания соответствующих технических средств, удастся использовать и струйные течения, характерные для тропопаузы.

Важнейшей характеристикой, определяющей энергетическую ценность ветра, является его скорость. В силу ряда метеорологических факторов (возмущения атмосферы, изменения солнечной активности, количества тепловой энергии, поступающей на Землю и др.), а также вследствие влияния рельефных условий, непрерывная длительность ветра в данной местности, его скорость и направление изменяются по случайному закону. Поэтому мощность, которую способна выработать ветроустановка в различные периоды времени, можно предсказать с малой вероятностью. В то же время суммарная выработка агрегата, особенно за длительный промежуток времени, рассчитывается с высоким уровнем достоверности, так как средняя скорость ветра и частота распределения скоростей в течение года или сезона изменяются мало.

Основные типы ветроэнергетических установок. Ветродвигатель – лубое устройство (двигатель), использующее кинетическую энергию ветра для

выработки (производства) механической энергии. Ветроэнергетический агрегат (ВЭА) – это система, состоящая из ветродвигателя, одной или нескольких рабочих машин (генератора, насоса, компрессора и т.д.), служащих для выработки определенного вида энергии (например, электрической) и (или) для выполнения заданного процесса (подъема воды, сжатия воздуха, размола зерна и др.)

Ветроэнергетика с ее современным техническим оснащением является вполне сложившимся направлением энергетики. Ветроэнергетические установки мощностью от нескольких киловатт до мегаватт производятся в Европе, США и других частях мира. Большая часть этих установок используется для производства электроэнергии – как в единой системе, так и в автономных режимах.

При скорости ветра u_0 и плотности воздуха ρ ветроколесо, ометающее площадь A , развивает мощность

$$P = C_p \cdot F \frac{\rho w_0^3}{2} \quad (2)$$

Здесь C_p – параметр, характеризующий эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока и называемый коэффициентом мощности. Из (2) видно, что мощность P пропорциональна ометаемой площади A и кубу скорости u_0 . Коэффициент мощности C_p зависит от конструкции ветроколеса и скорости ветра. Так как скорость ветра непостоянна, а мощность очень сильно зависит от скорости, то выбор оптимальной конструкции ветроколеса во многом определяется требованиями потребителя энергии. Обычно среднегодовая мощность, снимаемая с единицы площади ветроколеса, пропорциональна C_p , плотности воздуха и кубу средней скорости, т.е. $P \sim C_p, \rho, w^3$.

Максимальная проектная мощность ветроэнергетической установки (ВЭУ) определяется для некоторой стандартной скорости ветра. Обычно эта скорость равна примерно 12 м/с, при этом снимаемая с 1 м² ометаемой площади мощность – порядка 300 Вт при значении C_p от 0,35 до 0,45. В районах с благоприятными ветровыми условиями среднегодовое производство электроэнергии составляет 25-33 % его максимального проектного значения. Срок службы ветрогенераторов обычно не менее 15-20 лет, а их стоимость колеблется от 1000 до 1500 долл. США за 1 кВт проектной мощности.

Классификация ветроустановок. Ветроэнергетические установки классифицируют по следующим признакам:

а) по геометрии ветроколеса и его положению относительно направления ветра:

ось вращения ветроколеса параллельна воздушному потоку – *горизонтально-осевая установка*; ось вращения ветроколеса перпендикулярна воздушному потоку – *вертикально-осевая установка*.

б) по вращающей силе: *сила сопротивления* – драг-машины, вращаются с линейной скоростью, меньшей скорости ветра; *подъемная сила* – лифт-

машины, линейная скорость концов лопастей существенно больше скорости ветра (та же ситуация, как с парусными судами типа яхт, которые могут передвигаться быстрее ветра).

в) по геометрическому заполнению ветроколеса: *большое; малое*.

г) по цели предназначения: *установки для непосредственного выполнения механической работы* – ветряная мельница или турбина; *установки для производства электроэнергии*, т.е. совокупность турбины и электрогенератора называют ветроэлектрогенераторами, аэрогенераторами, а также установками с преобразованием энергии.

д) по частоте вращения колеса: *постоянная* – у аэрогенераторов, подключенных напрямую к мощной энергосистеме, частота вращения постоянна вследствие эффекта автосинхронизации, но такие установки менее эффективно используют энергию ветра, чем установки с переменной частотой вращения; *зависит от скорости ветра*.

е) по соединению ветроколеса с электрогенератором: *напрямую* (жесткое сопряжение); *через промежуточный преобразователь энергии*, выполняющий роль буфера.

Ветроколесо с горизонтальной осью. Горизонтально-осевые ветроколеса пропеллерного типа. Основной вращающей силой колес этого типа является подъемная сила. Относительно ветра ветроколесо в рабочем положении может располагаться перед опорной башней или за ней.

В ветроэлектрогенераторах обычно используется двух- и трехлопастные ветроколеса, последние отличаются очень плавным ходом. Многолопастные колеса, развивающие большой крутящий момент при слабом ветре, используются для перекачки воды и других целей, не требующих высокой частоты вращения ветрового колеса.

Ветроколесо с вертикальной осью. Ветроэлектрогенераторы с вертикальной осью вращения вследствие своей геометрии при любом направлении ветра находятся в рабочем положении. Кроме того, такая схема позволяет за счет только удлинения вала установить редуктор с генераторами внизу башни.

Принципиальные недостатки таких установок:

1) гораздо большая подверженность их усталостным разрушениям из-за более часто возникающих в них автоколебательных процессов;

2) пульсация крутящего момента, приводящая к нежелательным пульсациям выходных параметров генераторов. Из-за этого большинство ВЭГ выполнено по горизонтально-осевой схеме, однако исследования различных типов вертикально-осевых установок продолжаются.

Концентраторы. Мощность ВЭУ зависит от эффективности использования энергии воздушного потока. Одним из способов ее повышения является использование специальных концентраторов (усилителей) воздушного потока. Это могут быть диффузоры или конфузоры, направляющие на ветроколесо воздушный поток с площади, большей ометаемой площади ротора, и некоторые другие устройства.

Для самостоятельного изучения.

Характеристики ветра. [4]

Тема 7

Использование биомассы.

Источники биомассы. Классификация основных процессов получения биотоплива. Биотопливо для энергетики и бытового потребления. Установки для производства тепла, пиролиза, гидрогенизации, биогаза. Методы переработки бытовых отходов. Мусоросжигательные установки.

То, из чего состоят растения и животные принято называть биомассой. Основа биомассы – органические соединения углерода, которые в процессе соединения с кислородом при сгорании или в результате естественного метаболизма выделяют тепло. Посредством химических или биохимических процессов биомасса может быть трансформирована в такие виды топлива, как газообразный метан, жидкий метанол, твердый древесный уголь. Чистая удельная энергия, которую можно получить при сжигании, варьируется от 10 МДж/кг (сырая древесина) до 40 МДж/кг (жиры, нефтеподобные вещества) и 55 МДж/кг для метана. Теплота сгорания сухой биомассы, являющейся по преимуществу углеводородами, составляет около 20 МДж/кг.

Первоначальная энергия системы «биомасса-кислород» возникает в процессе фотосинтеза под действием солнечного излучения, являющегося естественным вариантом преобразования солнечной энергии. При сгорании биомасса рассеивается, но продукты сгорания могут вновь преобразовываться в биотопливо путем естественных экологических или сельскохозяйственных процессов. Таким образом, использование промышленной биомассы, будучи хорошо увязанным с природными экологическими циклами, может не давать загрязнений и обеспечивать непрерывный процесс получения энергии. Подобные системы называются агропромышленными.

Биомасса как топливо характеризуется содержанием влаги и углерода. Влага присутствует в материале биомассы в виде внутриклеточной и межклеточной воды, поэтому сушка биомассы может оказаться обязательной. В момент сбора урожая влажность растительной биомассы составляет обычно 50 %, а у водорослей может достигать 90 %. Материал считается «сухим», если находится в длительном равновесии со средой, обычно при этом он содержит от 10 до 15 % влаги. Присутствие влаги в топливе из биомассы часто ведет к значительным потерям выхода тепловой энергии в связи с тем, что испарение воды требует 2,3 МДж/кг.

Важна и плотность биомассы. Обычно сухие биологические материалы имеют плотность в 3-4 раза ниже, чем уголь. Доставка и переработка таких материалов из-за этого оказывается трудоемкой и дорогостоящей.

Классификация основных типов энергетических процессов, связанных с переработкой биомассы.

Термохимические.

1. Прямое сжигание для непосредственного получения тепла.
2. Пиролиз. Биомассу нагревают либо в отсутствие воздуха, либо за счет сгорания некоторой ее части при ограниченном доступе воздуха или кислорода (получающиеся продукты – газы, пары, жидкости, масла, древесный уголь).
3. Прочие термохимические процессы. Различные варианты предварительной подготовки сырья и проведения самих процессов.

Биохимические

1. Спиртовая ферментация. Обычно сырьем являются сахара. В процессе ферментации микроорганизмами вырабатывается этиловый спирт - летучее жидкое топливо, которое можно использовать вместо бензина.
2. Анаэробная переработка. В отсутствие кислорода некоторые микроорганизмы способны получать энергию, непосредственно перерабатывая углеродосодержащие составляющие, производя при этом CO_2 и CH_4 . Получаемая смесь CO_2 , CH_4 и попутных газов называется биогазом.
3. Биофотолиз. Фотолиз – это разложение воды на водород и кислород под действием света. Некоторые биологические организмы продуцируют или могут при определенных условиях продуцировать водород путем биофотолиза. Промышленного внедрения еще не получено.

Агрехимические

Экстракция топлив. В некоторых случаях жидкие или твердые разновидности топлива могут быть получены прямо от «живых» или только что срезанных растений. Сок живых растений собирают, надрезая кожуру стеблей или стволов, из свежесрезанных растений его выдавливают под прессом. Подобный процесс – производство каучука. Родственное каучуконосам растение герея производит углеводороды с более низкой, чем у каучуконосов, молекулярной массой, которые можно использовать в качестве заменителя бензина.

Производство биомассы для энергетических целей. Энергетические фермы – производство топлива (энергии) в качестве основы или дополнительного продукта сельскохозяйственного производства (поля), лесоводства (леса), аквакультуры (пресные и морские воды), а кроме того, те виды промышленной и бытовой деятельности, в результате которой образуются органически отходы.

Наиболее характерный пример энергетических ферм представляют собой предприятия по выращиванию и комплексной переработке сахарного тростника. Производство зависит от сжигания отходов переработки тростника, необходимого для снабжения энергией всей технологической цепи.

Одна из наиболее существенных опасностей развития энергетики за счет использования сельскохозяйственных культур заключается в том, что производство энергии станет конкурировать с производством пищи.

Вторая существенная опасность – возможность обеднения и эрозии почв в результате интенсификации выращивания «энергетических» культур.

Сжигание биотоплива для получения тепла. С помощью тепла сжигаемой биомассы готовят пищу, обогревают жилище, осуществляют целый ряд технологических процессов при переработке урожая. Его используют для получения электроэнергии, необходимой для работы различной техники.

Сушка технических культур (копра, чай, какао, кофе, фрукты) для обеспечения их сохранности обычно сопровождается сжиганием древесины или отходов от переработки самих культур, либо использованием излишков тепла от производства электроэнергии. Чтобы высушить материал, его можно непосредственно поместить в поток газообразных продуктов сгорания, однако при этом существует опасность воспламенения и ухудшения пищевых качеств. Более приемлем способ, при котором сушку ведут воздухом, нагретым в теплообменнике.

Сжигание отходов – рациональный способ использования биотоплива, находящегося вблизи от места потребления энергии. Сжигание в эффективных печах позволяет получать потоки чистых горячих выхлопных газов ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{избыточный воздух}$) при температуре около 1000°C , которые могут быть приведены к требуемой температуре за счет подмешивания холодного воздуха. Почти всегда выигрыш, получаемый от такой утилизации отходов биомассы, связан с тем, что их общее количество превышает необходимую потребность на сушку собственно конечных продуктов, обеспечивая получение избытка энергии для других целей, например, промышленного получения пара.

Производство тепла и электроэнергии. Пар для обеспечения производства обычно получают, сжигая различные отходы биомассы в топках паровых котлов. При этом возможно использование метода сжигания в псевдоожиженном слое. Физически наиболее выгодно использовать для производства энергии высокотемпературное тепло. Это приводит к тому, что получение электроэнергии сопровождается непрерывным сбросом низкотемпературного тепла.

Пиролиз (сухая перегонка). Под этим термином подразумевают любые процессы, при которых органическое сырье подвергают нагреву или частичному сжиганию для получения производных топлив или химических соединений.

Изначальным сырьем может служить древесина, отходы биомассы, городской мусор и, конечно, уголь.

Продуктами пиролиза являются газы, жидкий конденсат в виде смол и масел, твердые остатки в виде древесного угля и золы.

Традиционная технология получения древесного угля – пиролиз без сбора паров и газов. Газификация – это пиролиз, приспособленный для максимального получения производного газообразного топлива.

Для самостоятельного изучения.

Особенности процесса сжигания мусора, принципиальная схема мусоросжигательной установки. [4]

Тема 8

Геотермальная энергия.

Строение земли и изменение температуры в земной коре. Классификация геотермальных районов. Запас энергии в земной коре и методы ее использования.

Использование геотермальной энергии для обогрева и получения электроэнергии. Современные ГеоТЭС и их оборудование. Проблемы, связанные с использованием геотермальной энергии.

В недрах земли находится значительное количество тепловой энергии, которую принято называть *геотермальной*.

В ядре нашей планеты максимальная температура достигает 4000°C . Выход тепла через твердые породы суши и океанского дна происходит, главным образом, за счет теплопроводности (геотермальное тепло) и реже – в виде конвективных потоков расплавленной магмы или горячей воды. Средний поток геотермального тепла через земную поверхность составляет примерно $0,06 \text{ Вт/м}^2$ при температурном градиенте менее 30°C/км . Этот непрерывный поток тепла обычно сравнивают с аналогичными величинами, связанными с другими возобновляемыми источниками, и в среднем в сумме составляющими 500 Вт/м^2 . Однако имеются районы с повышенными градиентами температуры, где потоки составляют примерно $10\text{-}20 \text{ Вт/м}^2$, что позволяет реализовать геотермальные станции (ГеоТЭС) тепловой мощностью 100 МВт/км^2 и продолжительностью срока эксплуатации не менее 20 лет.

Сведения о геотермальных структурах получают при геологической съемке, проходке шахт, нефтяных скважин. Наиболее важным параметром является температурный градиент, точность измерения которого зависит от сохранения в скважине в процессе бурения невозмущенного поля температур. При глубоком бурении скважины обычно достигают отметки 6 км, но технология бурения остается такой же до глубины 15 км. Технология обустройства таких скважин вполне отработана, так что применительно к строительству ГеоТЭС эта проблема может считаться решенной.

Принято выделять три класса геотермальных районов.

Гипертермальный. Температурный градиент – более 80°C/км . Эти районы расположены в тектонической зоне вблизи границ континентальных плит. Первый такой район был задействован для производства электроэнер-

гии в 1904 г. вблизи Лардерелло (Тоскана, Италия). Почти все из существующих ГеоТЭС размещены именно в таких районах.

Полутермальный. Температурный градиент – примерно от 40 до 80⁰ С/км. Подобные районы связаны главным образом с аномалиями, лежащими в стороне от границ платформ. Извлечение тепла производится из естественных водоносных пластов или из раздробленных сухих пород. Хорошо известный пример такого района находится вблизи Парижа и используется для обогрева зданий.

Нормальный. Температурный градиент – менее 40⁰ С/км. Такие районы наиболее распространены, именно здесь тепловые потоки в среднем составляют примерно 0,06 Вт/м². Маловероятно, чтобы в таких районах даже в будущем стало экономически выгодно извлекать тепло из недр.

Качество геотермальной энергии обычно невысокое, и лучше его использовать непосредственно для отопления зданий и других сооружений или же для предварительного подогрева рабочих тел обычных высокотемпературных установок. Подобные отопительные системы уже эксплуатируются во многих частях света, значительное число проектов находится в стадии проработки. Если случается, что тепло из недр получают при температуре около 150⁰ С, то имеет смысл говорить о преобразовании его в электроэнергию. Несколько важных достаточно мощных ГеоТЭС уже запущены в Италии, Новой Зеландии, США.

Геотермальная энергия горячей воды или пара специально пробуренных скважин может использоваться для производства электроэнергии. В СССР на Камчатке с 1967 г. эксплуатируется Паужетская *геотермальная электростанция* – ГеоТЭС установленной мощностью 11 МВт. Принцип работы одного из вариантов ГеоТЭС с использованием гидротермального источника заключается в следующем. Горячая вода поступает из скважины в сепаратор. Отсепарированный пар используется в паровой турбине для выработки электроэнергии. Вода после сепаратора направляется сначала в бак-аккумулятор, затем в расширитель, где удается получить пар более низких параметров. Этот «вторичный» пар используется для выработки электроэнергии в вакуумной паровой турбине.

Для любой ГеоТЭС важной проблемой является образование накипи, воздействие кислот, выбросы H₂S, так как термальные источники сильно минерализованы.

В связи с низкими температурами термальных водных источников особое внимание следует обратить на совершенствование тепловых схем ГеоТЭС, на выбор приемлемой температуры исходной термальной воды при ее использовании для производства электроэнергии.

Проведенные исследования запасов доступной геотермальной энергии показали, что технический потенциал районов Камчатки, Сахалина и Курильских островов составляет не менее 2000 МВт. Это эквивалентно примерно 4·10⁹ кг условного топлива.

Геотермальные ресурсы и их извлечение. Всю естественную теплоту, заключенную в твердой, жидкой и газообразной составляющих земной коры, можно рассматривать как геотермальные ресурсы двух видов:

- а) гидротермальные (пар, вода, газ);
- б) петрогеотермальные (разогретые горные породы).

Все системы извлечения теплоты делятся на три основные группы.

К первой группе относятся *системы с природными или эндогенными подвижными теплоносителями* (термальные воды, пар, газ, магма), которые выходят на земную поверхность под действие собственного естественного напора по естественным или искусственным вскрытым каналам (скважинам).

Породные теплообменники этих систем представляют собой пласты, линзы и локализованные участки пористых или трещиноватых осадочных пород; участки интенсивной трещиноватости, приуроченные к замкам складок, тектоническим покровам, тектонически подвижным зонам, и глубинным разломам земной коры; карстовые полости и пустоты выщелачивания. Такие теплообменники имеют различное распространение по площади и глубине. Возможны самые разнообразные сочетания их размеров, форм и пространственной ориентации. Теплоносителями этих систем является магма, горячие газы, водяные пары, газообразные смеси, термальные воды.

Вторую группу систем извлечения теплоты образуют *системы с техногенными (нагнетаемыми на рабочий горизонт с земной поверхности) теплоносителями.* Один из типов таких систем – циркуляционные наземные системы (ЦНС). Нагрев теплоносителей в этой системе производится в естественных или искусственных породах-теплообменниках. Аналогично естественным, искусственные теплообменники (геотермальные котлы) представляют собой участки массива горных пород с повышенной температурой, в которых искусственно, например, взрывом, созданы полости, трещины и поры, создающие достаточно большую теплообменную поверхность и обеспечивающие проницаемость подвижного теплоносителя. Циркуляция теплоносителя, в качестве которого используется, как правило, вода, осуществляется через систему нагнетательных и эксплуатационных скважин.

Третью группу систем извлечения теплоты составляют *системы без подвижных теплоносителей.* Сюда входят системы переноса теплоты по теплопроводным каналам, трансэнергетические системы с полупроводниковыми батареями и системы с химическими реакторами.

Геотермальные электростанции. Особенностью ГеоТЭС является *сосредоточение в одном месте систем извлечения теплоты и преобразования ее в электроэнергию*, что связано с нерентабельностью передачи теплоты на большие расстояния. Поэтому определяющими факторами базирования ГеоТЭС будут геолого-геотермические условия – температура пород и их коллекторские свойства на глубинах, доступных для массового бурения, а также запасы теплоты всего месторождения, от которых зависит возможная мощность ГеоТЭС.

Основные отличия наземного комплекса ГеоТЭСна основе ПЦС от современных ТЭС следующие:

- низкие начальные параметры теплоносителя, что приводит к необходимости использования теплоэнергетического оборудования в области влажного пара и создания системы отвода больших количеств низкопотенциального тепла из конденсатора турбин;

- наличие системы трубопроводов для движения теплоносителя от эксплуатационных скважин к турбинам и отработанной воды к нагнетательным скважинам.

Большие трудности в обеспечении надежной работы наземного оборудования связаны с высокой минерализацией и коррозионной агрессивностью термальной воды.

Принципиальная схема ГеоТЭС с ПЦС и естественным породным теплообменником (естественным проницаемым коллектором) состоит из четырех почти независимых систем:

- 1) извлечения (включающей в себя нагнетательный насосы и коллектор ПЦС);
- 2) трубопроводов;
- 3) преобразования (содержащей турбины, генераторы, теплообменники и вспомогательное оборудование);
- 4) технического водоснабжения.

Для самостоятельного изучения.

Влияние геотермального энергоснабжения на окружающую среду.
[8]

Тема 9

Использование энергии малых рек.

Основные принципы использования энергии "падающей" воды. Идеальная и реальная мощность гидротурбин. Активные и реактивные турбины. Типы и классификация малых ГЭС. Схема малой гидроэлектростанции и ее основные элементы. Экономические и экологические аспекты использования энергии малых рек.

Термин «гидроэнергетика» определяет область энергетики, использующей энергию падающей воды. Эта энергия преобразуется или в механическую, или чаще всего в электрическую. Помимо гидроэнергетики водными источниками энергии являются волны и приливы.

Гидроэнергетика является, несомненно, наиболее развитой областью энергетики на возобновляемых ресурсах.

Потенциальные возможности гидроэнергетики оцениваются суммарной мощностью 1,5 ТВт, при этом они наиболее велики в Африке, Китае и Южной Америке.

Гидроэлектростанции и их оборудование используются очень долго, турбины, например, – около 50 лет. Это объясняется условиями их эксплуатации: равномерный режим работы при отсутствии экстремальных температурных и других нагрузок. Вследствие этого стоимость вырабатываемой на гидроэлектростанциях энергии низка и многие из них работают с высоким экономическим эффектом.

Как правило, в первую очередь осваиваются наиболее выгодные гидро-ресурсы, поэтому с течением времени темпы прироста мощности гидростанций в любой стране падают.

Вырабатываемую гидростанциями энергию очень легко регулировать, что очень важно при их использовании в энергосистемах с большими колебаниями нагрузки. Коэффициент полезного действия гидротурбин достигает 90%. Они бывают двух типов: *реактивные гидротурбины*, рабочее колесо которых полностью погружено в воду и вращается в основном за счет разности давлений до и за колесом; *активные гидротурбины*, рабочее колесо которых вращается в воздухе натекающим на его лопасти потоком воды, т.е. кинетической энергией этого потока.

Реактивная гидротурбина может работать при реверсировании генератора как насос, закачивая воду обратно в водохранилище с коэффициентом полезного действия около 80%.

Наиболее сложными проблемами гидроэнергетики являются ущерб, наносимый окружающей среде; заиливание плотин; коррозия гидротурбин и в сравнении с тепловыми электростанциями большие капитальные затраты на их сооружение.

Мощность потока воды, протекающего через некоторое сечение – створ, определяется расходом воды Q , высотой между уровнем воды в верхнем по течению бассейне (верхнем бьефе) и уровнем воды в нижнем по течению бассейне (нижнем бьефе) в месте сооружения плотины. Разность уровней верхнего и нижнего бассейна называется *напором*. Мощность потока в створе (кВт) можно определить посредством расхода ($\text{м}^3/\text{с}$) и напора (м):

$$N = 9,81QH \quad (3)$$

В двигателях ГЭС можно использовать только часть мощности потока воды в створе из-за неизбежных потерь мощности в гидротехнических сооружениях, турбинах и генераторах, учитываемых коэффициентом полезного действия η . Таким образом, приближенно мощность ГЭС

$$N_{\text{ГЭС}} = 9,81QH\eta \quad (4)$$

Напор увеличивают на равнинных реках с помощью плотины, а в горных местностях строят специальные обводные каналы, называемые деривационными.

Целью гидроэнергетической установки является преобразование потенциальной энергии воды в механическую. В отличие от других энергетических установок никакие принципиальные ограничения (термодинамические или динамические) не мешают энергии падающей воды полностью превра-

таться в механическую энергию, исключая потери на удаление воды из турбины.

Величина КПД реальных гидротурбин колеблется от 50% для небольших агрегатов до 90% для больших энергоустановок.

Малая гидроэнергетика. Особое внимание малой гидроэнергетике стало уделяться во многих странах в последние десятилетия в связи с повышением роли возобновляемых источников в электроснабжении, а также усилением охраны природной среды. Сейчас в мире эксплуатируется более 115 000 МГЭС, из них 1100 во Франции, 1200 в Швеции, 1300 в Японии, 1350 в Австралии, свыше 30 000 в Германии и 80 000 в Китае.

Существуют разные *классификации малых ГЭС* по мощности, напору, режиму работы, степени автоматизации, условиям создания.

В нашей стране (а также в США) к малым ГЭС относят все гидроэлектростанции мощностью менее 30 МВт и диаметром рабочего колеса гидротурбины не более 3 м. Однако среди них дополнительно выделяют собственно малые, а также мини- и микроГЭС.

Собственно *малыми ГЭС* называются установки с мощностью в единицы и выше мегаватт. Обычно это полностью автоматизированные стационарные установки, оборудованные гидротурбинами и гидрогенераторами традиционных типов, но малой мощности. По величине напора они подразделяются на низконапорные (<20 м), средненапорные (20-75 м) и высоконапорные (>75 м). Такие ГЭС могут быть плотинными, деривационными и смешанными (имеющими как плотины, так и деривации).

Использование гидравлической энергии с помощью микро- и малых ГЭС является одним из наиболее эффективных направлений развития нетрадиционной энергетики. Это объясняется значительным экономическим потенциалом малых рек (в России он составляет до 60 млрд кВт·ч, а используется менее, чем на 50%) при сравнительной простоте его использования.

В свое время на территории нашей страны работало до 8 000 малых ГЭС, сегодня же их число в России едва достигает 300.

В то же время лидер в малой гидроэнергетике, Китай, увеличил общую мощность малых ГЭС за последние 40 лет более, чем в 3 00 раз.

В основном современные гидроэнергетические установки используются для производства электроэнергии, хотя имеются установки и другого назначения (например, гидравлический таран). В гидроэлектростанцию входят водохранилище, подводящий водовод, регулятор расхода воды, гидротурбина, электрогенератор, система контроля и управления параметрами генератора, электрораспределительная система.

Для самостоятельного изучения.

Методы измерения напора и расхода воды для оценки гидроресурсов. Гидравлический таран. [4]

Тема 10

Использование тепловой энергии океана.

Энергетический потенциал мирового океана и способы его освоения. Термодинамические основы использования тепловой энергии океана. Идеальный и реальный теплообменник, его расчет. Биообрастания и методы борьбы с ними. Рабочее тело паротурбинной установки. Требования к насосным агрегатам. Технические и экологические проблемы использования тепловой энергии океана.

Таблица 2

Годовой потенциал энергии морей и океанов

Категория ресурсов	ТВт·ч	млн ТДж
Приливы	22 000	79
Волны	48 000	65
Тепловая энергия океана	2 000 000	7200
Градиент солености	23 000	83
Всего	2 063 000	7400

Ресурсы морей и океанов можно разбить на три группы:

- 1) вертикальные термоградиенты и океанические ветры;
- 2) морская биомасса и геотермальные воды;
- 3) поверхностные волны, течения и перепады солености.

Мощности и стоимости различных потенциальных источников энергии приведены в табл. 3.

Таблица 3

Источники энергии	Мощность, млн. кВт	Стоимость пр-ва эл.энергии, цент/(кВт·ч)
Вертикальные термоградиенты	10 000	4-7
Поверхностные волны	500	11-24
Морские течения	60	13-32
Океанские ветры	170	5-9
Перепады солености	3 500	14-29
Топливная биомасса	770	11-15
Геотермальные воды	3 000	25-30

Приведенные показатели свидетельствуют о большой стоимости «энергии будущего». В самом деле, если читать, что электроэнергия, полученная на основе нефти, угля или урана, стоит в среднем 3-6 центов за 1 кВт·ч, то энергия, вертикальных термоградиентов и океанских ветров будет в 1,5-2 раза дороже. Остальные виды энергии будут дороже в 4-6 раз.

Из указанных возможностей энергий океана пока наиболее ясно использование вертикальных термоградиентов.

Мировой океан – крупнейший естественный коллектор солнечного излучения. В нем между теплыми, поглощающими солнечное излучение поверхностными водами и более холодными придонными достигается разность температур в 20° . Это обеспечивает непрерывно пополняемый запас тепловой энергии, которая принципиально может быть преобразована в другие виды. Сам термин преобразование тепловой энергии океана *ОТЕС* – *ocean thermal conversion* – означает преобразование некоторой части этой тепловой энергии в работу и далее в электроэнергию.

Работа так называемой «закрытой» системы происходит следующим образом. Насос обеспечивает циркуляцию аммиака, имеющего очень низкую температуру кипения, в замкнутом контуре. Теплая океаническая вода нагревает аммиак (верхняя часть схемы), который переходит в газообразное состояние и в этом виде поступает на турбину, где он расширяется и приводит в действие генератор. С турбины аммиак выходит с пониженной температурой и при меньшем давлении и пропускается через теплообменник, использующий холодную воду; газ сжижается, и цикл повторяется. В «открытой» системе в качестве рабочего тела используется морская вода; ее температура кипения снижается в вакуумной камере, где поддерживается давление на уровне 3,5% от нормального атмосферного.

Допустим, что поток теплой воды с объемным расходом Q поступает в систему при температуре T_G и покидает ее при температуре T_X (температура холодных глубинных вод). Мощность P_0 , отдаваемая теплой водой в идеальном теплообменнике при $\Delta T = T_G - T_X$ определяется:

$$P_0 = \rho \cdot c_p \cdot Q \cdot \Delta T \quad (5)$$

На основе второго начала термодинамики максимальная механическая мощность, которую можно получить от преобразования теплового потока,

$$P = \eta_K \cdot P_0 \quad (6)$$

где

$$\eta_K = \frac{\Delta T}{T_G} \quad (7)$$

есть КПД идеальной тепловой машины Карно, работающей при перепаде температур между T_G и $T_X = T_G - \Delta T$. Безусловно, выход в случае реальной системы будет существенно ниже, чем P . Реальные тепловые машины работают не по циклу Карно, скорее, их цикл ближе к идеальному циклу паровой турбины Ренкина. Тем не менее, эти выражения позволяют проиллюстрировать возможности и ограничения ОТЕС.

Для получения значительных возможностей требуются существенные потоки воды даже для случая максимально возможного в океане перепада температур. Это в свою очередь требует применения громоздких и, соответственно, дорогостоящих технических средств.

Безусловно, стабильность и независимость от капризов погоды – главные преимущества ОТЕС как возобновляемого источника энергии. Ниже перечислены другие важные преимущества ОТЕС.

1. В подходящих для размещения преобразователей районах ограничения на значения преобразуемых ресурсов накладывают только размеры установок.

2. Создание экономически оправданных установок требует лишь некоторой доработки таких широко апробированных устройств, как теплообменники и турбины. Никаких совершенно новых или технически невозможных устройств не требуется.

Главные недостатки – стоимость и масштабы установок. Если бы удалось достичь фактической мощности P , то стоимость стала бы минимальной, но принципиальные ограничения накладывают необходимость учитывать вязкость жидкости и несовершенство теплообменников.

Один из факторов увеличения стоимости систем океанских термальных станций (ОТЭС) – дороговизна их обслуживания в открытом море и передачи энергии на берег. Однако существуют прибрежные районы, где дно резко падает и оборудование ОТЭС может быть размещено на суше.

Теплообменники. При расчете идеальной выходной мощности было сделано допущение об идеальном характере теплообмена между океанской водой и рабочим телом в системах ОТЭС. На практике это далеко от истины даже для самых лучших теплообменников.

Наиболее распространенным является кожухотрубный теплообменник. Основные неприятности возникают из-за низкой теплопроводности самой морской воды. Чтобы достичь максимального КПД тепловой машины, требуется минимизировать сопротивление теплопередаче и сделать теплообменник как можно более эффективным. Поэтому трубы теплообменника должны быть сделаны из металла, хорошо проводящего тепло, их должно быть достаточно много, чтобы они могли обеспечить необходимую площадь рабочей поверхности. Другой способ улучшения теплопередачи – увеличение поверхности за счет оребрения труб, применения пористых покрытий, турбулизаторов внутри труб. При таком усложнении конструкций не удивительно, что теплообменники оказываются наиболее дорогостоящей частью ОТЭС. Стоимость увеличивается еще и потому, что материал труб должен противостоять коррозии и в морской воде, и в среде рабочего тела, и все соединения должны быть гарантированно герметичными.

Биообрастания. Внутренние поверхности трубок теплообменников уязвимы для оседания морских организмов, что увеличивает сопротивление теплопередаче и снижает работоспособность ОТЭС. Биообрастание – одна из главных проблем при проектировании таких станций: увеличение площади поверхности теплообменников создает условия для дополнительного расселения организмов-обрастателей. Среди методов, позволяющих бороться с обрастанием, – механическая очистка за счет непрерывно пропускаемого по

трубкам теплообменников плотно притирающихся шариков и химическая очистка путем введения биоцидов в морскую воду.

Требования к насосным агрегатам. Работа ОТЭС требует огромных количеств поверхностных и глубинных вод, прокачки рабочего тела. Все это сопровождается совершением работы против сил сопротивления, и на все расходуется мощность ОТЭС, что приводит к дополнительному расходу мощности исходного потока P .

Избежать серьезных потерь в трубопроводах можно, сделав их диаметр достаточно большим. Однако так как потери напора изменяются пропорционально D^{-4} или даже D^{-5} , они могут стать ощутимыми в переходах от трубопровода к теплообменнику и внутри самого теплообменника. Безусловно, все попытки увеличить теплопередачу за счет развития поверхностей теплообменника и турбулизации потока в нем, ведут к увеличению сопротивления движению потока внутри него.

Выбор рабочего тела. Имеется масса доступных для использования жидкостей, имеющих подходящую точку кипения, например, аммиак, фреоны или даже вода. Конечно, если рассматривать воду, то ее точка кипения должна быть понижена до температуры поверхностных вод за счет частичного вакуумирования (снижения давления). На этом основано действие систем открытого цикла, в которых теплые поверхностные воды сами используются в качестве рабочего тела. Построенные по этому принципу ОТЭС могут производить не только электроэнергию, но и значительное количество пресной воды.

Каких либо серьезных термодинамических ограничений, по которым успешная работа ОТЭС была бы невозможной, не существует. Хотя, конечно, остается целый ряд практических, конструкционных и экологических затруднений, но все они могут быть так или иначе преодолены.

Тема 11

Использование энергии волн.

Волновое движение. Энергия и мощность волны. Достоинства и недостатки волновой энергии. Особенности реальных волн. Устройства для преобразования энергии волн.

Развитие волновой энергетики сопряжено со значительными трудностями. В основном они сводятся к следующему.

1. Волны нерегулярны по амплитуде, фазе и направлению движения. Проектировать же устройства для эффективного извлечения энергии в широком диапазоне варьирующихся величин не просто.

2. Всегда есть вероятность возникновения экстремальных штормов и ураганов, во время которых образуются волны очень большой интенсивности. Конструкции волноэнергетических устройств, должны, разумеется, им

противостоять. Примерно раз в 50 лет возникают волны, амплитуда которых в 10 раз превышает среднюю. Следовательно, во время шторма конструкции должны выдерживать нагрузки, примерно в 100 раз большие, чем при нормальной работе.

3. Подобные пиковые значения мощности присущи, главным образом, именно на глубокой воде, приходящим со стороны открытого моря. Трудности, связанные с созданием энергетических устройств для таких волновых режимов, их обслуживанием, удержанием в заданном положении, передачей энергии на берег, вызывают опасения.

4. Обычно период волн $T \approx 5-10$ с (частота порядка 0,1 Гц). Достаточно трудно приспособить это нерегулярное медленное движение к генерированию электроэнергии промышленной частоты, которая в 500 раз выше.

5. Выбрать подходящий тип устройств для преобразования энергии из всего их многообразия – сложная, часто просто непосильная задача.

6. Привычка мыслить категориями крупномасштабной энергетики промышленно развитых районов ведет к искушению создавать лишь крупные волновые электростанции в местах с высокими волновыми потенциалами. При этом существует тенденция игнорировать зоны умеренных потенциалов, где зачастую использование волновой энергии оказывается экономически более оправданным.

Преимущества волновой энергии состоят в том, что она достаточно сильно сконцентрирована, доступна для преобразования и на любой момент времени может прогнозироваться в зависимости от погодных условий. Создаваясь под действием ветра, волны хорошо сохраняют свой энергетический потенциал, распространяясь на значительные расстояния. Например, крупные волны, достигающие побережья Европы, зарождаются во время штормов в центре Атлантики и даже в Карибском море.

Наибольшее число волновых энергетических устройств разрабатывается для извлечения энергии из волн на глубокой воде. Это наиболее общий тип волн, существующий при условии, что средняя глубина моря D превышает величину половины длины волны $\lambda/2$. Например, при характерной длине волны $\lambda \approx 100$ м волна ведет себя как на глубокой воде при глубине моря, превышающей 30 м.

Элементарная теория волн на глубокой воде основана на допущениях о свойствах единичной регулярной волны. Частицы жидкости в такой волне движутся по круговым орбитам с переменной фазой в направлении распространения волны. Амплитуда этого движения в вертикальной плоскости равна половине расстояния от гребня до впадины волны и экспоненциально уменьшается с глубиной. Движение частиц остается круговым при глубине моря $D > 0,5\lambda$. На таких глубинах перемещения частиц вблизи дна пренебрежимо малы.

Полная кинетическая энергия на единицу ширины волнового фронта и единицу длины вдоль направления распространения волны равна

$$E_k = \frac{\rho \cdot a^2 \cdot g}{4} \quad (8)$$

В точности такой же величине равна нормированная потенциальная энергия волны. Это равенство кинетической и потенциальной составляющих энергии – свойство гармонического движения.

Мощность, переносимая волнами, увеличивается прямо пропорционально квадрату амплитуды и периоду. Именно поэтому для специалистов по океанской энергетике особенно привлекательны длиннопериодные волны океанской зыби, обладающие значительной амплитудой.

На практике волны оказываются совсем не такими идеализированно синусоидальными, как это подразумевалось выше. Лишь случайно естественные или искусственно созданные в результате дифракции или движения в каналах волны становятся близкими к идеальным. Обычно же в море наблюдаются нерегулярные волны с переменной частотой, направлением и амплитудой. Под воздействием превалирующего ветра движение волн может приобретать преимущественное направление (например, юго-западное или северо-восточное для волн, набегающих на побережье Британских островов), а период стать достаточно большим – наблюдаются волны океанской зыби. Более нестабильные ветры вызывают нерегулярное движение вод с характерным более коротким периодом – штормовые волны. При глубине моря порядка 30 м и менее, возможны фокусирующие и направляющие эффекты, в отдельных местах они могут привести к появлению более регулярных или более мощных волн. Волновые энергетические устройства должны противостоять широкому спектру природных условий, должны быть предназначены для извлечения максимума мощности в среднем за достаточно длительный период и независимо от района размещения. При проектировании подобных устройств необходимо, в первую очередь, понимать возможность значительного усиления волн по сравнению с типичными для данного района, по крайней мере, раз в 50 лет.

Устройства для преобразования энергии волн. В результате волнового движения жидкости в волне одновременно с изменением положения уровня и наклона поверхности происходит изменение кинетической и потенциальной энергии, изменение давления под волной. На основе использования одного характерного признака волнового движения или их комбинации уже создано большое число различных устройств, поглощающих и преобразующих волновую энергию. Сюда же входят и устройства, улавливающие воду с гребней волн и возвращающие ее на средний уровень или к подножию волн после преобразования потенциальной энергии. Кроме того, можно использовать самые разнообразные сооружения для увеличения интенсивности волнового движения в местах размещения преобразователей за счет дифракционных и канальных эффектов.

Устройства, отслеживающие профиль волны. Стефан Солтер из Эдинбургского университета разработал устройство, которое назвал «уткой». Форма ее обеспечивала максимальное извлечение мощности. Волны, поступающие слева, заставляют утку колебаться. Цилиндрическая форма противоположной поверхности обеспечивает отсутствие распространения волны направо при колебаниях утки вокруг оси. Мощность может быть снята с оси колебательной системы с таким расчетом, чтобы обеспечить минимум отражения энергии. Отражая и пропуская лишь незначительную часть энергии волн (примерно 5%) это устройство обладает весьма высокой эффективностью преобразования в широком диапазоне частот возбуждающих колебаний.

Другой характерный тип устройства данного класса – ланкастерский «моллюск», использующий тот же «геометрический» принцип Солтера. Здесь клювообразный поплавок соединен с несколькими податливыми воздушными оболочками, заполненными воздухом, сжимаемым под действием волн. Сжатый воздух перегоняется из одной оболочки в другую по мере того, как волна поворачивает «клюв». Осциллирующий воздушный поток приводит в движение турбину Уэлса, отличающуюся тем, что направление ее вращения не зависит от направления потока воздуха. Турбина связана с электрогенератором.

Колеблющийся водяной столб. При набегании волны на частично погруженную полость, открытую под водой, столб жидкости в полости колеблется, вызывая изменения давления в газе над жидкостью. Полость может быть связана с атмосферой через турбину. Поток может регулироваться так, чтобы проходить через турбину в одном направлении, или может быть использована турбина Уэльса.

Главное преимущество устройств на принципе водяного колеблющегося столба состоит в том, что скорость воздуха перед турбиной может быть значительно увеличена за счет уменьшения проходного сечения канала. Это позволяет сочетать медленное волновое движение с высокочастотным вращением турбины. Кроме того, здесь создается возможность удалить генерирующее устройство из зоны непосредственного воздействия соленой морской воды.

Подводные устройства. Преимущества подводных устройств состоят в том, что эти устройства позволяют избежать штормового воздействия на преобразователи. Однако при их использовании увеличиваются трудности, связанные с извлечением энергии и обслуживанием.

Системы, улавливающие волны. Схемы подобных устройств используют явление, часто наблюдаемое в природных лагунах. Волна разбивается на откосе дамбы (вариант естественного рифа), и вода забрасывается на высоту, превышающую средний уровень моря, заполняя бассейн. Вода может быть возвращена обратно в море через низконапорную турбину. При удельной величине мощности волн 22 кВт/м эффективность такого устройства будет не ниже 30% (имеется в виду преобразование кинетической энергии волн в по-

тенциальную энергию жидкости в бассейне). Необходимая длина морской дамбы равна примерно 5 км. Первая в мире коммерческая станция на этом принципе построена в Норвегии в районе с естественной фокусировкой волн.

Тема 12

Использование энергии приливов.

Причины возникновения приливов. Лунные и солнечные приливы. Электростанции, использующие приливной подъем воды и приливные течения.

Энергия морских приливов, или, как иногда ее называют, «лунная энергия», известна человечеству со времен глубокой древности. Эта энергия еще в далекие исторические эпохи использовалась для приведения в движение различных механизмов, в особенности мельниц. В Германии с помощью энергии приливной волны орошали поля, в Канаде – пилили дрова. В Англии приливная водоподъемная машина служила в прошлом веке для снабжения Лондона водой.

Приливные колебания уровня в огромных океанах планеты вполне предсказуемы. Основные периоды этих колебаний – суточные продолжительностью около 24 ч и полусуточные – около 12 ч 25 мин. Разность уровней между последовательными самым высоким и самым низким уровнями воды – высота прилива R . Диапазон изменения этой величины составляет 0,5-10 м. Первая цифра наиболее характерна, вторая достигается и даже превосходится лишь в некоторых особенных местах вблизи побережья континентов. Во время приливов и отливов перемещение водных масс образует приливные течения, скорость которых в прибрежных проливах и между островами может достигать примерно 5 м/с.

Высота, ход и периодичность приливов в большинстве прибрежных районов хорошо описаны и проанализированы благодаря потребностям навигации и океанографии. Поведение приливов может быть предсказано достаточно ясно, с погрешностью менее 4 %. Таким образом, приливная энергия оказывается весьма надежной формой возобновляемой энергии.

Жидкость в океанах удерживается на поверхности вращающейся Земли силами гравитации. Гравитационное же взаимодействие Земли с Луной и Солнцем возмущает эти силы, образуя приливы.

Приливы, индуцируемые Луной. Земля и Луна вращаются в космическом пространстве вокруг друг друга, но так как масса Земли примерно в 100 раз больше массы Луны, то движение Луны более очевидно. Отстояние Луны от Земли поддерживается за счет равенства гравитационного взаимодействия и центробежной силы.

Если бы поместить всю массу Земли в ее центре E , то каждый элемент массы был бы по отношению к Луне в равновесном положении. Однако масса Земли распределена вокруг точки E , и на все ее элементы действуют раз-

личные силы. Так, элемент, находящийся в точке Y , испытывает уменьшение силы притяжения со стороны Луны и увеличение воздействия центробежной силы из-за увеличения радиуса вращения до величины $r+L'$ (L' – расстояние от центра Земли до точки O , вокруг относительно которой вращается Луна). Элемент в ближайшей к Луне точке Земли испытывает увеличение силы притяжения по направлению к ней, центробежная же сила, действующая на него, уменьшается вследствие уменьшения радиуса вращения до $r-L'$. Твердые породы Земли, испытывая эти изменения сил при вращении Луны, подвергаются лишь сравнительно небольшим деформациям (растягивающие и сжимающие усилия компенсируются за счет возникновения внутренних напряжений). В жидкости подобные напряжения не возникают, и она приходит в движение относительно земной поверхности. Это и является причиной приливов.

Без учета других эффектов любой водоем, находящийся в соответствующем положении на поверхности Земли будет дважды испытывать подъемы и падения уровня воды при прохождении поверхности через положения пиков. Это – полусуточные приливы.

Приливы, вызываемые Солнцем. Смешанные приливы. С помощью теории Ньютона объясняется и возникновение солнечных приливов, происходящих 2 раза в сутки с периодом, в точности равным половине солнечных суток. Правда высота солнечного прилива примерно в 2,2 раза меньше лунного, являющегося доминирующим. Это следует из предположения о том, что отличие высот приливов пропорционально различию в гравитационных силах, создаваемых Луной и Солнцем в противоположных по диаметру точках земной поверхности.

Солнечные приливы могут возникать в фазе и в противофазе с лунными. Если Солнце, Земля и Луна оказываются на одной линии – оба прилива в фазе: возникает прилив максимальной высоты. Это случается дважды в лунный месяц, во время полнолуния и новолуния, называются такие приливы *сизигийными*. Когда же направления Солнце-Земля и Земля-Луна перпендикулярны (находятся в квадратуре), высоты суммарных приливов минимальны (квадратурные приливы). Подобные угасания приливов повторяются также дважды за лунный месяц. Если возрастание высоты прилива – результат суммирования лунной и солнечной составляющих, то угасание – результат их вычитания.

Обычный прилив в открытом океане имеет высоту менее 1 м и не пригоден для целей энергетики. Однако вблизи эстуариев и некоторых других природных образований высоты приливов увеличиваются.

Вблизи побережья и между островами приливы могут создавать достаточно сильные течения, пригодные для преобразования энергии. Полная мощность при этом может и не быть большой, но выработка электроэнергии по выдерживающим конкуренцию ценам для местного потребления оказывается вполне возможной. Устройства для преобразования энергии приливных

течений будут практически сходны с аналогичными устройствами, приводимыми в действие течениями рек.

Только часть полной энергии потока (приливного или речного течения) может быть преобразована в полезную. Как и для ветра, это значение η не может превышать 60%. На практике оказывается, что η можно довести максимум до 40%.

Для устройства, которое может работать на прямом и обратном течениях при максимальной скорости 3 м/с, электрическая мощность, снимаемая с 1 м² площади поперечного сечения потока составляет $q \approx 2,8$ кВт/м². При максимальной скорости около 5 м/с, встречающейся в проливах между островами, $q \approx 14$ кВт/м². Перекрыв площадь 1000 м², можно получить полную среднюю мощность электростанции около 14 МВт.

Вся мощность океанских приливов на нашей планете оценивается в 3000 ГВт. Из них примерно 1000 ГВт рассеивается в мелководных прибрежных районах, где принципиально возможно возведение инженерных сооружений. Суммарный потенциал мест возможного строительства ПЭС составляет около 120 ГВт, т.е. примерно 10% общего мирового гидравлического потенциала рек.

Приливные электрические станции (ПЭС) выгодно отличаются от ГЭС тем, что их работа определяется космическими явлениями и не зависит от многочисленных погодных условий, определяемых случайными факторами.

Наиболее существенный недостаток ПЭС – неравномерность их работы. Неравномерность приливной энергии в течение лунных суток и лунного месяца, отличающихся от солнечных, не позволяет систематически использовать ее в периоды максимального потребления в системах. Можно компенсировать неравномерность работы ПЭС, совместив ее с ГАЭС. В то время, когда имеется избыточная мощность ПЭС, ГАЭС работает в насосном режиме, потребляя эту мощность и перекачивая эту воду в верхний бассейн. Во время спадов в работе ПЭС в генераторном режиме работает ГАЭС, выдавая электроэнергию в систему. В техническом отношении такой проект удачен, но дорогостоящ, так как требуется большая установленная мощность электрических машин.

Также удачно ПЭС может сочетаться с речной ГЭС, имеющей водохранилище. При совместной работе ГЭС увеличивает мощность при спаде мощности ПЭС и ее остановке; в то время как ПЭС работает с достаточно большой мощностью, ГЭС запасает воду в водохранилище. Таким образом, можно уменьшить как суточную, так и сезонную неравномерность работы ПЭС.

ПЭС работают в условиях быстрого изменения напора, поэтому их турбины должны иметь высокие КПД при переменных напорах. В настоящее время создана достаточно совершенная и компактная горизонтальная турбина двойного действия. Электрический генератор и часть деталей турбины заключены в водонепроницаемую капсулу, и весь гидроагрегат погружен в воду.

Тема 13

Применение водорода в энергетике.

Особенности водорода как энергоносителя. Методы получения, транспортировки и хранения водорода. Использование водорода в качестве энергетического и моторного топлива. Современное состояние и направления развития водородной энергетики.

Рассматривая возможные способы преобразования энергии, необходимо учитывать, что в соответствии с законами физики все энергетические процессы сводятся к трансформации одного вида энергии в другой. Здесь важно то обстоятельство, что плотности потоков энергии ограничиваются физическими свойствами среды. Это, в свою очередь, практически исключает применение в энергетике больших мощностей многих, казалось бы, эффективных процессов трансформации энергии. Например, в топливных элементах химическая энергия окисления водорода непосредственно превращается в электрическую. Такой способ получения электрической энергии, несмотря на очень высокий КПД, равный примерно 70%, на сегодня приходится признать непригодным для промышленности из-за малой скорости диффузионных процессов в электролите, и, следовательно, малой плотности энергии. Так, с 1 м^2 электрода можно получить не более 200 Вт мощности. А это означает, что при генерировании 100 МВт мощности рабочая площадь электродов должна быть примерно 1 км^2 . что конечно, практически нереализуемо.

Водород, самый простой и легкий из всех химических элементов, можно считать идеальным топливом. Он имеется повсюду, где есть вода. При сжигании водорода образуется вода, которую можно снова разложить на водород и кислород, причем этот процесс не вызывает никакого загрязнения окружающей среды. Водородное пламя не выделяет в атмосферу продуктов, которыми неизбежно сопровождается горение любых других видов топлива: углекислого газа, окиси углерода, сернистого газа, углеводородов, органических перекисей и т.п. Водород обладает очень высокой теплотворной способностью: при сжигании 1 г водорода получается 120 Дж тепловой энергии, а при сжигании 1 г бензина – только 47 Дж.

Водород можно транспортировать и распределять по трубопроводам, как природный газ. Трубопроводный транспорт топлива – самый дешевый способ дальней передачи энергии. К тому же трубопроводы прокладываются под землей, что не нарушает ландшафта. Газопроводы занимают меньше земельной площади, чем воздушные электрические линии. Передача энергии в форме газообразного водорода по трубопроводу диаметром 750 мм на расстояние свыше 80 км обойдется дешевле, чем передача того же количества энергии в форме переменного тока по подземному кабелю. На расстояниях более 450 км трубопроводный транспорт водорода дешевле, чем использование воздушной линии электропередачи постоянного тока.

Водород – синтетическое топливо. Его можно получать из угля, нефти, природного газа, либо путем разложения воды. Согласно оценкам, сегодня в мире производят и потребляют около 20 млн. т водорода в год. Половина этого количества расходуется на производство аммиака и удобрений, а остальное – на удаление серы из газообразного топлива, в металлургии, для гидрогенизации угля и других топлив. В современной экономике водород остается скорее химическим, нежели энергетическим сырьем.

Сейчас водород производят главным образом (около 80%) из нефти. Но это неэкономичный для энергетики процесс, потому что энергия получаемая из такого водорода обходится в 3,5 раза дороже, чем энергия от сжигания бензина. К тому же себестоимость такого водорода постоянно возрастает по мере повышения цен на нефть.

Небольшое количество водорода получают путем электролиза. Производство водорода методом электролиза воды обходится дороже, чем выработка его из нефти, но оно будет расширяться и с развитием атомной энергетики станет дешевле. Вблизи атомных электростанций можно разместить станции электролиза воды, где вся энергия, выработанная электростанцией, пойдет на разложение воды с образованием водорода. Правда, цена электролитического водорода останется выше цены электрического тока, зато расходы на транспортировку и распределение водорода настолько малы, что окончательная цена для потребителя будет вполне приемлема по сравнению с ценой электроэнергии.

Сегодня исследователи интенсивно работают над удешевлением технологических процессов крупнотоннажного производства водорода за счет более эффективного разложения воды, используя высокотемпературный электролиз водяного пара, применяя катализаторы, полунепроницаемые мембраны и т.п.

Большое внимание уделяют термолитическому методу, который (в перспективе) заключается в разложении воды на водород и кислород при температуре 2500 °С. Но такой температурный предел инженеры еще не освоили в больших технологических агрегатах, в том числе и работающих на атомной энергии (в высокотемпературных реакторах пока рассчитывают лишь на температуру около 1000 °С). Поэтому исследователи стремятся разработать процессы, протекающие в несколько стадий, что позволило бы вырабатывать водород в температурных интервалах ниже 1000 °С.

Когда водород станет столь же доступным топливом, как сегодня природный газ, он сможет всюду его заменить. Водород можно будет сжигать в кухонных плитах, в водонагревателях и отопительных печах, снабженных горелками, которые почти или совсем не будут отличаться от современных горелок, применяемых для сжигания природного газа.

Как уже говорилось, при сжигании водорода не остается никаких вредных продуктов сгорания. Поэтому отпадает нужда в системах отвода этих продуктов для отопительных устройств, работающих на водороде. Более то-

го, образующийся при горении водяной пар можно считать полезным продуктом – он увлажняет воздух (как известно, в современных квартирах с центральным отоплением воздух слишком сух). А отсутствие дымоходов не только способствует экономии строительных расходов, но и повышает КПД отопления на 30%.

Водород может служить и химическим сырьем во многих отраслях промышленности, например, при производстве удобрений и продуктов питания, в металлургии и нефтехимии. Его можно использовать и для выработки электроэнергии на местных тепловых станциях.

Тема 14

Аккумуляция и передача энергии возобновляемых источников.

Специфические проблемы аккумуляции и передачи энергии при использовании различных ВИЭ. Биоаккумуляторы. Химические аккумуляторы. Топливные элементы. Хранение энергетически ценных веществ. Аккумуляторные электробатареи. Тепловые аккумуляторы. Гидростатические аккумуляторы. Резервуары со сжатым воздухом. Передача энергии потоками биомассы, тепла, химически активных веществ, электроэнергии.

Устройства для преобразования возобновляемой энергии по сравнению с установками на обычном и ядерном топливе различаются по требованиям к аккумуляции и передаче на расстояния. Так как полезность устройств для преобразования возобновляемой энергии основана на переработке независимых от нас естественных ее потоков, существует проблема приведения в соответствие выработки энергии и потребности в ней в рамках временного спроса, т.е. в выравнивании скорости потребления энергии. Последняя изменяется во времени в масштабах месяцев (например, для обогрева жилищ в зонах умеренного климата), дней (например, для искусственного освещения) и даже секунд (в моменты включения крупных нагрузок). В противоположность энергетике на традиционном топливе, получаемая из окружающей среды мощность возобновляемых источников нам не подконтрольна. У нас есть выбор: либо подгонять нагрузку к интенсивности, доступной для преобразования возобновляемой энергии, либо накапливать энергию для последующего использования. Существуют различные способы аккумуляции: химическое, тепловое, электрическое, в форме потенциальной или кинетической энергии.

Биологическое аккумуляция. В растениях за счет фотосинтеза происходит накопление солнечной энергии в виде кислорода. Эта энергия выделяется при сгорании биологических и ископаемых горючих материалов. Можно поэтому считать, что энергия накапливается в самих горючих материалах, хотя, строго говоря, это не корректно. Некоторые из биотоплив – жидкости и газы – можно использовать в двигателях внутреннего сгорания, и поэтому они необходимы для транспорта в качестве заменителей обычных моторных

топлив, получаемых из нефти. Представляет интерес и получение с помощью этих топлив электроэнергии в небольших дизельных установках.

Химическое аккумулялирование. Энергия может удерживаться в связях многих химических элементах и выделяться в процессе экзотермических реакций, из которых наиболее известно горение. Иногда необходимо применить для запуска такой реакции предварительное нагревание или катализаторы (например, энзимы). Биологические компоненты представляют особый случай. Здесь речь идет лишь о неорганических соединениях, являющихся наиболее распространенными аккумуляторами, энергия которых выделяется при их сгорании в воздухе. Водород может быть получен путем электролиза воды с помощью любого источника тока. В виде газа он может быть накоплен, передан на расстояние и сожжен для получения тепловой энергии. Единственным продуктом сгорания водорода является вода: не образуется никаких загрязняющих веществ.

Наиболее отработанный способ получения чистого H_2 – электролиз, однако эффективность этого процесса составляет примерно 60%. Новые электроды допускают более высокие плотности тока, что позволяет уменьшить размеры ячеек, достигнуть эффективности примерно 80% и снизить стоимость вырабатываемого газа. За счет применения катализаторов ожидается дальнейшее повышение эффективности электролиза. Разлагать воду можно и за счет высокотемпературного нагрева. Многообещающей является замена части необходимой для разложения воды электроэнергии теплом от дешевого источника, в качестве которого можно использовать солнечное излучение: получение тепла при $T \approx 1000$ К с помощью солнечных концентраторов может существенно снизить стоимость получения водорода.

Лабораторно исследуется еще несколько способов получения водорода без применения ископаемого топлива – вплоть до использования особых водорослей, которые «фотосинтезируют» его, но ни один из них еще не дал приемлемой эффективности.

Аккумулялирование тепла. Использование низкотемпературного тепла составляет существенную часть мирового потребления энергии. Именно в тех случаях, когда энергия используется при низких температурах, характерных для среды, ее особенно ценно накапливать в форме тепла. Тепловое аккумулялирование плодотворно и при использовании «отходов» тепла, возникающих в процессе работы различных установок.

В течение короткого периода продолжительностью до четырех дней сами здания можно использовать в качестве аккумуляторов тепла. При проектировании зданий для стран с жарким климатом, важное применение по аналогии с созданием запасов тепла может найти аккумулялирование холода.

Значительно большей теплоемкостью в ограниченном интервале температур по сравнению с системами, использующими поглощение тепла, обладают материалы, при изменении температуры изменяющие фазовое состояние. Например, глауберову соль ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) можно использовать для аккумулялирования тепла уже при комнатной температуре. При $32^\circ C$ она разла-

гается на насыщенный раствор Na_2SO_4 с выпадением части Na_2SO_4 в осадок. Эта реакция обратима и дает $250 \text{ кДж/кг} \approx 650 \text{ МДж/м}^3$ тепловой энергии. Так как большая часть стоимости аккумуляторов для обогрева зданий связана со стоимостью конструкций, такие аккумуляторы могут оказаться дешевле, чем водяные емкости с более низкой удельной плотностью запасания энергии.

Аккумуляторные электробатареи. Устройство, допускающее как поглощение, так и выдачу электроэнергии, называют электрической аккумуляторной батареей или электрическим аккумулятором. Электрические аккумуляторы являются существенной частью почти всех фотоэлектрических и небольших ветроэнергетических установок; ведутся работы по созданию эффективных аккумуляторов для транспортных средств. Хотя многие электрохимические реакции обратимы, только некоторые из них на практике подходят для создания аккумуляторов, которые допускали бы сотни циклов при зарядно-разрядных токах от 1 до 100 А. Наиболее известен и широко используется свинцово-кислотный аккумулятор, изобретенный Планте в 1860 г. Работоспособность аккумулятора зависит от значения токов, при которых он разряжается и заряжается, глубины его регулярного разряда.

Топливные элементы. Топливный элемент преобразует химическую энергию топлива непосредственно в электрическую, минуя промежуточную стадию сжигания. Так как преобразование тепло-работа здесь отсутствует, эффективность топливных элементов не подпадает под ограничения второго закона термодинамики, как это происходит в обычных системах топливо-тепло-работа-электроэнергия. Теоретически КПД преобразования химической энергии в электрическую может достигать 100%. Однако эффективность реального топливного элемента значительно ниже теоретических 100% во многом по тем же причинам, что и у электрического аккумулятора. Однако эта величина – вероятное значение для преобразование химической энергии в электрическую (40%) – не зависит от того, работает топливный элемент на полную мощность или нет (в отличие от дизельных двигателей, газовых турбин и т.д.). Основной причиной, по которой топливные элементы не находят пока широкого применения, является их высокая стоимость.

Для самостоятельного изучения.

Механическое аккумулирование. Передача энергии. [4]

Вопросы для самопроверки.

1. Поясните принцип действия гидроаккумулирующей станции.
2. Каким образом аккумулирует энергию маховик?
3. Как определяется запасенная энергия сжатого воздуха?
4. Назовите методы передачи энергии потребителям, приведите соответствующие им потоки энергии.
5. Как транспортируют газообразное топливо?

6. Как осуществляется передача электроэнергии?
7. Каким образом осуществляется транспорт биомассы?

Тема 15

Использование вторичных энергетических ресурсов.

Виды вторичных энергетических ресурсов. Параметры и возможности использования вторичных тепловых энергетических ресурсов. Оценка экономической эффективности использования вторичных тепловых энергоресурсов. Выбор оптимального варианта. Выход ВЭР и экономия топлива.

Использование вторичных энергоресурсов связано в основном с энергосбережением в плане уменьшения расхода потребляемых энергоносителей, а не со снабжением энергией новых ее потребителей. Речь идет об использовании, прежде всего, сбросного тепла для низкопотенциального технологического теплоснабжения, отопления и горячего водоснабжения. Что касается горючих промышленно-технологических, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых отходов (мусора), то здесь главное – их нейтрализация с сопутным получением энергии, что может играть заметную роль лишь при сосредоточении больших масс отходов.

Вторичные энергоресурсы – это энергетический потенциал (запас энергии в виде химически связанной теплоты, физической теплоты, потенциальной энергии избыточного давления, химической энергии и др.) продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, которые не могут быть использованы в самом агрегате, но могут частично или полностью применяться для энергоснабжения других потребителей. ВЭР разделяются на три основные группы: избыточного давления, горючие и тепловые.

Использование ВЭР – это масса вторичных энергоресурсов какого-либо агрегата, употребленных в других установках и системах. ВЭР могут быть утилизированы без изменения вида энергоносителя или путем преобразования их в другие виды энергии для выработки теплоты, холода и механической энергии в утилизационных установках.

Выход ВЭР – это масса вторичных энергоресурсов, которые образовались в данной установке за определенный период времени и пригодны к использованию в тот же период.

ВЭР избыточного давления – это потенциальная энергия покидающих установку газов, воды, пара с повышенным давлением, которая может быть еще использована перед выбросом в атмосферу. Основное направление использования таких ВЭР – силовое, т.е. для получения электрической или механической энергии.

Горючие ВЭР – это горючие газы и отходы одного производства, которые могут быть применены непосредственно в виде топлива в других производствах. К ним можно отнести: щепу, опилки, стружку – в деревообработке-

вающей промышленности; щелок – в бумажно-целлюлозной; твердые и жидкие топливные отходы химической и нефтегазоперерабатывающей промышленности, доменный газ и др.

Тепловые ВЭР – это физическая теплота отходящих газов, основной и побочной продукции производства; теплота золы и шлаков; теплота горячей воды и пара, отработанных в технологических установках; теплота рабочих тел систем охлаждения технологических установок. Тепловая энергия отходов, которая используется для подогрева потоков, поступающих в агрегат – источник ВЭР (регенерация и рекуперация), ко вторичным энергоресурсам не относится. Тепловые ВЭР могут использоваться как непосредственно в виде теплоты, так и для отдельной или комбинированной выработки теплоты, холода, электроэнергии в утилизационных установках.

Вторичные энергоресурсы имеются на предприятиях машиностроения, черной и цветной металлургии, химической промышленности, предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности, промышленности строительных материалов, пищевой промышленности и т.д.

Вторичные энергоресурсы имеются также на тепло- и гидроэлектростанциях. На гидроэлектростанциях отходы теплоты образуются в результате тепловыделения в электрогенераторах. Для тепловых электростанций наиболее существенный источник ВЭР – низкопотенциальная теплота нагретой охлаждающей воды конденсационных устройств, с которой может теряться до 50% теплоты топлива, расходуемого на электростанциях. Источником ВЭР считаются также дымовые газы котельных установок на паротурбинных станциях или отходящие продукты сгорания газотурбинных установок. Для охлаждающих установок источником тепловых ВЭР может служить нагретая охлаждающая вода из воздухоохладителей и регенеративных теплообменных аппаратов. Источником ВЭР может быть и нагретая охлаждающая вода из системы охлаждения генераторов электростанций. Значительные тепловые отходы имеются и на АЭС: теплота конденсата, теплота охлаждающих систем и др.

Таким образом, основными источниками образования тепловых ВЭР в различных отраслях промышленности выступают технологические агрегаты, как правило, недостаточно совершенные с энергетической точки зрения, поскольку современная технология допускает работу установок с низкими КПИ. Это приводит к большим потерям энергии первичного топлива (в доменном производстве – до 55-60% теплоты, а в мартеновских печах более 50% составляют вторичные энергоресурсы). Особо неблагоприятными с точки зрения использования теплоты сгорания топлива являются нагревательные и термические печи (их тепловой КПД составляет 12-18%), вагранки чугунолитейных цехов (тепловые потери с уходящими газами превышают 50-60%), паровые котлы низкого давления (КПД порядка 50%), паровые молоты кузнечных цехов (КПД не превышает 2-5%) и другое оборудование.

Выход тепловых ВЭР и их возможное использование на промышленных предприятиях определяются соответствующими службами на основе анализа

энергетического баланса предприятия, объема выпуска продукции за расчетный период, материальных балансов и технико-экономических характеристик технологического оборудования и агрегатов с учетом перспективных планов внедрения новой техники и новой технологии. На первом этапе анализа определяются агрегаты – источники тепловых ВЭР и для каждого из них рассчитывается значение возможной, экономически целесообразной и планируемой выработки энергии. Далее оценивается возможность использования вторичных энергоресурсов и устанавливаются потребители (агрегаты, оборудование), которые будут их использовать на данном или на смежных с ним производстве.

Тема 16

Основные направления утилизации тепловых ВЭР.

Использование физической теплоты уходящих горячих газов. Использование теплоты отработанного производственного и вторичного пара. Использование теплоты конденсата, нагретой производственной и бытовой сливной воды, вентиляционных выбросов.

Применение тепловых насосов и термотрансформаторов для утилизации средне- и низкопотенциальных тепловых ВЭР. Экономическая эффективность трансформации теплоты.

Принцип действия, назначение и типы тепловых труб. Конструкции теплоиспользующих аппаратов с тепловыми трубами. Использование тепловых труб для сбора и утилизации ВЭР.

Основными способами утилизации горячих газов промышленных печей, котельных агрегатов ТЭЦ и электростанций, помимо использования ее для собственных нужд в различных технологических процессах, являются применение теплоиспользующих установок для подогрева воды или воздуха, а также паровых котлов-утилизаторов и газотурбинных установок, встроенных в запечный тракт. Нагрев воды в пределах 130-150 °С и воздуха до 250 °С (при давлении выше атмосферного) может осуществляться уходящими газами в обычных поверхностных теплообменных аппаратах.

В ряде предлагаемых решений утилизация тепловых ВЭР осуществляется параллельно задаче охраны окружающей среды от вредных выбросов производства.

При комплексной утилизации энергии отработанного пара ее целесообразно использовать в первую очередь для целей теплоснабжения потребителей, а во вторую – для выработки электроэнергии на турбинах мятого пара или с комбинированным питанием. Кроме того, возможно повышение давления отработанного пара в тепловых насосах или трансформаторах, а также использование его в абсорбционных холодильных машинах для производства холода.

Теплота нагретой воды из систем охлаждения может быть использована: в системах водонагрева на ТЭЦ или котельных, для теплоснабжения предприятия и близлежащих сельскохозяйственных потребителей, теплофикации жилых домов, выработки электроэнергии и холода. Причем при выработке электроэнергии и холода должно быть предусмотрено повышение потенциала физической теплоты нагретой воды с помощью тепловых насосов или использование ее в холодильных установках. Кроме нагретой производственной воды из системы охлаждения, предприятия и в особенности жилые районы с различными коммунально-бытовыми службами и предприятиями общепита располагают значительными тепловыми отходами в виде или менее загрязненной сливной бытовой воды с температурой порядка 20-25 °С. Ее теплота теряется безвозвратно, хотя может быть использована с помощью тепловых насосов для получения горячей воды, расходуемой на бытовое теплопотребление.

Как показывает отечественная и мировая практика, наиболее полное и экономически эффективное использование средне- и низкопотенциальных ВЭР промышленного производства осуществимо в первую очередь с помощью тепловых насосов, термокомпрессоров и трансформаторов теплоты.

Применение теплонасосных установок и трансформаторов для утилизации ВЭР и других местных низкотемпературных источников теплоты позволяет на 20-60% снизить расходов топлива. За рубежом в настоящее время работает несколько миллионов теплонасосных отопительных систем, которые используют не только тепловые отходы производства, но и теплоту окружающего воздуха, грунта, воды рек, озер и других водоемов, сточных вод и коммунальных стоков и др.

Тепловая труба (ТТ) представляет собой устройство, обладающее высокой эффективностью передачи теплоты. На внутренней стенке ее укреплен фитиль, сделанный, например, из нескольких слоев тонкой сетки. Труба заполняется небольшим количеством теплоносителя (рабочей жидкости), после чего из нее откачивается воздух, и она плотно закрывается. Один конец трубы нагревается, что вызывает испарение жидкости и движение пара к холодному концу трубы. Здесь в результате охлаждения пар конденсируется и под действием капиллярных сил возвращается к горячему концу трубы. Так как теплота парообразования теплоносителя велика, то ТТ и при малой разности температур на концах может передавать большой тепловой поток.

В ТТ различают три участка: зону подвода теплоты, или зону испарения; зону переноса теплоты, или адиабатный участок; зону отвода теплоты, или зону конденсации.

Испаритель может располагаться по-разному, и потому она будет работать в любом положении. ТТ позволяет транспортировать теплоту в различных, по любым прямолинейным и криволинейным каналам, поскольку фитиль, который смачивается в зоне конденсации, будет всегда подавать теплоноситель в зону испарения. Круговорот теплоты в ТТ совершается независимо от наличия сил тяжести. Благодаря этому ТТ является универсальным те-

плопроводом, подобно электрическому проводу, который предназначен для передачи электроэнергии, или световоду, который осуществляет передачу света.

Тема 17

Рациональное использование ТЭР в целях охраны окружающей среды.

Общая характеристика экологического состояния окружающей среды. Оценка эффективности природоохранных мероприятий и способы уменьшения вредных выбросов теплоэнергетических установок. Экологически перспективная ТЭС.

Человек в процессе своей жизнедеятельности оказывает существенное влияние на окружающую среду. Человеческая жизнь и деятельность вызывает появление различного рода отходов, загрязняющих окружающую среду.

Основные факторы загрязнения атмосферы:

- выбросы тепличных газов, грозящие изменением климата;
- выбросы химических веществ, разрушающих озоновый слой;
- выбросы твердых веществ, создающих запыленность;
- выбросы ядовитых и канцерогенных газов и аэрозольных веществ;
- выбросы газов, подкисляющих осадки;
- радиоактивные загрязнения.

Главный источник выбросов в атмосферу – энергетические, промышленные и бытовые процессы. Таким образом, успех борьбы с загрязнением атмосферы зависит от повышения эффективности производства и потребления энергии.

Мир производит, по оценкам ЕС, около 400 млн т опасных отходов, оказывающих отрицательное воздействие на состояние здоровья населения и окружающую среду. В настоящее время проблема экологического состояния окружающей среды является одной из самых злободневных. В России эта проблема очень актуальна. При сжигании топлива в атмосферу выбрасывается до 3 т/т у.т. диоксида углерода, 250 кг/т у.т. воды. По суммарным оценкам, удельные выбросы вредных веществ при существующем топливном балансе только от стационарных источников электроэнергетики составляют 18 кг/т у.т., или 6 кг/МВт·ч.

Энергетические процессы и энергетик являются определяющими загрязнителями окружающей среды. Любой способ получения и использования энергии вызывает негативное влияние на окружающую среду. Уменьшение этого влияния возможно за счет улучшения качества очистки выбросов, сбросов и утилизации твердых отходов. Однако самый легкий и дешевый путь уменьшения экологического вреда – повышение энергоэффективности путем частичного или полного решения проблемы бесполезных расходов и потерь энергии.

Основным современным способом получения энергии является процесс сжигания различных видов топлива. Наличие в топливе в разных пропорциях всех химических элементов естественного происхождения и многих химических веществ техногенного загрязнения вызывает естественное опасение за их появление в выбросах, сбросах и твердых отходах.

Контроль выбросов предприятий энергетики чаще всего ограничивается:

- оксидом углерода,
- диоксидом серы,
- оксидами азота,
- твердыми частицами.

В последнее время серьезную озабоченность экологов стали вызывать неконтролируемые влиятельные загрязнители. Это:

- аэрозольные выбросы,
- естественные радиоактивные элементы,
- диоксид углерода.

Создание экологически перспективных ТЭС (ЭПТЭС) – магистральное направление развития мировой и отечественной энергетики – прежде всего, касается электростанций на угле, так как ресурсы этого природного топлива в мире и в нашей стране достаточно велики. Уголь и в далекой перспективе считается стратегическим и наиболее доступным энергетическим топливом. На долю энергетики обычно отводится низкосортная его часть, и это при сжигании в существующих топочных устройствах приводит к повышенным экологическим нагрузкам на окружающую среду.

Реализация наивысших энергоэкологических показателей ТЭС достигается в условиях предельного ресурсосбережения. Концепция экологически перспективной электростанции разработана учеными Института теплофизики СО РАН. Эта концепция базируется на применении технических систем, основанных на принципах безотходности, замкнутости и др. При реализации такой схемы экологически чистой ТЭС ставится задача обеспечить следующие требования по выбросам (г/нм³): золы не более 0,05; окислов серы не более 0,2-0,3; окислов азота не более 0,15-0,20; неочищенные жидкие стоки должны отсутствовать, доля золы для последующего использования не менее 80%. Развиваемый подход к созданию экологически перспективных ТЭС содержит новое сочетание технико-экономических и экологических решений. В разработке ЭПТЭС реализуется принцип комплексного использования практически всех отходов, который основан на многоотраслевом экологическом агропромышленном комплексе (ЭАПК). ЭАПК – это серия сопряженных с теплоэлектростанцией дорожно-строительных промышленных комбинатов и агропредприятий, позволяющих эффективно использовать отходы ТЭС, производить не только электроэнергию и тепло, но и сырье для стройиндустрии, металлургии и разнообразную сельхозпродукцию.

Для самостоятельного изучения.

Снижение выбросов окислов серы и окислов азота на ТЭС. [1]

Вопросы для самопроверки.

1. Перечислите направления уменьшения выбросов сернистых соединений в атмосферу.
2. Каким способом осуществляется удаление серы из нефтяных топлив?
3. Как удаляют серу из топлива перед сжиганием на ТЭС?
4. В чем заключается сущность сухого известнякового способа очистки дымовых газов от окислов серы?
5. Назовите мокрые способы очистки дымовых газов от окислов серы.
6. Перечислите способы снижения содержания окислов азота в продуктах сгорания.
7. Назовите методы очистки дымовых газов от окислов азота.

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

3.1. Методические рекомендации по проведению практических занятий

Практические занятия предусматривают выполнение практических заданий и решение задач по темам дисциплины.

В начале практического занятия следует вспомнить необходимые для решения задач теоретические сведения (работа с аудиторией). Далее разбираются несколько (три, четыре – в зависимости от объема) типовых задач. Приводится (если это необходимо) алгоритм решения типовых задач. Разбираются примеры типовых ошибок. Далее для решения предлагаются более сложные задачи (одна, две), требующие креативного подхода.

3.2. Перечень тем практических занятий.

1. Методика определения солнечных энергетических ресурсов и оценка эффективности использования солнечных энергетических установок на территории России. (2 часа)
2. Расчет поступления солнечной энергии на наклонную поверхность. Расчет и проектирование пассивных и активных гелиосистем. (4 часа)
3. Методика определения ветроэнергетических ресурсов и оценка эффективности использования ВЭУ на территории России. (2 часа)
4. Энергетические установки для получения биогаза. Расчет биогазогенератора. (2 часа)

5. Методика определения геотермальных ресурсов. Показатели работы геотермальных электростанций, оценка их экономической эффективности. (2 часа)
6. Методика расчета валового и технико-экономического потенциала гидроресурсов для небольших электростанций. (2 часа)
7. Расчет теплообменного аппарата, использующего тепловую энергию океана. (2 часа)
8. Расчет КПД водородно-кислородного топливного элемента. (2 часа)

3.3. Методические указания к практическим занятиям

Основные расчетные формулы, необходимые для решения задач, задачи (с ответами), примеры решения типовых задач и необходимый справочный материал приведены в [4, 7]. Ниже приведены задачи, рекомендуемые для решения на практических занятиях.

Тема 1

Задача 1. Рассчитать площадь остекленной поверхности южного фасада дома площадью 100 м^2 , необходимую для обеспечения 50 % тепловой нагрузки отопления. Дом оснащен пассивной системой прямого улавливания солнечной энергии, находится в Крыму и его южный фасад не затемняется.

Для данного местоположения дома при относительной площади остекления, приходящейся на 1 м^2 жилой площади дома, равной $0,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$, обеспечивается снижение теплопотребления на 18 % (без применения теплоизоляции окон в ночное время) и на 44 % (с применением тепловой изоляции), а при $f_{OK} = 0,36 \text{ м}^2/\text{м}^2$ – соответственно на 24 и 68 %.

Задача 2. Рассчитать количество солнечной энергии, поступающей через южное окно с двойным остеклением площадью 8 м^2 в средний облачный день 21 января в доме, расположенном на широте 48° с.ш.

Задача 3. Определить площадь стены Тромба, необходимую для покрытия за счет солнечной энергии 50 % тепловой нагрузки отопления помещения площадью 40 м^2 при средней температуре наружного воздуха в зимние месяцы $0-2^\circ\text{C}$.

Задача 4. Определить требуемую площадь поверхности остекления пристроенной к южному фасаду здания гелиотеплицы при следующих условиях: средняя температура наружного воздуха в зимние месяцы равна 0°C , площадь отапливаемых помещений 120 м^2 , доля покрытия тепловой нагрузки за счет солнечной энергии равна 0,6.

Тема 2

Задача 1. Определить требуемый суммарный объем теплоаккумулирующих бетонных элементов для помещения площадью 100 м^2 , имеющего юж-

ные окна суммарной площадью 25 м^2 , при минимально допустимой удельной теплоемкости $200 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$.

Задача 2. По данным предыдущего примера выполнить распределение массы теплоаккумулирующих бетонных элементов стен, пола и отдельно стоящих колонн. Принять, что масса распределяется между указанными элементами в соотношении 3:2:1.

Задача 3. Рассчитать солнечную водонагревательную установку круглогодичного действия в г. Кишиневе ($\varphi = 47^\circ$ с.ш.). Суточное потребление горячей воды $V_{ГВ} = 5 \text{ м}^3/\text{день}$, температура горячей воды 45°C , а холодной 15°C . Годовая доля солнечной энергии в покрытии тепловой нагрузки $f = 0,5$. Найти площадь поверхности КСЭ F , объем аккумулятора V и годовую экономию топлива B при $\eta_{ТГ} = 0,6$.

Задача 4. Определить площадь поверхности солнечного коллектора и объем бака-аккумулятора для солнечной водонагревательной установки для семьи из 5 чел. В районе с годовым приходом солнечной энергии $E = 1370 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Степень замещения $f = 1$ за период май-август, а норма расхода горячей воды на 1 чел. $75 \text{ л}/\text{день}$.

Тема 3

Задача 1. Доля преобразуемой ВЭУ энергии ветра равна коэффициенту мощности $C_p = 4a(1-a)^2$. Продифференцировав это выражение по a , покажите, что максимальное значение $C_p = 16/27$ и достигается при $a = 1/3$.

Задача 2. Используя отношение площадей A_0 и A_1 , покажите, что в оптимальном случае согласно линейной теории доля преобразованной энергии равна $8/9$ энергии набегающего потока.

Задача 3. Покажите, что при рэлеевском законе распределения скорости ветра выполняются соотношения: а) наиболее вероятная скорость равна $0,8 \bar{u}$; б) наиболее вероятное значение ветра достигается при скорости ветра, равной $1,6 \bar{u}$.

Задача 4. а) Ветроэнергетическая установка при любой скорости ветра поддерживает постоянным коэффициент быстроходности, равный 8. При какой скорости ветра скорость концов лопастей ветроколеса достигнет скорости звука?

б) Крупная ВЭУ имеет ветроколесо диаметром 100 м , вращающееся с постоянной угловой скоростью. При какой угловой скорости вращения скорость концов лопастей достигнет скорости звука?

Тема 4

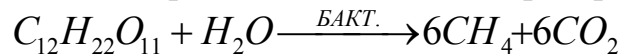
Задача 1. Основным источником на Фиджи является древесина, используемая для приготовления пищи на открытом огне. Типичное потребление древесного топлива составляет 1 кг на человека в день.

а) Оцените энергию, необходимую для того, чтобы вскипятить 2-литровый чайник, наполненный водой. В предположении о том, что такова потребность одного человека в день, сравните эту энергию с тем, что содержит древесина, и таким образом дайте оценку теплового КПД использования открытого огня.

б) Какое количество строевого леса срубает деревня из 200 жителей в год? Предполагая систематическое воспроизводство древесины, оцените, какую площадь эта деревня должна отвести на топливные нужды, чтобы избежать обезлесивания.

Задача 2. а) Бак объемом 3 м^3 используется в качестве биогазогенератора. Каждый день через него проходит $0,2 \text{ м}^3$ массы, содержащей 4 кг сбраживаемого материала.

Предполагая, что основная реакция в биогазогенераторе



и что она идет в течение 7 сут, определите количество получаемого биогаза ежесуточно и теплоту его сгорания. Чему равно эквивалентное количество керосина?

б) Скорость реакции в биогазогенераторе можно удвоить, повышая температуру с 20°C (в окружающей среде) до 35°C . Что это даст? Как много тепла ежесуточно потребуется для того, чтобы это осуществить? Какую часть тепла могла бы дать сама химическая реакция сбраживания?

Задача 3. а) Напишите химическое уравнение преобразование сахарозы в этанол и используйте его для оценки теоретического количества этанола, получаемого из 1 т сахарозы. Реален ли такой выход?

б) Фиджи – небольшое государство в южной части Тихого океана. Главный продукт его экспорта – сахар. Фиджи производит ежегодно 3000 000 т сахара и ввозит такое же количество жидкого топлива. Если весь этот сахар преобразовать в этанол, то какую часть ввозимого топлива он заменит?

Тема 5

Задача 1. 1) Определите начальную температуру и теплосодержание на 1 км^2 до температур свыше 40°C водоносного пласта толщиной $0,5 \text{ км}$ при глубине залегания 3 км , пористости 5% , плотности породы 2700 кг/м^3 , удельной теплоемкости $840 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$, температурном градиенте 30°C/км . Расчет выполните при средней температуре поверхности 10°C .

2) Какова постоянная времени извлечения тепла при закачивании воды и расходе $100 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$?

3) Какова тепловая мощность, извлекаемая первоначально и через 10 лет?

Задача 2. 1) Рассчитайте полезное теплосодержание на 1 км^2 сухой скальной породы (гранит) до глубины 7 км. Примите: температурный градиент равным $40 \text{ }^\circ\text{C}/\text{км}$, минимальную допустимую температуру превышающей поверхностную на 140 К, $\rho_{\Gamma} = 2700 \text{ кг}/\text{м}^3$, $c_{\Gamma} = 820 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

3) Чему равна постоянная времени извлечения тепла при использовании в качестве теплоносителя воды, если $V = 1 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$?

4) Каковы скорости извлечения тепла – первоначальная и через 10 лет?

Задача 3. а) Определите тепловую мощность, создаваемую радиоактивным распадом ^{238}U в 5 м^3 гранита (^{238}U составляет 99% урана в граните при средней концентрации $4 \cdot 10^{-3}\%$; тепло, создаваемое чистым ^{238}U , составляет $3000 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{год})$).

б) Радиоактивность ^{238}U создает около 40% тепловой мощности от общей создаваемой радиоактивными источниками в граните. Является ли тепло, создаваемое за счет радиоактивного распада, существенным источником для получения геотермальной энергии?

Задача 4. Куб из горячих горных пород со стороной h верхней гранью находится на глубине d от поверхности Земли. Плотность скального грунта ρ_{Γ} и теплоемкость c_{Γ} . Породы над кубом имеют теплопроводность λ . Если скальный грунт является изотермической массой с температурой T , превышающей температуру поверхности, а другие отсутствуют, покажите, что постоянная времени охлаждения куба определяется выражением $\tau = \rho h c d / \lambda$.

Тема 6

Задача 1. Падающий на турбину Пельтона поток имеет параметры $H = 20 \text{ м}$, $Q_{\min} = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$.

а) Пренебрегая трением, определите: скорость потока; максимальную мощность турбины; радиус сопл, если их два.

б) Предполагая далее, что коэффициент быстроходности колеса равен

$$Z = \frac{\omega P_1^{1/2}}{\rho^{1/2} (gH)^{5/4}} = 0,1,$$

где P_1 – мощность одной струи, определите: число лопастей; диаметр колеса; угловую скорость вращения колеса.

в) Если напорный водовод имеет длину 100 м, то как изменится ответ на пп. а) и б) при наличии трения, если:

- водовод поливинилхлоридный диаметром 15 см;
- водовод – обычный пластиковый шланг диаметром 5 см?

В обоих случаях определите число Рейнольдса.

Задача 2. Проверьте, что коэффициент быстроходности – безразмерный параметр. В чем преимущества представления характеристик параметров турбин в безразмерном виде?

Задача 3. Пропеллерная турбина с коэффициентом быстроходности $Z=4$ имеет мощность на валу 400 кВт при рабочем напоре воды 6 м. Ее КПД при этом – около 70%. Рассчитайте: скорость потока; угловую скорость вращения турбины; передаточное число редуктора, если турбина вращает четырехполюсный генератор переменного тока частотой 50 Гц.

Задача 4. Определить диаметр колеса активной гидротурбины с одним соплом мощностью 160 кВт при значениях рабочего напора равных 81 и 5 м и соответствующие им оптимальные угловые скорости, при которых достигаются максимальные значения КПД.

Тема 7

Задача 1. Определить требуемый расход воды для получения мощности идеальной тепловой машины 1 МВт при разности температур 20°C .

Задача 2. Определить основные параметры кожухотрубного теплообменника ОТЭС с выходной мощностью 1 МВт в предположении о том, что реализуется цикл Карно при условии снижения температуры рабочего тела из-за несовершенства теплообменника. Исходные параметры: термическое сопротивление $3 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$; разность температур верхнего и нижнего слоев воды 20°C ; перепад температур на стенке теплообменного аппарата 4°C ; расход рабочего тела $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Задача 3. Система ОТЭС в предыдущей задаче имеет $N = 1 \text{ МВт}$, $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ при длине трубопровода $L = 1000 \text{ м}$ и его диаметр $D = 1 \text{ м}$. Определите мощность, затрачиваемую на подъем воды по трубе.

4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

4.1. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Самостоятельная работа предусматривает:

- подготовку студентов к аудиторным лекционным и практическим занятиям;
- подготовку реферата (сообщения).

Для усвоения дисциплины необходима систематическая самостоятельная работа, контроль которой осуществляется с помощью графика самостоятельной работы (табл. 4).

Темы аудиторных лекционных и практических занятий; рекомендуемые темы рефератов; рекомендуемая литература приведены в рабочей программе дисциплины и настоящем учебно-методическом комплексе.

4.2. График самостоятельной работы студентов

Таблица 4

№	Содержание	Объем в часах	Формы контроля	Сроки (недели)
1	2	3	4	5
1	Подготовка к лекционным занятиям (тема 1)	2	Блиц-опрос на лекции	1
2	Подготовка к лекционным занятиям (тема 2)	1	Сообщения на практическом занятии, опрос на практическом занятии	2
3	Подготовка к лекционным занятиям (тема 3)	1	Сообщения на практическом занятии, опрос на практическом занятии	3
4	Подготовка к лекционным и практическим занятиям (тема 4)	8	Сообщения на практическом занятии	3, 4, 5
5	Подготовка к лекционным занятиям (тема 5)	2	Проверочная работа по темам 2, 4, 5	6, 7
6	Подготовка к лекционным и практическим занятиям (тема 6)	3	Блиц-опрос на лекции	7, 8
7	Подготовка к лекционным и практическим занятиям (тема 7)	3	Опрос на практическом занятии	9
8	Подготовка к лекционным и практическим занятиям (тема 8)	3	Опрос на практическом занятии	10, 11
9	Подготовка к лекционным и практическим занятиям (тема 9)	3	Проверочная работа по темам 6, 7, 8	11
10	Подготовка к лекционным и практическим занятиям (тема 10)	3	Блиц-опрос на лекции	12
11	Подготовка к лекционным занятиям (тема 11)	1	Опрос на практическом занятии	13

1	2	3	4	5
12	Подготовка к лекционным занятиям (тема 12)	1	Блиц-опрос на лекции	13
13	Подготовка к лекционным и практическим занятиям (тема 13)	2	Блиц-опрос на лекции	14
14	Подготовка к лекционным занятиям (тема 14)	2	Проверочная работа по темам 9, 10	15
15	Подготовка к лекционным занятиям (тема 15)	1	Блиц-опрос на лекции	15
16	Подготовка к лекционным занятиям (тема 16)	3	Проверочная работа по темам 11, 12	16, 17
17	Подготовка к лекционным занятиям (тема 17)	1	Сообщения на практическом занятии, опрос на практическом занятии	18

4.3. Методические указания по подготовке реферата (сообщения)

Реферат оформляется на листах формата А4.

Должен содержать: тему, содержание, текст реферата (сообщения), анализ приведенной информации, используемые литературные источники (в тексте должны быть сделаны ссылки) не менее 5 источников (в т.ч. обязательно периодические издания и информационные ресурсы).

4.4. Темы рефератов (сообщений)

1. Использование НВИЭ в России.
2. Использование НВИЭ за рубежом.
3. Использование Солнца как источника тепловой энергии.
4. Использование Солнца как источника электрической энергии.
5. Использование энергии ветра.
6. Использование биомассы.
7. Мусоросжигательные установки.
8. Использование геотермальной энергии.
9. Использование энергии малых рек.
10. Использование тепловой энергии океана.
11. Использование энергии волн.
12. Использование энергии приливов.
13. Применение водорода в энергетике.
14. Топливные элементы.
15. Вторичные энергетические ресурсы промышленности, их использование.
16. Вторичные энергетические ресурсы теплоэнергетики, их использование.
17. Экологически перспективная ТЭС.

5. МАТЕРИАЛЫ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

5.1. Методические указания по организации контроля знаний студентов

Важнейшей составляющей изучения дисциплины является контроль знаний студентов, в том числе тестовый контроль качества освоения профессиональной образовательной программы (проверка остаточных знаний). Приведенные ниже комплекты заданий позволяют оценить степень усвоения теоретического материала и практических навыков и умений по НВИЭ в рамках учебной программы для специальности 140101.

Предусмотрены следующие виды контроля знаний студентов:

Входной контроль

Входной контроль по дисциплине представляет собой задания, позволяющие оценить знание понятий, определений и принципов работы энергетических установок, используемых в данной дисциплине и изучаемых ранее в других курсах (введение в специальность, термодинамика, теплообмен, природоохранные технологии на ТЭЦ), т.е. подготовленность студентов для освоения данной дисциплины.

Межсессионный контроль

Межсессионный контроль включает теоретические проверочные задания по изучаемым темам и подготовку реферата (сообщений). Текущий контроль осуществляется систематически в течение семестра (см. график самостоятельной работы п. 4.2), по результатам контроля выставляется промежуточная аттестация (контрольные точки), экзаменационная оценка по дисциплине выставляется с учетом результатов межсессионного контроля.

Экзаменационный контроль

Итоговой формой контроля знаний студентов является экзамен. В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по четырехбалльной системе. Опрос студентов осуществляется в письменно-устной форме. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса по изученному курсу и расчетное задание (каждый вопрос и расчетное задание – по разным темам дисциплины). Для подготовки ответа на вопросы и выполнения задания дается 40 мин.

Контроль остаточных знаний

Проверка качества освоения профессиональной образовательной программы осуществляется после изучения дисциплины в виде тестирования.

5.2. Критерии оценки знаний студентов

Входной контроль, межсессионный контроль (теоретические задания) и контроль остаточных знаний

Знания оцениваются по четырехбалльной шкале.

Отлично – не менее 85% правильно выполненных заданий; *хорошо* – не менее 75% правильно выполненных заданий; *удовлетворительно* – не менее 50% правильно выполненных заданий; *неудовлетворительно* – менее 50% правильно выполненных заданий.

Экзаменационный контроль

Итоговая аттестация по дисциплине включает рейтингово-модульную систему оценки знаний студентов в следующем соотношении: промежуточный контроль знаний студентов составляет 30 %, остальные 70 % определяются результатами итогового экзамена.

В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по четырехбалльной шкале. При этом учитываются: глубина и полнота знаний, владение необходимыми (в объеме программы) умениями, осознанность и самостоятельность применения знаний, логичность изложенного материала.

Оценка «*отлично*» ставится в случае правильных и полных ответов на оба теоретические вопросы билета и правильного выполнения расчетного задания.

Оценка «*хорошо*» ставится в случае:

- правильного, но неполного ответа на один из теоретических вопросов билета, требующего уточняющих дополнительных вопросов со стороны преподавателя или ответа, содержащего ошибки не принципиального характера, которые студент исправляет после замечаний (дополнительных вопросов) преподавателя; правильного выполнения расчетного задания;

- правильных и полных ответа на оба теоретических вопроса билета; затруднений при выполнении расчетного задания, с которыми студент справляется после помощи преподавателя.

Оценка «*удовлетворительно*» ставится в случае:

- ответов, содержащего ошибки принципиального характера на теоретические вопросы билета; правильного выполнения расчетного задания;

- неверного ответа (отсутствия ответа) на один из теоретических вопросов билета; выполнения расчетного задания после незначительной помощи преподавателя;

- правильных и полных ответов на оба теоретических вопроса билета; неверного выполнения расчетного задания (не справился с заданием после помощи преподавателя).

Оценка «*неудовлетворительно*» ставится в случае:

- неверных ответов (отсутствия ответов) на оба теоретических вопроса билета;

- неверного ответа (отсутствия ответов) на один из теоретических вопросов билета и неверного выполнения расчетного задания.

5.3. Фонды тестовых заданий

Входной контроль

1. Перечислите виды источников энергии.
2. Что такое возобновляемые источники энергии, приведите пример.
3. Назовите отличия возобновляемых и невозобновляемых источников энергии.
4. Как используется энергия Солнца?
5. Какие типы электрических станций на возобновляемых источниках энергии вы знаете?
6. В каких странах наиболее развита возобновляемая энергетика?
7. Каков уровень использования ВИЭ в России?
8. Какие ЭС на возобновляемых источниках энергии есть в нашей стране?
9. Какими возобновляемыми ресурсами располагает Амурская область?
10. Перечислите виды энергии океана.
11. Что такое вторичные энергетические ресурсы? Приведите пример.
12. Какие вторичные энергетические ресурсы имеются на ТЭС?

Межсессионный контроль

Задания для текущей проверки знаний

По теме 1

1. Возобновляемые источники энергии – это ...
2. Под качеством источника энергии понимают ...

По этому признаку возобновляемые источники энергии делятся на:

3. Укажите основные элементы схемы согласования с разнородными потребителями, поясните принцип согласования данной схемы.
4. Назовите принципы эффективного использования возобновляемых источников энергии.
5. Назовите кадастры возобновляемых природных энергетических ресурсов в порядке возрастания.

По теме 4

1. Изобразить и назвать схемы движения теплоносителя (жидкость) в плоском солнечном коллекторе.
2. Методы повышения эффективности солнечного коллектора.
3. Требования, предъявляемые к селективным покрытиям.
4. От каких величин зависит КПД солнечного коллектора?
5. Классификация аккумуляторов теплоты.

6. Изобразить схему водонагревательной установки с естественной циркуляцией. Пояснить принцип действия.
7. Стратификация – это ... , где используется это явление.
8. Активные гелиосистемы теплоснабжения. Преимущества и недостатки.

По теме 5

1. Типы солнечных электростанций, принцип работы.
2. Принцип действия фотоэлектрических преобразователей.
3. Материалы, из которых изготавливаются фотоэлектрические элементы, их краткая характеристика.
4. Преимущества фотоэлектрических преобразователей.
5. Технические требования, предъявляемые к кремниевым фотоэлементам.

По теме 6

1. Признаки, по которым классифицируются установки, использующие энергию ветра.
2. Типы вертикально-осевых установок.
3. Геометрическое заполнение ветроколеса – это ...
4. Как определяется мощность, развиваемая ветроколесом?
5. К какому классу относятся ВЭУ с проектной мощностью 100 кВт и диаметром колеса 20 м.
6. Поясните изображенную схему согласования ветроустановки с потребителями и укажите ее основные элементы.
7. Назовите классы и особенности ветроэнергетических систем в зависимости от относительной мощности ветроэнергетической установки в полной мощности энергосистемы, к которой они подключены.
8. Особенности ВЭУ, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации.
9. Максимальная рабочая скорость ветра.

По теме 7

1. Что такое биомасса?
2. Какие виды топлива можно получить из биомассы?
3. Классификация энергетических процессов переработки биомассы.
4. Принципы использования систем, основанных на переработке биомассы.
5. Преимущества и недостатки использования биотоплива.
6. Газификация – это ...
7. Исходное сырье и продукты пиролиза.
8. Что такое биогаз? Как его получают?

По теме 8

1. Классы геотермальных районов.
2. Группы систем извлечения теплоты.

3. Особенности эксплуатации ГеоТЭС.
4. Как осуществляется очистка геотермального теплоносителя?
5. Принципиальная схема ПТУ ГеоТЭС, ее основные элементы.
6. Преимущества и недостатки двухконтурных ГеоТЭС.

По теме 9

1. Типы гидротурбин.
2. Водосливный метод определения расхода воды заключается в том, что...
3. Классификация малых ГЭС.
4. Плотинная МГЭС – такая, ...

По темам 10, 11 и 12

1. Виды энергии океана.
2. Особенности волновой энергетики.
3. Устройства для преобразования энергии волн.
4. Особенности применения ПЭС.
5. В чем заключается преобразование тепловой энергии океана.
6. Преимущества и недостатки использования тепловой энергии океана.
7. Основные конструктивные элементы тепловой машины и особенности их работы.

Экзаменационный контроль

Вопросы к экзамену

1. Мировое энергетическое хозяйство, роль возобновляемых источников энергии в нем.
2. Виды ВИЭ, их потенциальные ресурсы и уровень использования на современном этапе.
3. Научные принципы и технические проблемы использования ВИЭ.
4. Система государственной поддержки развития возобновляемой энергетики в зарубежных странах.
5. Характеристики солнечного излучения. Способы использования солнечной энергии.
6. Типы и устройство солнечных коллекторов и концентраторов.
7. Методы повышения КПД солнечных коллекторов.
8. Солнечные водонагреватели, основные конструкции. Применение солнечной энергии для целей теплоснабжения
9. Солнечные системы для получения электроэнергии.
10. Классификация ветроэнергетических установок. Основы теории ВЭУ.
11. Производство электрической энергии с помощью ВЭУ.
12. Использование ветроэнергетических установок для производства механической работы.
13. Особенности и перспективы использования ВЭУ.

14. Использование биомассы и биотоплива.
15. Классификация энергетических установок и процессов, связанных с переработкой биомассы.
16. Производство биомассы для энергетических целей.
17. Получение биогаза, типы биогазогенераторов.
18. Использование геотермальной энергии.
19. Классификация источников геотермальной энергии.
20. Варианты возможных схем ГеоТЭС.
21. Основные принципы использования энергии "падающей" воды. Оценка гидроресурсов.
22. Типы гидротурбин, их характеристики, мощность.
23. Схема малой ГЭС. Гидравлический таран.
24. Преобразование тепловой энергии океана. Расчет теплообменника.
25. Технические и экологические проблемы использования тепловой энергии океана.
26. Принципы использования энергии морских волн. Устройства для преобразования морских волн.
27. Энергия приливов. Причины возникновения приливов, их периодичность.
28. Перспективные районы строительства приливных электростанций.
29. Использование водорода в энергетике.
30. Значение процессов аккумуляции энергии при использовании НИЭ.
31. Биологическое и химическое аккумуляция энергии.
32. Аккумуляция теплоты.
33. Механическое аккумуляция энергии. Передача энергии.
34. Виды вторичных энергетических ресурсов, их источники.
35. Основные направления утилизации тепловых ВЭР и применяемые для этого устройства.
36. Принцип действия и область применения тепловых насосов.
37. Основные направления снижения вредных выбросов ТЭС.

Контроль остаточных знаний

Тестовые задания для проверки остаточных знаний
по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»
для специальности 140101
25 заданий время тестирования 60 минут

Инструкция: При ответе следует выбрать один ответ из предложенных (задания 2, 8 содержат несколько правильных ответов), или дать определение или пояснить предлагаемое понятие.

Результаты тестирования оценивают по 4-х балльной шкале (*отлично* – не менее 85 % правильно выполненных заданий; *хорошо* – не менее 70 % правильно выполненных заданий; *удовлетворительно* – не менее 50 % правильно

но выполненных заданий; *неудовлетворительно* – менее 50 % правильно выполненных заданий)

Вариант 1

1. Дайте определение невозобновляемых источников энергии, приведите пример.
2. Укажите, какие из перечисленных источников энергии являются возобновляемыми:
 - а) солнечное излучение; б) движение и притяжение Солнца, Земли и Луны;
 - в) тепловая энергия Земли, а так же химических реакций и радиоактивного распада в ее недрах; г) ядерные реакции; д) химические реакции различных веществ.
3. Приведите основные недостатки возобновляемых источников энергии.
4. Поясните принцип согласования ВИЭ с потребителем на приведенной схеме, назовите ее основные элементы.
5. Приведите кадастры возобновляемых природных энергоресурсов в порядке убывания потенциала.
6. В настоящее время вклад ВИЭ в производство электроэнергии по России составляет: а) менее 1%; б) 1-2 %; в) 2-4%; г) 5-7%; д) 8-10%.
7. Назовите основные конструктивные элементы плоского коллектора солнечной энергии.
8. Оптический КПД солнечного коллектора зависит от:
 - а) интенсивности потока солнечной энергии; б) коэффициента пропускания солнечного излучения; в) температуры коллектора; г) температуры наружного воздуха; д) коэффициента поглощения солнечного излучения абсорбером; е) свойств тепловой изоляции; ж) расхода теплоносителя.
9. Укажите основные методы повышения КПД солнечного коллектора.
10. Высокая удельная плотность энергии, благодаря чему существенно уменьшаются масса и объем аккумулятора, является основным преимуществом аккумуляторов теплоты:
 - а) фазового перехода; б) емкостного типа.
11. К какому типу относится изображенная водонагревательная установка, укажите ее основные элементы.
12. Наличие коллектора солнечной энергии, аккумулятора теплоты, дополнительного источника энергии, трубопроводов, теплообменников, насосов или вентиляторов и устройств для автоматического контроля и управления являются характерным признаком:
 - а) пассивной системы солнечного теплоснабжения зданий; б) активной системы солнечного теплоснабжения зданий; в) систем солнечного теплоснабжения зданий с естественной циркуляцией; г) систем солнечного теплоснабжения зданий с принудительной циркуляцией.
13. Укажите признаки, по которым классифицируются ветроэнергетические установки.

14. Ветроустановки с диаметром ветроколеса 49 м и расчетной (проектной) мощностью 500 кВт, относятся к следующему классу ВЭУ:
- а) малые; б) средние; в) большие; г) очень большие.
15. При любом направлении ветра, не изменяя своего положения, могут работать: а) карусельные ветродвигатели; б) крыльчатые ветродвигатели.
16. Геотермальный район, характеризующийся температурным градиентом более $80^{\circ}\text{C}/\text{км}$, относится к:
- а) гипертермальному классу; б) полутермальному классу; в) нормальному классу.
17. В таких районах геотермальное тепло целесообразно использовать для:
- а) производства электроэнергии; б) теплоснабжения; в) нецелесообразно использовать.
18. Укажите основные отличия наземного комплекса ГеоТЭС от современных ТЭС.
19. Укажите преимущества двухконтурных паротурбинных ГеоТЭС (по сравнению с одноконтурными).
20. Гидротурбина, рабочее колесо которой полностью погружено в воду и вращается в основном за счет разности давлений до и за колесом:
- а) реактивная; б) активная.
21. Приведите классификацию малых ГЭС.
22. Малая ГЭС, в которой здание ГЭС не участвует в создании напора, называется:
- а) плотинной МГЭС; б) русловая МГЭС; в) приплотинная МГЭС; г) деривационная МГЭС.
23. Пиролиз относится к:
- а) термохимическим технологиям использования энергии биомассы; б) биотехнологиям использования энергии биомассы.
24. Биогаз состоит в основном из:
- а) азота, водорода и угарного газа; б) метана и угарного газа.
25. Укажите виды энергии океана.

Вариант 2

1. Дайте определение возобновляемых источников энергии, приведите пример.
2. Укажите, какие из перечисленных источников энергии являются невозобновляемыми:

а) солнечное излучение; б) движение и притяжение Солнца, Земли и Луны; в) тепловая энергия Земли, в так же химических реакций и радиоактивного распада в ее недрах; г) ядерные реакции; д) химические реакции различных веществ.
3. Укажите основные преимущества возобновляемых источников энергии.
4. Поясните принцип согласования ВИЭ с потребителем на приведенной схеме, назовите ее основные элементы.

5. Приведите кадастры возобновляемых природных энергоресурсов в порядке возрастания потенциала.
6. В настоящее время вклад ВИЭ в общее энергопроизводство составляет:
 - а) менее 1%; б) 1-2 %; в) 2-4%; г) 5-7%; д) 8-10%.
7. Укажите типы концентраторов солнечной энергии.
8. Коэффициент полезного действия коллектора солнечной энергии зависит от:
 - а) интенсивности потока солнечной энергии; б) коэффициента пропускания солнечного излучения; в) температуры коллектора; г) температуры наружного воздуха; д) коэффициента поглощения солнечного излучения абсорбером; е) свойств тепловой изоляции; ж) расхода теплоносителя.
9. Укажите основные методы повышения КПД солнечного коллектора.
10. Большая масса и как следствие этого – потребность в больших площадях и строительных объемах, является основным недостатком аккумуляторов теплоты: а) фазового перехода; б) емкостного типа.
11. К какому типу относится изображенная водонагревательная установка, укажите ее основные элементы.
12. Системы солнечного теплоснабжения зданий, в которых роль коллектора солнечной энергии и аккумулятора теплоты обычно выполняют ограждающие конструкции здания, а движение теплоносителя осуществляется за счет естественной конвекции относятся к:
 - а) пассивным системам; б) активным системам; в) системам с естественной циркуляцией; г) системам с принудительной циркуляцией.
13. Укажите признаки, по которым классифицируются ветроэнергетические установки.
14. Ветроустановки с диаметром ветроколеса 20 м и расчетной (проектной) мощностью 100 кВт, относятся к следующему классу ВЭУ:
 - а) малые; б) средние; в) большие; г) очень большие.
15. Для наибольшей эффективности работы устройство автоматического поворота оси вращения требуется для:
 - а) карусельных ветродвигателей; б) крыльчатых ветродвигателей.
16. Геотермальный район, характеризующийся температурным градиентом менее $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$, относится к:
 - а) гипертермальному классу; б) полутермальному классу; в) нормальному классу.
17. В таких районах геотермальное тепло целесообразно использовать для:
 - а) производства электроэнергии; б) теплоснабжения; в) нецелесообразно использовать.
18. Приведите систему очистки геотермального теплоносителя.
19. Назовите недостатки двухконтурных паротурбинных ГеоТЭС (по сравнению с одноконтурными).
20. Гидротурбина, рабочее колесо которой вращается в воздухе натекающим на его лопасти потоком воды:
 - а) реактивная; б) активная.

21. Приведите классификацию малых ГЭС.
22. Малая ГЭС, в которой для создания напора используются как плотина, так и здание ГЭС называется:
- а) плотинной МГЭС; б) русловая МГЭС; в) приплотинная МГЭС; г) деривационная МГЭС.
23. Анаэробная переработка относится к:
- а) термохимическим технологиям использования энергии биомассы;
б) биотехнологиям использования энергии биомассы.
24. Газообразные продукты пиролиза (синтетический газ) состоят в основном из: а) азота, водорода и угарного газа; б) метана и угарного газа.
25. Укажите виды энергии океана.

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Губин В.Е., Косяков С.А. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии в энергетике. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002.
2. Энергетика XXI века: Условия развития, технологии, прогнозы/ Л.С. Беляев, А.В. Лагерев, В.В. Посекалин и др., Отв. ред. Н.И. Воропай – Новосибирск: Наука, 2004.
3. Бокрис Дж. Солнечно-водородная энергия. Сила, способная спасти мир. – М.: изд-во МЭИ, 2002.

Дополнительная литература

4. Твайдел Дж. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Закон Амурской области «О развитии нетрадиционных возобновляемых источников энергии в Амурской области», 2005.
6. Мельников В.Д., Рагушин С. В. и др. Энергетические ресурсы Амурской области. – Благовещенск, 2003. – электронное издание.
7. Харченко Н.В. и др. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
8. Дикий Н.А. Энергоустановки геотермальных электростанций. – К.: Выща шк., 1989.
9. Вторичные теплоэнергоресурсы и охрана окружающей среды /Под ред. Харитоновой В.В. – Мн.: Выш. шк., 1988.
10. Росс Д. Энергия волн. – Л.: Гидрометеиздат, 1981.
11. Журналы «Теплоэнергетика», «Энергосбережение», «Промышленная энергетика», «Энергетика за рубежом».
12. Серия «Нетрадиционные возобновляемые источники энергии» (компакт-диски), Интернет и другие доступные средства электронной информации.

Содержание

Аннотация	3
1. Цели и задачи дисциплины, ее связь с другими курсами специальности	4
2. Краткий конспект лекций	5
3. Практические занятия	
3.1. Методические рекомендации по проведению практических занятий	57
3.2. Перечень тем практических занятий (с указанием объема в часах)	57
3.3. Методические указания к практическим занятиям	58
4. Самостоятельная работа студентов	
4.1. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы	63
4.2. График самостоятельной работы студентов	63
4.3. Методические указания по подготовке реферата (сообщения)	64
4.4. Темы рефератов (сообщений)	64
5. Материалы по контролю качества образования	
5.1. Методические указания по организации контроля знаний студентов	65
5.2. Критерии оценки знаний студентов	66
5.3. Фонды тестовых заданий	67
6. Список рекомендуемой литературы	74